شرکت توزیع نیروی برق شهرستان اصفهان

مدل سازی شبکه های توزیع برق با استفاده از سیستم GIS

مؤلف:

➤ Bill Meehan

مترجمین:

➤ احسان یوسفی فرد

➤ قاسم درخشان

➤ نیما یوسفی فرد

Modeling Electric Distribution with GIS

بسم الله الرحمن الرحیم

مدلسازی شبکه‌های توزیع برق
با استفاده از سیستم GIS

سرشناسه: میهان، بیل، -۱۹۴۹م/ Meehan, Bill
عنوان و نام پدیدآور: مدل‌سازی شبکه‌های توزیع برق با استفاده از سیستم GIS/ [بیل میهان]؛
ترجمه: احسان یوسفی فرد، قاسم درخشان، نیما یوسفی فرد.
مرکز نشر: اصفهان، انتشارات بنی هاشم، ۱۳۹۶
مشخصات ظاهری: ۳۰۸ ص: مصور، جدول، نمودار
شابک: ۹-۷۹-۵۱۴۳-۶۰۰-۹۷۸
فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیپا
عنوان اصلی: Modeling Electric Distribution with GIS
شناسه افزوده: یوسفی فرد، احسان، -۱۳۶۰ مترجم
موضوع: مدل سازی شبکه توزیع - سیستم GIS
رده بندی کنگره:
رده بندی دیویی:
شماره کتابشناسه ملی:

عنوان: مدل‌سازی شبکه‌های توزیع برق با استفاده از سیستم GIS
ترجمه: احسان یوسفی فرد، قاسم درخشان، نیما یوسفی فرد
ناشر: انتشارات بنی هاشم
تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه
تاریخ انتشار: ۱۳۹۶
نوبت چاپ: اول
طراحی و صفحه آرایی: موسسه رایان نگار - تلفن: ۰۳۱-۳۲۲۱۲۷۰۶
چاپ: موسسه رایان نگار
شابک: ۹-۷۹-۵۱۴۳-۶۰۰-۹۷۸
قیمت: ۵۰۰۰۰ تومان

کلیه حقوق نشر کتاب متعلق به شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان است.

WWW.EEPDC.IR

مدلسازی شبکه های توزیع برق
با استفاده از سیستم GIS

ترجمه:
احسان یوسفی فرد
قاسم درخشان
نیما یوسفی فرد

مقدمه

شرکت‌های توزیع برق به‌عنوان آخرین حلقه از زنجیره تأمین انرژی الکتریکی، وظایف مهم و پیچیده‌ای را بر عهده دارند. با توجه به لزوم بهبود قابلیت اطمینان و کیفیت توان در سطح شبکه‌های توزیع، نیاز به استفاده از فن‌آوری‌های نوین بیش‌ازپیش احساس می‌گردد. پراکندگی و وسعت تأسیسات شبکه‌های توزیع و همچنین پیچیدگی این حوزه باعث می‌شود، سیستمهای نرم‌افزاری یکپارچه، تخصصی و مبتنی بر تجمیع داده‌ها اهمیت بیشتری داشته باشند. همچنین با توجه به نیاز شرکت‌های توزیع برق به پیاده‌سازی شبکه‌های هوشمند، داشتن زیرساخت‌های مناسب جزء لاینفک از سیستم خواهد بود.

از مهم‌ترین فناوری‌های زیرساختی که امکان تجمیع کلیه اطلاعات مکانی، توصیفی و توپولوژیک شبکه توزیع را فراهم می‌کند، سیستم GIS است. با توجه به ماهیت مکانی اکثر داده‌ها در شبکه توزیع، سیستم GIS امکان یکپارچه‌سازی فرآیندهای مکان محور سازمان را فراهم می‌کند. با استقرار سیستم GIS، کلیه کارکنان شرکت از یک پنجره واحد به تأسیسات شبکه توزیع نگاه می‌کنند و زبان ارتباطی مشترکی بین واحدهای مختلف سازمان به وجود می‌آید.

در کشورمان استفاده از سامانه‌های مبتنی بر GIS رو به افزایش است، همچنین مسیر رشد بسیاری از سیستم‌های نرم‌افزاری بزرگ مبتنی بر اطلاعات مکانی است؛ بنابراین نیاز به داشتن منابع اطلاعاتی مناسب و به‌روز که بتواند در ترسیم افق پیش روی مهندسین و محققین شرکت‌های برق مؤثر باشد، از مهم‌ترین چالش‌های حال حاضر کشور است. با توجه به اهمیت موضوع، ترجمه کتاب حاضر که به مدل‌سازی شبکه توزیع برق در سیستم GIS می‌پردازد، در دستورکار شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان قرار گرفت. این کتاب به ترسیم چشم‌انداز سیستم GIS در شرکت‌های توزیع برق کمک می کند. امید است علاقمندان و متخصصین این حوزه بتوانند از این کتاب در راستای ارتقاء دانش خود در حوزه GIS بهره‌مند شوند.

حمیدرضا پیرپیران
مدیرعامل شرکت توزیع برق
شهرستان اصفهان

تقدیر و تشکر

با توجه به ماهیت مکانی اطلاعات عوارض در شبکه‌های توزیع برق و همچنین پراکندگی مکانی گسترده این اطلاعات، امروزه استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به یک ضرورت جهت بهبود فعالیت‌ها و ارتقاء عملکرد شرکت‌های توزیع تبدیل شده است.

کتاب حاضر ترجمه‌ای است از کتاب "Modeling Electric Distribution with GIS" که توسط آقای Bill Meehan مدیر بخش برق و گاز شرکت ESRI نوشته شده و به موضوع نحوه مدل‌سازی شبکه توزیع برق در سیستم GIS می‌پردازد.

از اوایل سال ۱۳۸۶ و با ابلاغ مجموعه دستورالعمل‌های GIS توسط شرکت توانیر، استقرار سیستم GIS در شرکت‌های توزیع برق وارد فاز جدیدی شد. با توسعه کاربردی سازی سیستم GIS در فرآیندهای کاری مختلف شرکت‌های توزیع، همیشه لزوم بازنگری مدل مفهومی و استفاده از تجربیات کشورهای پیشرفته دنیا به‌عنوان یک ضرورت مطرح می‌شد. در این کتاب با بهره‌گیری از مثال‌های متعدد واقعی، نحوه پیاده‌سازی صحیح سیستم GIS در شرکت‌های توزیع تشریح شده است. نویسنده کتاب به شیوه‌ای هنرمندانه و داستانی، قابلیت‌ها و امکانات سیستم GIS را معرفی می‌کند. به اعتقاد بنده، نوع نگاه و تفکر مطرح شده در این کتاب می‌تواند الگوی مناسبی برای تدوین نقشه راه GIS توزیع برق کشور باشد. امیدوارم این کتاب بتواند به توسعه فناوری زیرساختی GIS در کشورمان کمک کند.

لازم می‌دانم در اینجا از کلیه‌ی عزیزانی که در تهیه کتاب با بنده همکاری داشتند، تشکر کنم.

از جناب آقای مهندس پیرپیران مدیرعامل و جناب آقای مهندس مظاهری مدیر دفتر تحقیقات شرکت توزیع نیروی برق شهرستان اصفهان که زمینه نشر این اثر را فراهم کردند صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم.

همچنین از مدیران معاونت مهندسی، جناب آقای مهندس دادخواه، مهندس جمشیدیان و مهندس صالح، که امکان تهیه این کتاب بدون حمایت ایشان میسر نمی‌گشت، قدردانم.

از همکارانم در گروه GIS شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان آقایان شاهرضایی، حاجی احمدی، علیمرادی، ابراهیمی و خانم‌ها نصر و آقایی، که در بازخوانی و رفع اشکال مطالب کتاب بنده را یاری دادند، سپاسگزارم.

از مدیر محترم دفتر روابط عمومی جناب آقای مهندس علی‌اکبری و آقای حیدری کارشناس رسانه شرکت که هماهنگی چاپ و نشر این کتاب را انجام دادند، قدردانم.

لازم می‌دانم از کلیه‌ی کارکنان شرکت توزیع نیروی برق شهرستان اصفهان که در فرصت چندساله حضور بنده در پروژه GIS، با بنده همکاری داشتند و تجربه همکاری با این عزیزان و استفاده از نقطه نظرات آن‌ها به بنده بسیار کمک کرد تا بتوانم ترجمه روان‌تری داشته باشم، سپاسگزاری کنم.

از جناب آقای مهندس سرتیپی که وظیفه ویراستاری کتاب را بر عهده گرفتند، سپاسگزارم.

از اعضای کمیته GIS توانیر به‌خصوص آقای مهندس بنی فاطمه، دبیر کمیته که تجربه فعالیت در کنار این عزیزان کمک فراوانی به بنده در درک بهتر مطالب کتاب کرد، سپاسگزارم.

لازم می‌دانم از آقای رضوانی، مدیریت موسسه رایان نگار که در چاپ این اثر همکاری صمیمانه‌ای با بنده داشتند، تشکر کنم. همچنین از آقای شاکری که وظیفه صفحه‌آرایی این کتاب را بر عهده داشتند، سپاسگزارم.

دوست دارم یک تشکر ویژه هم از مادربزرگ مهربانم داشته باشم. مادربزرگ در یک خانه قدیمی، در یکی از روستاهای کویری شهرستان اصفهان زندگی می‌کند. همیشه زمانی که به تمرکز زیادی احتیاج داشتم به سکوت و آرامش منزل باصفای مادربزرگ پناه بردم. امیدوارم او همیشه سالم و تندرست باشد.

لازم می‌دانم از پدر و مادر بزرگوار و برادر عزیزم که بنده کلیه‌ی موفقیت‌های زندگی خود را مدیون این عزیزان هستم، قدردانی کنم.

در پایان دوست دارم از همسر مهربانم تشکر کنم. در حدود یکسال، کلیه زمان‌های استراحت و آزاد من به ترجمه و آماده‌سازی این کتاب اختصاص پیدا کرد. بدون شک انجام این کار بدون حمایت و دلگرمی او ممکن نمی‌شد. همین‌طور از دختر کوچک و دوست‌داشتنی‌ام یسنا خانم که در طی این مدت، کمتر فرصت بازی کردن با او را پیدا کردم سپاسگزارم.

این کتاب را تقدیم می‌کنم به همه علاقه‌مندان به توسعه و پیشرفت کشور عزیزم ایران.

احسان یوسفی فرد

پاییز ۹۶

فهرست

پیشگفتار	۱
فصل اول: جایگزینی سیستم‌های قدیمی با سیستم‌های نوین	۵
فصل دوم: کسب‌وکار شرکت AnyTown Energy	۲۴
فصل سوم: چالش‌های پیش روی یک مدیر GIS	۴۰
فصل چهارم: کاربردهای سیستم GIS در شبکه‌های توزیع برق	۶۰
فصل پنجم: طراحی مدل داده در سیستم GIS	۸۴
فصل ششم: پست‌های فوق توزیع، نقطه آغازین شبکه توزیع	۱۰۸
فصل هفتم: شبکه فشار متوسط، قلب سیستم توزیع	۱۳۲
فصل هشتم: شبکه فشار ضعیف، تحویل‌دهنده انرژی الکتریسیته	۱۶۰
فصل نهم: تجهیزات نگه‌دارنده، از پایه تا منهول	۱۸۲
فصل دهم: سرویس‌های مکانی، نقشه‌های پایه و سایر داده‌ها	۲۰۲
فصل یازدهم: شبکه هوشمند، تجهیزات اندازه‌گیری و مشترکین	۲۲۴
فصل دوازدهم: ساده‌سازی و بهبود فرآیندهای کاری با استفاده از GIS	۲۵۰
سخن پایانی	۲۷۶
پیوست: مبانی شبکه‌های توزیع برق	۲۸۶
منابع و مراجع	۳۰۲

پیشگفتار

در آخرین کتابم، "توانمندسازی شرکت‌های خدماتی برق و گاز با استفاده از سیستم GIS" (منتشر شده توسط شرکت Esri در سال ۲۰۰۷)، به ماجراهای یک شرکت خیالی به نام AnyTown Energy پرداخته شد که به دلیل نداشتن سیستم GIS با مشکلات زیادی روبرو می‌شد و درنهایت توانست با پیاده‌سازی یک سیستم GIS جامع، سطح خدمات و کارایی خود را افزایش دهد. در این کتاب، نحوه مدل‌سازی تجهیزات در سیستم GIS شرکت AnyTown Energy تشریح شده است. گستره مباحث کتاب به سیستم GIS شبکه توزیع برق محدود شده است و شامل بخش‌های تولید و انتقال نمی‌شود. از زمان انتشار کتاب قبلی، کاربرد شبکه‌های هوشمند در شرکت‌های توزیع رشد فراوانی کرده است. به همین دلیل، فصل جداگانه‌ای نیز به این مبحث اختصاص داده شده است.

موضوع این کتاب چیست؟

این کتاب به شیوه‌ای کاربردی و عملی ماجراهای یک مدیر GIS را دنبال می‌کند. او مأموریت دارد با تهیه مدل داده شبکه توزیع برق، زمینه پیاده‌سازی سیستم GIS را در سازمان فراهم کند. در این کتاب به‌جای پرداختن تئوری به مبحث مدل داده، به شیوه‌ای کاربردی، اجزا و فرآیندهای مختلف شبکه توزیع برق که در تعریف مدل داده نقش دارند، معرفی شده است.

همچنین در این کتاب یک داستان روایت می‌شود. داستان مراحل پیاده‌سازی سیستم GIS در یک شرکت توزیع که محدودیت‌های سیستم نقشه‌برداری قدیمی شرکت را پشت سر می‌گذارد و زمینه ایجاد تحول در سازمان را فراهم می‌کند. شخصیت اصلی داستان خیالی است - یک مرد به نام ران که قبلا مدیر GIS دولت محلی بوده است - اما موانع و مشکلاتی که او با آن روبرو می‌شود، کاملاً واقعی است. او مسیر ناهمواری در پیش رو دارد، چون اساسا تغییر به‌سادگی اتفاق نمی‌افتد.

مخاطب این کتاب کیست؟

این کتاب برای افراد درگیر در پروژه پیاده‌سازی سیستم GIS در شرکت‌های توزیع برق بسیار کاربردی و مفید است. مدیران فاوا، مدیران GIS و تولیدکنندگان نرم‌افزارهای GIS مبنا، مخاطبان اصلی این کتاب هستند. همچنین این کتاب می‌تواند سطح دانش مدیران و کارشناسان شرکت‌های توزیع در زمینه قابلیت‌های سیستم GIS را ارتقاء بخشد.

این کتاب چه محتویاتی دارد؟

این کتاب با معرفی کلی کسب‌وکار و فرآیندهای اصلی شرکت‌های توزیع برق آغاز می‌شود. تلاش شده مطالب کتاب برای خوانندگان غیر فنی هم قابل فهم باشد. ممکن است برخی موضوعات تخصصی ارائه شده در زمینه صنعت برق برای کارشناسان فنی بسیار ساده باشد اما برای افراد فعال در حوزه GIS و IT بسیار کاربردی است و می‌تواند آن‌ها را با مفاهیم پایه شبکه توزیع برق آشنا کند. شاید افراد غیر کارشناس درخصوص سؤالاتی مانند "توان راکتیو چیست؟" یا "ریکلوزر چه کاربردی دارد؟" هیچ ایده‌ای نداشته باشند، لذا این کتاب می‌تواند برای این دسته از خوانندگان، یک مرجع مناسب برای آشنایی با اصطلاحات فنی مورد نیاز در شبکه‌های توزیع برق باشد. در این کتاب جزئیات فنی در حد نیاز ارائه شده است، ولی نه آن‌قدر تخصصی که باعث دل‌زدگی خواننده شود.

آیا در این کتاب از روش‌های استاندارد تعریف مدل داده مثل UML استفاده شده است؟ خیر، هدف از تهیه این کتاب آشنایی بیشتر خوانندگان با نحوه مدل‌سازی شبکه توزیع در سیستم GIS است. در این کتاب اجزای مختلف شبکه توزیع و اطلاعات توصیفی مربوط به هر بخش تشریح شده است. استفاده کنندگان از این کتاب می‌توانند بر اساس شرایط و نیازهایی که دارند، مدل داده GIS مطلوب خود را ایجاد کنند.

نحوه استفاده از این کتاب

در این کتاب، سرگذشت آقای ران برای شناخت فرآیندهای مختلف شبکه توزیع و پیاده‌سازی سیستم GIS در چارچوب این فرآیندها دنبال می‌شود. او به دنبال آن است که مزایای سیستم GIS را در مقایسه با سیستم‌های نقشه‌برداری مرسوم در شرکت‌های برق نشان دهد. او در مدل‌سازی شبکه توزیع برق هم به جنبه فنی و هم به جنبه تجاری نظر دارد. ایده کلی آن است که اطلاعات در حد نیاز در سیستم GIS نگهداری شود و مابقی داده‌ها به‌صورت سرویس از سایر سیستم‌ها دریافت گردد. همه شرکت‌های توزیع برق کارمندانی دارند که مسئولیت آن‌ها مستندسازی داده‌های مکانی پراکنده سازمان است. این مستندات معمولا به شکل نقشه، گزارش، کتابچه و یا دست‌نوشته نگهداری می‌شود. این کتاب به شرکت‌های توزیع برق کمک می‌کند که با سازمان‌دهی بهتر اطلاعات مکانی، زمینه پیاده‌سازی موفق سیستم GIS را فراهم کنند.

Bill Meehan
Redlands, California

فصل اول

جایگزینی سیستم‌های قدیمی با سیستم‌های نوین

Modeling Electric Distribution with GIS

جایگزینی سیستم‌های قدیمی با سیستم‌های نوین

در بعد از ظهر روز قبل از شروع به کار در شغل جدید، آقای ران مشغول گوش دادن به پیش‌بینی وضع آب و هوا از رادیو بود؛ ۵۰ درصد احتمال وزش بادهای شدید و وقوع رعد برق، احتمال وقوع طوفان نیز وجود دارد. ران هم نگران کار جدیدش در شرکت AnyTown Energy بود و هم احساس کنجکاوی نسبت به آن داشت. چگونه این شرکت با این حوادث طبیعی روبرو خواهد شد؟ او قرار بود از روز بعد به‌عنوان مدیر GIS این شرکت مشغول به کار شود. یکی از مأموریت‌های اصلی او ایجاد یک سیستم نرم‌افزاری مکان محور به منظور مدیریت بهتر شرایط بحرانی بود. بنابراین از خود پرسید چه تمهیداتی توسط این شرکت برای مواجهه با طوفان احتمالی در نظر گرفته شده است؟ طوفانی که یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های شرکت‌های برق به شمار می‌رود. طوفان می‌تواند باعث سقوط درختان بر روی شبکه برق، پارگی خطوط انتقال نیرو و خاموشی مشترکین شود. با توجه به محدودیت نیروی انسانی بخش حوادث، بازگرداندن شبکه به حالت اولیه می‌توانست بسیار زمان‌گیر باشد. با این‌حال اگر طوفان اتفاق نمی‌افتاد به دلیل آماده به کار بودن نفرات، هزینه‌های زائد اضافه کاری پرسنل بر شرکت تحمیل می‌شد.

آقای ران از روی کنجکاوی تصمیم گرفت به یکی از امورهای اجرایی شرکت AnyTown Energy سری بزند. او با اتومبیل خود به آنجا رفت و در نزدیکی درب ورودی پارک کرد. از آنجا به‌راحتی می‌شد صفوف ماشین‌های عملیاتی و پرسنل آماده به کار را مشاهده کرد. یک مرد که مشخص بود فرمانده عملیات این مرکز است بر روی یک سکوی بلند ایستاده بود و نظاره‌گر کارگران و خودروهایی بود که در اطرافش در حال جنب و جوش بودند. او با صدای بسیار بلند به کارگران در حال فعالیت فرمان داد تا کاملا در جای خود بایستند و منتظر دستور باشند.

مسئول عملیات مشغول توجیه کردن گروه‌های مختلف اجرایی شد و به‌طور منظم گروه‌ها به خودروهای خود بازمی‌گشتند و یکی پس از دیگری برای انجام مأموریت از درب شرکت خارج می‌شدند. مشخص بود که همه پرسنل از او دستور می‌گیرند. اما این مرد اطلاعات خود را از کجا می‌آورد؟ تصمیمات خود را بر چه اساسی می‌گیرد؟ ران متوجه شد که رئیس عملیات قصد دارد تعداد زیادی از کارگران را برای اضافه‌کاری نگه دارد. پیش‌بینی تعداد نفرات مورد نیاز برای اضافه‌کاری در شرایط بحرانی بسیار بااهمیت است. اما او چطور تشخیص داد که کارگران را به چه محلی اعزام کند؟ تعیین موقعیت مکانی اعزام گروه‌های عملیاتی مستلزم دانستن این موضوع است که در

شرایط وزش باد شدید و شرایط بد آب و هوایی چه قسمت‌هایی از شبکه برق بیشتر مستعد خرابی و وقوع حادثه است. ران بر این باور بود که این‌گونه موارد، لحظات تعیین‌کننده و مهمی برای شرکت‌های توزیع برق محسوب می‌شود. تصمیم‌گیری صحیح در شرایط بحرانی می‌تواند سکوی پرش یک مدیر باشد و از طرف دیگر انتخاب راهکار نامناسب می‌تواند ضمن افزایش هزینه‌ها، اعتبار شرکت را در نزد مشترکین به خطر بیندازد. مشخص بود که رئیس عملیات تصمیمات خود را از روی نقشه و یا هماهنگی با مرکز کنترل نمی‌گیرد و بیشتر بر اساس حس درونی و تجربه خود مشغول هدایت پرسنل است. آیا تصمیم‌گیری بر اساس تجربه شخصی می‌تواند راهکار مناسبی برای مواجهه با شرایط بحرانی باشد؟

در آن شب، خبرها حاکی از قطع برق به دلیل وقوع طوفان شدید بود. این بدان معناست که فرمانده عملیات مرکز در خصوص نگه‌داشتن پرسنل خود تصمیم درستی گرفته بود. اما آیا او کارگرانش را به محل مناسبی اعزام کرده بود؟ آیا کارگران تجهیزات یدکی لازم برای تعمیر خرابی‌های احتمالی را در اختیار داشتند؟ چقدر طول می‌کشید تا گروه‌های عملیاتی بتوانند شبکه را دوباره به حالت عادی بازگردانند؟ خدا می‌داند صبح روز بعد چه میزان شکایت مردمی از اداره برق صورت گرفته باشد. ران تصمیم گرفت تا در آینده‌ای نزدیک در این خصوص تحقیق کند و راهی برای صحبت کردن با مسئول عملیات آن شب بیابد.

جلسه توجیهی

صبح روز بعد آقای ران، به‌عنوان مدیر جدید GIS، باید در جلسه معارفه حضور پیدا می‌کرد. زمانی که او سوار بر آسانسور در حال حرکت به سمت آخرین طبقه شرکتAnyTown Energy بود، در ذهن خود اطلاعات کسب‌شده از این شرکت را مرور می‌کرد. برای سال‌ها، شرکت AnyTown Energy یک شرکت متوسط در منطقه محسوب می‌شده و در ارزیابی‌ها عملکرد قابل قبولی داشته است. شرکت سود ثابتی را نصیب سهامداران می‌کرده و ارزش سهام شرکت نیز متناسب با ارزیابی‌های صورت گرفته آهنگ رشد متوازنی داشته است. با افزایش هزینه‌ها و رشد مصرف مشترکین، فرسوده شدن تأسیسات و بازنشسته شدن کارگران باتجربه (بعدها آقای ران متوجه شد، یکی از این کارگران در آستانه بازنشستگی، آقای استنلی رئیس عملیات امور غرب است، همان فردی که در روز قبل و در زمان وقوع طوفان، مشغول هدایت کارگران بود.) شرکت روند رو به افولی را آغاز کرده بود. همچنین میزان رضایت مشترکین از عملکرد شرکت کاهش قابل‌توجهی پیدا کرده بود. چند گزارش بازرسی با موضوع عملکرد ضعیف شرکت در زمینه ایمنی، حوادث شغلی و افزایش میزان خاموشی باعث حساسیت منفی مطبوعات و خبرگزاری‌ها شده بود.

شرکت AnyTown Energy تقریبا در همه شاخص‌های ارزیابی شرکت‌های خدماتی در رده متوسط به پایین قرار داشت. شرکت باید در فرآیندهای کاری خود که در گذشته و بر اساس شرایط قبلی جوابگو بوده بازنگری و بر اساس وضعیت جدید و چالش‌های پیش رو برنامه کاری سازمان را تعریف می‌کرد. آقای ران اطلاع داشت که مدیرعامل شرکت بسیار نگران این وضعیت است. هیئت مدیره شرکت نیز به دنبال تغییر وضعیت موجود و ارتقاء جایگاه شرکت است.

درنهایت، مشاور عالی سازمان پس از ارزیابی عملکرد بخش‌های مختلف پیشنهاد پیاده‌سازی یک سیستم GIS سازمانی را به مدیران شرکت ارائه کرده است. سیستم GIS سازمانی به معنای به اشتراک‌گذاری کلیه داده‌های مکانی برای تعداد زیادی کاربر در سطح سازمان است. با استفاده از GIS، امکان تحلیل‌های مکانی جهت شناسایی و رفع بسیاری از مشکلات سازمان فراهم خواهد شد.

با پیاده‌سازی سیستم GIS در بخش توزیع برق و همچنین عمل به توصیه‌های صورت گرفته توسط مشاور عالی، شرکت AnyTown Energy انتظار داشت که دوباره عملکرد شرکت در شاخص‌های ارزیابی روند رو به رشدی پیدا کند و در عرض دو سال، شرکت بهترین رده عملکردی خود را کسب نماید. موفقیت در این برنامه به عملکرد ران برمی‌گشت. او باید با شناخت دقیق نیازهای شرکت و مدل‌سازی یک سیستم GIS سازمانی، گردش‌های کاری و فرآیندهای کلیدی سازمان را ارتقاء می‌داد. سیستم GIS شرکت AnyTown Energy می‌تواند با سایر سیستم‌های اطلاعاتی شرکت یکپارچه‌سازی شود، مثل سیستم مدیریت دارایی (EAM) که وضعیت تجهیزات را رصد می‌کند و سامانه سرپرستی و گردآوری داده (SCADA) که امکان کنترل بلادرنگ شبکه برق را فراهم می‌کند. با یکپارچه‌سازی سیستم‌های اطلاعاتی بر پایه اطلاعات مکانی سیستم GIS، می‌توان استفاده حداکثری از داده‌های شرکت جهت بهبود فرآیندها و گردش‌های کاری سازمان داشت.

علاوه بر سیستم GIS، شرکت به دنبال پیاده‌سازی شبکه هوشمند بود. در بستر شبکه هوشمند، زیرساخت لازم جهت کنترل، مانیتورینگ و اتوماسیون شبکه فراهم خواهد شد. ران از تجربیات قبلی خود می‌دانست که سیستم GIS نه‌تنها برای بهبود کارایی شرکت حیاتی است، بلکه زیرساخت لازم را جهت پیاده‌سازی موفق شبکه هوشمند فراهم خواهد کرد.

شرکت AnyTown Energy بر اساس پارامترهای فنی و اقتصادی، ضرورت پیاده‌سازی سیستم GIS را درک کرده بود. اکنون نوبت ران بود که با یک برنامه‌ریزی مناسب نشان دهد که چگونه می‌توان هزینه‌های سرمایه‌گذاری صورت گرفته جهت پیاده‌سازی سیستم GIS را با ارتقاء عملکرد شرکت جبرانِ کرد. او دو ماه برای تهیه برنامه فرصت داشت و اجرای برنامه در حدود دو سال زمان می‌برد. او قبلا هم این کار را برای دولت محلی انجام داده بود ولی تجربه استقرار سیستم GIS در شرکت توزیع را نداشت. سؤالی که او در ذهن داشت این بود که چگونه می‌توان یک سیستم GIS را برای شبکه توزیع پیاده‌سازی کرد؟ تلاش او در هفته‌های پیش رو آن خواهد بود که این مأموریت را در شرکت AnyTown Energy به سرانجام رساند.

اولین قدم قبل از انجام پروژه، تهیه یک مدل ذهنی از نحوه پیاده‌سازی سیستم است. این آخرین جمله‌ای بود که قبل از پیاده شدن از آسانسور به ذهن ران خطور کرد. اولین کار قابل ارائه‌ای که ران به‌عنوان مدیر جدید GIS شرکت می‌توانست انجام دهد، تهیه مدل مفهومی پیاده‌سازی سیستم GIS بود. او از قابلیت‌های سیستم GIS آگاه بود. GIS حتی در زمانی که دورنما و مأموریت کاری فرآیندهای سازمان متفاوت به نظر می‌رسد، می‌تواند به یکپارچه‌سازی آن‌ها کمک کند. او نمی‌دانست مدیر جدید او که مسئولیت دفتر فناوری اطلاعات و آمار (فاوا) شرکت را بر عهده دارد از توانمندی‌های GIS آگاه است یا خیر. بیشتر مدیران فاوا از قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی بی‌اطلاع هستند. ران با خودش فکر کرد، "خوب من می‌توانم به او آموزش بدهم، البته نه در اولین جلسه ملاقات." ذهن او دوباره به صحنه‌ای که روز قبل دیده بود بازگشت، یک مرکز عملیاتی شلوغ مملو از کارگر و ماشین. بوی روغن و بنزین از همه‌جا به مشام می‌رسید. منظره بسیار گیج‌کننده‌ای بود، اما به هر حال کار انجام می‌شد. اما چگونه؟ ران به این نتیجه رسید که قبل از آنکه بخواهد قابلیت‌های سیستم GIS را به مدیران شرکت آموزش دهد، باید با پیچیدگی‌ها و مفاهیم شبکه توزیع برق بیشتر آشنا شود.

برداشت اولیه

در جلسه معارفه آقای ران با مدیران میان رده شرکت، نائب رئیسِ بخش برق نیز حضور داشت. او در این جلسه حاضر شده بود تا تأکید کند که مدیریت عالی سازمان کاملا پشتیبان پیاده‌سازی سیستم GIS است.

ران از نگاه حاضرین در جلسه حدس می‌زد که احتمالاً برخی از آن‌ها نسبت به آینده این پروژه خوش‌بین نیستند و اعتقادی به تغییرات بنیادی که این سیستم می‌تواند در مجموعه شرکت ایجاد کند ندارند. اما با این وجود، باور عمومی مدیران بر این بود که مستقل از چالش‌ها و نیازمندی‌های استقرار سیستم GIS، مجموعه نیروی انسانی شرکت توانایی به سرانجام رساندن کارهای بزرگ را دارند.

در این جلسه، ران یک سؤال کلیدی از مدیران میان رده سازمان پرسید: "بزرگ‌ترین چالش پیش روی شرکت AnyTown Energy چیست؟" جواب‌ها به این سؤال در پنج دسته زیر طبقه‌بندی می‌شد:

- مدیران عالی شرکت در دسترس نیستند و از نحوه پیشبرد کارها در امورهای اجرایی بی‌خبرند.
- اطلاعات موجود در سازمان قدیمی شده‌اند و مدیریت عالی سازمان حاضر نیست برای به‌روزرسانی آن‌ها هزینه کند.
- مدیریت عالی سازمان به سیاست تعدیل نیروی انسانی ادامه می‌دهد و متوجه مشکلات بعدی آن نیست.
- درگیری و اختلاف با سایر ارگان‌ها مثل سازمان حفاظت محیط‌زیست و سازمان‌های نظارتی زیاد شده است.
- مدیریت عالی سازمان قدر زحمات ما را نمی‌داند و از پیشرفت‌های صورت گرفته راضی نیست.

ران احساس کرد موضوع پیچیده‌تر از آن است که فکرش را می‌کرد. هیچ‌کدام از آن‌ها به چالش‌های کلان سازمان اشاره‌ای نکردند. موضوعاتی مانند نرخ رشد نگران‌کننده مصرف مشترکین، چگونگی افزایش کیفیت خدمات در عین حال که باید هزینه‌ها را نیز کاهش داد و یا چگونگی جایگزین کردن نیروهای انسانی باتجربه سازمان که در آستانه بازنشستگی هستند. بسیاری از اطلاعات سازمانی و تجربیات کاربردی با بازنشسته شدن پرسنل ماهر شرکت از بین می‌رود. ران با خودش فکر کرد، مستندسازی این اطلاعات که حاصل سال‌ها تجربه پرسنل ماهر شرکت است، برای تشکیل پایگاه داده‌ای که او به دنبال ایجادش بود حیاتی است.

یکی از مدیران حاضر در جلسه برای آنکه نشان دهد مجموعه شرکت در حال پیشرفت است یک مثال از تجربیات موفق به دست آمده در مجموعه کاری خود زد. آن‌ها توانسته بودند بازه زمانی واگذاری انشعاب را به‌طور متوسط از دوازده هفته به هشت هفته کاهش دهند. برای انجام این کار آن‌ها سیستم پیام‌رسانی از طریق اینترنت را جایگزین فاکس کرده بودند، مراحل تأیید کار را کاهش داده بودند، برآورد هزینه را در محل انجام می‌دادند و دریافت نقشه محل از متقاضی را جایگزین تهیه طرح در بخش نقشه‌برداری شرکت کرده بودند. همه حاضرین در جلسه برای این اقدام ابتکاری کف زدند.

"از شما به دلیل اینکه اشراف کاملی به فرآیندهای کاری سازمان ندارم و نمی‌توانم به این سؤال پاسخ دهم عذرخواهی می‌کنم." آقای ران این جمله را گفت و ادامه داد، "اما ممکن است بپرسم چرا شما نمی‌توانید در همان روز درخواست انشعاب توسط متقاضی این عملیات را انجام دهید؟ چرا این گردش کاری هشت هفته زمان می‌برد؟ "پاسخی که او دریافت کرد جالب بود، "شما مثل مدیران عالی سازمان فکر می‌کنید و درکی از مشکلات اجرایی پروژه‌ها ندارید."

پیشرفت یا تحول

بعد از جلسه، نائب رئیس بخش برق چند توصیه را به آقای ران گوشزد کرد، "من برای اینکه شما با فعالیت‌های شرکت زودتر آشنا شوید از دستیارم خانم فلو خواهش کرده‌ام که مدتی را در کنار شما کار کند. او به همه فرآیندهای سازمان اشراف نسبی دارد و می‌داند که در بخش ستادی و همچنین در امورهای اجرایی چه می‌گذرد." و از این طریق بود که آقای ران با خانم فلو آشنا شد.
او برای خانم فلو توضیح داد که در جلسه با مدیران میان رده شرکت چه گذشته و در خصوص کوتاه کردن فرآیند واگذاری انشعاب چه صحبت‌هایی مطرح شده است. ران گفت: "من اعتقاد دارم که نقش GIS فراتر از ایجاد پیشرفت در فرآیندهای سازمان است. به کمک این تکنولوژی می‌توان در ارتقاء فعالیت‌های شرکت تحول ایجاد کرد." او ادامه داد، "بیشتر افراد حاضر در جلسه اعتقاد داشتند که کاهش زمان واگذاری انشعاب از دوازده هفته به هشت هفته بسیار ارزشمند است، اما نظر آن‌ها در خصوص کاهش زمان واگذاری انشعاب از ۱۲ هفته به یک ساعت چه خواهد بود؟ این یک تحول واقعی است." آقای ران خود را تنها مسئول پیاده‌سازی سیستم GIS نمی‌دانست، بلکه به دنبال آن بود که توجه مدیران را از مشکلات جاری سازمان فراتر ببرد و نوع نگاه آن‌ها را تغییر دهد. GIS به عنوان یک پایگاه داده زیرساختی می‌تواند کلیه فرآیندهای کاری مکان محور شرکت را یکپارچه‌سازی کند. یک سیستم GIS نه‌تنها می‌تواند باعث رشد و ارتقاء فرآیندهای کاری سازمان شود، بلکه می‌تواند شرکت را برای آینده آماده کند.
خانم فلو با صبر و حوصله به صحبت‌های ایده‌آل گرایانه آقای ران گوش می‌داد. "پیشرفت، ارتقاء فعالیت‌های گذشته است درحالی‌که تحول، شکستن ساختارهای قبلی است. پیشرفت تدریجی است اما تحول، یک جهش بزرگ است، مثل کاهش زمان واگذاری از دوازده هفته به یک ساعت. تحول، نیازمند به‌کارگیری تکنولوژی‌های نوین است. باید نگاه‌ها را تغییر داد و الگوهای جدیدی کشف کرد. پیشرفت باعث ارتقاء فرآیندهای کاری می‌شود درحالی‌که تحول، کسب و کار را دگرگون می‌سازد." آقای ران ادامه داد، "پیشرفت هیچ ایرادی ندارد. هر کسب و کاری باید روند جاری خود را بهبود دهد و از ابزارها و تجهیزات جدید استفاده کند. گاهی اوقات، تکنولوژی‌هایی وارد عرصه می‌شود که می‌تواند تغییرات اساسی در شرایط موجود ایجاد کند. GIS یکی از این تکنولوژی‌هاست. GIS با به تصویر کشیدن اطلاعات مکانی و توصیفی بر روی نقشه‌های جغرافیایی هم می‌تواند مشکلات را نشان دهد و هم به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌ساز جهت رفع مشکلات عمل کند. بنابراین چرا به این طرف حرکت نکنیم تا ببینم شرکت‌ها فارغ از تفکرات قدیمی و داده‌های منسوخ شده چه اقداماتی جهت بهبود امور می‌توانند داشته باشند؟ شرکت‌ها اول باید درک کنند که تکنولوژی GIS می‌تواند یک نقش تحولی در سازمان داشته باشد و بعد باید تلاش کنند سیستم‌های قدیمی که باعث می‌شوند این نقش تحولی در حد پیشرفت محدود شود را کنار بگذارند."
خانم فلو که با دقت به صحبت‌های ران گوش می‌داد پرسید: "آیا می‌دانی چرا کنار گذاشتن تفکرات و سیستم‌های قدیمی این‌قدر دشوار است؟" سپس ادامه داد، "روش‌های اجرایی قدیمی همان‌هایی هستند که زمانی خوب به کار می‌آمدند و اکنون آن‌قدر در ذهن نیروی انسانی رسوخ کرده‌اند که ثابت کردن ناکارآمدی آنها کار دشواری است. مدیران میانی در شرکت AnyTown Energy تصور می‌کنند که مدیران ارشد سازمان مشکلات آن‌ها را درک نمی‌کنند. همچنین آن‌ها دل‌بستگی شدیدی به سیستم‌های قدیمی دارند. چون این سیستم‌ها در گذشته و برای بازه زمانی طولانی عملکرد خوبی داشته‌اند و برای آن‌ها غیرقابل تصور است سیستم جدیدی که بخواهد تغییرات بنیادی در گردش‌های کاری سازمان ایجاد کند را بپذیرند. درمجموع، آن‌ها نسبت به عملیاتی بودن راهکارهای نوین خوش‌بین نیستند."

ران گفت: "دقیقاً به همین دلیل است که آن‌ها باید به سمت استفاده از تکنولوژی‌های متحول کننده مانند GIS بروند. درواقع، GIS به شرکت‌های برقی این امکان را می‌دهد تا الگوها و رفتارهایی را بر روی نقشه مشاهده کنند که هیچ تکنولوژی دیگری قادر به انجام آن نیست." آقای ران برگه‌ای را از داخل کیف خود درآورد و به خانم فلو نشان داد. در این برگه چشم‌انداز پیاده‌سازی سیستم GIS در یک شرکت خدماتی به تصویر کشیده شده بود. این همان دیاگرامی بود که او در جلسه استخدامی خود به مدیران شرکت نشان داده بود (شکل ۱-۱). ران گفت: "سیستم GIS باید با برقراری ارتباط با سایر سیستم‌های اطلاعاتی شرکت، زیرساخت یکپارچه کننده کلیه فرآیندهای مکان محور سازمان را تشکیل دهد. با استفاده از GIS می‌توان الگوهای مکانی موجود در داده‌های سازمان را شناسایی کرد. نتایج و تصمیمات مبتنی بر GIS برگرفته از آخرین وضعیت داده‌های توصیفی و مکانی موجود در سطح شرکت است."

شکل ۱-۱- سیستم GIS سازمانی، زیرساخت یکپارچه کننده کلیه داده‌های مکان محور سازمان را فراهم می‌کند. (منبع: Esri)

خانم فلو گفت: "من متوجه منظور تو شدم و درباره صحبت‌های تو بیشتر فکر خواهم کرد، اما قبل از اینکه توقع داشتی باشی دیگران نیز صحبت‌های تو را قبول کنند برای تو پیشنهادی دارم."
سپس خانم فلو او را به دفتر کار خودش برد و درحالی‌که به سمت قفسه کتاب‌ها راهنمایی‌اش می‌کرد، گفت: "ببین، خیلی خوب است که تو در گذشته متوقف نشده‌ای و نگاهت به آینده است. صرف‌نظر از اختلاف سلایق موجود، این باور عمومی در مجموعه مدیران شرکت وجود دارد که

چنانچه در شرایط فعلی برای چالش‌های پیش روی سازمان راهکار مناسبی در نظر گرفته نشود، مواجه شدن با این چالش‌ها در آینده بسیار سخت‌تر خواهد بود. به اعتقاد من، در حال حاضر بزرگ‌ترین اولویت کاری تو این است که همان‌طور که به GIS تسلط داری، از شبکه توزیع برق و کسب‌وکارهای موجود در شرکت نیز شناخت پیدا کنی."

با سابقه قبلی که آقای ران در پیاده‌سازی سیستم GIS در دولت محلی داشت به‌خوبی از نحوه کار با داده‌های مکانی مطلع بود. او می‌دانست که چطور می‌توان این حجم داده وسیع و پراکنده را برداشت و از آن در تحلیل‌های مکانی استفاده کرد. همچنین با نحوه ساخت سرویس از داده‌های مکانی و نمایش آن در قالب صفحات وب به‌خوبی آشنا بود. او با خودش فکر کرد بهتر است در قدم اول با مطالعه کتاب‌های موجود در دفتر کار خانم فلو، دانش خود را در زمینه مفاهیم و کسب‌وکار بخش توزیع برق افزایش دهد.

برنامه شرکت این بود که سیستم GIS را در کلیه بخش‌ها جاری‌سازی کند، اما در مرحله اول آن‌ها به دنبال استقرار این سیستم در بخش توزیع برق بودند. ران به دنبال آن بود که با پیاده‌سازی سیستم GIS در بخش توزیع برق، مزایای آن را به مدیران شرکت نمایش دهد و برای ادامه کار حمایت بیشتری را جلب کند. با توجه به وسعت و پراکندگی تجهیزات در شبکه توزیع، استقرار سیستم GIS در این بخش می‌توانست بازدهی بسیار بالایی داشته باشد. از طرف دیگر، با توجه به برنامه شرکت برای پیاده‌سازی شبکه هوشمند در بخش توزیع و اهمیت دسترسی به داده‌های مکانی جهت اجرای موفق هوشمند سازی، این تصمیم مدیران کاملا منطقی به نظر می‌رسید. حق با خانم فلو بود. قبل از اینکه او بخواهد یک سیستم GIS در بخش توزیع برق راه‌اندازی کند باید اطلاعات بیشتری را در خصوص شبکه توزیع برق کسب می‌کرد، اطلاعاتی مثل نحوه کارکرد شبکه توزیع، اجزای آن و چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی آن.

چالش‌های پیش روی شرکت‌های توزیع

با جستجو در اینترنت و مطالعه کتاب‌هایی که خانم فلو به او داده بود، آقای ران متوجه شد که سختی یادگیری مفاهیم شبکه توزیع برق به نسبت سختی‌ها و چالش‌های پیش روی این صنعت تقریبا هیچ است. در سال ۲۰۱۰، مشترکین برق در کشور آمریکا در حدود چهار تریلیون کیلووات ساعت برق مصرف کرده‌اند (به یادداشت‌های ران در خصوص نحوه اندازه‌گیری انرژی برق مراجعه کنید). در کل دنیا در این سال، مصرف برق در حدود ۱۶ تریلیون کیلووات ساعت بوده است. پیش‌بینی می‌شود میزان مصرف برق تا سال ۲۰۲۵ به ۳۰ تریلیون کیلووات ساعت برسد. هزینه هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۰ بین ۸ تا ۱۲ سنت برای هر کیلووات ساعت بوده است. با این حساب آمریکایی‌ها در حدود نیم تریلیون دلار برای مصرف برق در یک سال هزینه پرداخت کرده‌اند. این پول بسیار زیادی است.

ران شروع به یادداشت‌برداری کرد. درواقع، او دفترچه یادداشتی با خود برداشت تا بتواند همه‌جا آن را با خود ببرد و نکاتی که به ذهنش می‌رسد را یادداشت کند (یادداشت‌های موجود در کتاب و ضمیمه‌ها را مشاهده کنید).

دورنمای افزایش مصرف

ران در دفترچه یادداشتش نوشت که در سال ۲۰۱۰ رانندگان آمریکایی به‌طور متوسط در حدود

۴۰۰ میلیون بشکه بنزین در طول یک روز مصرف کرده‌اند. با در نظر گرفتن هزینه چهار دلار برای هر بشکه، شهروندان آمریکایی مشابه هزینه پرداخت شده برای انرژی برق و در حدود همان نیم تریلیون دلار پرداخت کرده‌اند. چنانچه مردم تصمیم بگیرند به‌جای خودروهای بنزینی از خودروی برقی یا هیبریدی استفاده کنند چه اتفاقی خواهد افتاد؟

یک بشکه بنزین در حدود ۳۶kWh انرژی تولید می‌کند. فرض کنید به‌طور متوسط بازدهی خودروی بنزینی را ۲۵ درصد و بازدهی خودروی الکتریکی را ۶۵ درصد در نظر بگیریم. با این حساب، در مقایسه با خودروهای بنزینی ما نیاز به تأمین ۱۲kWh انرژی الکتریسیته در خودروهای برقی داریم. در بدترین حالت و چنانچه همه مردم به سمت خودروهای برقی بروند، شرکت‌های تولید برق ناچار هستند میزان تولید روزانه را حداقل پنج میلیارد کیلووات ساعت افزایش دهند تا بتوانند جوابگوی این رشد مصرف باشند. این بدان معناست که نیروگاه‌ها باید سالیانه در حدود دو تریلیون کیلووات ساعت (حدود نصف تولید فعلی) بیشتر از میزان تولید قبلی خود تأمین نمایند.

یادداشت‌های آقای ران

اندازه‌گیری انرژی الکتریسیته

واحد اندازه‌گیری بین‌المللی انرژی، کیلووات ساعت است که به‌صورت مخفف با نماد kWh نمایش داده می‌شود. نماد K در سیستم جهانی SI نشان‌دهنده عدد ۱۰۰۰ است. نماد W مخفف کلمه وات است و نماد h مخفف کلمه ساعت است. توان، نشان‌دهنده قدرت مصرفی و یا تولیدی تجهیزات است، مثل میزان مصرف انرژی در یک چراغ و یا میزان تولید انرژی در یک خودروی برقی. توان یک لامپ نشان‌دهنده ظرفیت تولید روشنایی توسط آن لامپ است. واحد اندازه‌گیری توان خودروها در کشور آمریکا اسب بخار است اما در سایر کشورها معمولا با کیلووات اندازه‌گیری می‌شود. انرژی، میزان مصرف و یا تولید توان در طی یک بازه زمانی است. اگر یک لامپ ۱۰۰ وات برای ۱۰ ساعت روشن باشد معادل ۱kWh انرژی مصرف کرده است. (برای اطلاعات بیشتر به ضمایم کتاب مراجعه کنید)

برای درک بهتر موضوع توجه داشته باشید که تأمین دو تریلیون کیلووات ساعت انرژی مصرفی اضافی نیاز به راه‌اندازی ۲۰۰۰۰MW ظرفیت نیروگاهی است. ران با خودش فکر کرد که به‌عنوان یک راه‌کار جایگزین می‌توان با راه‌اندازی پنل‌های خورشیدی این اضافه مصرف را جبران کرد. با توجه به متغیر بودن میزان تولید الکتریسیته توسط پنل‌های خورشیدی، برای تأمین این میزان اضافه مصرف، نیاز به راه‌اندازی ۱۰۰۰۰۰MW نیروگاه خورشیدی است (بسته به شرایط آب و هوایی و همچنین ساعات مختلف شبانه‌روز، میزان تولید پنل‌های خورشیدی به‌شدت نوسان دارد). پنل‌های خورشیدی سطح قابل‌توجهی از زمین را اشغال می‌کنند. با تکنولوژی موجود ساخت پنل‌های خورشیدی، برای تأمین این ظرفیت تولید نیاز به فضای وسیعی در حد زمین‌های بین دو ایالت Delaware و Connecticut در کشور آمریکا است.

افزایش تقاضا در بخش شبکه توزیع

ران در دفترچه خود یادداشت کرد، هرچند شاید بیشتر افراد نگران نحوه تأمین این اضافه مصرف توسط نیروگاه‌ها باشند، اما تحویل این انرژی به مصرف‌کنندگان در بخش توزیع نیز چالش بسیار بزرگی است. در طراحی شبکه توزیع، تأمین برق مصرفی خودروهای برقی در نظر گرفته نشده است. حتی اگر همه

خودروهای برقی شب‌ها شارژ شوند بازهم این افزایش تقاضا باعث اضافه‌بار شدن ترانس‌های بخش شبکه توزیع خواهد شد (به یادداشت‌های ران در خصوص تأثیر خودروهای برقی بر شبکه توزیع مراجعه کنید).

یادداشت‌های آقای ران

تأثیر خودروهای برقی بر شبکه توزیع

تأثیر خودروهای برقی بر شبکه توزیع چه خواهد بود؟ امروزه خودروهای برقی با استفاده از انرژی الکتریسیته ذخیره شده در باتری کار می‌کنند. ظرفیت این باتری‌ها با کیلووات ساعت نشان داده می‌شود. رنج ظرفیت باتری خودروهای برقی بین ۲۰ تا ۲۵ کیلووات ساعت است. این باتری‌ها در صورت شارژ کامل و بسته به وزن خودرو می‌توانند انرژی لازم جهت طی مسیر ۷۵ تا ۱۰۰ مایل را فراهم کنند. میزان توان مصرفی در هر بازه زمانی با تقسیم انرژی بر زمان به دست می آید. به‌عنوان مثال، یک باتری با ظرفیت ۲۵kWh که برای شارژ کامل به ۲۰ ساعت زمان نیاز دارد در هر ساعت معادل ۱.۲۵kW توان مصرف می‌کند. هر چه زمان شارژ کاهش پیدا کند میزان توان مصرفی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین اگر برای شارژ باتری از منبع با ولتاژ بالاتر مثل ۲۴۰ ولت استفاده کنیم و زمان شارژ به ۵ ساعت کاهش پیدا کند، در این صورت میزان توان مصرفی از شبکه به ۵kW می‌رسد. برای آنکه تجسم بهتری داشته باشید، ۵kW معادل توان مصرفی یک هواساز ۳.۵ تا ۴ تنی است. اگر ۵ یا ۶ خودروی برقی در یک محله و به‌صورت هم‌زمان شارژ شوند، در این صورت اضافه‌بار قابل‌توجهی به شبکه توزیع تحمیل خواهد شد.

چنانچه تکنولوژی ذخیره‌سازی انرژی الکتریسیته در خودروهای برقی ارتقاء پیدا کند، احتمال استفاده مردم از این خودروها بسیار بیشتر خواهد شد و این موضوع لزوم چاره‌اندیشی توسط شرکت‌های توزیع برق را دوچندان می‌کند. ارتقاء تکنولوژی صرفاً به بخش باتری‌های مورد استفاده در خودروهای برقی محدود نمی‌شود و برخی شرکت‌ها به دنبال استفاده از خازن‌های با ظرفیت بالا برای افزایش سرعت شارژ و همچنین افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی انرژی الکتریسیته در این خودروها هستند. برخی محققین نیز به دنبال شارژ خودروهای برقی در زمان حرکت هستند. با استفاده از این تکنولوژی دیگر نیاز کمتری به افزایش حجم و ظرفیت باتری‌ها خواهد بود و می‌توان به‌صورت بی‌سیم باتری‌ها را شارژ کرد (با استفاده از القاء الکترومغناطیسی). در هر حالت، شبکه سنتی توزیع دچار تغییرات زیادی خواهد شد.

ران با خودش فکر کرد، در دنیای جدیدی که وسایل نقلیه در حال حرکت به سمت برقی شدن هستند، شبکه‌های توزیع برق باید منتظر چالش‌های جدی باشند. فرض کنید خودروهای برقی بخواهند انرژی الکتریسیته ذخیره شده در باتری‌های خود را به شبکه تحویل دهند و عملا برق تولید کنند. در این صورت بر پیچیدگی‌های شبکه توزیع افزوده خواهد شد. جدا از یک بازه زمانی کوتاه که به دلیل بحران اقتصادی در کشور آمریکا روند مصرف رشد نزولی داشته، در بقیه زمان‌ها همواره مصرف برق رو به افزایش بوده است. اگر این بار اضافی ناشی از افزایش مصرف الکتریسیته در بخش حمل‌ونقل تحقق یابد در این صورت کلیه تجهیزات موجود در شبکه توزیع باید جریان بیشتری را تحمل کنند. حتی بدون افزایش بار ناشی از برقی شدن خودروها، روند طبیعی و رو به رشد مصرف مشترکین فشار زیادی را بر شبکه‌های موجود توزیع وارد می‌کند. اگر خودروهای دیزلی مثل اتوبوس و کامیون هم به سمت برقی شدن بروند، این معضل دوچندان خواهد شد. علاوه بر این، تمایل به توسعه سیستم ریلی به‌ویژه قطارهای سریع‌السیر رو به افزایش است. سیستم ریلی سریع‌السیر از نوع الکتریکی است.کشور آمریکا در بخش حمل‌ونقل بار کاملا وابسته به سوخت مایع است.

این سیستم نیز ممکن است به سمت برقی شدن حرکت کند که دوباره بار مضاعفی را بر شبکه توزیع تحمیل خواهد کرد.
ران خودکارش را روی میز گذاشت و شروع به مالیدن چشم‌هایش کرد. خیلی‌ها در کشور آمریکا اعتقاد دارند که حرکت به سمت خودروهای برقی و سیستم‌های حمل بار برقی به این سرعت اتفاق نخواهد افتاد. با این حال، با توجه به قیمت بالای فرآورده‌های نفتی و سیاست جهانی کاهش آلودگی هوا به نظر می‌رسد انرژی الکتریسیته نقش پررنگ‌تری را در آینده سیستم حمل‌ونقل ایفا خواهد کرد.
درنتیجه، چنانچه هرکدام از این شرایط به وقوع بپیوندد، شبکه برق ناچار است انرژی بیشتری را به مصرف‌کنندگان تحویل بدهد، شاید تا دو برابر میزان فعلی در یک بازه زمانی کوتاه. روش‌های مرسوم در فرآیندهای جاری شرکت‌های توزیع مثل حسابداری، مالی، برنامه‌ریزی، طراحی، مهندسی و بهره‌برداری باید متناسب با این شرایط جدید بازنگری گردد.

شبکه فرسوده تحت فشار

ران چند روز بعد دوباره به دفتر کار خانم فلو رفت تا کتاب‌ها را به او بازگرداند و از او بابت مطالب مفید ارائه شده در این کتاب‌ها تشکر کند. "انرژی به مفهوم توان تحویل داده شده در یک بازه زمانی است،" آقای ران این جمله را با تأکید خاصی بر زبان آورد. این عبارت، مفهوم کلیدی بود که او از مطالعه دقیق کتاب‌ها به آن رسیده بود. اما به نظر می‌رسید این جملات برای خانم فلو که متفکرانه به صحبت‌های او گوش می‌داد خیلی جذاب نبود. آقای ران ادامه داد: "و اگر بخواهیم دورنمای شفاف‌تری را پیش روی خود مجسم کنیم می‌توان گفت که در یک بازه زمانی کوتاه میزان مصرف انرژی الکتریسیته دو برابر خواهد شد."
فلو گفت: "افزایش مصرف تنها چالش پیش روی شرکت‌های توزیع برق نیست. رشد تقاضا موضوع مهمی است اما چقدر نسبت به وضعیت موجود تجهیزات شبکه توزیع شناخت داری؟ آیا می‌دانی بیشتر تولیدکنندگان تجهیزات برقی تمایلی به ضمانت کردن محصولات خود برای بیش از ۲۵ سال ندارند؟ بیشتر بخش‌های شبکه توزیع برق بالای ۲۵ سال تحت بار بوده‌اند. چند وقت پیش و در یک مصاحبه مطبوعاتی که پس از طولانی شدن خاموشی در یکی از مناطق شهر برگزار شد، مدیر بهره‌برداری شرکت کابلی را به خبرنگاران نشان داد که بیش از ۷۰ سال عمر داشت. هیچ‌کس به طور دقیق نمی‌داند که عمر بخش‌های مختلف شبکه توزیع در کشور آمریکا چقدر است. هرچند این شبکه قدیمی تا به حال خوب عمل کرده است اما کسی نمی‌داند که با افزایش بار و فشار بیشتر بر شبکه چه اتفاقی برای آن خواهد افتاد."
"در سال ۲۰۰۹، اداره آمار وزارت کار کشور آمریکا گزارشی را منتشر کرد که نشان می‌داد متوسط سن کارگران شبکه برق بیش از متوسط سن کارگران سایر بخش‌ها و در حدود ۴۵ سال است. این بدان معناست که در ظرف چند سال آینده، تعداد قابل‌توجهی از پرسنل شرکت بازنشسته خواهند شد. زمانی که این کارگران باتجربه و ماهر شرکت را ترک کنند، اطلاعات بسیار مهمی در خصوص شرایط، موقعیت‌ها و نحوه عملکرد اجزای مختلف شبکه توزیع برای همیشه فراموش خواهد شد. هرچند شرکت‌های خدماتی در زمینه ثبت و ذخیره‌سازی داده‌ها پیشرفت زیادی کرده‌اند و امروزه به‌صورت دیجیتالی این کار را انجام می‌دهند، ولی هنوز نواقص بسیاری در این عرصه وجود دارد. یکی از شرکت‌های برق در غرب آمریکا گزارش کرده است که دقیقا نمی‌داند چند پایه در محدوده این شرکت وجود دارد. یکی دیگر از شرکت‌ها در جنوب آمریکا که شرکت پیشرویی نیز محسوب

می‌شود، به این نتیجه رسیده که با توجه به عدم اطمینان به داده‌های موجود، لازم است که کل تجهیزات شبکه را از نو برداشت اطلاعات کند."

فلو در حالی‌که نگران به نظر می‌رسید، گفت: "زمانی که هم‌دوره‌ای‌های من بازنشسته شوند و یا پرسنل جوان‌تر و ماهر شرکت تصمیم به ترک سازمان برای تغییر شغل خود بگیرند، دانش و تجربه مربوط به نحوه مدیریت شبکه در شرایط بحرانی از بین خواهد رفت."

شکل ۱-۲- با توجه به پیچیدگی‌های شبکه توزیع، مدل‌سازی آن در GIS می‌تواند کار دشواری باشد. (منبع: Esri)

ران بسیار متعجب بود و با خودش فکر می‌کرد که آیا بازنشسته شدن و یا جابه‌جا شدن پرسنل شرکت باید باعث از دست رفتن تجربیات و دانش سازمانی گردد (شکل ۱-۲). سپس از خانم فلو پرسید: "با این شرایط و زمانی که اطلاعات دقیقی در خصوص موقعیت مکانی تجهیزات قدیمی وجود ندارد، چطور می‌توان شبکه هوشمند را در شرکت پیاده‌سازی کرد ؟ پیاده‌سازی موفق سیستم اتوماسیون بدون داشتن اطلاعات دقیق و کامل در خصوص موقعیت، مشخصات، شرایط و نحوه اتصال تجهیزات سیستم توزیع، امکان‌پذیر نخواهد بود. برای داشتن شناخت کامل و دقیق از شبکه تنها اطلاعات مکانی و توصیفی تجهیزات کافی نیست، بلکه نوع رفتار سیستم در شرایط تحت بار و ارتباطات آن با جامعه و محیط پیرامون نیز حائز اهمیت است و مستندسازی این اطلاعات کار ساده‌ای نیست."

صحبت‌های آقای ران نکته‌ای را به یاد فلو انداخت. "سازمان‌های نظارتی هر روز ما را ملزم به ارائه مستندات و گزارش‌های بیشتری در خصوص صورت‌های مالی، کیفیت ارائه خدمات، وضعیت ایمنی، کیفیت آموزش پرسنل، شاخص‌های بهره‌برداری، نقاط پرخطر، میزان تولید گاز دی‌اکسید کربن، تأثیرات زیست‌محیطی و موارد دیگر می‌کنند. حساسیت افکار عمومی و سازمان‌های نظارتی نسبت به عملکرد و خطاهای احتمالی شرکت‌های توزیع مثل تخریب محیط‌زیست، برق‌گرفتگی، تصادفات، آلودگی هوا، صدور قبض‌های اشتباه، تأثیرات مخرب ترافیکی، خرابی تجهیزات و تأخیر در زمان اجرای پروژه‌ها بسیار بیشتر شده است. با افزایش حساسیت‌ها، شرکت‌های خدماتی ناچار هستند که زمان بیشتری را صرف پاسخگویی به سازمان‌های نظارتی و مطبوعات کنند و نشان دهند که انطباق لازم را با دستورالعمل‌های تعیین شده دارند. استانداردهای قابلیت اطمینان هرروز سخت‌تر می‌شود.

در همین حال، عمر شبکه نیز در حال افزایش است و اگر راهکار جامع و مدونی برای این شرایط در نظر گرفته نشود، نمی‌دانم که در آینده با چه معضلاتی مواجه خواهیم بود."
ران گفت: "فکر کنم GIS بتواند در زمینه حل این مشکلات کمک کند."
فلو صحبت‌های ران را قطع کرد و گفت: "من حرف تو را قبول دارم، یا حداقل به دانش تو اعتقاد دارم. هدف من از تأکید بر روی این چالش‌ها روشن شدن اهمیت و پیچیدگی موضوع برای توست."
ران برای اولین بار از زمانی که به این شرکت آمده بود لبخند زد. او حالا یک همفکر برای انجام مأموریت خود داشت. او گفت: "حتما می‌دانی که در آینده، با پیشرفت تکنولوژی در زمینه مولدهای مقیاس کوچک، استقبال مشترکین از این نوع تولیدکننده‌های محلی افزایش خواهد یافت. این مولدهای خصوصی که از نوع خورشیدی، بادی و یا گازی کوچک هستند باید با شبکه برق سنکرون شوند تا بتوانند انرژی خود را به سایر مصرف‌کنندگان تحویل دهند. اتصال این نوع نیروگاه‌ها به شبکه توزیع بر پیچیدگی مدیریت و بهره‌برداری از شبکه خواهد افزود."
خانم فلو اضافه کرد، "و به خاطرت بسپار، اگرچه اضافه شدن مولدهای مقیاس کوچک به شبکه می‌تواند برخی از مشکلات شبکه توزیع را کاهش دهد اما ممکن است این مولدها با تزریق جریان اضافی به شبکه، باعث بارگذاری بیش از حد مجاز برخی خطوط شبکه توزیع شوند. درواقع، طراحی شبکه توزیع به‌صورت شعاعی انجام شده و تأثیرات احتمالی مولدهای مقیاس کوچک بر روی آن در نظر گرفته نشده است."
فلو از چهره ران متوجه شد که مطالب مطرح شده برای او سنگین بوده است به همین دلیل گفت: "خوب، به نظر می‌رسد در مطالعاتی که داشتی هنوز به این مطالب برخورد نکرده‌ای. فکر می‌کنم برای امروز کافی باشد. هفته دیگر برنامه‌ریزی می‌کنم تا ملاقاتی با آقای استنلی داشته باشیم. او اطلاعات و تجربیات بسیار خوبی از نحوه اجرای فعالیت‌های شرکت دارد. همین‌طور سری هم به آقای فرانک خواهیم زد. او مسئول سیستم نقشه‌برداری شرکت ما است. همان سیستم قدیمی که قرار است تو سیستم GIS را جایگزین آن کنی."

تلفات الکتریکی

ران پس از ترک دفتر کار خانم فلو، انرژی مضاعفی را برای کشف مسائل جدید در خود احساس می‌کرد. در تمام روزهای آن هفته، ذهن او درگیر مشکلاتی بود که در جلسه معارفه، توسط مدیران میانی شرکت مطرح شده بود. چالش‌ها مهم و واقعی بود. مشکلات درون سازمانی، درگیری‌های برون سازمانی و حتی معضلات جهانی، مسائل مهمی بودند که فراتر از اختلاف سلیقه‌های مدیریتی آینده شرکت را تهدید می‌کردند. او تصمیم گرفت این بار با هدف شناسایی راهکارهای احتمالی فهرستی از مشکلات مهم پیش روی شرکت تهیه کند. او برای انجام این کار به مطالعه و بررسی جامع‌تری نیاز داشت. آقای ران کل تعطیلات آخر هفته را صرف تحقیق در خصوص شناخت چالش‌ها و معضلات پیش روی شرکت‌های توزیع کرد. او موضوع جدیدی را به دفترچه یادداشتش اضافه کرد، تلفات توزیع، بر این اساس که با عبور جریان برق از شبکه توزیع بخشی از آن به‌صورت تلفات هدر می‌شود. این نکته‌ای بود که او در مباحث علمی‌اش با خانم فلو و همچنین مطالعات خود به آن رسیده بود.
شبکه‌های توزیع بخشی از انرژی عبوری را در خود مصرف می‌کنند که با توجه به اینکه این انرژی قابل استفاده برای مصرف‌کنندگان نیست به آن تلفات می‌گویند. این هدر رفت انرژی با واحد کیلووات ساعت اندازه‌گیری می‌شود. با افزایش بار شبکه، میزان تلفات نیز افزایش می‌یابد. تلفات

شبکه توزیع به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول تلفات فنی نامیده می‌شود. منظور از این نوع تلفات، همان هدر رفت انرژی در شبکه توزیع به دلیل عبور جریان الکتریکی و برق‌دار شدن شبکه است. تلفات فنی شبکه توزیع می‌تواند به ۶ درصد میزان انرژی تحویل شده نیز برسد. دسته دوم تلفات، تلفات غیر فنی نام‌گذاری شده است. خرابی وسایل اندازه‌گیری و برق‌دزدی در این دسته قرار می‌گیرد. در برخی نقاط جهان، برق‌دزدی سهم قابل‌توجهی در تلفات شبکه توزیع دارد و ممکن است به ۲۰ تا ۳۰ درصد و حتی مقادیر بالاتر از انرژی تحویلی نیز برسد. ران با خودش فکر کرد که به کمک GIS می‌توان بر روی نقشه نشان داد که در چه محل‌هایی برق‌دزدی بیشتر است.

شرکت‌های توزیع برق برای انجام فعالیت‌های خود وابستگی زیادی به انرژی دارند. ماشین‌های بالابر، حفار، حمل کننده تجهیزات و کلیه ماشین‌های سنگین مورد استفاده در شبکه توزیع، سوخت زیادی مصرف می‌کنند. ساختمان‌های مورد استفاده در شرکت‌های توزیع چه ساختمان‌های ستادی و چه امورهای اجرایی (مشابه اموری که ران روز قبل از شروع به کار در این شرکت از آن بازدید کرده بود) انرژی قابل‌توجهی مصرف می‌کنند. پرسنل شرکت برای انجام مأموریت‌های کاریشان نیاز به خودروهای مصرف کننده انرژی دارند. به‌عنوان یک تأمین‌کننده انرژی، شرکت‌های برقی یک مصرف‌کننده بزرگ نیز محسوب می‌شوند. هرچند میزان دی‌اکسید کربن تولید شده ناشی از مصرف انرژی در شرکت‌های توزیع به نسبت میزان ایجاد شده ناشی از تولید برق در نیروگاه‌ها بسیار کم است اما هنوز یک چالش مهم زیست‌محیطی برای شرکت‌های توزیع محسوب می‌شود.

تغییر انتظارات مشترکین

شرکت‌های توزیع برق برخلاف شرکت‌های انتقال و تولید، به صورت مستقیم با مصرف‌کنندگان سر و کار دارند. مشترکین امروزی با امکاناتی مانند جستجوی پرسرعت در محیط وب، بانکداری اینترنتی، امکان ارسال پیامک و برقراری ارتباط از طریق توییتر، فیس‌بوک، تلگرام و اینستاگرام با مشترکین ۲۰ سال قبل متفاوت هستند. آن‌ها دیگر در خصوص قطع برق و مشکلاتی مانند قبض اشتباه محاسبه شده، مشغول بودن تلفن‌های شرکت، دستی بودن فرآیندها، تأخیر در اجرای پروژه‌ها و نوسانات برق، تحمل مشترکین سابق را ندارند.

بدون شک، تکنولوژی شبکه هوشمند می‌تواند باعث ایجاد تحول در ارتقاء سطح خدمات شرکت به مشترکین شود. با این حال، انتقال از وضعیت فعلی شبکه‌های توزیع به شبکه هوشمند آینده مستلزم صرف زمان و هزینه فراوانی است. ران با خودش فکر کرد که این انتقال از جنبه مالی، فنی و مدیریتی دشواری‌های زیادی خواهد داشت.

مصرف‌کنندگان برق انتظار ارائه خدمات با کیفیت بالاتری را دارند. آن‌ها توقع دارند که هر چه نیاز داشتند بتوانند برق مصرف کنند، آن‌هم با کیفیت مطلوب. همچنین آن‌ها همه این انتظارات را در برابر یک قیمت منطقی طلب می‌کنند. شرکت‌های برق ناچار به پاسخگویی مناسب به درخواست‌های مشترکین خود هستند درحالی‌که سال‌به‌سال بر عمر تأسیسات فرسوده شرکت افزوده می‌شود، پرسنل باتجربه بازنشسته می‌شوند و قیمت کلیه اجناس نیز گران‌تر می‌شود. شرکت‌های برقی که سهامشان در بورس عرضه شده است باید علاوه بر این انتظارات، برآورده کننده توقعات سهامدارانشان نیز باشند. درنهایت، شرکت‌های توزیع باید این اقدامات را در دوره‌ای انجام دهند که میزان کنترل و حسابرسی سازمان‌های نظارتی به‌مراتب بیشتر شده است. یکی از این سیاست‌های کنترلی که اکنون در بسیاری از نقاط جهان دنبال می‌شود، برنامه محدودسازی انتشار گاز دی‌اکسید کربن است. شرکت‌کنندگان در این برنامه متعهد می‌شوند که سطح پاسخگویی و شفافیت خود را

افزایش دهند (به یادداشت‌های ران در خصوص برنامه محدودسازی انتشار گاز دی‌اکسید کربن مراجعه کنید).

چالش‌های پیش روی شرکت AnyTown Energy

با مرور دغدغه‌ها و مشکلات شرکت‌های توزیع برق که او در دفترچه یادداشتش نوشته بود و همچنین مباحثی که با خانم فلو داشت، ران نتیجه گرفت که چالش‌های پیش روی شرکت AnyTown Energy بسیار جدی است. تعجبی نداشت که مدیران ارشد سازمان پیاده‌سازی سیستم GIS را تصویب کرده بودند. روش‌های ساده و موقتی دیگر جوابگوی نیازهای شرکت نبود. حل این چالش‌ها به روش‌های نوین و ساختاریافته نیاز داشت که این ویژگی‌ها در سیستم GIS یافت می‌شود. آقای ران فهرستی از چالش‌های اساسی که شرکتAnyTown Energy با آن روبرو بود تهیه کرد. او بر اساس مطالعات خود دریافت که این مشکلات تقریباً برای همه شرکت‌های توزیع مشترک است. اهم موارد این لیست به شرح زیر است:

- در دهه‌های آینده مصرف برق رشد فزاینده‌ای خواهد داشت.
- تأسیسات موجود فرسوده است؛ جایگزینی تأسیسات فرسوده در کوتاه‌مدت از لحاظ اقتصادی مقدور نیست.
- متوسط سنی کارگران صنعت برق بالاست و زمانی که آن‌ها بازنشسته شوند، دانش و تجربیاتشان را هم با خود خواهند برد. اکثر این تجربیات به نحو مناسبی مستندسازی نشده است.
- سطح توقعات و درخواست‌های مشترکین مرتب در حال افزایش است. آن‌ها به‌سادگی جستجوی آنلاین در اینترنت، انتظار دارند که از انرژی برق با کیفیت استفاده کنند.
- شرکت‌های توزیع برق از لحاظ منابع مالی تحت فشار شدید هستند.
- با توجه به شرایط اجتماعی و اقتصادی موجود، مثل شرایط سخت اقتصادی و بحران بیکاری، افزایش تعرفه‌های برق محتمل به نظر نمی‌رسد.
- مسائل امنیتی، چه فیزیکی و چه سایبری، همچنان یک دغدغه بزرگ محسوب می‌شود.

یادداشت‌های آقای ران

برنامه محدودسازی انتشار گاز دی‌اکسید کربن

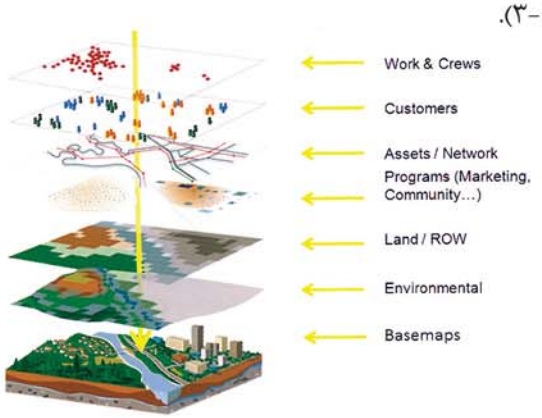
برنامه محدودسازی انتشار گاز دی‌اکسید کربن که به Carbon cap and trade مشهور است، برای کاهش تدریجی اثرات سوء زیست‌محیطی این گاز خطرناک طراحی شده است. با توجه به اینکه انتشار گازهای گلخانه‌ای (ازجمله دی‌اکسید کربن) در تغییرات آب و هوایی اثرگذار است، انتشار گاز دی‌اکسید کربن (یا به شکل ساده‌تر کربن) یک رفتار بد محسوب می‌شود. این برنامه به این شکل طراحی شده است: برای انتشار کربن در هر منطقه (مثل دنیا، کشور و منطقه) یک سقف تعیین شده است. میزان تولید کربن بر اساس واحد تن (معادل هزار کیلوگرم) در هر سال اندازه‌گیری می‌شود. طبق این برنامه قرار است که سال‌به‌سال میزان تولید کربن بر اساس درصد تعیین‌شده کاهش پیدا کند. کلیه شرکت‌کنندگان در این طرح موظف هستند که میزان تولید کربن خود را با استفاده از هر وسیله ممکن طبق برنامه کاهش دهند و درصورتی‌که نتوانند به تعهد خود عمل کنند، جریمه خواهند شد.

این مأموریت از سه طریق امکان‌پذیر است. در روش اول، شرکت‌کنندگان می‌توانند به‌صورت واقعی و از روش‌هایی مثل از رده خارج کردن نیروگاه‌های فرسوده و یا بهینه‌سازی نیروگاه‌های موجود میزان تولید کربن را کاهش دهند. در روش دوم، آن‌ها می‌توانند کاهش تولید کربن را با یک راهکار دیگر جبران کنند، مثل کاشتن درختان به میزان کربن کاهش پیدا نکرده. در روش سوم، آن‌ها می‌توانند معامله کنند. در این روش، شرکت‌کنندگان می‌توانند از یک شرکت دیگر که بیش از سهم خود میزان تولید کربن را کاهش داده اعتبار خریداری کنند. درواقع، یک فروشگاه مجازی برای خرید و فروش اعتبار کاهش تولید کربن ایجاد شده است. اگر یک شرکت رفتار بد خود را تغییر ندهد، ناچار است که آن را با خریداری اعتبار از یک شرکت با رفتار خوب جبران کند.

قطعاً، ران معتقد نبود که تنها با پیاده‌سازی سیستم GIS می‌توان کلیه مشکلات سازمان را برطرف کرد. با این‌حال، ران اطمینان داشت که به کمک GIS می‌توان همه‌چیز را همان‌طور که هست دید و از این طریق، راهکار حل مشکلات را یافت. او می‌دانست که GIS تنها بخشی از راه‌حل نیست، بلکه می‌تواند ابزاری جهت شناسایی و درک چالش‌های پیش روی شرکت AnyTown Energy باشد.

یافتن راهکارهای جامع

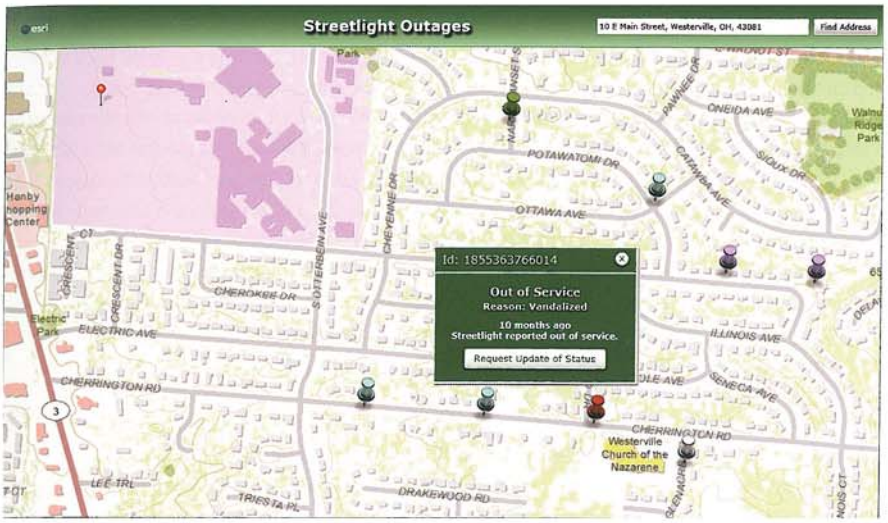
ران فهمید که پیچیدگی و دشواری معضلات شرکت رو به افزایش است و حل این مشکلات از روش‌های معمول امکان‌پذیر نیست. آنچه شرکت‌های توزیع برق مثل شرکت AnyTown Energy به آن نیاز دارند عبارت است از: شناخت و درک بهتر شرایط و موقعیت‌ها، راهکارهای جامع و مدون برای مواجهه با چالش‌های پیش رو و شناسایی تأثیر اقدامات اصلاحی و بازنگری راهکارها برای رسیدن به یک برنامه هوشمندانه و متوازن. ران با خودش فکر کرد که یک سیستم جامع GIS سازمانی می‌تواند به شرکت‌های توزیع برق کمک کند که دید بسیار کامل‌تری از آخرین شرایط موجودشان داشته باشند. این سیستم به آن‌ها کمک می‌کند که با مشاهده موقعیت مکانی تجهیزات بر روی نقشه‌های جغرافیایی تصمیمات آگاهانه‌تری بگیرند. کلیه تجهیزات شبکه توزیع برق ماهیت مکانی دارند و در محدوده شرکت پراکنده شده‌اند. دارایی‌ها، کارکنان، مشترکین و محدوده سرویس‌دهی نیز ماهیت مکانی دارند. GIS ابزاری است برای کشف ارتباطات به‌ویژه ارتباطات مکانی. GIS با برهم نهی لایه‌های مختلف اطلاعاتی بر روی نقشه‌های جغرافیایی به ما دید بهتر و کامل‌تری از شرایط موجود شرکت می‌دهد. GIS به شرکت‌های توزیع برق کمک می‌کند که درک بهتری از اهداف و مأموریت‌هایشان داشته باشند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- سیستم GIS بسیار فراتر از مستندسازی داده‌های شبکه برق است. (منبع: Esri)

ران متوجه شد که صنعت توزیع برق با چالش‌های جدی مواجه است و برای تغییر شرایط نیاز به راهکاری اساسی دارد. سیستم GIS منابع جدید انرژی ایجاد نمی‌کند. همین‌طور به‌طور مستقیم میزان تولید گاز دی‌اکسید کربن را کاهش نمی‌دهد. آنچه این سیستم انجام می‌دهد عبارت است از ایجاد یک زیرساخت مکانی جهت تصمیم‌گیری، همکاری و ارتباط بین افراد، دارایی‌ها و فرآیندها. سیستم GIS به همه رده‌های سازمان این امکان را می‌دهد که درک بهتری از جهان اطرافشان داشته باشند. GIS بعد مکان را به ابزارهای تصمیم‌گیری اضافه می‌کند. بنابراین شرکت‌های توزیع مطلع هستند که مشترکین در چه محل‌هایی پنل خورشیدی نصب کرده‌اند، چه بخش‌هایی از شبکه ازلحاظ آسیب‌پذیری ریسک بالاتری دارد، چگونه باید برنامه تعمیرات و نگهداری تجهیزات را اولویت‌بندی کرد و تأسیسات در چه شرایطی هستند. سیستم GIS می‌تواند به برخی سؤالات کلیدی پاسخ دهد. مانند اینکه، چه محل‌هایی از شبکه است که وقوع یک خطای تکی می‌تواند بیشترین آسیب را داشته باشد؟

ران با خودش فکر کرد که شرکت AnyTown Energy نیازمند سیستم مدیریت اطلاعات تجهیزات، تحلیل‌های مکانی، مکان محور کردن فرآیندها و قابلیت مشاهده یک تصویر بزرگ از شبکه است و همه این‌ها درصورتی‌که بر روی نقشه قابل مشاهده باشد بسیار مؤثرتر است. GIS یک مدل از شبکه توزیع را فراهم می‌کند. در این مدل، کلیه اطلاعات توصیفی و مکانی مربوط به تجهیزات و دارایی‌ها ذخیره‌سازی می‌شود. در این سیستم، ارتباط تجهیزات با یکدیگر و همچنین محیط اطرافشان بر روی نقشه نمایش داده می‌شود. به کمک سیستم GIS بستری فراهم می‌شود تا شرکت‌ها تأثیر اقدامات و تصمیماتشان را به‌صورت بصری مشاهده کنند. با توجه به اینکه تقریبا کلیه فرآیندهای موجود در شرکت‌های توزیع به نحوی با مکان سر و کار دارد، لذا GIS زیرساخت پیاده‌سازی شبکه هوشمند را فراهم خواهد کرد. حتی موارد کوچکی مانند اطلاعات مربوط به روشنایی معابر می‌تواند تأثیر مهمی در ارائه خدمات داشته باشد و این اطلاعات به کمک GIS قابل نمایش بر روی نقشه است (شکل ۱-۴).



شکل ۱-۴- استفاده از محیط وب GIS جهت نمایش و گزارش خاموشی شبکه روشنایی معابر (منبع: شهرداری Westerville ایالت Ohio)

ران زمانی که مستندات مربوط به مشاور عالی سازمان در خصوص پیاده‌سازی سیستم GIS را مطالعه می‌کرد به چند جمله طلایی برخورد کرد: سیستم GIS فراتر از یک پایگاه داده اطلاعات تجهیزات جهت استفاده در سایر سیستم‌های اطلاعاتی مانند سیستم مدیریت توزیع (DMS)، اسکادا و یا شبکه هوشمند است. به کمک اطلاعات مکانی سیستم GIS شرکت‌های توزیع قادر خواهند بود رفتارها و الگوهایی را کشف کنند که منتهی به راه‌حل خواهد شد. با استفاده از تحلیل‌های مکانی، متخصصین GIS مثل ران و همین‌طور مدیران اجرایی آینده‌نگر سازمان می‌توانند در کسب و کار شرکت تحول ایجاد کنند. در کلیه بخش‌های شرکت AnyTown Energy، از برنامه‌ریزان گرفته تا بهره‌برداران می‌توانند با استفاده از سیستم GIS، مشکلاتی که اولویت بالاتری دارند را شناسایی و حل کنند.

ران احساس کرد که اکنون بزرگ‌ترین مشکل خویش یعنی درک کردن چالش‌های سازمان را حل کرده است و حالا نوبت آن است که او به شرکت AnyTown Energy کمک کند تا در آینده به یک شرکت پیشرو تبدیل شود. این کار بسیار سخت به نظر می‌رسید، اما آقای ران قبلا این کار را در دولت محلی انجام داده بود. در تمام دوره‌ای که شرکت خود را برای پیاده‌سازی سیستم GIS و تأمین کردن هزینه‌های آن آماده می‌کرد، ران از موفقیت‌آمیز بودن این پروژه اطمینان داشت.

ران قصد داشت به‌صورت گام به گام سیستم GIS را برای شبکه توزیع پیاده‌سازی کند تا شرکت با تکیه بر این سیستم، مشکلاتی که ناشی از داده‌های ضعیف است را حل کند. او می‌دانست که مهم‌ترین رکن سیستم GIS، نیروی انسانی متخصص است لذا تصمیم گرفت که از بین افراد مجرب و علاقه‌مند، تیم پروژه GIS را تشکیل دهد. او باید در پایان ماه، گزارش اولیه خود را به کمیته راهبری GIS شرکت ارائه می‌کرد. این جلسه زمان مناسبی بود تا او پیشنهاد خود مبنی بر اضافه شدن نفرات جدید به پروژه را مطرح کند و بسیار امیدوار بود خانم فلو هم در این جمع باشد.

بعد از آن، او یک ماه فرصت داشت تا با کمک همکاران جدیدش، برنامه پیاده‌سازی سیستم GIS در طی دو سال آینده را آماده کند. برای این کار او نیاز به طراحی مدل شبکه توزیع در سیستم GIS داشت. با اینکه او کاملا به مباحث GIS ای پروژه تسلط داشت اما برای تهیه مدل مفهومی سیستم GIS شبکه توزیع، او نیاز به شناخت بیشتری از کارکردها و فرآیندهای شرکت داشت، بنابراین ران تصمیم گرفت، در هفته‌های پیش رو به واحدهای مختلف شرکت مراجعه و اطلاعات خود را تکمیل کند.

Modeling Electric Distribution with GIS

فصل دوم

کسب و کار شرکت AnyTown Energy

کسب‌وکار شرکت AnyTown Energy

آقای ران بعد از سال‌ها فعالیت در دولت محلی، آشنایی خوبی با فرآیندهای این بخش پیداکرده بود. اما او در خصوص کسب‌وکار شرکت‌های برق و پیچیدگی گردش کارهای آن‌ها ایده‌ای نداشت. در مسیر راه به سمتِ شرکت، ران نگاهی به بیرون از ماشین انداخت و مناظری توجهش را به خود جلب کرد که قبلا کمتر به آن دقت می‌کرد. تابلوهای فلزیِ کنار پیاده‌روها، خطوط هوایی انتقال برق، پایه‌های بتنی مجاور خیابان‌ها و تجهیزات دیگری که قبلا برای او کاملا عادی و معمولی بودند. قبل از این شغل، ران هم مثل بیشتر مردم ارتباط چندانی با شرکت‌های برق نداشت و تنها ارتباط او زمانی بود که قبض برق دریافت می‌کرد و یا زمانی که برق می‌رفت و او می‌خواست این موضوع را به بخش حوادث شرکت توزیع اطلاع دهد. فراتر از این، او آشنایی بسیار مختصر و ناچیزی با مشخصات تجهیزات برقی و یا فرآیندهای شرکت‌های برق داشت.

او از جلسه معارفه با مدیران شرکت AnyTown Energy متوجه شده بود که در مقابل تغییرات، به خصوص تغییرات بزرگ، مقاومت زیادی در سازمان وجود دارد. اگر او می‌خواست یک سیستم جامع GIS در این شرکت پیاده‌سازی کند، باید کلیه تجهیزات و ارتباطات آن‌ها را در سیستم جدید مدل‌سازی می‌کرد. مدل‌سازی عوارض باید به نحوی صورت می‌گرفت که زیرساخت لازم جهت مکان محور کردن فرآیندهای کاری سازمان تأمین شود. تجهیزات برقی با یکدیگر ارتباط الکتریکی دارند. همین‌طور گردش‌های کاری سازمان نیز به‌هم‌پیوسته هستند. این روابط باید در پیاده‌سازی سیستم GIS مدنظر قرار گیرد. خانم فلو حق داشت. او باید درک جامعی از کسب‌وکار شرکت‌های برق پیدا می‌کرد. بنابراین ران تصمیم گرفت در هفته دوم خدمت خود در شرکت AnyTown Energy بر روی فرآیندهای کاری شرکت مطالعه کند. با مراجعه به بخش‌های مختلف شرکت او می‌توانست اطلاعات خوبی در این زمینه کسب کند.

برای ران جای شگفتی بود که انرژی الکتریسیته آن‌چنان بخشی از زندگی روزمره ما شده است که تجهیزات تأمین‌کننده برق منازل، مغازه‌ها و کارخانه‌ها تقریبا برای مردم نامرئی شده است. می‌توان گفت شبکه برق جزئی از چشم‌انداز شهری شده است. اگر شما از ۱۰نفر از مردم بپرسید که برق منزل شما توسط شبکه هوایی منتقل‌شده از روی پایه‌های چوبی و بتنی تغذیه می‌شود و یا از طریق شبکه زمینی دفن شده در زیر زمین، احتمالا بیشتر آن‌ها هیچ ایده‌ای برای پاسخگویی به این سؤال ندارند.

شکل ۲- ۱- شبکه توزیع برق هوایی (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

البته زمانی که برف سنگینی می‌بارد و یا طوفانی اتفاق می‌افتد و برق شما قطع می‌شود، با دیدن منظره پایه‌های سقوط کرده بر روی زمین و یا سیم‌های برق درهم‌تنیده، تازه متوجه می‌شوید که برق منزل شما از طریق شبکه هوایی تغذیه می‌شود و شرایط آب و هوایی نیز بسیار بر روی آن تأثیرگذار است. همچنین زمان قطع برق، مستقل از اینکه نحوه برق‌رسانی به محل شما چگونه باشد، تازه متوجه میزان وابستگی خود به انرژی الکتریسیته می‌شوید. در بیشتر اوقات، مردم توجهی به تجهیزات برقی و یا نحوه تأمین برق محل سکونت خود ندارند. تنها زمانی که آن‌ها بخواهند خاموشی منزل خود را گزارش کنند و یا اینکه در خصوص قبض برقشان اعتراضی داشته باشند، با شرکت برق سروکار پیدا می‌کنند.

ران با جستجو در اینترنت به دو عکس از شبکه توزیع برخورد کرد. عکس اول متعلق بود به شبکه هوایی (شکل ۲-۱) و عکس دوم (شکل ۲-۲) مربوط می‌شد به تجهیزات شبکه زمینی. سپس او یک تصویر دیگر یافت که در آن شبکه‌های هوایی و زمینی بر روی نقشه‌های سیستم GIS به نمایش درآمده بودند(شکل ۲-۳).

شکل ۲- ۲- نمونه ای از تجهیزات شبکه زمینی (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

شکل ۲-۳- نمایش شبکه هوایی (خطوط پیوسته) و شبکه زمینی (خطوط نقطه چین) بر روی سیستم GIS
(منبع: شهرداری شهر Westerville در ایالت Ohio)

شرکت‌های توزیع برق فرآیندهای کاری پیچیده‌ای دارند که با بخش‌های مختلف درگیر است. بخشی از این فعالیت‌ها برای ما مشهود است و برخی کمتر به چشم می‌آید. فرآیند تعمیرات و نگهداری تجهیزات شبکه، برق‌دار کردن مجدد شبکه در زمان خاموشی و صدور قبض اقداماتی هستند که تجسم آن‌ها چندان دشوار نیست. آنچه ران، با عمیق شدن بر روی فرآیندهای کاری شرکت‌های توزیع به آن پی برد، سایر فعالیت‌هایی بود که کمتر برای مردم عادی شناخته‌شده است (شکل ۲-۴).

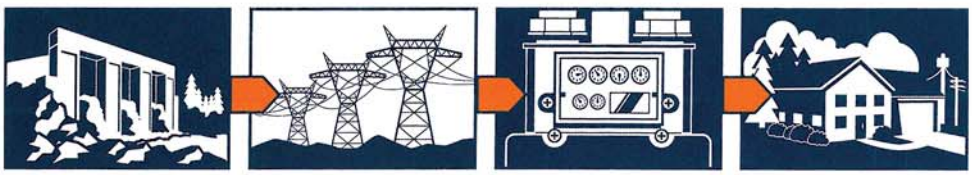
شکل ۲-۴- شرکت‌های توزیع فرآیندهای کاری پیچیده‌ای دارند. (منبع: Esri)

شرکت‌های چندبعدی

پیچیدگی کسب‌وکار شرکت‌های توزیع کمتر از پیچیدگی فنی و علمی شبکه توزیع برق نیست. علاوه بر این، برخی شرکت‌ها مثل شرکت AnyTown Energy چهار فرآیند کاری مختلف شامل تولید، انتقال، توزیع و خرده‌فروشی برق را با هم اداره می‌کنند. در شرکت‌های برق، تصدی‌گری زنجیره تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریسیته به شکل‌های مختلف صورت می‌گیرد. برخی شرکت‌ها تنها متولی بخش تولید هستند. تعدادی از شرکت‌ها بخش تولید و انتقال را با هم اداره می‌کنند. بیشتر شرکت‌های توزیع هم عهده‌دار توزیع انرژی الکتریسیته هستند و هم خدمات مربوط به فروش انرژی را انجام می‌دهند. در برخی شرکت‌های توزیع نیز خدمات فروش انرژی و یا به‌اصطلاح خرده‌فروشی برق به‌صورت رقابتی و توسط بخش خصوصی انجام می‌شود. شرکت AnyTown Energy در محدوده تحت پوشش خود، متولی چهار بخش مختلف زنجیره تولید، انتقال و توزیع برق است. ران استخدام شده بود که یک سیستم GIS سازمانی را در این شرکت راه‌اندازی کند، البته با اولویت شبکه توزیع. ران به دنبال پیاده‌سازی سیستمی بود که کلیه نیازمندی‌های مکان محور سازمان را پاسخگو باشد. ران می‌دانست یکی از مواردی که باعث شده GIS تا این حد سودمند باشد آن است که بستر لازم جهت ارزیابی فرآیندهای کلیدی سازمان را فراهم می کند. GIS حتی این امکان را برای شرکت‌های برق فراهم می‌کند تا بتوانند الگوها و روندهای ناشناخته را شناسایی کنند. یک سیستم GIS جامع به کاربران کمک می‌کند تا تصمیم صحیح را در مکان درست و زمان مناسب بگیرند.

با بررسی بیشتر کسب‌وکار شرکت AnyTown Energy، ران متوجه شد که برای پیاده‌سازی سیستم GIS کاری فراتر از یافتن راهکارهایی جهت مستندسازی اطلاعات شبکه توزیع دارد. در قدم اول او باید مدل اطلاعاتی سیستم را تهیه می‌کرد. برای این کار او باید کلیه عوارض و اقلام اطلاعاتی مورد نیاز را بر اساس فرآیندها و اهداف کاری سازمان شناسایی می‌کرد. او در دفترچه یادداشت خود نوشت: مشخص کردن توصیفات مورد نیاز برای پیاده‌سازی یک مدل ضروری است با این‌حال تعیین قالب و روابط بین داده‌ها، اساس و زیرساخت اطلاعات را تشکیل می‌دهد. او باید مدل اطلاعاتی سیستم GIS بخش توزیع را بر اساس واقعیت خارجی شرکت‌های برق و فرآیندهای جاری آن‌ها تشکیل می‌داد. برای انجام این کار، او باید درک درستی از نحوه ارتباط بخش توزیع با سایر بخش‌های زنجیره تأمین برق پیدا می‌کرد.

زنجیره تأمین انرژی الکتریسیته شامل چهار بخش است: تولید، انتقال، توزیع و خرده‌فروشی برق (شکل ۲-۵). از دیدگاه تجاری می‌توان این زنجیره را این‌گونه توصیف کرد: تولید انبوه، حمل و جابه‌جایی، تحویل محلی، خدمات پس از فروش. هرکدام از این بخش‌ها یک کسب‌وکار مجزا است که در آن از فرآیندهای کاری و فناوری‌های متفاوت استفاده‌شده است. شرکت AnyTown Energy از آن دسته از شرکت‌های برق است که هر چهار بخش را به‌صورت یکجا مدیریت می‌کند.



شکل ۲- ۵- اجزاء مختلف زنجیره تامین انرژی برق (منبع: Esri)

تولید

بخش تولید، متولی نیروگاه‌های برق (شکل ۲-۶) و تولید انرژی الکتریسیته است. تأمین سوخت، افزایش راندمان، ایمنی، امنیت، آلودگی محیط‌زیست و مکان‌یابی، عمده چالش‌های بخش تولید محسوب می‌شوند. همین‌طور مشابه هر بنگاه اقتصادی، نیروگاه‌ها با مشکلات دیگری نیز روبرو هستند. تجهیزاتی که در این بخش کاربرد دارد شامل روتور، استاتور، سیستم تأمین سوخت، سیستم کنترل و ابزار دقیق، سیستم لوله‌کشی، سیستم‌های کامپیوتری و بخش مکانیکی می‌شود.

شکل ۲-۶ یک نمونه نیروگاه تولید برق (منبع: شرکت برق leungchopan)

انرژی الکتریسیته از نیروگاه‌ها توسط ترانس‌های قدرت به بخش انتقال تحویل داده می‌شود. این عملیات معمولا توسط پست‌های برق که به فاصله کمی از نیروگاه‌ها قرار دارند صورت می‌گیرد. پست‌های برق نیروگاهی که شامل ترانس و کلیدهای قدرت می‌شود، نقطه اتصال بخش تولید و انتقال به شمار می‌رود.

یادداشت‌های آقای ران

مدل اطلاعاتی

یکی از اقدامات اولیه برای پیاده‌سازی یک سیستم GIS و یا هر پروژه بزرگ IT، ایجاد مدل اطلاعاتی سیستم است. مدل اطلاعاتی باید پاسخگوی این پرسش‌های کلیدی باشد: داده‌های موردنیاز برای پاسخگویی به نیازهای سازمان چه هستند؟ چه کسانی متولی تولید، حذف و به‌روزرسانی داده‌ها هستند؟ و ساختار داده‌ها به چه شکل است؟ پاسخگویی به این سوال‌ها مستلزم شناخت کلیه نیازهای سازمان و توجه به جزئیات است. باید کلیه عوارض و تجهیزات مورد نیاز و همچنین اقلام اطلاعاتی هر تجهیز شناسایی شود. برای تهیه مدل اطلاعاتی باید چشم‌انداز و دورنمای پیاده‌سازی سیستم GIS و همچنین ارتباط این سیستم با سایر سیستم‌های موجود شرکت نیز تعریف شود.

مدیر GIS باید با ارزیابی دقیق فرآیندهای کاری سازمان، مدل اطلاعاتی را بر اساس داده‌های مورد نیاز،

کاربردها و گردش‌های کاری تعریف نماید. در تهیه مدل اطلاعاتی باید این سؤالات کلیدی در نظر گرفته شود: داده‌ها چه هستند و چه ساختاری دارند؟ کاربرد این داده‌ها چیست؟ نتایج باید به چه شکلی نمایش داده شود؟ مدل اطلاعاتی شامل مدل داده، کاربردها، گردش‌های کاری و نتایج و گزارش‌های تولیدی سیستم می‌شود. همچنین مدل اطلاعاتی می‌تواند شامل معماری کاربری سیستم نیز باشد.

برای تهیه مدل اطلاعاتی، مدیر GIS باید اقدامات زیر را انجام دهد:

۱. شناخت فرآیندهای کاری سازمان و گردش کارهای این فرآیندها
۲. شناسایی کاربران سیستم و نیازسنجی کاربران بر اساس فرآیندهای کاری
۳. تهیه دورنمای سیستم GIS و ارتباط این سیستم با سایر سیستم‌های موجود شرکت
۴. تعیین لایه‌های اطلاعاتی و اقلام توصیفی مورد نیاز برای تجهیزات بر اساس فاز شناخت و نیازسنجی
۵. اطمینان از عدم افزونگی داده در سیستم GIS بر اساس شناخت صورت گرفته از سایر سیستم‌های موجود در شرکت
۶. تشکیل پایگاه داده به شکلی ساده و با توجه به نیاز سازمان به‌نحوی که بتوان در صورت نیاز بعداً آن را تکمیل کرد و اجتناب از تشکیل یک پایگاه داده پیچیده و غیرقابل توسعه.
۷. شناسایی ابزارهای کاربردی هر واحد با هدف ساده‌سازی اجرای فرآیندهای کاری و همچنین صرفه‌جویی اقتصادی و زمانی
۸. طراحی معماری سیستم بر اساس فاز شناخت و نیازسنجی

با دیدن نحوه ارتباط سیستم تولید و انتقال، ران با خودش فکر کرد که باید هماهنگی زیادی بین کسب‌وکار این دو بخش وجود داشته باشد. GIS می‌تواند کاربردهای زیادی برای بخش تولید داشته باشد. مکان‌یابی محل احداث نیروگاه، بررسی تأثیرات زیست‌محیطی احداث نیروگاه، بررسی امنیت نیروگاه و بررسی زمین محل احداث نیروگاه ازجمله مهم‌ترین کاربردهای GIS در بخش تولید است.

انتقال

بخش انتقال، متولی تحویل گرفتنِ انرژی الکتریسیته از نیروگاه‌ها و انتقال آن به مراکز عمده مصرف است. مراکز عمده مصرف معمولاً فاصله قابل‌توجهی با مراکز تولید برق دارند و لذا سیستم انتقال بسیار گسترده و وسیع است. شاخص‌ترین تجهیزی که در شبکه انتقال استفاده می‌شود و ما بارها آن را مشاهده کرده‌ایم، دکل‌های انتقال برق است (شکل ۲-۷). به‌ویژه در مناطق برون‌شهری، خطوط انتقال هوایی که بر روی دکل‌های برق عبور کرده‌اند به جزء ثابتی از مناظر دشت‌ها و کوهستان‌ها تبدیل‌شده‌اند. انتقال برق به دو صورت هوایی و زمینی انجام می‌شود. معمولاً در مناطقی که به دلیل محدودیت زمین، امکان احداث شبکه هوایی وجود نداشته باشد از سیستم انتقال زمینی استفاده می‌شود. شبکه انتقال توسط سیستم SCADA کنترل و مدیریت می‌شود.

مکان‌یابی محل احداث پست‌های انتقال، مسیریابی خطوط انتقال نیرو، تعیین ظرفیت تجهیزات، ایمنی، امنیت، قابلیت اطمینان، مدیریت پوشش گیاهی مسیر خطوط انتقال نیرو، مسائل زیست محیطی و بلایای طبیعی، عمده چالش‌های بخش انتقال هستند. از دیدگاه تجاری، بخش انتقال، متولی قراردادهای عمده‌فروشی بلندمدت با مصرف‌کنندگان بزرگ (مثل کارخانجات) و البته شرکت‌های توزیع است. با توجه به گستردگی و به‌هم‌پیوستگی شبکه انتقال معمولاً از لفظ گرید یا شبکه برای توصیف آن استفاده می‌شود.

در بیشتر مناطق توسعه‌یافته جهان، شبکه انتقال شامل خطوط و تجهیزات به هم پیوسته‌ای است

که علی‌رغم آنکه اداره آن بر اساس مرزهای جغرافیایی و توسط شرکت‌های مختلف صورت می‌گیرد اما گستردگی آن، فراتر از این محدوده‌ها است و حتی در برخی مواقع از مرزهای بین کشورها نیز عبور می‌کند.

ران در دفترچه یادداشتش نوشت که کاربرد کلمه شبکه برای سیستم انتقال می‌تواند قدری گیج‌کننده باشد، به‌خصوص در مقایسه با اصطلاح شبکه هوشمند. برای بیشتر مردم، عبارت شبکه یادآور یک سری خطوط متقاطع است که تشکیل تعدادی مستطیل را می‌دهد، مثل یک صفحه کاغذ شیت بندی شده.

صنعت برق به این دلیل از عبارت شبکه یا گرید برای توصیف سیستم انتقال استفاده می‌کند که خطوط انتقال به‌صورت به‌هم‌پیوسته و چند سو تغذیه هستند و زمانی که بر روی کاغذ ترسیم شوند به شکل شبکه درمی‌آیند. اما منظور از شبکه هوشمند، ارتباط دوسویه بین مصرف‌کنندگان و متولیان شبکه برق است که می‌تواند در ارتقاء سطح خدمات و کارایی شرکت‌های برق نقش قابل‌توجهی داشته باشد.

ران متوجه شد که GIS می‌تواند کاربردهای فراوانی برای بخش انتقال داشته باشد، کما اینکه در حال حاضر نیز بسیاری از شرکت‌ها از این قابلیت‌ها استفاده می‌کنند. یافتن مسیر بهینه جهت احداث یک خط انتقال یک چالش بزرگ محسوب می‌شود. حل این مسئله نیاز به تحلیل‌های مکانی دارد و باید با در نظر گرفتن عواملی مثل نوع زمین، مراکز جمعیتی، محیط‌زیست و پارامترهای اقتصادی و فنی مسیر بهینه را تعیین کرد.

شکل ۲-۷- شبکه انتقال معمولاً به صورت هوایی احداث می‌شود. (منبع: سایت Shutterstock)

توزیع

بخش توزیع، متولی تحویل گرفتن انرژی الکتریسیته از بخش انتقال و تأمین برق مصرفی مشترکین است. عمده تجهیزاتی که در بخش توزیع کاربرد دارند عبارت‌اند از پایه‌های چوبی و بتنی، پایه‌های روشنایی معابر، پست‌های زمینی و هوایی، لوله‌های بتنی مخصوص عبور کابل، تابلو، جعبه انشعاب،

منهول، کابل و سیم. ران یادداشت کرد که در خصوص نقطه شروع شبکه توزیع و نقطه پایان شبکه انتقال نظرات متفاوتی وجود دارد. درنهایت او عکسی را از شبکه توزیع پیدا کرد که اطمینان داشت حداقل بر روی تعلق این عکس به بخش توزیع اختلاف‌نظری وجود ندارد (شکل ۲-۸).

شکل ۲-۸- یک نمونه از شبکه توزیع هوایی (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

ران به یاد جمله‌ای افتاد که رئیس او در جلسه معارفه درباره مرزبندی بین چهار بخش مختلف شرکت AnyTown Energy به او گفته بود: "پست‌های فوق توزیع مرز بین شبکه انتقال و توزیع محسوب می‌شوند. این پست‌ها بخشی از سیستم توزیع هستند و مسئولیت بهره‌برداری از آن‌ها بر عهده شرکت‌های توزیع است."

چالش‌های عمده‌ای که بخش توزیع با آن روبرو است عبارت‌اند از، قابلیت اطمینان، تعیین ظرفیت تجهیزات، ایمنی، امنیت، شاخه‌بری، مسائل زیست‌محیطی، حوادث و بازیابی شبکه پس از وقوع خاموشی.

خرده‌فروشی

بخش چهارم زنجیره تأمین برق، خرده‌فروشی نامیده می‌شود. در بخش خرده‌فروشی، انرژی الکتریسیته به مشترکین فروخته و هزینه برق مصرفی محاسبه می‌شود. کسب‌وکار خرده‌فروشی برق مستلزم فعالیت‌هایی مانند فروش انشعاب، اندازه‌گیری میزان مصرف، بازاریابی، مدیریت مصرف، محاسبه و چاپ قبوض و خدمات پس از فروش است. تجهیزات این بخش شامل صدها تا هزاران کنتور برق به همراه سیستم‌های مخابراتی و پردازشی می‌شود. عدم وصول مطالبات، دقت محاسبه قبوض، مشترکین بدحساب، مشترکین ناراضی و ارتباط مناسب با مشتریان، عمده چالش‌های بخش خرده‌فروشی است.

کنتورهای برق، مرز بین شبکه توزیع و بخش خرده‌فروشی محسوب می‌شوند. ران با خودش فکر کرد که موقعیت مکانی این تجهیز در سیستم GIS بسیار بااهمیت است. سیستم GIS بخش توزیع باید از نقاط انتهایی بخش انتقال آغاز و کلیه تجهیزات موجود در مسیر تا کنتورهای برق را شامل شود. او داشت کم‌کم به تصویر کامل‌تری از سیستم GIS توزیع در ذهن خود می‌رسید. ران مطمئن نبود که این همه آن چیزی باشد که شرکت AnyTown به آن احتیاج دارد. او اطلاع داشت که کنتورهای هوشمند، قابلیت‌هایی فراتر از اندازه‌گیری مصرف ماهیانه انرژی الکتریسیته مشترکین

دارند. آن‌ها می‌توانند جزئیات مصرف مشترکین در زمان‌های مختلف را ثبت و الگوی بار مشترکین را استخراج کنند. شرکت‌های توزیع با استفاده از منحنی بار مشترکین می‌توانند پیش‌بینی دقیق‌تری از روند مصرف در بخش‌های مختلف داشته باشند. تصویری که ران از یک نمونه کنتور هوشمند در اینترنت پیدا کرد کاملا شبیه کنتوری بود که در خانه پدرش نصب شده بود (شکل ۲-۹). آخرین باری که او به ملاقات والدینش رفته بود بحث داغی بین اعضای خانواده در خصوص قابلیت‌های کنتورهای هوشمند شکل گرفت. با توجه به اینکه شرکت‌های برق می‌توانند با استفاده از کنتورهای هوشمند، میزان مصرف مشترکین را کنترل کنند، بحث بر سر این بود که آیا صلاح است دولت اجازه این کار را به شرکت‌های توزیع بدهد.

شکل ۲-۹- یک نمونه کنتور هوشمند (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

شرکت‌های انحصاری تحت نظارت دولت

ران دوباره به دیدن خانم فلو رفت. "به نظر می‌آید که برای جلسه دوم کاملاً آماده باشی،" خانم فلو با این جمله شروع کرد. "تقریبا در همه کشورها، دولت بر شرکت‌های توزیع نظارت دارد، حتی آن‌هایی که به‌صورت خصوصی و یا سهامی خاص اداره می‌شوند. این بدان معناست که شرکت‌های توزیع باید در خصوص تعرفه خدمات و همچنین میزان سود خود با دولت هماهنگی لازم را انجام دهند. بنابراین می‌توان گفت شرکت‌های توزیع، شرکت‌های انحصاری تحت نظارت دولت هستند. این روال دو مزیت برای شرکت‌های توزیع دارد. اول اینکه آن‌ها نیازی به رقابت با یکدیگر ندارند و دوم اینکه، سرمایه‌گذاری صورت گرفته در بخش توزیع تضمین‌شده است و نرخ بازگشت سرمایه مطمئنی خواهد داشت. اشکال این روال برای شرکت‌های توزیع آن است که آن‌ها بیشتر از مقدار مصوب نمی‌توانند درآمد داشته باشند. اما حسن این کار برای مصرف‌کنندگان آن است که آن‌ها می‌توانند انتظار خدمات مناسب با قیمت عادلانه را داشته باشند. اما چون در عمل رقابتی وجود ندارد، شرکت‌های برق انگیزه کمتری برای کاهش هزینه‌ها و نوآوری در ارائه خدمات دارند."

ران با خودش فکر کرد که GIS می‌تواند به شرکت‌های برق در خصوص محاسبه هزینه ارائه خدمات بسیار کمک کند. در بیشتر شرکت‌های توزیع، نرخ خدمات بر اساس هزینه‌های جاری شرکت، نرخ

بازگشت سرمایه و میزان سود مصوب شرکت تعیین می‌شود. بر اساس سازوکار تعیین‌شده بین شرکت‌های توزیع و دولت، آن‌ها در قبال انحصاری بودنشان نرخ خدمات خود را با نظارت دولت تعیین می‌کنند. شرکت‌های توزیع میزان درآمد خود را بر اساس هزینه‌ها، نرخ بازگشت سرمایه و میزان سود مصوب خود تعیین می‌کنند. اگر یک شرکت بخواهد سرمایه‌گذاری بیشتری در زیرساخت‌های خود انجام دهد، مثلا شبکه هوشمند را پیاده‌سازی کند، میزان سرمایه شرکت افزایش پیدا خواهد کرد و در صورت کسب موافقت دولت، این شرکت می‌تواند هزینه خدمات خود را افزایش دهد.

ران با خودش فکر کرد که داشتن اطلاعات جامع و دقیق از میزان دارایی‌های شرکت بسیار حیاتی است. او در حال فکر کردن به این موضوع بود که خانم فلو با جملات بعدی خود این ذهنیت ران را تأیید کرد، "با توجه به پیچیدگی‌های شبکه توزیع و همچنین نظارت سخت‌گیرانه دولت، دیگر شرکت‌های توزیع نمی‌توانند نسبت به مستندسازی دارایی‌های خود بی‌توجه باشند. به‌عنوان مثال، اگر یک شرکت بخواهد هزینه ارائه خدمات را با توجه به ارزش دارایی‌های نصب‌شده خود تعیین کند در آن صورت باید اطلاعات کامل و دقیقی در خصوص نوع و تعداد تجهیزات، موقعیت نصب آن‌ها، مشخصات و توصیفات آن‌ها و ارزش موجود دارایی‌های خود داشته باشد."

ران با اطمینان گفت: "GIS یک ابزار ایده‌آل برای ساده‌سازی و افزایش دقت فرآیند تعیین نرخ خدمات است."

خانم فلو ادامه داد، "بعد از نشستن گرد و خاک تجدید ساختار شرکت‌های برق در سطح دنیا، روالی که همچنان باقی مانده آن است که علی‌رغم برخی خصوصی‌سازی‌ها در بخش خدمات فروش انرژی اما همچنان شرکت‌های توزیع به شکل شرکت‌های انحصاری تحت نظارت دولت اداره می‌شوند. هرچند در کشور آمریکا تلاش‌هایی در زمینه خصوصی‌سازی فرآیند اندازه‌گیری مصارف مشترکین صورت گرفته است اما همچنان تقریبا در بیشتر کشورها، اندازه‌گیری مصرف توسط شرکت‌های توزیع انجام می‌شود. شرکت‌های توزیع نیز چون تحت نظارت دولت هستند موظف می‌باشند که اطلاعات مربوط به مصارف مشترکین را در اختیار بخش خصوصی قرار دهند."

ران به یاد آموخته‌های خود در خصوص ارتباط بین شبکه توزیع و بخش خرده‌فروشی افتاد. او چیزهایی را می‌دانست که خانم فلو از آن بی‌اطلاع بود. تنها GIS است که می تواند ارتباطات مکانی بین تجهیزات و حتی اجزای موجود در یک تجهیز را مدیریت کند. ران سؤال کرد: "اگر من درست متوجه شده باشم کلیه تجهیزات از ترمینال فشارقوی پست فوق توزیع تا کنتورهای برق جزو شبکه توزیع محسوب می‌شوند؟"

خانم فلو گفته‌های ران را تأیید کرد و ادامه داد، "درست گفتی. حداقل در این شرکت که روال به این صورت است و به همین دلیل است که کسب‌وکار بخش توزیع این‌قدر پیچیدگی دارد. شرکت‌های توزیع ناچار هستند که انرژی الکتریسیته را بر اساس نرخ‌های مصوب و تأییدشده به مشترکین تحویل دهند. به همین دلیل آن‌ها باید اطلاعات کامل و دقیقی در خصوص موقعیت و وضعیت تأسیسات خود داشته باشند. از آنجا که شرکت‌های توزیع یک بنگاه اقتصادی محسوب می‌شوند، لذا باید سود مطمئنی را نصیب سرمایه‌گذاران خود کنند. برای این کار، آن‌ها باید هزینه‌های خود را با دقت بالایی محاسبه کنند. آن‌ها همچنین باید از کیفیت ارائه خدمات خود باخبر باشند، زیرا سازمان‌های نظارتی نسبت به حقوق مصرف‌کنندگان حساسیت ویژه‌ای دارند. اگر مردم از خدمات ارائه شده ناراضی باشند، در این صورت، دولت سخت‌گیری بیشتری در خصوص تعیین نرخ تعرفه‌ها انجام خواهد داد که اصلا به سود شرکت‌های توزیع نیست."

ران گفت: "به عبارت دیگر می‌توان گفت شرکت‌های توزیع باید نسبت به وجهه عمومی خود حساس باشند. چون اگر روابط عمومی خوبی نداشته باشند در آن صورت سرمایه‌گذاران پول خود را در شرکتی که مردم از آن ناراضی هستند هزینه نخواهند کرد."
خانم فلو پاسخ داد: "کاملا صحیح است. شرکت‌های توزیع باید برای رشد مصرف سال‌های آینده برنامه‌ریزی کنند و سرمایه‌گذاری لازم را در تأسیسات خود انجام دهند. اگر این شرکت‌ها بیش از اندازه هزینه کنند و یا وجه خوبی نداشته باشند، ممکن است با اقدامات تنبیهی سازمان‌های نظارتی مواجه شوند. از طرف دیگر اگر سرمایه‌گذاری لازم در بخش زیرساخت‌ها صورت نگیرد، ممکن است شرکت‌های توزیع نتوانند پاسخگویی خوبی به افزایش مصرف مشترکین داشته باشند. و فراموش نکن که انرژی الکتریسیته در عین سودمندی یک کالای بسیار خطرناک محسوب می شود. ما باید اطمینان کسب کنیم که کارکنانمان به‌صورت ایمن از شبکه برق بهره‌برداری می‌کنند و درعین‌حال خطری نیز متوجه مردم نباشد. همه این اقدامات هزینه‌بر است."
ران گفت: "چیزهایی که الان گفتی من را به یاد تصویری انداخت که اخیراً در گوشی خود دیدم." ران گوشی خود را به نحوی در دستش گرفت که خانم فلو هم بتواند آن تصویر را به‌وضوح مشاهده کند (شکل ۲-۱۰). او توضیح داد، "این یک نمونه از قابلیت‌های سیستم GIS در نمایش محدوده‌های پر ریسک و همچنین موقعیت مکانی مشترکین حساس بر روی نقشه است. GIS بهترین ابزار برای نمایش اطلاعات مکان محور است."

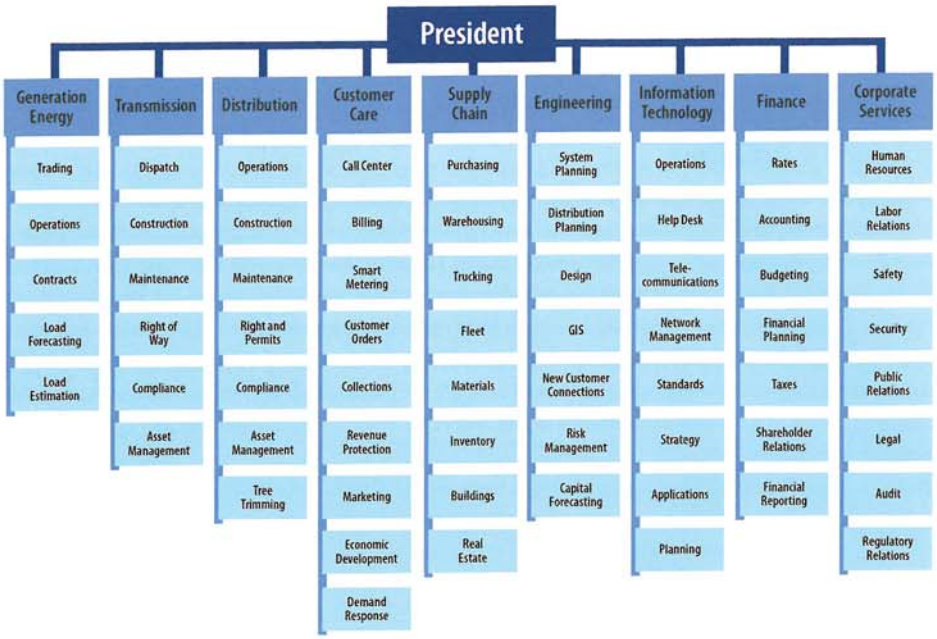
شکل ۲-۱۰- نمایش موقعیت مکانی مشترکین حساس (مثلث‌های قرمز رنگ) و مناطق با نرخ خرابی بالا بر روی نقشه‌های GIS

عدم یکپارچگی واحدها

فرآیندهای اصلی شرکت‌های برق ماهیت مکانی دارند. همه چهار کسب‌وکار اصلی شرکت‌های برق به اطلاعات باکیفیت نیاز دارند. ران اطمینان داشت که با استفاده از GIS بهتر می‌توان اطلاعات را مدیریت کرد. به کمک GIS می‌توان اطلاعات مکانی را بر روی نقشه‌های جغرافیایی به تصویر کشید.

اما سؤال بعدی او پرسشی بود که احتمالاً نه خانم فلو و نه هیچ‌کس دیگر در داخل شرکت نمی‌توانست به آن پاسخ دهد. او باید خودش پاسخ این سؤال را می‌یافت. او می‌دانست که GIS می‌تواند زیرساخت کلیه فرآیندهای کلیدی شرکت باشد از مهندسی و بهره‌برداری گرفته تا خدمات مشترکین و مالی. اما آنچه او نمی‌دانست این بود که واحدهای مختلف شرکت AnyTown Energy به چه میزان و چگونه از نقشه‌های موجود شرکت استفاده می‌کنند. او قصد داشت پاسخ این سؤال را با مراجعه به بخش‌های مختلف سازمان و گفتگو با کارشناسان مرتبط بیابد.

ران قبل از اینکه دفتر کار خانم فلو را ترک کند، نگاهی به چارت سازمانی شرکت انداخت (شکل ۲-۱۱). خانم فلو به او گفته بود که این چارت در اکثر شرکت‌های برق مشابه است. در نگاه اول، او دریافت که همه بخش‌های سازمان به اطلاعات مکانی نیاز ضروری دارند. با این‌حال، حس درونی‌اش به او می‌گفت که هیچ‌یک از واحدها از نقشه های موجود شرکت به صورت جامع و کامل استفاده نمی‌کنند.



شکل ۲-۱۱- نمونه چارت سازمانی در شرکت‌های برق (منبع: Esri)

روز بعد ران چرخی در طبقات شرکت زد تا هم با همکاران جدیدش آشنا شود و هم اینکه بررسی کند بخش‌های مختلف سازمان از چه اطلاعاتی استفاده می‌کنند. زمانی که ران به دفتر املاک شرکت مراجعه کرد، مدیر این دفتر در حال مذاکره تلفنی برای فروش یک قطعه زمین بود. این زمین متعلق به شرکت AnyTown Energy بود و سال‌های زیادی بلااستفاده مانده بود. اما چند ساعت قبل، وقتی‌که ران از دفتر برنامه‌ریزی شرکت بازدید می‌کرد، به‌صورت تصادفی پرونده‌ای را بر روی میز مدیر دفتر برنامه‌ریزی مشاهده کرد که در آن با توجه به رشد مصرف منطقه، پیشنهاد احداث یک پست جدید شده بود. جالب آنجاست که محل پیشنهادی پست جدید درست در یک مایلی قطعه زمینی بود که حالا واحد املاک شرکت به دنبال فروش آن است. ران این موضوع را به خانم پت، مدیر دفتر املاک اطلاع داد.

او خیلی عصبانی شد و گفت، "چرا آن‌ها با من تماس نگرفتند؟ من در آستانه فروش قطعی زمین

بودم. اگر من زمین را فروخته بودم آن‌وقت چه می‌شد؟ احتمالاً آن‌ها هفته بعد به من مراجعه می‌کردند و من مجبور بودم برای خرید یک قطعه زمین جدید کلی دردسر داشته باشم.“ خانم پت با خوش‌شانسی و درست در لحظه آخر توانست قرارداد را فسخ کند. ران هنوز آنجا ایستاده بود که خانم پت گوشی را زمین گذاشت و نفس راحتی کشید.

ران به او گفت: ”با استقرار سیستم GIS همه بخش‌های سازمان به آخرین اطلاعات به‌روز شده مکانی دسترسی خواهند داشت. اتکا کردن به حافظه افراد و یا اطلاعات درون بخشی کار صحیحی نیست. GIS این امکان را فراهم می‌کند که همه کارکنان سازمان از یک پنجره واحد به دارایی‌های شرکت نگاه کنند.“

نقشه‌های قدیمی دیجیتالی

پس از گفتگو با برخی کاربران نقشه‌های دیجیتالی موجود شرکت AnyTown Energy، ران اطلاعات خوبی در خصوص نحوه استفاده از این نقشه‌ها و همچنین مراحل تولید و بازبینی آن‌ها کسب کرد. نقشه‌ها سال‌های زیادی بود که در شرکت استفاده می‌شدند. وجود آن‌ها یک ضرورت برای سازمان بود. بخش‌های مختلف مهندسی، بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و خدمات مشترکین به اطلاعات موجود تأسیسات شرکت نیاز داشتند. شرکت برای تهیه این نقشه‌ها چهار هدف اساسی زیر را دنبال می‌کرد:

- مستندسازی تأسیسات نصب‌شده و امکان مشاهده موقعیت این تأسیسات بر روی نقشه
- در اختیار داشتن نقشه شبکه موجود به‌منظور واگذاری انشعاب، بهینه‌سازی و نوسازی شبکه
- ایجاد زیرساخت لازم جهت تحلیل‌های مهندسی بر روی شبکه، مثل تحلیل پخش بار
- مشخص کردن موقعیت خاموشی بر روی نقشه و تعیین استراتژی بازیابی شبکه

معمولاً مسئولیت تولید، به‌روزرسانی و نگهداری نقشه‌ها بر عهده واحد مهندسی است. صدور دستورکار جدید اغلب توسط واحد مهندسی صورت می‌گیرد. پس از نصب تأسیسات، تکنسین‌های نقشه‌کشی یک کپی از دستورکار به همراه یادداشت‌های مربوط به زمان اجرای پروژه را دریافت و تغییرات ایجاد شده در تأسیسات شرکت را بر روی نقشه شبکه موجود ترسیم می‌کنند. سپس ویرایش جدید نقشه به‌صورت شیت‌بندی شده برای واحدهای اجرایی و مرکز حوادث ارسال می‌شود. گروه‌های عملیاتی نیز درصورتی‌که تغییری در شبکه ایجاد نمایند آن‌ها را بر روی نقشه علامت‌گذاری و یک کپی از نقشه را برای واحد نقشه‌برداری ارسال می‌کنند.

ران خیلی زود متوجه شد که چرا اطلاعات مربوط به یک شیت نقشه به‌درستی در کنار شیت‌های مجاور قرار نمی‌گیرد. در ابتدای امر، افراد در بخش‌های مختلف و با سیاست‌های متفاوت تصمیم به تهیه نقشه گرفته‌اند. در آن زمان، واحد سفارش دهنده نقشه بر اساس نیاز خود مشخص کرده که ابعاد مورد استفاده در نقشه به چه صورت باشد و چه تجهیزاتی در نقشه ترسیم شود. برخی مواقع نیز از پیمانکاران نقشه‌برداری جهت تهیه نقشه استفاده شده است. این پیمانکاران از نقشه‌های پایه متفاوتی استفاده کرده‌اند. برخی نقشه‌ها بر اساس نقشه پایه شهرداری تهیه شده است. از نقشه‌های کاداستر اداره ثبت و نقشه‌های ایالتی نیز استفاده شده است. در کل به نظر می رسد، از هر جا که امکان داشته نقشه پایه دریافت شده است. این روال در خیلی از شرکت‌های خدماتی دیگر دنیا نیز طی شده است. با افزایش پیچیدگی شبکه برق، نقشه‌های جدیدی برای نمایش جزئیات این پیچیدگی‌ها تهیه‌شده است. در طول زمان، با افزایش حجم و تنوع نقشه‌ها و همچنین نیروی انسانی دخیل در این فرآیند، تهیه و نگهداری نقشه‌ها به یک چالش بزرگ برای شرکت تبدیل‌شده است. برخی نقشه‌ها خیلی دقیق و برخی نیز به‌صورت شماتیک ترسیم‌شده بودند. استاندارد ثابت و یکنواختی در تهیه

تهیه نقشه‌ها رعایت نشده بود. سمبل‌ها، مقیاس و سطح نمایش جزئیات در نقشه‌های مختلف، متفاوت بود. واحد نقشه‌برداری، نقشه‌های کاغذی را به‌صورت شیت‌بندی شده نگهداری می‌کرد. برخی مواقع، شیت‌بندی بر اساس استاندارد و سیستم مختصات ایالتی انجام‌شده، اما بیشتر مواقع شیت‌های نقشه به صورت سلیقه‌ای تعریف‌شده بود. به همین دلیل، اطلاعات برداشت‌شده توسط GPS قابلیت انطباق با نقشه‌ها را نداشت (به یادداشت‌های ران در خصوص مقایسه GIS و GPS مراجعه کنید). با استقرار سیستم شیت‌بندی نقشه، برخی واحدها از این نقشه‌ها به عنوان مبنای کاری فعالیت‌های خود استفاده کرده بودند. مبنای استخراج آمار تجهیزات نیز این سیستم قرار داده شده بود. استفاده از این نقشه‌ها برای اولین بار در فرآیندهایی مثل حسابداری تأسیسات، فروش انرژی، خدمات مشترکین و رسیدگی به شکایات در اواخر دهه شصت و اوایل دهه هفتاد میلادی صورت گرفت.

ران به یاد جمله خانم فلو در خصوص سیستم‌های قدیمی افتاد، "آن‌ها زمانی به‌خوبی کار می‌کرده‌اند و کارکنان به آن‌ها خو گرفته‌اند." ناگهان، نگرانی سرتاسر وجود او را فراگرفت. او با خودش فکر کرد، "نکند به جای تمرکز بر روی یک سیستم جامع اطلاعاتی پیشرفته، وقت خود را برای کنار آمدن با یک سیستم قدیمی ریشه دوانده در بخش‌های مختلف شرکت AnyTown Energy تلف کنم؟" خانم فلو گفته بود که هر تغییری ممکن است با مقاومت روبرو شود و این بخشی از طبیعت انسان است. اگر این سیستم قدیمی آن‌چنان در فرآیندهای مختلف رسوخ کرده باشد که مدیران شرکت نخواهند آن را تغییر دهند، آن‌وقت چه باید کرد؟

او شنیده بود که یکی از شرکت‌های توزیع در همسایگی شرکت AnyTown Energy، زمانی که خواسته بود سیستم جدید مالی خود را مستقر کند ناچار شده بود که اطلاعات نقشه‌های شیت‌بندی شده قدیمی را پایه قرار دهد. این شرکت مجبور شده بود نرم‌افزار مالی جدید خود را سفارشی سازی کند و از برخی امکانات آن محروم شود تا بتواند از نقشه‌های قدیمی استفاده کند. با استفاده از فناوری‌های نوین، شرکت می‌تواند فرآیندهای کاری را تسهیل کند. در عوض، درصورتی‌که شرکت نخواهد روش‌های قدیمی را اصلاح و به‌روز کند، امکان پیشرفت و تحول را از خود سلب خواهد کرد.

هرچند در بخش‌های مهندسی و بهره‌برداری استفادهٔ زیادی از شیت‌های نقشه می‌شد اما در سایر بخش‌ها کمتر مورد استفاده قرار می‌گرفت. احتمالاً به این دلیل که فهم آن‌ها دشوار بود و شامل جزئیات فنی زیادی می‌شد. درواقع، این نقشه‌های کاغذی به اسناد بخش مهندسی تبدیل‌شده بود و در سایر بخش‌ها کمتر نمود داشت.

یادداشت‌های آقای ران

مقایسه GIS و GPS

برخی مواقع، مفهوم GIS (سیستم اطلاعات مکانی) و GPS (سیستم موقعیت‌یاب جهانی) با هم اشتباه گرفته می‌شود. هردوی این‌ها می‌توانند در کنار هم مورد استفاده قرار گیرند اما کاملاً با یکدیگر متفاوت هستند. GPS یک سیستم شامل ۲۴ ماهواره است که توسط وزارت دفاع آمریکا راه‌اندازی شده است. GPS یک سیستم موقعیت‌یاب است که امکان بهره‌برداری از سرویس آن در کلیه نقاط جهان فعال‌شده است. این سرویس شامل اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی دستگاه مجهز به سیستم GPS بر روی کره زمین است. بنابراین زمانی که فردی دستگاه GPS خود را روشن می کند، اطلاعات مربوط به عرض، طول و ارتفاع جغرافیایی توسط سیستم GPS به دستگاه مربوطه ارسال می گردد. این اطلاعات شامل نقشه و لایه‌های مکانی نیست و صرفا مختصات را منتقل می کند.

زمانی که اطلاعات در سیستم GIS نمایش داده می‌شود، دو سیستم GIS و GPS کاملاً با هم همراه می‌شوند. به‌عنوان مثال، زمانی که مختصات جغرافیایی موقعیت خودرو توسط دستگاه GPS ماشین عملیات ثبت و برای مرکز کنترل

ارسال می‌شود، اپراتورهای مرکز کنترل می‌توانند محل خودرو را بر روی نقشه‌های جغرافیایی سیستم GIS و در کنار تجهیزات برقی مشاهده کنند. سیستم GPS دسترسی به اطلاعات درلحظه موقعیت مکانی را فراهم می‌کند و سیستم GIS نمایش این اطلاعات را بر روی نقشه امکان‌پذیر می‌کند. بنابراین GIS و GPS دو شریک طبیعی برای ثبت و نمایش اطلاعات مکانی هستند. البته دقت نمایش نقاط ثبت‌شده توسط GPS بر روی نقشه، به‌دقت نقشه‌های پایه موجود در سیستم GIS بستگی دارد.

اکنون زمان ملاقات با آقای فرانک فرارسیده بود، فردی که متولی سیستم نقشه‌برداری شرکت بود. باید مشخص می‌شد که موضع فرانک در خصوص این نقشه‌ها چیست. ران می‌دانست که سیستم نقشه‌برداری قدیمی موجودٍ در شرکت، جوابگوی چالش‌های بزرگ پیشروی سازمان نیست. به اعتقاد ران، مأموریت او صرفا ایجاد یک نسخه به‌روز شده و مدرن از نقشه‌های قدیمی شرکت نبود بلکه او به دنبال ایجاد تحول در سازمان بود.

اما قبل از دیدار با فرانک، ران یک قرار ملاقات با آقای استنلی مدیر بهره‌برداری یکی از امورهای اجرایی شرکت داشت.

فصل سوم

چالش‌های پیش روی یک مدیر GIS

چالش‌های پیشروی یک مدیر GIS

محل امور اجرایی فاصله زیادی با ساختمان ستاد شرکت در مرکز شهر داشت، اما ران صبح زود آنجا حاضر شد تا هم وضعیت کاربرد نقشه‌های قدیمی را بررسی کند و هم اینکه بتواند سر وقت به قرار بعدازظهر خود با آقای فرانک مدیر دفتر نقشه‌برداری برسد. او ابتدا به ملاقات آقای استنلی، مدیر بهره‌برداری امور رفت. محدوده تحت مدیریت او بزرگ‌ترین امور شرکت AnyTown Energy بود و در بخش غربی شرکت قرار داشت.

استنلی همان مردی بود که ران او را در آن روز طوفانی، در حال هدایت گروه‌های عملیاتی دیده بود. استنلی فعالیت خود در شرکت AnyTown Energy را بلافاصله بعد از دبیرستان و ابتدا به‌عنوان کارآموز شروع کرد. در ادامه، او با پست سازمانی کارگر شبکه استخدام شد. بعدها به سرپرست گروه ارتقاء یافت. سپس ناظر بهره‌برداری شد و حالا مدیر بهره‌برداری امور غرب است. استنلی وجب‌به‌وجب محدوده امور را مثل کف دست می‌شناخت. دفتر او در مجاورت انبار امور قرار داشت و از آنجا می‌توانست رفت‌وآمد ماشین‌های عملیات، کارگران و ناظرین بهره‌برداری را مشاهده کند. استنلی در خصوص فعالیت‌های روزانه واحد بهره داری، چالش‌ها و موانع موجود با ران گفتگو کرد. او همچنین به اهمیت اطلاعات به‌روز در مدیریت شبکه توزیع اشاره کرد.

مدل‌سازی شبکه توزیع

ران قبل از اینکه بخواهد شبکه توزیع برق را در سیستم GIS مدل‌سازی کند باید با ویژگی‌های آن بیشتر آشنا می‌شد. بنابراین از استنلی خواست تا قدری در خصوص مؤلفه‌های یک شبکه توزیع استاندارد توضیح دهد. استنلی حداقل الزامات شبکه توزیع را برشمرد و توضیحات مختصری در خصوص هرکدام از موارد ارائه کرد:

- **تأمین برق پایدار و مطمئن برای مشترکین.** ("اجتناب از خاموشی، اگر خاموشی اتفاق افتاد در حداقل زمان شبکه به حالت عادی بازگردانده شود.")
- **حداقل کردن خاموشی گذرا.** ("خاموشی‌های گذرا، خاموشی‌های کوتاه‌مدتی هستند که در اثر سوییچ زنی اتوماتیک به وجود می‌آیند. به‌عنوان مثال، برخورد شاخه درخت با شبکه هوایی می‌تواند باعث ایجاد اتصالی و قطع شبکه برق شود. چنانچه این اتصالی موقت باشد، با سوییچ زنی اتوماتیک دوباره شبکه برق‌دار می‌شود.")

• **تحویل برق به مشترکین با حداقل افت ولتاژ** ("معمولاً تا ۵ درصد اختلاف نسبت به ولتاژ نامی قابل‌قبول است. اگر ولتاژ کمتر از حد مجاز باشد می‌تواند باعث افزایش جریان در بارهای توان ثابت شود. با افزایش جریان، میزان تولید حرارت در تجهیزات و درنتیجه میزان تلفات افزایش خواهد یافت.")

• **جلوگیری از فیلیکر ولتاژ** ("اگر تغییرات شدید جریان در یک بازه زمانی کوتاه اتفاق بیفتد، می‌تواند به فیلیکر ولتاژ منجر شود. احتمالا تا به حال با کم و زیاد شدن مداوم نور لامپ و یا به‌اصطلاح سوسو زدن لامپ برخورد کرده باشی. به این پدیده، فیلیکر ولتاژ می‌گویند. جوشکاری یکی از مواردی است که می‌تواند باعث ایجاد فیلیکر شود.")

• **حداقل کردن تلفات** ("همه تجهیزات حامل جریان شبکه توزیع مقداری مقاومت الکتریکی دارند. درنتیجه با عبور جریان الکتریسیته از این تجهیزات، حرارت تولید می‌شود و بخشی از انرژی، قبل از تحویل به مشترکین، در خود شبکه تلف می‌شود. با توجه به هزینه‌های سنگین تولید و انتقال انرژی الکتریسیته، حداقل کردن تلفات بخش توزیع می‌تواند برای شرکت‌های برق بسیار سودمند باشد.")

• **بالا نگاه‌داشتن ضریب قدرت** ("هر چه ضریب قدرت تجهیزات مصرف‌کننده و حامل جریان برق به عدد یک نزدیک‌تر باشد بهتر است." به‌ضمیمه کتاب مراجعه کنید)

استنلی همچنین مطالبی در خصوص مفاهیم شبکه توزیع برق که حاصل سال‌ها تجربیات او بود، عنوان کرد. فارغ از مشکلاتی که او بعدا در واحد نقشه‌برداری شرکت با آن روبرو می‌شد، ران دریافت که روش مورد استفاده او در دولت محلی جهت مدل‌سازی داده‌ها در سیستم GIS، در شرکت برق نیز قابل استفاده است. او باید با شناخت دقیق ویژگی‌های شبکه توزیع برق، توانمندی GIS را در یکپارچه‌سازی داده‌ها و فرآیندهای کاری اثبات می‌کرد.

هرچند ران تجربیات کاربردی مفیدی در زمینه GIS خدمات شهری داشت، اما او متوجه شد که در سیستم GIS شبکه‌های توزیع، عوارض خطی مثل سیم و کابل اهمیت ویژه‌ای دارند. درست است که هم در شرکت‌های برق و هم در دولت محلی، تمرکز بر روی زیرساخت‌ها و تأسیسات است، اما در مدل‌سازی سیستم GIS شبکه‌های توزیع، نحوه اتصال تجهیزات به یکدیگر بسیار حائز اهمیت است. تجهیزات شبکه توزیع به یکدیگر اتصال الکتریکی و فیزیکی دارند. بنابراین در سیستم GIS شبکه توزیع، علاوه بر موقعیت مکانی تجهیزات، نحوه اتصال آن‌ها به یکدیگر نیز مهم است. با مدل‌سازی ارتباطات الکتریکی اجزای شبکه در سیستم GIS، می‌توان ره‌گیری بالادست و پایین‌دست انجام داد. به‌عنوان مثال با ره‌گیری پایین‌دست، مشترکین تغذیه شونده از یک پست را مشخص کرد و یا با ره‌گیری بالادست از محل وقوع خطا، اولین کلید قطع کننده بخش آسیب‌دیده را تعیین کرد. با توجه به اینکه مأموریت اصلی شرکت‌های توزیع، تأمین برق مطمئن و پایدار برای مشترکین است لذا اطلاع داشتن از وضعیت تجهیزات و همین‌طور نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر برای شرکت‌های برق بسیار حیاتی است و ران باید در تهیه مدل داده GIS به این نکات توجه می‌کرد. او باید نقش کلیه تجهیزات تشکیل‌دهنده شبکه توزیع را مشخص می‌کرد و مطمئن می‌شد که مدل تهیه‌شده توانایی ارزیابی الزامات شبکه توزیع را داراست.

استنلی که از اشتیاق و کنجکاوی ران برای شناخت شبکه توزیع خوشش آمده بود، از او پرسید: "حالا نوبت توست که مقداری در خصوص GIS توضیح بدهی"

ران با این جمله آغاز کرد، "GIS یک سیستم مدیریت اطلاعات مکانی است که می‌تواند نتایج حاصل از پرس‌وجوهای مختلف را به‌صورت مکانی و بر روی نقشه نمایش دهد." و سپس ادامه داد، "سیستم GIS به شما کمک می‌کند همان کارهایی را انجام دهید که قبل از این هم مشغول انجام آن بودید، البته بسیار سریع‌تر. به کمک GIS می‌توان اطلاعات مکانی و توصیفی تجهیزات را برداشت کرد و به

صورت یکپارچه بر روی نقشه‌های جغرافیایی نمایش داد. بنابراین وقتی شما اطلاعات پایه‌ها را در سیستم GIS وارد می‌کنید، می‌توانید به کمک این سیستم محل پایه‌های فرسوده و یا معیوب را بر روی نقشه مشاهده کنید."

استنلی گفت: "من درک می‌کنم که این سیستم به نسبت اینکه من آقای جان، کارگر تعمیرات شبکه را به محل اعزام کنم تا تک‌تک پایه‌ها را بازرسی و سپس پایه‌های معیوب را مشخص کند، سریع‌تر است. چون این یک سیستم کامپیوتری است."

ران بین حرف استنلی پرید و گفت: "و همین‌طور به کمک GIS او این کار را بسیار ایمن‌تر انجام خواهد داد و حتی نیازی به بازدید تک‌تک پایه‌ها ندارد و قبل از اینکه به محل اعزام شود، می‌تواند موقعیت مکانی پایه‌های معیوب و حتی نوع عیب را بر روی نقشه مشاهده و با تجهیزات مورد نیاز مستقیما به محل عیب مراجعه کند."

استنلی گفت: "جان زمانی که به محل مراجعه می‌کند، اگر تجهیز معیوب دیگری نیز مشاهده کند، آن را در برنامه تعمیرات در نظر می‌گیرد."

ران پاسخ داد: "و دقیقا به همین دلیل است که به کمک تکنولوژی موبایل GIS، می‌توان در زمان بازدید شبکه، معایب مشاهده‌شده را به‌صورت مستقیم بر روی موبایل و یا تبلت ثبت و از این طریق، اطلاعات را بر روی پایگاه داده اصلی شرکت جهت استفاده کلیه واحدها ارسال نمود."

ران با خودش فکر کرد که این مرد، شبکه توزیع و مشخصات آن را بهتر از هر فردی در ستاد شرکت می‌شناسد و برای مدل‌سازی شبکه توزیع در سیستم GIS به کمک او احتیاج دارد. سپس گفت: "GIS شبکه توزیع نباید تنها بیانگر وضعیت جاری شرکت باشد بلکه لازم است نمایانگر یک شبکه استاندارد با الزامات فنی مورد نیاز باشد. من باید کارکردهای واقعی اجزای شبکه را در سیستم GIS مدل‌سازی کنم. همچنین مدل تهیه‌شده باید پشتیبان فرآیندهای مکان محور سازمان باشد. آیا تمایل داری در خصوص اجزای اصلی سیستم GIS ای که به دنبال پیاده‌سازی آن هستم، بیشتر توضیح بدهم؟"

درواقع، چهار جزء اصلی سیستم GIS که ران قصد توضیح آن را داشت، بر اساس گفتگوهای او با استنلی و مطالبی که در خصوص شبکه توزیع یادگرفته بود، به ذهنش رسید.

چهار جزء اصلی سیستم GIS شبکه توزیع:

۱. ساختار فیزیکی مدل داده. ساختار فیزیکی مدل داده، قلب سیستم GIS است. این بخش شامل کلیه تجهیزات به همراه مشخصات توصیفی آن‌ها می‌شود. در این بخش، تجهیزات مختلف شبکه توزیع مثل ترانسفورماتور، کلید، پایه، تابلو و سایر تجهیزات تعریف می‌شوند. اطلاعات توصیفی مربوط به یک تجهیز نیز در این بخش تعریف می‌شود. به‌عنوان مثال، برای یک ترانسفورماتور اطلاعات توصیفی مورد نیاز مثل ظرفیت، کارخانه سازنده، سال ساخت و غیره در نظر گرفته می‌شود. مؤلفه کلیدی در این ساختار، موقعیت مکانی تجهیزات است. هر تجهیز یک موقعیت مکانی منحصربه‌فرد دارد و کلیه اطلاعات توصیفی مورد نیاز به این موقعیت مکانی منتسب می‌شود. فرآیندهایی مثل طراحی و ازبیلت پروژه‌ها در این ساختار پیاده‌سازی می‌شود.

۲.ساختار منطقی مدل داده. در این ساختار، نحوه ارتباط تجهیزات با یکدیگر مدل‌سازی می‌شود. به‌عنوان مثال، در شبکه توزیع به کمک ساختار منطقی مدل داده می‌توان مسیر جریان برق در شبکه را مدل‌سازی کرد. همچنین به کمک این ساختار، نحوه ارتباط تجهیزات حامل جریان با تجهیزات نگه‌دارنده مشخص می‌شود، مثل ارتباط شبکه با پایه یا ارتباط کابل با لوله‌ای که از داخل آن عبور می‌کند.

۳. نقشه پایه (سایت پلان). ارتباط مکانی تجهیزات شبکه توزیع با دنیای واقعی به کمک نقشه‌های پایه نمایش داده می‌شود. به‌عنوان مثال، نحوه ارتباط شبکه برق با پلاک ساختمانی مشترک با استفاده از نقشه‌های پایه مشخص می‌شود. نقشه‌های پایه را می‌توان با استفاده از سرویس‌های مکانی تحت وب در سیستم GIS نمایش داد. این سرویس‌های مکانی هم می‌تواند بر روی پایگاه داده داخلی شرکت ایجاد شود و هم می‌تواند از سایر سازمان‌ها و بر روی بستر اینترنت دریافت و در سیستم GIS بارگذاری شود.

۴. سرویس‌های نقشه. به کمک سرویس‌های نقشه می‌توان نقشه‌های سفارشی و با کارکردهای مختلف از سیستم GIS تولید کرد و با سرعت مطلوب در اختیار کاربران کلیه بخش‌های سازمان قرار داد. سرویس‌های نقشه عمدتا قابلیت ویرایش ندارند و جهت مشاهده و تحلیل داده‌های توصیفی و مکانی ایجاد می‌شوند. سرویس‌های نقشه را می‌توان در اختیار کاربران برون‌سازمانی نیز قرار داد و هزاران کاربر مختلف می‌توانند با سرعت مناسب از اطلاعات مکانی موجود در سرویس‌های نقشه استفاده کنند.

سیستم نقشه‌برداری قدیمی

استنلی همین‌طور که از جای خود بلند می‌شد، گفت: "دوست داشتم در مورد GIS اطلاعات بیشتری کسب می‌کردم اما خاطرم هست که شما گفتید بعدازظهر جلسه دیگری دارید."

آن‌ها با یکدیگر دست دادند و ران از استنلی پرسید که آیا او آقای فرانک، مدیر بخش نقشه‌برداری شرکت را می‌شناسد و تا به حال با او در خصوص مکانیزه کردن فرآیندهای بهره‌برداری بر بستر نقشه‌های موجود شرکت صحبت کرده است. استنلی گفت که هیچ‌وقت فرانک را ملاقات نکرده اما از هر سیستمی که بتواند اطلاعات دقیق و به‌روز را در اختیار او قرار دهد استقبال می‌کند. استنلی درحالی‌که از ران جدا می‌شد، گفت: "هر وقت فرصت داشتی دوباره به اینجا بیا تا از شبکه بازدیدی داشته باشیم و من تجهیزات سیستم توزیع را به تو معرفی کنم." ران بعد از خداحافظی با استنلی به سراغ آقای جان رفت. استنلی در مورد او گفته بود: "این مرد تعمیرکار ماهری است که اگر می‌خواهی واقعیت شبکه توزیع را بشناسی باید مدتی را در کنار او سپری کنی"

جان بخش‌های مختلف امور را به ران نشان داد. آن‌ها ابتدا از انبار امور و تجهیزات موجود در آن بازدید کردند و درنهایت به سراغ ماشین بالابر جان رفتند. ران از او در خصوص نقشه‌های موجود شرکت و کیفیت آن‌ها سؤال کرد.

جان با خنده پاسخ داد: "البته از این نقشه‌ها استفاده می‌کنیم ولی تا حدودی." سپس جان به سراغ ماشینش رفت و چند بسته کاغذ را از زیر صندلی ماشین بیرون کشید. این کاغذها مقداری قدیمی به نظر می‌رسیدند و پر بودند از یادداشت و بخش‌های علامت‌گذاری شده. جان به کاغذها خیره شد و گفت، "این‌ها اطلاعات واقعی شبکه موجود هستند"

ران با اینکه می‌توانست جواب سؤال خود را حدس بزند از جان پرسید: "آیا تو این اطلاعات را در اختیار واحد نقشه‌برداری شرکت نیز قرار می‌دهی؟"

جان شانه‌هایش را بالا انداخت و گفت: "قبلا این کار را می‌کردم ولی وقتی دیدم این تغییرات به صورت ناقص بر روی نقشه‌ها اعمال می‌شود، دیگر از انجام آن منصرف شدم. اطلاعات واقعی محدوده کاری من همین کاغذهای قدیمی است" او سپس دستی بر نقشه‌های کاغذی کشید و درحالی‌که به چهره حیرت‌زده ران نگاه می‌کرد، گفت: "من حتی یک‌لحظه هم این نقشه‌ها را از خودم دور نمی‌کنم." ران از جان خداحافظی و به‌طرف ستاد شرکت حرکت کرد.

او به‌موقع به ساختمان ستاد شرکت رسید و به سمت دفتر فرانک به راه افتاد. در مسیر، او به یاد

گفته‌های خانم فلو در خصوص فرانک افتاد، "او متولی اصلی سیستم نقشه‌های دیجیتالی موجود شرکت است. این سیستم که به‌اصطلاح سیستم مکانیزه نقشه‌برداری و مدیریت تجهیزات (AM/FM) نامیده می‌شود با هدایت و راهبری او ایجادشده است. ده سال پیش، او تلاش بسیار زیادی کرد تا درنهایت توانست بودجه لازم جهت دیجیتالی کردن نقشه‌های موجود شرکت را مصوب کند." خانم فلو به ران هشدار داده بود که فرانک تعصب زیادی بر روی سیستم نقشه‌برداری شرکت دارد و علی‌رغم قدیمی بودن این سیستم، ممکن است برخورد مهربانانه‌ای با منتقدان آن نداشته باشد.

او گفته بود: "فرانک اعتقادی به از رده خارج بودن سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت ندارد و سیستم GIS تو برای او مثل یک داروی تلخ است که به‌اجبار شرکت ناچار به تحمل آن است."

با این پیش‌زمینه، ران دست خود را به‌سوی مردی دراز کرد که او را به دفتر خود دعوت کرده بود. برخورد فرانک دوستانه به نظر می‌رسید. البته می‌شد احتیاط را در چهره او احساس کرد. ران زمانی که خود را به‌جای فرانک می‌گذاشت، نسبت به او احساس ترحم می‌کرد. قطعا فرانک برای پیاده‌سازی سیستم نقشه‌برداری شرکت سختی‌های زیادی را تحمل کرده بود، دردسرهایی زیادی برای تبدیل داده‌ها از منابع مختلف به این سیستم کشیده بود، با کاربران ناراضی سر و کله زده بود، با دفتر IT جنگیده بود و زمان زیادی را صرف تهیه نرم‌افزارهای مبتنی بر نقشه کرده بود. ران در حد معمول خود را معرفی کرد و در پایان هم گفت که او به دنبال آن است که با استفاده از قابلیت‌های سیستم GIS به فرانک در انجام بهتر وظایفش کمک کند.

فرانک بلافاصله پاسخ داد: "نه، احتیاجی نیست. نقشه‌های موجود ما از جامعیت کافی برخوردار است و کارها را راه می‌اندازد. من فکر نمی‌کنم که نیازی به تعویض آن‌ها با یک سیستم جدید باشد. فقط ممکن است که در برخی مناطق نیاز به به‌روزرسانی داشته باشد. به من گفته‌اند که شما از دولت محلی به شرکت ما آمده‌اید و این اولین تجربه کاری شما در یک شرکت برق است. من فکر می‌کنم که پیاده‌سازی یک سیستم نقشه‌برداری در شرکت برق به‌مراتب پیچیده‌تر از دولت محلی است. به‌هرحال، آنچه ما واقعا به آن نیاز داریم تنها به‌روز کردن نقشه‌های موجود شرکت است که من در این زمینه نیز کارهایی را شروع کرده‌ام."

ران در ذهن خود این گفته‌های فرانک را به این صورت تفسیر کرد: اگر قرار باشد پروژه‌ای در خصوص نقشه و اطلاعات مکانی تعریف شود، من باید مدیر آن باشم نه یک فرد از خارج سازمان که تجربه‌ای نیز در خصوص فرآیندهای کاری شرکت برق ندارد.

ران تصمیم گرفت که پا بر روی غرور خود بگذارد و تا حد ممکن با فرانک همراهی کند. به‌هرحال، او تنها فردی بود که بیشترین اطلاعات را از سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت داشت و ران برای موفقیت در مأموریت خود به او احتیاج داشت. فرانک کم‌کم احساس راحتی بیشتری می‌کرد. آن‌ها در خصوص موضوعات مورد علاقه طرفین صحبت‌های زیادی انجام دادند. هرچند فرانک تعلق خاطر زیادی به سیستم نقشه‌برداری شرکت داشت، اما بهتر از هرکسی به نقاط ضعف آن آگاه بود. این سیستم مشکلات زیادی داشت، یکی از بزرگ‌ترین مشکلات آن، عدم تطابق اطلاعات موجود در نقشه با نقشه‌های پایه استاندارد بود. درواقع، فرانک نمی‌دانست که نقشه‌های پایه مورد استفاده در شیت‌های مختلف نقشه دقیقا از کجا آمده است. این نقشه‌ها بسیار قدیمی و ناهماهنگ به نظر می‌رسیدند (شکل ۳-۱).

شکل ۳-۱- نقشه‌های پایه قدیمی شبکه برق (منبع: شرکت Nashville Electric)

نقشه‌های ناهماهنگ

برای دیجیتالی کردن نقشه‌ها، فرانک یک پیمانکار استخدام کرده بود تا نقشه‌ها را به همان شکلی که هستند به فرمت دیجیتالی تبدیل کند. هرچند که شیت‌های مختلف نقشه به‌تنهایی مناسب به نظر می‌رسیدند اما زمانی که پیمانکار می‌خواست این شیت‌ها را کنار هم بگذارد، متوجه می‌شد که اطلاعات مکانی مربوط به نقشه‌های پایه موجود در شیت‌های مختلف نقشه با یکدیگر هماهنگ نیستند. بنابراین پیمانکار مجبور می‌شد که با انجام برخی تنظیمات، خیابان‌ها را یک راستا قرار دهد. در چند مورد، خیابانی که در واقعیت به‌صورت خط مستقیم وجود داشت، بر روی نقشه‌های یکپارچه شده به‌صورت یک خط شکسته شکسته درآمده بود.

از طرف دیگر، داده‌های مکانی مربوط به تجهیزات شبکه که از منابع مختلف گردآوری شده بود، با یکدیگر مغایرت داشت. بنابراین فرانک مجبور شد تعدادی قاعده سلیقه‌ای جهت تبدیل داده برای پیمانکار تعیین کند. به‌عنوان مثال، اگر ترانسفورماتوری در نقشه شبکه فشار متوسط در یک محل وجود داشت و در نقشه فشار ضعیف، در محل دیگری واقع شده بود، قاعده این است که شبکه فشار متوسط ملاک تعیین موقعیت ترانسفورماتور قرار گیرد. مشکل اینجا بود که هیچ کجا ثبت نشد که در چه محل‌هایی از قواعد قراردادی استفاده شده است و همه اطلاعات به یک‌شکل در کنار هم قرار گرفتند.

بنابراین نه فرانک و نه هیچ‌کس دیگر در شرکت، برآوردی از دقت اطلاعات نداشت. ران با خودش فکر کرد که برای جلوگیری از این مشکل، می توان از نقشه‌های پایه استاندارد در سیستم GIS استفاده کرد. در همین حین، در اتاق زده شد و فردی برای ورود اجازه خواست.

فرانک گفت: "این آقای آناند، کارشناس واحد نقشه‌برداری شرکت است. او از زمانی که شنیده یک متخصص GIS به شرکت ما آمده بی‌صبرانه منتظر ملاقات شماست."

آناند سلام کرد و گفت: "من تنها یک واحد GIS در دانشگاه گذرانده‌ام و بسیار مشتاقم که اطلاعات بیشتری در خصوص آن کسب کنم. من به قابلیت‌های سیستم GIS در ساده‌سازی گردش کارها واقف هستم اما فکر می‌کنم که ما به نقشه‌های بسیار دقیق‌تری نیاز داریم. ما باید موقعیت مکانی داده‌های خود را بر اساس مختصات دقیق ارائه‌شده توسط سیستم GPS اصلاح کنیم. سیستم نقشه‌برداری موجود ما دیگر جوابگوی نیازهای سازمان نیست و بسیار قدیمی شده است."

درخواست‌های بی‌جواب

آناند رو به فرانک کرد و پرسید: "اشکالی ندارد اگر موضوع نقشه‌های روشنایی معابر را با ران مطرح کنم؟" فرانک به نشانه رضایت سرش را تکان داد. آناند ادامه داد، "بعد از اینکه شرکت AnyTown Energy به دلیل خاموشی معابر و افزایش تصادفات رانندگی ناشی از آن، توسط سازمان‌های نظارتی جریمه شد، مدیر بخش روشنایی معابر شرکت از ما درخواست کرد که موقعیت GPS ای پایه‌های روشنایی معابر را بر روی نقشه‌های شهری در اختیار او قرار دهیم. ما به همراه همکارانمان در واحد نقشه‌برداری، ظرف چند روز مختصات GPS کلیه پایه‌ها را برداشت کردیم. اما چه می‌توان کرد وقتی‌که نقشه‌های پایه موجود در شرکت با مختصات تجهیزات هماهنگ نیست. مدیر بخش روشنایی معابر شرکت دیگر هیچ‌گاه به سراغ ما نیامد."

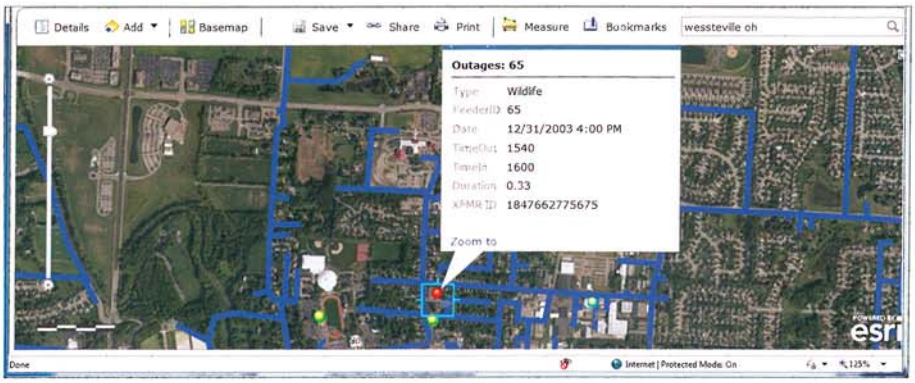
ران گفت: "امروزه نقشه‌های پایه استاندارد به‌راحتی در دسترس عموم است. حتی از طریق اینترنت نیز می‌توان به این نقشه‌ها دسترسی داشت." سپس نقشه سایت پلان یک منطقه را بر روی گوشی خود بارگذاری کرد و به آن‌ها نشان داد (شکل ۳-۲). ران نمی‌خواست خیلی سخت‌گیر باشد اما به دنبال آن بود که نقشه‌های پایه مورد استفاده در سیستم GIS کاملا با مختصات GPS ای تجهیزات هماهنگ باشد. در این صورت، زمانی که یک کاربر به دنبال موقعیت واقعی تجهیزات در سیستم GIS باشد، می‌تواند مختصات دقیق تجهیز شامل طول و عرض جغرافیایی آن را بر روی نقشه‌های پایه مشاهده کند.

آن‌ها تجربیات کاری زیادی را باهم در میان گذاشتند. چند سال پیش، شرکت AnyTown Energy تصمیم گرفت یک سیستم جدید مدیریت خاموشی (OMS) را پیاده‌سازی کند. آن‌ها به دنبال این بودند که اطلاعات خام شبکه را از سیستم نقشه‌برداری دریافت کنند (شکل ۳-۳). فرانک اعتراف کرد: "من فراموش کردم به مسئول پروژه نرم‌افزار مدیریت خاموشی شرکت گوشزد کنم که امکان دارد عوارض خطی موجود در نقشه‌ها، مثل سیم و کابل، کاملا به یکدیگر متصل نباشند. آن‌ها اطلاعات شبکه موجود را از سیستم نقشه‌برداری استخراج کردند اما مجبور شدند که خیلی از اشکالات ترسیمی را با استفاده از اپراتور در سیستم مدیریت خاموشی اصلاح کنند. همچنین آن‌ها مجبور شدند تغییرات آتی شبکه را به‌صورت دستی در این سیستم به‌روز کنند."

ران پرسید: "آیا این موضوع باعث کاهش کارایی سیستم مدیریت خاموشی نشد. عدم دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌روز می‌تواند زمان بازیابی شبکه را طولانی‌تر کند." ران به یاد موضوعی افتاد که اولین بار از مدیران شرکت در جلسه استخدامی شنیده بود، بعدها هم خانم فلو به این نگرانی مدیران شرکت اشاره‌کرده بود. آن‌ها مرتب این سؤال را مطرح می‌کنند که چرا شاخص‌های قابلیت اطمینان در شرکت AnyTown Energy از متوسط سایر شرکت‌ها پایین‌تر است؟ پاسخ‌ها همیشه شبیه به یکدیگر بودند: "شما نمی‌توانید شاخص‌های قابلیت اطمینان در یک شرکت را با شرکت‌های دیگر مقایسه کنید،" یا "شبکه ما قدیمی‌تر از سایر شرکت‌ها است،" یا "محدوده شرکت ما در مسیر طوفان و تندباد قرار دارد،" یا "سازمان‌های نظارتی منطقه ما سخت‌گیری بیشتری دارند و موانع زیادی را در مسیر فعالیت‌های شرکت ایجاد می‌کنند." حالا باید پاسخ فرانک به سؤال ران را هم به این مجموعه جواب جالب اضافه کرد: "نه، به اعتقاد من مشکل از نرم‌افزار مدیریت خاموشی بود. این نرم‌افزار انعطاف لازم جهت استفاده از نقشه‌های موجود شرکت را نداشت."

شکل ۳-۲- با استفاده از نرم افزار ArcGIS Online می‌توان به نقشه‌های پایه مختلفی دسترسی داشت.
(منبع: شهرداری Westerville در ایالت Ohio)

هیچ‌کس به دنبال برطرف کردن مشکلات موجود در نقشه‌های شرکت نبود. اما حداقل آناند به فقدان اطلاعات مکانی جامع و قابل‌اعتماد در واحد نقشه‌برداری شرکت اعتراف داشت. او می‌توانست دیگر هم‌تیمی ران در مسیر پیاده‌سازی سیستم GIS و ایجاد تحول در شرکت باشد.
آناند فرد خوش‌فکری بود و از ایده‌های جدید استقبال می‌کرد. همچنین او به واقعیت‌های موجود در بخش نقشه‌برداری شرکت اعترافِ داشت و به دنبال بهبود امور بود. به لطف حضور آناند در جلسه، تنش بین ران و فرانک تقریبا از بین رفته بود. درِ ابتدای جلسه، فرانک با مطرح کردن این موضوع که پیاده‌سازی GIS در بخش دولت محلی کاملا با ایجاد یک سیستم اطلاعات مکانی در شرکت برق متفاوت است، ران را به چالش کشیده بود. اما به نظر می‌رسد حالا او متوجه این موضوع شده بود که شباهت‌های زیادی بین سازمان‌های متولی تأسیسات و زیرساخت‌های زیربنایی مانند گاز، برق، فاضلاب و شهرداری وجود دارد. تنها تفاوت عمده، نحوه استفاده از این تأسیسات است.

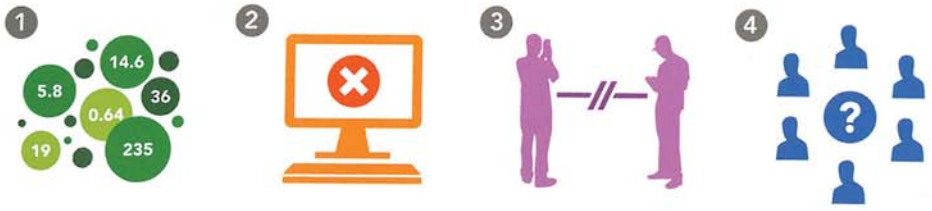


شکل ۳-۳- نمایش موقعیت مکانی خاموشی ها بر روی نقشه‌های web-GIS
(منبع: شهرداری Westerville در ایالت Ohio)

عدم یکپارچگی در سازمان

زمانی که فرانک در خصوص وضعیت سیستم نقشه‌برداری شرکت توضیح می‌داد، ران دوباره به یاد گفتگوهایش با خانم فلو در خصوص تکامل تدریجی شرکت‌های توزیع افتاد. با افزایش حجم تأسیسات و همچنین پیشرفت فناوری در شرکت‌های توزیع، فعالیت‌های این شرکت‌ها روزبه‌روز پیچیده‌تر شده است. یکی از مهم‌ترین نیازهای شرکت‌های توزیع، یکپارچه کردن فعالیت‌ها و گردش‌های کاری است. ران برای پیاده‌سازی یک سیستم GIS جامع، باید پازل‌ها را در کنار هم قرار می‌داد. اما او در این مسیر به همکاری افراد مطلع و علاقه‌مند احتیاج داشت. او امیدوار بود مباحث جلسه را به نحوی مدیریت کند که اعتماد فرانک و آناند جلب شود، نه‌فقط به تخصص و توانمندی او، بلکه به‌عنوان فردی که می‌تواند باعث بهبود و ارتقاء وضعیت کاری آن‌ها شود.

ران توضیح داد که هرچند در حال حاضر با فرآیندهای کاری شرکت‌های برق بیگانه است، اما تجربه کاری‌اش در سایر بخش‌های مرتبط با زیرساخت‌ها او را در جایگاه مناسبی قرار داده است. همه شرکت های خدماتی چهار چالش عمده برای مدیریت و به‌روزرسانی اطلاعات مکانی دارند (شکل ۳-۴):
(۱) درگیر بودن با اطلاعات غیرقابل اعتماد، (۲) پراکنده بودن اطلاعات و عدم گردش مناسب آن بین بخش‌های مختلف سازمان، (۳) عدم به‌روزرسانی مناسب اطلاعات به‌خصوص تغییرات بخش بهره‌برداری و تغییرات زمان اجرای پروژه‌ها، (۴) عدم امکان نمایش وضعیت درلحظه شبکه و تأسیسات.



شکل ۳-۴- چالش‌های مدیریت اطلاعات در شرکت‌های خدماتی (منبع: Esri)

اطلاعات غیرقابل اعتماد

اطلاعات متنوعی در بخش‌های مختلف سازمان وجود دارد که خیلی مواقع این اطلاعات با یکدیگر مغایرت دارند. فرانک باید قبول می‌کرد که برای جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف، وقت زیادی را صرف کرده و خیلی از مواقع نیز نتوانسته است به اطلاعات واحد و قابل اعتمادی برسد. ران به آن دو نفر گفت: "زمانی که به دنبال استقرار سیستم GIS در بخش خدمات عمومی دولت محلی بودم، با یک شیر آب چند صد دلاری برخورد کردم که در ۱۶ منبع مختلف، با اطلاعات غیرمشابه ثبت‌شده بود. فکر می‌کنم هزینه نگه‌داری و مدیریت اطلاعات این ۱۶ رکورد چند برابر قیمت آن شیر آب باشد."

فرانک با هیجان زیاد خاطره‌ای را تعریف کرد: "وقتی من اطلاعات نقشه‌های کاغذی شرکت را به فرمت دیجیتالی تبدیل می‌کردم، با پایه‌ای مواجه شدم که ۱۰ نوع اطلاعات مختلف از آن ثبت‌شده بود." او حالا احساس راحتی بیشتری می‌کرد، چون متوجه شده بود که وضعیت اسفبار نقشه‌های شرکت تنها تقصیر او نیست، بلکه مقداری از آن نیز به سیر تکاملی سازمان در سال‌های مختلف برمی‌گردد.

اگر نگاه کلان‌تری داشته باشیم، قدمت برخی شرکت‌های برق به بالای ۱۲۰ سال می‌رسد. سیستم‌های اطلاعاتی اولیه شرکت‌های برق بر اساس فرآیندهای دستی شکل‌گرفته بود. با افزایش حجم تأسیسات و پیچیدگی فعالیت‌ها، بخش‌های مختلف در سازمان شکل‌گرفته است، مانند بخش مهندسی و یا

بخش حسابداری تأسیسات. همه این بخش‌ها برای مدیریت فرآیندهای کاری خود، نیازمند اطلاعات مکانی بوده‌اند. با پیشرفت تکنولوژی، بخش‌های مختلف به دنبال مکانیزه کردن فعالیت‌های خود رفته‌اند و سیستم‌های مختلف شکل گرفته است. به دلیل بروکراسی حاکم بر سازمان و همچنین عدم یکپارچه بودن فرآیندهای کاری، هر بخش به دنبال اطلاعات مورد نیاز خود رفته و درنتیجه منابع مختلف اطلاعاتی در شرکت شکل گرفته است. به دلیل نبود وحدت رویه در تهیه نقشه‌های مورد نیاز، به‌مرور زمان، عدم هماهنگی و مغایرت در شیت‌های مختلف نقشه زیاد شده است. فرانک و آناند قبول داشتند که با وجود توسعه سیستم‌های اطلاعاتی شرکت، همچنان مشکلات قدیمی پابرجا است.

آناند گفت: "اطلاعات تجهیزات در شرکت‌های توزیع ناقص و غیرقابل اعتماد هستند. همچنین این تجهیزات در کل محدوده شرکت پراکنده شده‌اند. شرکت‌های برق مسیر سختی برای صحت سنجی و اصلاح داده‌ها در پیش دارند."

فرانک اضافه کرد: "بخش قابل‌توجهی از تأسیسات شرکت‌های برق در زیر زمین قرار دارد و این موضوع، کار صحت سنجی اطلاعات را دشوارتر می‌کند."

ران پرسید: "به نظر شما، راهکار حل این مشکلات چیست؟"

فرانک و آناند به همدیگر نگاه کردند و لبخندی زدند. فرانک پاسخ داد: "ما هم همین سؤال را می‌خواستیم از تو بپرسیم و فکر می‌کردیم تو راه‌حل این مشکل را می‌دانی."

ران با خودش فکر کرد که الان بهترین زمان است تا بتواند اعتماد این دو نفر را جلب کند. او با اعتماد به نفس کامل شروع به صحبت کردن کرد. "اول از همه باید توجه داشت که GIS با سیستم نقشه‌برداری و مدیریت تجهیزات (AM/FM) و سیستم مدیریت خاموشی (OMS) متفاوت است. GIS تنها داده‌ها را مدیریت نمی‌کند بلکه گردش اطلاعات بین فرآیندهای مختلف را نیز تسهیل می‌کند. در یک سیستم GIS سازمانی، گردش‌های کاری به نحوی طراحی می‌شوند که امکان صحت سنجی داده‌ها نیز فراهم باشد. همچنین با استفاده از تحلیل‌های مکانی موجود در GIS، می‌توان بسیاری از خطاها را شناسایی و مرتفع کرد." تا اینجای کار او توانسته بود توجه مخاطبانش را جلب کند.

ران ادامه داد، "شرکت‌های برق با استفاده از GIS می‌توانند کلیه اطلاعات مکان محور خود را یکپارچه‌سازی کنند. سایر سیستم‌های اطلاعاتی موجود در سازمان که به اطلاعات مکانی تجهیزات نیاز دارند، می‌توانند از GIS سرویس بگیرند. GIS همان‌طور که از نامش پیداست، یک سیستم نقشه‌کشی و یا یک سیستم ترسیمی کامپیوتر مبنا (CAD) نیست، بلکه یک سیستم مدیریت اطلاعات مکانی است که می‌تواند نتایج پرس‌وجوهای انجام‌شده را به‌صورت مکانی و بر روی نقشه نمایش دهد. وقتی یک کاربر از GIS سؤال می‌کند که کلیه خیابان‌هایی را به من نشان بده که قرار است آسفالت شود و یک کابل معیوب نیز در زیر آن قرار داد. GIS ابتدا خیابان‌هایی را که قرار است آسفالت شود پیدا می‌کند. بعد کابل‌هایی که معیوب است را جستجو می‌کند. سپس فصل مشترک این دو گزارش را به‌صورت مکانی و بر روی نقشه نمایش می‌دهد. GIS تنها تولید یک نقشه گویاتر نسبت به نقشه‌های قدیمی موجود در سازمان نیست، بلکه یک سیستم تصمیم‌ساز است که می‌تواند کارایی سازمان را افزایش و هزینه‌ها را کاهش دهد. در همین مثالی که مطرح شد، شرکت برق می‌تواند در زمانی که شهرداری قصد آسفالت کردن خیابان‌ها را دارد، نسبت به تعویض کابل‌های معیوب اقدام کند و از این طریق، دیگر نیازی به گرفتن مجوزهای حفاری پردردسر نیست و درعین‌حال، مردم نیز رفاه بیشتری را تجربه خواهند کرد."

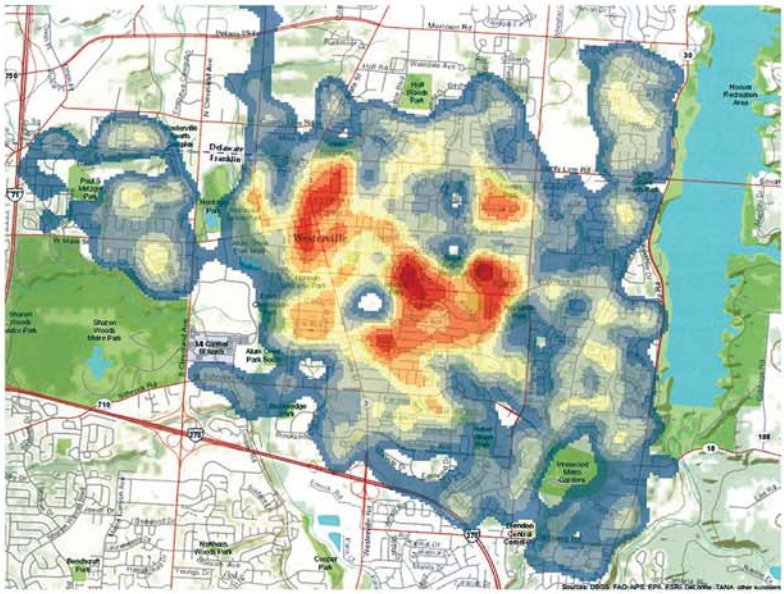
فرانک گفت: "معمولا عکس این قضیه اتفاق می‌افتد. شهرداری خیابان را آسفالت می‌کند و در عرض چند ماه، شرکت برق اقدام به حفاری در خیابان می‌کند و شهرداری ناچار می‌شود دوباره خیابان را ترمیم کند."

"این اتفاق معمولی است که هم باعث اتلاف سرمایه می‌شود و هم تأثیر بدی بر روی افکار عمومی می‌گذارد"، ران این جمله را گفت، اما ترجیح داد ادامه آن را در دلش نگاه دارد: "این اتفاقات اعتبار شرکت‌های برق را زیر سؤال می‌برد و ممکن است سازمان‌های نظارتی سخت‌گیری بیشتری را بر شرکت اعمال کنند. شرکتی که وجه عمومی خوبی نداشته باشد در پیشبرد کارهای خود با مشکلات جدی مواجه خواهد شد."

گردش نامناسب اطلاعات

ران توضیح داد: "زمانی که اطلاعات مکانی برداشت می‌شود کلیه بخش‌ها باید بتوانند از این اطلاعات در مدیریت فرآیندهای خود استفاده کنند." این مطلب جذابی برای فرانک بود. تصور او آن بود که نقشه‌های موجود شرکت، قابلیت استفاده در بخش‌های مختلف را دارد اما کارکنان شرکت نمی‌دانند که چطور می‌توانند از این نقشه‌ها استفاده کنند، بعلاوه، نقشه‌ها بسیار پیچیده و فنی بودند و تنها مهندسین می‌توانستند از آن استفاده کنند. او مرتب درخواست‌هایی را از بخش‌های مختلف شرکت دریافت می‌کرد که به دنبال تحلیل‌های مکانی بر روی نقشه بودند. فرانک در واکنش به صحبت‌های ران گفت: "برخی از درخواست‌های ارائه شده به واحد ما نیازمند تهیه نقشه‌های سفارشی است. به دلیل دِشوار بودن کاربری سیستم نقشه‌برداری موجود، تهیه نقشه‌های موضوعی زمان‌بر است و معمولا تا نقشه‌ها آماده شود، دیگر یا نیاز واحد مربوطه برطرف شده و یا اینکه یک راه‌حل جایگزین پیدا شده است."

ران توضیح داد: "اما در کار قبلی من وضعیت برعکس شرایط شما بود. کاربران بخش‌های مختلف سازمان با استفاده از GIS، گزارش‌های مکانی مورد نیازشان را استخراج می‌کردند." سپس او یک نقشه سفارشی‌سازی شده تحت وب را بر روی گوشی خود بارگذاری کرد. در این نقشه، محدوده جغرافیایی مناطق پر ریسک با استفاده از GIS به تصویر کشیده شده بود (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵- نمایش مناطق با نرخ خرابی بالا بر روی نقشه‌های سیستم web-GIS
(منبع: شهرداری Westerville در ایالت Ohio)

حتی شرکت‌هایی که دسترسی به داده‌های باکیفیت دارند، کمتر از روش‌های سیستماتیک برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌کنند. با اطلاعات ناقص، غیرقابل اعتماد و قدیمی تحلیل داده‌ها غیرممکن است. درصورتی‌که داده‌ها از کیفیت لازم برخوردار نباشند شرکت‌ها ناچار هستند از روش‌های زمان‌بر و پرهزینه‌ای جهت صحت سنجی اطلاعات استفاده کنند.

ران گفت: "شرکت‌های برق باید از محل انجام فعالیت‌های کاری خود باخبر باشند. آیا شما با این مطلب موافقید؟ اگر اطلاعاتِ مکانی از دقت لازم برخوردارِ نباشد، گروه‌های اجرایی ناچار هستند نقشه شبکه موجود را مجدداً در محل بازبینی کنند. ظاهرا این مشکل مختص این شرکت نیست و بیشتر شرکت‌های خدماتی با مشکلات مشابهی روبرو هستند. اجازه بدهید ماجرایی که امروز صبح، آقای استنلی، مدیر بهره‌برداری امور غرب برایم تعریف کردِ را برای شما بازگو کنم."

ران ادامه داد،"استنلی به من گفت زمانی که یک طرح، مثلا احداث شبکه کابلی قرار است اجرا شود، ناظر پروژه ناچار است وارد منهول‌های مسیر کابل شود و بررسی کند که آیا لوله‌ای که برای عبور کابل در طرح پیش‌بینی شده، در واقعیت نیز خالی است و یا او باید طرح را تغییر و از مسیر دیگری کابل را عبور دهد. روند موجود باعث طولانی شدن اجرای پروژه‌ها می‌شود و از طرف دیگر، هزینه‌های اجرای طرح را نیز افزایش می‌دهد."

شرکت‌های برق با در اختیار داشتن اطلاعات دقیق و با استفاده از قابلیت‌های مسیریابی GIS می‌توانند فرآیند طراحی مسیر کابل را در عرض چند ثانیه انجام دهند. اطلاعات مکانی شبکه توزیع بسیار متنوع و پراکنده است. در عین حال، در برخی نقاط به دلیل تمرکز تجهیزات، شناسایی دقیق اطلاعات و ارتباطات بین عوارض دشوار است (شکل ۳-۶).

شکل ۳-۶- پیچیدگی تجهیزات بر روی برخی پایه‌های برق (منبع: Esri، عکاس: Brent Jones)

عدم انعکاس مناسب تغییرات انجام‌شده در محل

ران به سراغ سومین چالش شرکت‌های خدماتی در زمینه کار با داده‌های مکانی رفت. انتقال مناسب اطلاعات مکانی به گروه‌های اجرایی و همچنین دریافت تغییرات زمان اجرا، گرفتاری مشترکی است که همه شرکت‌های ارائه‌دهنده خدمات زیرساختی با آن روبرو هستند. ران گفت: "دلیل این مشکل آن نیست که نیروهای اجرایی صلاحیت لازم را ندارند و یا اینکه اهل تعامل نیستند، بلکه آن‌ها هم مثل دیگران، از سر و کله زدن با اطلاعات غیرقابل اعتماد خسته شده‌اند."

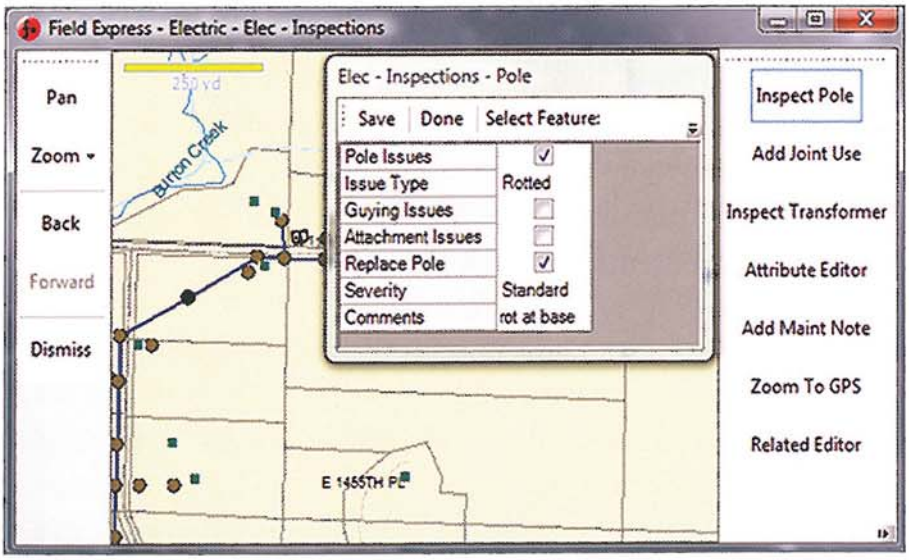
فرانک با تکان دادن سر، این موضوع را تأیید کرد. او سپس به یاد خاطرات تلخ گذشته افتاد و گفت: "آن‌ها حق دارند که به اطلاعات موجود در نقشه‌ها اعتماد نکنند."

ران گفت: "من هم در اوایل خدمتم در دولت محلی با وضعیت مشابهی روبرو بودم. به‌عنوان مثال، زمانی که عوامل اجرایی نقشه مربوط به یک شیر آتش‌نشانی را در محل چک می‌کردند، اغلب اوقات یا اطلاعات موجود در دستورکار ایراد داشت و یا اینکه موقعیت شیر آتش‌نشانی در نقشه غلط بود. آن ها دیگر از علامت‌گذاری بر روی نقشه و ثبت مغایرت‌ها خسته شده بودند، به دلیل اینکه مغایرت‌های ثبت‌شده به‌صورت کامل در نقشه‌ها اعمال نمی‌شد. بنابراین، آن‌ها بیشتر تغییرات را بر روی نقشه‌های قدیمی و به‌صورت دستی ثبت می‌کردند. برخی از آن‌ها هم که تجربه بیشتری داشتند، تغییرات و همچنین نحوه عملکرد تجهیزات را به ذهن می‌سپردند." او در این لحظه به یاد جان، کارگر بخش تعمیرات افتاد.

فرانک گفت: "درست مثل کارگران شرکت ما. آن‌ها معمولاً نقشه‌ها را نادیده می‌گیرند، کار خودشان را انجام می‌دهند و مشاهداتشان را ثبت نمی‌کنند."

ران با خودش فکر کرد، احتمالا به این دلیل که نقشه‌ها دقت و کیفیت لازم را ندارند، اما گفت: "در دولت محلی مشکل از ناحیه کارگران نبود بلکه گره کار آنجا بود که ما کار آن‌ها را سخت‌تر کرده بودیم."

فرانک از آناند پرسید: "به نظر می‌رسد در این خصوص نقطه‌نظری داشته باشی؟" آناند سرش را به نشانه تأیید تکان داد و گفت: "به اعتقاد من شرایط در محل کار سابق ران تفاوت زیادی با وضعیت شرکت ما ندارد." سپس تعدادی کاغذ از داخل کیفش درآورد و ادامه داد، "دوستان من در مرکز کنترل شبکه مطالب جالبی را در خصوص توانمندی GIS در انتقال اطلاعات مربوط به وضعیت بهره‌برداری تجهیزات در اختیار من گذاشته‌اند. با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، می‌توان اطلاعات مربوط به بازدید تجهیزات را مستقیماً در محل ثبت کرد. استفاده از این شیوه، صرفه‌جویی قابل‌توجهی را در برخی شرکت‌های خدماتی به دنبال داشته است." زمانی که قرار است بخشی از شبکه تعمیر شود، شرکت‌های برق باید شبکه را مانور کنند. برای مانور کردن شبکه، هم به اطلاعات دینامیکی مثل بار فیدرها احتیاج است و هم به اطلاعات تعمیرات و نگهداری تجهیزات مثل وضعیت کلیدی که قرار است باز و بست شود. برخی اطلاعات دینامیک از سیستم اتوماسیون اخذ می‌شود. اطلاعات مربوط به وضعیت تجهیزات نیز از طریق انجام بازدید و ثبت در سیستم تعمیرات و نگهداری به دست می‌آید. شرکت‌های توزیع با استفاده از قابلیت‌های سیستم GIS بر بستر دسکتاپ، وب و موبایل می‌توانند اطلاعات مربوط به شرایط تجهیزات را در محل برداشت کنند و در اختیار کلیه کاربران سازمان قرار دهند. به‌عنوان مثال، یک تعمیرکار می‌تواند از پایه برق بالا برود و یک عکس از تجهیز معیوب بگیرد و به عارضه پایه انتساب دهد. سپس تجهیز معیوب را تعویض کند و یک عکس نیز بعد از اصلاح عیب بگیرد و مجددا آن را به عارضه انتساب دهد. با ثبت اطلاعات در سیستم Mobile GIS، کلیه کاربران سیستم GIS به اطلاعات مربوطه دسترسی خواهند داشت (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷- با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS می‌توان اطلاعات مربوط به بازدید را در محل ثبت کرد. (منبع: 3-GIS)

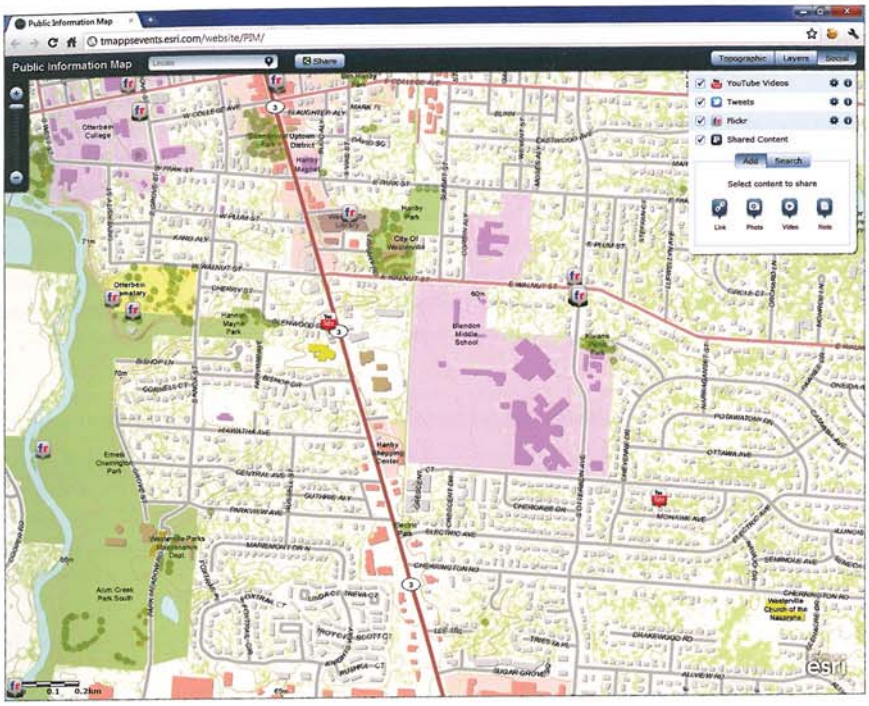
ران گفت: "استنلی به من گفت که به دلیل افزایش حجم شبکه و پراکندگی تجهیزات، مدیریت گروه‌های اجرایی بسیار سخت‌تر شده است و او دیگر اطلاع دقیقی از محل و زمان فعالیت پرسنل عملیاتی ندارد. اگر نگاه وسیع‌تری داشته باشیم و یک شرکت توزیع برق با حدود یک میلیون مشترک را در نظر بگیریم، در این صورت با صدها کارگر عملیاتی در بخش‌های مختلف مواجه هستیم که ره‌گیری آن‌ها و خودروهایشان کار بسیار پیچیده و دشواری است." آناند گفت: "یکی دیگر از مزایای سیستم GIS، امکان مسیریابی بهینه و مدیریت برنامه کاری گروه‌های اجرایی است." سپس صندلی خود را عقب کشید تا بتواند رودررو با فرانک صبحت کند. "فرانک، آیا تمایل داری در خصوص بازدید سرزده مدیرعامل از بخش نقشه‌برداری شرکت و توقعات مطرح‌شده توسط او با ران صحبت کنی؟ شاید او بتواند با استفاده از GIS به ما کمک کند."

عدم امکان نمایش وضعیت درلحظه شبکه و تأسیسات

فرانک گفت: "ماجرایی که آناند به آن اشاره کرد، تجربه تلخی برای واحد نقشه‌برداری بود. در زمان وقوع یک خاموشی گسترده، مدیرعامل شرکت شخصا در دفتر ما حاضر شد و از من سؤال کرد، "الان گروه‌های عملیاتی در چه محل‌هایی مستقر شده‌اند، موقعیت خاموشی‌ها بر روی نقشه کجاست و آیا هنوز خانه شهردار بی‌برق است؟ من به او گفتم که نقشه‌های موجود ما قابلیت پاسخ دادن به این سؤال‌ها را ندارند و من باید این اطلاعات را از واحدهای مختلف جمع‌آوری و یک نقشه سفارشی بر اساس درخواست‌های شما تولید کنم که آن‌هم بسیار زمان‌بر است." مدیرعامل با عصبانیت از دفتر ما خارج شد و درحالی‌که که از ما دور می‌شد، گفت: "بعد از این‌همه پول خرج کردن، شما هنوز نمی‌توانید به من بگویید که وضعیت موجود شرکت چیست."

فرانک ادامه داد، "به نظر من انتظارات مدیرعامل غیرمنطقی بود. او از نقشه‌های واحد ما توقع داشت که بلافاصله به سؤالات او پاسخ دهند که واقعا خنده‌دار است. برای مشخص شدن وضعیت شبکه در شرایط بحرانی باید اطلاعات میدانی زیادی جمع‌آوری کرد که این فرآیند، زمان‌بر است."

ران چند لحظه متفکرانه به چهره فرانک خیره شد و سپس گفت: "GIS از عهده این کار برمی‌آید و می‌تواند جواب سؤالات مطرح‌شده را بدون تأخیر بر روی نقشه نمایش دهد. با استفاده از GIS می‌توان از وضعیت شبکه در هرلحظه مطلع شد و مدیرعامل سازمان می‌تواند دقیقاً متوجه شود که در محل چه می‌گذرد و خانه شهردار برق‌دار شده است یا خیر. شرکت‌های خدماتی نیازمند یک تصویر استراتژیک از وضعیت جاری تأسیساتشان هستند. مدیران در شرایط بحرانی باید به‌سرعت تصمیم بگیرند و GIS یک ابزار تصمیم‌ساز است." ران بر روی گوشی خود یک وب‌سایت متعلق به شهرداری را به فرانک نشان داد که در آن اطلاعات مکانی وضعیت شبکه توزیع و میزان رضایت‌مندی مشترکین بر روی نقشه شهری به نمایش درآمده بود. همچنین برخی اطلاعات نمایش داده شده در این سایت از منابع برون سازمانی دریافت می‌شد، مثل نقطه نظرات آنلاین کاربران (شکل ۳-۸). این همان چیزی بود که مدیرعامل شرکت به دنبال آن است، یک نقشه که می‌تواند به سؤالات پاسخ دهد.



شکل ۳-۸- نمایش پیشنهادات و انتقادات مشترکین بر اساس موقعیت مکانی بر روی نقشه‌های جغرافیایی
(منبع: شهرداری Westerville در ایالت Ohio)

ران به فرانک گفت: "این همه آن چیزی نیست که GIS می‌تواند انجام دهد. GIS می‌تواند شاخص‌های کلیدی سازمان را اندازه‌گیری کند، حتی در سازمانی به پیچیدگی شرکت‌های توزیع برق. با توجه به اینکه شرکت AnyTown Energy به دنبال پیاده‌سازی شبکه هوشمند و نصب تجهیزات اندازه‌گیری و اتوماسیون است، لذا این شرکت نیازمند ابزاری جهت مدیریت اطلاعات مربوط به تجهیزات مخابراتی و تعیین رابطه مکانی این تجهیزات با تأسیسات برقی است. GIS محیطی را فراهم می‌کند تا بتوان به کمک آن، وضعیت جاری سیستم را رصد کرد. با پاسخگویی به سؤالاتی مانند، "همه حس‌گرهایی را به من نشان بده که در یک ساعت گذشته نتوانسته‌اند اطلاعات را ارسال کنند،" GIS می‌تواند در روشن شدن وضعیت واقعی شبکه به ما کمک کند."

"در واقع، GIS می‌تواند یک مدل از واقعیت شبکه توزیع را به کاربران نشان دهد، به‌نحوی‌که برای بیشتر کاربران قابل‌لمس باشد. نمایش ارتباطات مکانی در پایگاه داده‌های توصیفی و یا به‌اصطلاح جدولی بسیار سخت است. با گزارش‌های تاریخ مصرف گذشته، نمی‌توان در خصوص مشکلات موجود در شبکه توزیع تصمیم‌گیری کرد. GIS با مدیریت اطلاعات مکانی مربوط به تجهیزات و نیروی انسانی و همچنین قابلیت‌های تحلیل مکانی، امکان واکنش سریع در شرایط سخت تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند."

فرانک گفت: "فکر می‌کنم برخی تفاوت‌های سیستم نقشه‌برداری و سیستم GIS را متوجه شده باشم. به کمک GIS می‌توان تحلیل‌های مکانی انجام داد. حتی شما می‌توانید شاخص‌های سازمان را مثل یک داشبورد اطلاعاتی و بر روی نقشه به مدیران ارشد نمایش دهید."

فرانک دیگر به پروژه GIS علاقه‌مند شده بود، چون او فهمیده بود که با استفاده از GIS می‌توان در شرکت، تحول ایجاد کرد. او نمی‌خواست وقتی مجددا مدیرعامل سازمان از او پرسید که وضعیت جاری شبکه چیست، حرفی برای گفتن نداشته باشد. با استفاده از GIS می‌توان آخرین وضعیت تأسیسات و دارایی‌های سازمان را مشاهده کرد. فرانک و آناند به دنبال آن بودند که با آموختن قابلیت‌های سیستم GIS، اعتبار واحد نقشه‌برداری شرکت را ارتقاء دهند.

زمانی که ران بلند شد تا جلسه را ترک کند از آن‌ها پرسید: "آیا شما دو نفر علاقه دارید در جلسه آموزشی GIS شرکت کنید؟" او داشت به استنلی فکر می‌کرد، مدیر بهره‌برداری امور غرب که او هم تمایل خود را برای آشنایی بیشتر با دانش GIS اعلام کرده بود. درعین‌حال او می‌توانست با کمک این نفرات، تیم GIS شرکت را زودتر تشکیل دهد و از تجربیات و تخصص آن‌ها به‌منظور مدل‌سازی سیستم GIS شبکه توزیع استفاده کند.

فرانک و آناند برای حضور در جلسه اعلام آمادگی کردند. سپس ران با خانم فلو تماس گرفت تا ببیند آیا او هم تمایل دارد در دوره آموزشی شرکت کند. ران موضوع برگزاری کلاس را با رئیس خود مطرح کرد و قرار شد چند نفر دیگر از سایر واحدها نیز به لیست کلاس اضافه شوند. خانم ماریا، مدیر دفتر مهندسی و مجری پروژه شبکه هوشمند شرکت؛ خانم لوییس از بخش خدمات مشترکین؛ یک نفر از واحد دیسپاچینگ و یک نفر از بخش طراحی پست، سایر نفراتی بودند که به لیست کلاس اضافه شدند. این نفرات توسط کمیته راهبری شرکت جهت حضور در تیم پروژه GIS انتخاب شده بودند. فرانک و آناند از واحد نقشه‌برداری و همچنین استنلی و جان از واحد بهره‌برداری دیگر نفرات این لیست بودند.

چاره‌اندیشی جهت حل مشکلات واقعی

با حمایت کمیته راهبری شرکت، مقرر شد کلاس آموزشی GIS در قالب یک کارگاه دو روزه برگزار شود. روز اول به چالش‌های سازمان و راهکارهای GIS ای جهت حل آن‌ها اختصاص یافت و برای روز دوم مقرر شد، مباحث تخصصی GIS مطرح شود.

در روز اول، ران ابتدا مباحث مطرح‌شده در جلسه معارفه با مدیران میانی شرکت را تشریح کرد. او در این جلسه از مدیران شرکت سؤال کرده بود که بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی سازمان چه هستند. او اعتراف کرد که از شنیدن پاسخ‌ها غافل‌گیر شده است و نتوانسته چرایی آن را درک کند. ران در حالی‌که لبخندی به لب داشت گفت: "اما حالا با مطالبی که از شما یاد گرفته‌ام، فکر می‌کنم تا حدی ماجرا دستگیرم شده باشد." درواقع، ران با ریشه‌یابی چالش‌های مطرح‌شده تلاش کرده بود راهکارهای GIS ای حل مشکلات را پیدا کند.

ران به حاضرین در کلاس گفت: "مشکلات مطرح‌شده توسط مدیران در پنج دسته اساسی طبقه‌بندی می‌شود. من بعد از عنوان کردن هر چالش، دیدگاه خود را از جایگاه یک متخصص GIS مطرح خواهم کرد.

۱. مدیران عالی شرکت در دسترس نیستند و از نحوه پیشبرد کارها در امورهای اجرایی بی‌خبرند.
"من فکر می‌کنم این جمله تا حدی درست باشد. البته نه به این دلیل که مدیران ارشد سازمان علاقه‌ای به دانستن وضعیت امورهای اجرایی ندارند. واقعیت این است که با این حجم تأسیسات و فعالیت‌های کاری، باخبر شدن از وضعیت دقیق تجهیزات و نحوه پیشبرد کارهای اجرایی بسیار دشوار است. گزارش‌ها بسیار با تأخیر به دست مدیران عالی سازمان می‌رسد. اطلاعات وضعیت شبکه، به‌خصوص در شرایط بحرانی، در اختیار مدیران نیست. معلوم نیست پول‌ها کجا و چگونه هزینه می‌شود. از میزان رضایت‌مندی مشترکین نیز اطلاعات دقیقی در دسترس نیست."
"با استفاده از اطلاعات مکانی و توصیفی موجود در سیستم GIS، می‌توان شاخص‌های آماری را به‌صورت داشبوردهای مکانی و بر روی نقشه به مدیران شرکت نمایش داد. از این طریق، یک ابزار تصمیم‌ساز در اختیار مدیران قرار می‌گیرد و آن‌ها می‌توانند با اطلاع داشتن از آخرین وضعیت شبکه و تأسیسات، خیلی سریع‌تر و دقیق‌تر تصمیم‌گیری کنند." سپس او تصویری را بر روی صفحه مانیتور کلاس نمایش داد که در آن وضعیت یک شرکت توزیع از دیدگاه پارامترهای بهره‌برداری نشان داده شده بود (شکل ۳-۹).

شکل ۳-۹- با استفاده از GIS می‌توان نقشه شبکه برق را در محیط وب نمایش داد.
(منبع: شهرداری Westerville در ایالت Ohio)

۲. اطلاعات موجود در سازمان قدیمی شده‌اند و مدیریت عالی شرکت حاضر نیست برای به‌روزرسانی آن‌ها هزینه کند.
"حق با مدیران است. اطلاعات موجود، غیرقابل اعتماد و ناقص است." سپس او لبخندی به آقای جان زد و گفت: "البته به‌جز نقشه‌های کاغذی موجود در خودروی برخی تعمیرکاران. اطلاعات نامطمئن، سطح کارایی شرکت را کاهش می‌دهد و باعث افزایش هزینه‌ها و اتلاف وقت در فعالیت‌های اجرایی شرکت می‌شود. با استفاده از امکانات تحلیلی موجود در GIS، می‌توان کیفیت داده‌ها در مناطق مختلف را مشخص کرد. با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، می‌توان اطلاعات را در محل، بازبینی و رفع مغایرت کرد. همچنین با

استفاده از این فناوری، می‌توان اطلاعات مربوط به تعمیرات و نگهداری تجهیزات را در حین بازدید از شبکه، وارد سیستم کرد."

۳. مدیریت عالی سازمان به سیاست تعدیل نیروی انسانی ادامه می‌دهد و متوجه مشکلات بعدی آن نیست.

"با توجه به افزایش هزینه‌های شرکت، طبیعی است که مدیران ارشد نسبت به استخدام نیروی انسانی احتیاط بیشتری می‌کنند. مشکل اصلی آنجا است که با بازنشسته شدن پرسنل باتجربه و ماهر، دانش و اطلاعات آن‌ها نیز با خودشان از سازمان خارج می‌شود. با استفاده از سیستم GIS، می‌توان دانش و اطلاعات مکان محور کارکنان را مستندسازی کرد و آن را در اختیار کلیه کاربران قرار داد. همچنین با استفاده از قابلیت‌های GIS در فرآیندهای مکان محور شرکت، می‌توان سطح کارایی را افزایش و هزینه‌ها را کاهش داد."

۴. درگیری و اختلاف با سایر ارگان‌ها مثل سازمان حفاظت محیط‌زیست و سازمان‌های نظارتی زیاد شده است.

"من فکر می‌کنم «درگیری و اختلاف» عبارت مناسبی برای توصیف این وضعیت نیست. من اسم آن را «عدم شفافیت» می‌گذارم. GIS در این زمینه هم می‌تواند یاری‌رسان باشد. با استفاده از سیستم GIS می‌توان آمار و اطلاعات دقیق تأسیسات را در اختیار سازمان‌های نظارتی قرار داد. همچنین با استفاده از GIS می‌توان تاثیر تجهیزات شبکه برق بر محیط زیست را رصد کرد و تحت کنترل قرار داد. با راه‌اندازی یک وب‌سایت عمومی جهت نمایش اطلاعات سیستم GIS بر روی نقشه‌های پایه، می‌توان مسیر زیادی را برای افزایش شفافیت و کاهش بازرسی‌های نظارتی طی کرد."

۵. مدیریت عالی سازمان قدر زحمات ما را نمی‌داند و از پیشرفت‌های صورت گرفته راضی نیست.

"با توجه به افزایش هزینه‌ها و کاهش رضایتمندی مشترکین، مدیران ارشد سازمان حق دارند که نگران باشند. با استفاده از قابلیت‌های سیستم GIS می‌توان سطح کارایی شرکت را افزایش، میزان رضایتمندی مشترکین را ارتقاء، هزینه‌ها را کاهش و زمان اجرای فرآیندها را بهبود داد. برای جمع‌بندی نهایی می‌توان گفت که بیشتر آن چیزی که شرکت‌های برق با آن سروکار دارند از تجهیزات گرفته تا گروه‌های اجرایی و مشترکین، ماهیت مکانی دارند و GIS یک ابزار سیستماتیک جهت مدیریت اطلاعات مکانی است."

"این مجموعه‌ای از چالش‌ها و راهکارهای مواجهه با آن‌ها بود که احتمال می‌دادم دغدغه ذهنی شما هم باشد. به اعتقاد من، وظیفه ما این است که با شناخت قابلیت‌های سیستم GIS از آن برای حل مشکلات کلیدی سازمان استفاده کنیم. وقتی آشنایی شما با سیستم GIS بیشتر شود، به سراغ من خواهید آمد و به من خواهید گفت که چگونه می‌توان از امکانات سیستم GIS برای بهبود امور در واحد شما کمک گرفت. GIS به‌عنوان یک پایگاه داده جامع اطلاعات مکانی می‌تواند کلیه فرآیندهای مکان محور سازمان را یکپارچه‌سازی کند. برای ابتدای کار و تا زمانی که مدل داده پیاده‌سازی سیستم GIS تهیه شود، این بهترین کمکی است که شما می‌توانید به من بکنید."

"بگذارید از جنبه دیگری به موضوع نگاه کنیم. من اینجا هستم تا دانش شما در زمینه علم GIS را افزایش دهم. با افزایش سطح آگاهی شما در خصوص قابلیت‌های سیستم GIS، شما به دنبال کاربردی سازی آن در فرآیندهای کاریتان خواهید رفت و نیازهایتان را به من اعلام خواهید کرد. در حال حاضر که من به دنبال تهیه مدل داده شبکه توزیع در سیستم GIS هستم، نظرات تخصصی شما می‌تواند برای پیشبرد پروژه بسیار سودمند باشد."

وقت استراحت ده دقیقه‌ای کلاس به یک جلسه جدی بحث در خصوص توانمندی‌های سیستم GIS

تبدیل شده بود. همه بر روی این موضوع اتفاق‌نظر داشتند که تنها GIS است که می‌تواند این حجم وسیع و پراکنده تأسیسات، نیروی انسانی و گردش‌های کاری را یکپارچه‌سازی کند. فرانک دیگر به این اعتقاد رسیده بود که آنچه باعث تحول در سازمان و تبدیل آن به یک شرکت پیشرو است نمی‌تواند تنها یک سیستم نقشه‌برداری باشد بلکه برای این کار نیاز به یک سیستم اطلاعات مکانی جامع است. برای محقق شدن این نقش تحولی، باید اطلاعات شبکه توزیع به‌صورت دقیق و بر اساس واقعیت در سیستم GIS مدل‌سازی شود.

ران متوجه شده بود که چالش‌های اساسی پیش‌روی شرکت‌های توزیع برق، بین بیشتر شرکت‌های خدماتی مشترک است. زمانی که او در دولت محلی کار می‌کرد، کاملا بر منابع مختلف اطلاعاتی احاطه داشت و می‌دانست که برخی مواقع این اطلاعات ناهماهنگ و مغایر است. او این قضیه را امروز صبح، از زبان شرکت‌کنندگان در کلاس هم شنید که هر واحد به‌صورت بخشی، اطلاعات مورد قبول خود را نگهداری می‌کند و یکپارچگی بین منابع مختلف اطلاعاتی وجود ندارد. درنتیجه، باید زمان قابل‌توجهی را نیز صرف صحت سنجی داده‌ها و رفع مغایرت‌های موجود کرد. درنهایت، کارهای شرکت انجام می‌شود، ولی با هزینه بیشتر، اتلاف وقت مشترکین و کاهش اعتبار سازمان در نزد افکار عمومی.

با استفاده از سیستم GIS، می‌توان داده‌های مختلف از منابع اطلاعاتی موجود در سازمان را بر اساس پارامتر مشترک مکان، یکپارچه‌سازی کرد و از این طریق، به ارتباطات منطقی بین داده‌ها پی برد. با این کار می‌توان اطلاعات را داده‌کاوی و روندهای موجود در سازمان را کشف کرد. با توجه به پراکندگی مکانی نیروهای اجرایی در سطح شرکت، می‌توان با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، اطلاعات دقیق و مطمئن را به کارکنان عملیاتی منتقل کرد و از آن‌طرف، تغییرات انجام‌شده در محل و همچنین نتایج بازدیدها را به نیروهای دفتری انتقال داد. این فرآیند، منجر به افزایش راندمان گروه‌های اجرایی و همچنین تسهیل در فرآیند به‌روزرسانی اطلاعات می‌شود.

همچنین با استفاده از سیستم GIS، کلیه کاربران سازمان به آخرین اطلاعات استاتیکی و دینامیکی شبکه دسترسی خواهند داشت. ران وقتی داشت به این موضوع فکر می‌کرد به یاد مواجهه فرانک با مدیرعامل شرکت افتاد. با استفاده از GIS، می‌توان شاخص‌های آماری شرکت را در قالب داشبوردهای مکانی و بر روی نقشه به مدیران شرکت ارائه کرد و از این طریق یک ابزار تصمیم‌ساز در اختیار آن‌ها قرار داد. اطلاعات سیستم GIS می‌تواند به‌راحتی و از طریق صفحات وب، در اختیار کاربران داخل سازمان و حتی بیرون از شرکت قرار گیرد.

آناند اجازه خواست تا مطلبی را عنوان کند: "GIS برای شرکت‌های زیرساختی ازجمله شرکت ما بسیار حیاتی است. با استفاده از GIS می‌توان چالش‌های کلیدی سازمان را مدیریت کرد. من آمادگی دارم به عنوان عضوی از تیم GIS شرکت، ران را در رسیدن به هدفش یاری کنم."

ران گفت: "من هم برای درک صحیح شبکه توزیع برق به همکاری شما نیازمندم. هرچند قابلیت‌های سیستم GIS برای شرکت‌های توزیع و دولت محلی یکسان است، اما جزئیات و کسب‌وکار شبکه توزیع با شبکه خیابان‌ها و یا شبکه خطوط آب بسیار متفاوت است."

خانم فلو گفت: "من هم با آناند هم‌نظر هستم. هم‌زمان که ما با دانش GIS آشنا می‌شویم، می‌توانیم ران را از فرآیندها و گردش‌های کاری موجود در شرکت AnyTown Energy مطلع کنیم."

ران لبخندی زد. او حالا تنها دو طرفدار نداشت، بلکه به نظر می‌رسید یک تیم همفکر و مصمم را در کنار خود دارد.

فصل چهارم

کاربردهای سیستم GIS در شبکه‌های توزیع برق

Modeling Electric Distribution with GIS

کاربردهای سیستم GIS در شبکه‌های توزیع برق

در روز دوم کلاس، ران قصد داشت یک سری مطالب تخصصی مرتبط با GIS را آموزش دهد. او ابتدا از مشاهدات خود در آن روز طوفانی گفت. ران در آن روز، از روی حس کنجکاوی، به محل امور برق غرب شرکت AnyTown Energy رفته بود تا نحوه عملکرد شرکت در شرایط بحرانی را ارزیابی کند. ران ابتدا می‌خواست مطمئن شود که آیا استنلی هدایت عملیات را برعهده داشته است. استنلی با لبخند سرش را به نشانه تأیید تکان داد و گفت: "بازهم متهم ردیف اول."

ران گفت: "مدت‌ها بعد از اتفاق آن روز، من متوجه شدم که با وجود حجم بالای خاموشی، گروه‌های عملیاتی بلافاصله در محل حاضر شده‌اند، معایب شبکه به‌سرعت اصلاح شده و در بازه زمانی کوتاهی شبکه مجددا بازیابی شده است."

استنلی پرسید: "تو می‌خواهی بدانی که من چگونه این عملیات را مدیریت کردم، آیا این‌طور نیست؟ راستش آخر وقت اداری آن روز، پرسنل بخش بهره‌برداری کم‌کم داشتند حاضر می‌شدند تا وسایلشان را تحویل دهند و از شرکت خارج شوند. شرایط جوی چندان مناسب نبود و من باید در خصوص اضافه‌کاری پرسنل تصمیم می‌گرفتم. من می‌توانستم به نفرات اجازه بدهم که به خانه بروند و در صورت وقوع طوفان، دوباره آن‌ها را در اداره جمع کنم و یا اینکه برای احتیاط بیشتر برای پرسنل عملیاتی اضافه‌کار در نظر بگیرم. من آخرین گزارش‌های هواشناسی، وضعیت شاخه‌بری درختان در محدوده شبکه و اطلاعات مرتبط با تعمیرات و نگهداری تجهیزات را بررسی کردم. همچنین در خصوص وضعیت موجود شبکه با ناظرین بهره‌برداری مشورت کردم. من از قبل می‌دانستم که در چه بخش‌هایی از محدوده امور، پایه‌ها کج شده‌اند و مستعد سقوط هستند و کاملا به موقعیت مکانی مشترکین حساس اشراف داشتم."

ران از او پرسید: "تو همه این کارها را در ذهن خود انجام دادی؟"

استنلی پاسخ داد:"تقریبا همین‌طور است." استنلی یک نقشه ساده از محدوده امور را از کیفش درآورد و به ران گفت: "این دایره‌های قرمز رنگ را بر روی نقشه می‌بینی؟ اگر مسیر طوفان احتمالی به نحوی باشد که این بخش‌های علامت‌گذاری شده تحت تأثیر قرار بگیرند، ما دچار بحران خواهیم شد. این محدوده‌های مکانی، آسیب‌پذیرترین بخش‌ها در امور ما هستند. سه سال است که در این مناطق شاخه‌بری انجام نشده است، تجهیزات شرکت در این بخش‌ها فرسوده است و دو نفر از اعضای شورای شهر نیز در محدوده این دایره‌های قرمز رنگ زندگی می‌کنند. درنهایت، من تصمیم گرفتم که برای سه گروه اجرایی اضافه‌کار در نظر بگیرم. همین‌طور، با پیمانکار شاخه‌بری تماس گرفتم و به او گفتم که برای عملیات احتمالی آمادگی لازم را داشته باشد."

ران دوباره شرایط آن روز را در ذهنش مرور کرد. او از رادیو شنیده بود که احتمال وقوع طوفان وجود

دارد، اما با توجه به مشخص نبودن شدت تندباد و همچنین مسیر آن، چگونه استنلی به این تصمیم رسیده بود. ران از استنلی سؤال کرد: "نگاه‌داشتن پرسنل برای اضافه‌کاری، هزینه‌های زیادی را به شرکت تحمیل می‌کند. تو از کجا اطمینان داشتی که بهترین تصمیم را گرفته‌ای؟"
استنلی پاسخ داد: "من اطمینانی به تصمیم خود نداشتم بلکه با اتکا به تجربه و اطلاعاتی که جمع‌آوری کرده بودم تنها حدس زدم."
ران رو به طرف جمع کرد و گفت: "قبل از این کلاس، من بارها در خصوص تصمیم آن روز استنلی فکر کرده‌ام. درواقع، او اطلاعات خام را از منابع مختلف جمع‌آوری و سپس این اطلاعات را بر اساس موقعیت مکانی در ذهن خود دسته‌بندی کرده است. با تحلیل مکانی بر روی داده‌ها، او مناطق پر ریسک و کم ریسک را در ذهن خودش مجسم کرده است. او با اتکا به تجربه فراوان خود و همچنین اطلاعاتی که در خصوص آخرین وضعیت شبکه از عوامل اجرایی کسب کرده، یک تصویر بزرگ ذهنی از نحوه مواجهه شبکه توزیع برق با طوفان احتمالی ساخته است. درنهایت، او حوادث احتمالی را پیش‌بینی کرده و اطلاعات لازم را در اختیار مرکز دیسپاچینگ قرار داده است. مرکز دیسپاچینگ با استفاده از این داده‌ها توانسته اطلاع‌رسانی لازم را به مشترکین انجام دهد و در کل مدیریت بحران به‌خوبی انجام شده است."
"درواقع، آنچه استنلی انجام داده کاملاً منطبق بر قابلیت‌های کلیدی سیستم GIS است، با این تفاوت که او این عملیات را در ذهن خود و با استفاده از داده‌های خام موجود انجام داده است. می‌توان گفت استنلی یک نمونه زنده از توانمندی‌های سیستم GIS است، البته GIS این کارها را بسیار سریع‌تر، دقیق‌تر و بر اساس آخرین اطلاعات به‌روزرسانی شده انجام می‌دهد."
ران نگاهی به تک‌تک نفرات حاضر در کلاس انداخت. هرکدام از آن‌ها می‌توانستند یک عضو مؤثر در تیم GIS شرکت باشند و به او کمک کنند تا فرآیندهای کاری سازمان را به‌خوبی شناسایی و به بهترین نحو ممکن در سیستم GIS مدل‌سازی کند. استنلی و تعمیرکار او، جان؛ فرانک و دستیار او در واحد نقشه‌برداری، آناند؛ خانم فلو از واحد فناوری اطلاعات؛ میچل از واحد طراحی، مانی از واحد دیسپاچینگ، خانم ماریا از بخش مهندسی که مدیر پروژه هوشمند سازی شرکت نیز بود و درنهایت خانم لوییس از واحد خدمات مشترکین، افرادی بودند که توسط کمیته راهبری شرکت برای حضور در تیم پیاده‌سازی سیستم GIS تعیین‌شده بودند. ران قصد داشت که در یک هفته آینده به برخی از این نفرات در واحد مربوطه‌شان سری بزند، ولی حالا او امیدوار بود که بتواند، افراد حاضر در کلاس را با قابلیت‌های کلی سیستم GIS آشنا کرده و از آن طرف، اطلاعات بیشتری در خصوص فعالیت‌های کاری این نفرات کسب کند.
ران مباحث تخصصی خود را با تشریح قابلیت‌های کلیدی سیستم GIS شروع کرد. "در اینجا قصد دارم به چهار حوزه‌ای اشاره کنم که GIS در مدیریت آن بسیار توانمند است. همان‌طور که می‌دانید GIS در بخش‌های مختلف مثل شرکت‌های خدماتی، مدیریت شهری، مدیریت املاک و غیره کاربرد دارد، اما در این کلاس بیشتر به کاربردهای GIS در شبکه‌های توزیع برق پرداخته می‌شود."
در ادامه، ران به‌اختصار توانمندی‌های GIS در هر حوزه را توضیح داد:

- **مدیریت اطلاعات مکانی** - در شرکت‌های توزیع برق از تجهیزات بسیار متنوعی استفاده می‌شود که این تجهیزات در کل محدوده شرکت پراکنده شده‌اند. ترانسفورماتورها، پایه‌ها، کابل‌های برق، وسایل اندازه‌گیری، خودروها و پرسنل عملیاتی، همه دارایی‌های شرکت محسوب می‌شوند که نیاز به مدیریت دارند. معمولا این اطلاعات در بخش‌های مختلف سازمان نگهداری می‌شوند و با یکدیگر یکپارچه نیستند. وجه مشترک همه این عوارض، موقعیت مکانی آن‌هاست. این همان کاری است که

استنلی با کنار هم گذاشتن اطلاعات مختلف و دسته‌بندی کردن آن‌ها بر اساس موقعیت مکانی در ذهن خود انجام داد. GIS با ایجاد یک پایگاه داده مکانی، می‌تواند کلیه اطلاعات مکان مرجع را از منابع مختلف جمع‌آوری و در کنار هم قرار دهد.

• **تحلیل اطلاعات مکانی** - با استفاده از این قابلیت شما می‌توانید پرسش‌های مکانی تعریف کنید و پاسخ سؤال خود را بر روی نقشه مشاهده کنید. سؤالاتی از قبیل: بهترین مکان جهت نصب نشانگر خطا بر روی شبکه کجاست؟ یا، در چه مکان‌هایی از شبکه احتمال برخورد صاعقه بیشتر است؟ یا، چه مکان‌هایی مناسب احداث نیروگاه بادی است؟ GIS با تحلیل مکانی اطلاعات و یا شناخت الگوهای موجود بین داده‌های مکانی می‌تواند به این سؤالات پاسخ دهد. بازهم عاملی که می‌تواند باعث برقراری ارتباط بین داده‌ها شود، موقعیت مکانی عوارض است. در صورتیکه تندبادی با سرعت بیش از ۷۵ مایل در ساعت از محدوده شرکت عبور کند، چه بخش‌هایی از شبکه آسیب خواهد دید؟ اگر استنلی ابزار مکانیزه‌ای در اختیار داشت تا بتواند پاسخ این سؤال را پیدا کند در آن صورت خیلی سریع‌تر و دقیق‌تر می‌توانست در خصوص اضافه‌کاری پرسنل تصمیم بگیرد.

• **انتقال اطلاعات مکانی** - منتقل کردن اطلاعات مکانی به گروه‌های اجرایی و همچنین ثبت و انتقال تغییرات انجام شده در محل به بخش دفتری و ستادی، معضل بزرگی است که همه شرکت‌های توزیع برق با آن دست به گریبان هستند. با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، می‌توان آخرین نقشه‌های به روزرسانی شده شبکه برق را در اختیار گروه‌های اجرایی گذاشت و از آن‌طرف، تغییرات انجام‌شده در محل و نتایج بازدیدها را بر روی نقشه ثبت کرد و در اختیار بخش دفتری قرار داد. با استفاده از این قابلیت، تغییرات به‌سرعت در سیستم اعمال می‌شود و همه به آخرین اطلاعات دسترسی خواهند داشت. در حال حاضر، آقای جان در امور خود به‌روزترین اطلاعات شبکه را در اختیار دارد و از آن‌ها در زیر صندلی ماشین خود نگهداری می‌کند. درست است که او می‌تواند نکات لازم را به استنلی انتقال دهد اما اگر داده‌های جامع و دقیق در اختیار کلیه افراد سازمان قرار گیرد، در آن صورت تصمیم‌گیری‌ها بسیار دقیق‌تر و سریع‌تر انجام خواهد شد.

• **نمایش وضعیت اطلاعات مکانی** – همان‌طور که شما با نگاه کردن به داشبورد ماشین می‌توانید از آخرین وضعیت خودروی خود باخبر شوید، با استفاده از این قابلیت سیستم GIS می‌توانید وضعیت شبکه توزیع برق را بر روی نقشه مشاهده کنید. به‌عنوان مثال، می‌توانید موقعیت مکانی ترانسفورماتورهای پربار را بر روی نقشه مشاهده کنید و یا پراکندگی مکانی مشترکین پرمصرف را در سطح شهر گزارش‌گیری کنید. در شرایط بحرانی، شما نیازمند آن هستید که بدانید پارامترهای مختلف چگونه بر یکدیگر اثر می‌گذارند. علی‌رغم پیشرفت‌های صورت گرفته در شرکت‌های توزیع، هنوز هم این شرکت‌ها برای مطلع شدن از وضعیت شبکه بیشتر به تماس‌های مشترکین وابسته هستند. GIS با یکپارچه‌سازی اطلاعات استاتیکی و دینامیکی می‌تواند به شما کمک کند تا از آخرین وضعیت شبکه مطلع شوید. اگر سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت، توانایی مدیریت اطلاعات دینامیکی را داشت، فرانک می‌توانست در آن روز بحرانی، پاسخ مناسب‌تری به سوالات مدیرعامل بدهد.

نحوه مدیریت اطلاعات در سیستم GIS

مدیریت دارایی‌ها در شرکت‌های توزیع با توجه به تنوع و پراکندگی تجهیزات کار بسیار پیچیده‌ای است. ران با اطلاعاتی که از همکاران خود کسب کرده بود، به‌خوبی می‌دانست که GIS چگونه می‌تواند در مدیریت اطلاعات مکانی به شرکت‌های توزیع برق کمک کند. شبکه برق یک سیستم به‌هم پیوسته است که برق تولیدی توسط نیروگاه‌ها را به مصرف‌کنندگان منتقل می‌کند. اجزای مختلف شبکه توزیع برق

مثل پست فوق توزیع، خطوط هوایی و کابلی، پایه و مشترک به سه شکل مختلف نقطه، خط و پلی گون می‌تواند در سیستم GIS مدل‌سازی شود. به‌عنوان مثال، موقعیت مکانی یک پایه به‌صورت عارضه نقطه ای، کابل به‌صورت عارضه خطی و پارسل ساختمانی مشترک به‌صورت عارضه پلی‌گون در سیستم GIS تعریف می‌شود. در سیستم GIS، اطلاعات توصیفی هر تجهیز قابلیت انتساب به موقعیت مکانی آن را دارد.

برای ایجاد یک سیستم GIS در شبکه توزیع برق، باید ابتدا بر اساس مطالعات شناخت و نیازسنجی، مشخص کرد که اطلاعات مکانی مورد نیاز برای مدیریت بهتر فرآیندهای کاری سازمان چیست. در قدم بعدی، باید مدل داده اطلاعات در سیستم GIS تعریف شود. در مدل داده، ساختار اطلاعات تعیین می‌شود و مشخص می‌شود چه تجهیزاتی و از هر تجهیز، چه اقلام اطلاعاتی در پایگاه داده GIS نقش دارند. نحوه ارتباط تجهیزات با یکدیگر و همچنین محیط پیرامون نیز در مدل داده مشخص می‌شود. شبکه توزیع برق یک سیستم به‌هم پیوسته و خطی است. به کمک GIS، می‌توان آرایش شبکه و جهت جریان برق را مدل‌سازی کرد. با مدل‌سازی شبکه توزیع برق در سیستم GIS، می‌توان یک نمای مکانی از وضعیت استقرار تجهیزات و شرایط واقعی شبکه ایجاد کرد. با مشاهده و تحلیل داده‌های مکانی در سیستم GIS، می‌توان چالش‌های کلیدی سازمان را ارزیابی و نحوه مواجهه با آن را مشخص کرد.

پس از تشکیل پایگاه داده GIS، می‌توان اطلاعات مورد نیاز را از منابع مختلف جمع‌آوری کرد. داده‌های قدیمی و نقشه‌های ترسیم شده در محیط اتوکد، می‌تواند به فرمت‌های جدید تبدیل و در سیستم GIS بارگذاری شود. اطلاعات برداشت شده با دستگاه GPS نیز می‌تواند به‌صورت مستقیم در سیستم GIS وارد شود.

با گردآوری اطلاعات از منابع مختلف و یکپارچه‌سازی آن‌ها در سیستم GIS، هر تجهیز درکنار اطلاعات توصیفی، یک موقعیت مکانی منحصربه‌فرد که با X، Y و Z مشخص می‌شود، خواهد داشت. به‌عنوان مثال، یک ترانسفورماتور به‌صورت یک عارضه نقطه‌ای بر روی نقشه و در موقعیت مکانی آن نمایش داده می‌شود. این ترانسفورماتور یک عارضه از لایه مکانی ترانسفورماتور است که در این لایه، کلیه ترانسفورماتورهای شرکت به همراه اطلاعات توصیفی آن‌ها نگهداری می‌شود.

در این لحظه جان گفت: "ما سال ساخت، ارتفاع و قدرت کشش پایه را بر روی آن حک می‌کنیم. آیا این موارد می‌تواند مثالی از اطلاعاتی باشد که به موقعیت مکانی پایه در سیستم GIS انتساب پیدا می‌کند؟"

ران پاسخ داد، "کاملا همین‌طور است. به مشخصات هر تجهیز در سیستم GIS، اطلاعات توصیفی می‌گویند. لازم نیست که اطلاعات توصیفی به‌صورت مستقیم در پایگاه داده GIS نگهداری شود، بلکه باید بتوان بین اطلاعات توصیفی و مکانی هر تجهیز ارتباط منطقی برقرار کرد. در سیستم GIS، موقعیت مکانی کلیه تجهیزات مشابه در یک لایه نگهداری می‌شود. بنابراین، نه‌تنها می‌توان موقعیت هر تجهیز مثل یک پایه مشخص را شناسایی کرد، بلکه می‌توان موقعیت مکانی سایر پایه‌ها نسبت به این پایه را نیز تعیین کرد.

اطلاعات مکانی سایر عوارض نزدیک پایه مثل خطوط هوایی و قطع کننده‌ها نیز در همین پایگاه داده مکانی نگهداری می‌شود. بنابراین می‌توان بین تجهیزات، ارتباط مکانی برقرار کرد و به‌عنوان مثال مشخص کرد که یک فیدر فشار ضعیف از روی چه پایه‌هایی عبور می‌کند. با استفاده از این قابلیت، شرکت‌های توزیع می‌توانند رفتار اجزای مختلف شبکه را تحلیل کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان تحلیل کرد که در صورت خرابی یک تجهیز، چه بخش‌هایی از شبکه بی‌برق می‌شود.

با استقرار سیستم GIS، شرکت‌های برق می‌توانند تجهیزات را در پایگاه داده مکانی ایجاد، حذف و یا ویرایش کنند. همچنین تغییرات مربوط به جهت جریان و آرایش شبکه می‌تواند در سیستم GIS به‌روزرسانی شود.

در صورتی که روال مناسب و فرآیند محوری برای به‌روزرسانی اطلاعات وجود داشته باشد، می‌توان به راحتی داده‌های مربوط به بازدیدها، تعمیرات و اطلاعات دینامیک را در سیستم GIS نگهداری و در کلیه بخش‌های سازمان استفاده کرد.

ثبت دقیق و کامل اطلاعات در سیستم GIS، مستلزم وجود ابزارهای مورد نیاز جهت ویرایش و نگهداری داده‌های مکانی است. در یک سیستم GIS سازمانی، کاربران بخش‌های مختلف باید بتوانند به‌صورت هم‌زمان بر روی پایگاه داده عملیات ویرایش را انجام دهند. نرم‌افزارهای GIS ای با ابزارهای مختلفی مانند ورژنینگ، مغایرت گیری و ایجاد کپی‌های مختلف از پایگاه داده مکانی این فرآیند را مدیریت می‌کنند. البته قبل از ویرایش اطلاعات، نخست باید نحوه ارتباط تجهیزات با یکدیگر مشخص شود. به‌عنوان مثال، ممکن است بر روی یک پایه، هم شبکه توزیع عبور کرده باشد و هم شبکه انتقال. اگر روابط بین تجهیزات به‌درستی تعریف نشده باشد، ممکن است در زمان ویرایش اطلاعات، اصول فنی شبکه برق رعایت نشود.

در این لحظه صدایی از آخر کلاس شنیده شد، "من یک نمونه تصویر از مثالی که شما به آن اشاره کردید را بر روی گوشی خود دارم. به این عکس نگاه کنید." این صدای میچل، کارشناس طراحی بود. ران به تصویر نگاه کرد (شکل۴-۱) و گفت: "نحوه ارتباط تجهیزات در این تصویر باید به‌دقت در سیستم GIS مدل‌سازی شود."

میچل گفت: "فکر می‌کنم این تکلیف درسی من باشد تا اطلاعات لازم در این خصوص را در اختیار شما قرار دهم."

شکل ۴-۱- عبور همزمان شبکه فشار متوسط و فشار ضعیف بر روی یک پایه مشترک (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

مشارکت فعال نفرات حاضر در کلاس برای ران امیدوار کننده بود. در وقت استراحت، آناند به او گفته بود که پس از استقرار سیستم GIS، او به دنبال آن است که واحد نقشه‌برداری شرکت را به واحد GIS تبدیل کند. با این اشتیاق فراوانی که در فضای کلاس وجود داشت، ران تلاش می‌کرد تا آنجا که ممکن است، مباحث جدید و تخصصی GIS را با زبان ساده و قابل‌فهم مطرح کند. با توجه به اینکه مدیریت اطلاعات مکانی، یک بخش کلیدی در هر سیستم GIS است، لذا ران تصمیم گرفت در این بخش از کلاس، ابزارهای نرم‌افزاری مدیریت اطلاعات را به‌صورت خلاصه تشریح کند.

ابزار ویرایش اطلاعات (Editing)

می‌توان به کمک ابزار ویرایش اطلاعات در محیط GIS، یک تجهیز را حذف و یا اضافه کرد. همین طور می‌توان اطلاعات توصیفی یک تجهیز را تغییر داد. اطلاعات توصیفی تجهیزات را می‌توان یکی یکی وارد کرد و یا اینکه از یک تجهیز به همراه اطلاعات توصیفی آن کپی گرفت و با درج کردن آن در یک محل دیگر، یک عارضه جدید با اطلاعات توصیفی مشابه عارضه قبلی ایجاد کرد. امکان جابه‌جا کردن محل یک عارضه و یا مجموعه‌ای از عوارض نیز در محیط ویرایش فراهم شده است. برای ساده‌سازی ویرایش اطلاعات، امکانات مختلفی در نظر گرفته شده است. یکی از این قابلیت‌ها، امکان درج عوارض جدید با استفاده از موقعیت مکانی عوارض موجود است. به‌عنوان مثال می‌توان یک خط جدید را درست از انتهای یک خط موجود شروع کرد و یا اینکه یک عارضه نقطه‌ای را بر روی نقاط انتهایی یک تجهیز خطی قرار داد. این قابلیت به‌خصوص در شبکه برق که برخی عوارض به‌هم پیوسته هستند بسیار اهمیت دارد و باعث افزایش دقت ورود اطلاعات توسط کاربر به‌روز رسان می‌شود.

بر روی یک پایگاه داده مکانی در محیط GIS، می‌توان قابلیت شبکه (network) پیاده‌سازی کرد. به‌عنوان مثال، می‌توان با انتخاب تجهیزات حامل جریان و تعیین منبع تغذیه، شبکه توزیع برق را در سیستم GIS مدل‌سازی کرد. چنانچه در محیط ویرایش، یک عارضه نقطه‌ای موجود در شبکه، جابه‌جا شود، در آن صورت کلیه خطوط تعریف‌شده در شبکه و متصل به آن عارضه نقطه‌ای نیز به مکان جدید کشیده شده و پیوستگی شبکه حفظ می‌شود.

نسخه گذاری پایگاه داده (ورژنینگ)

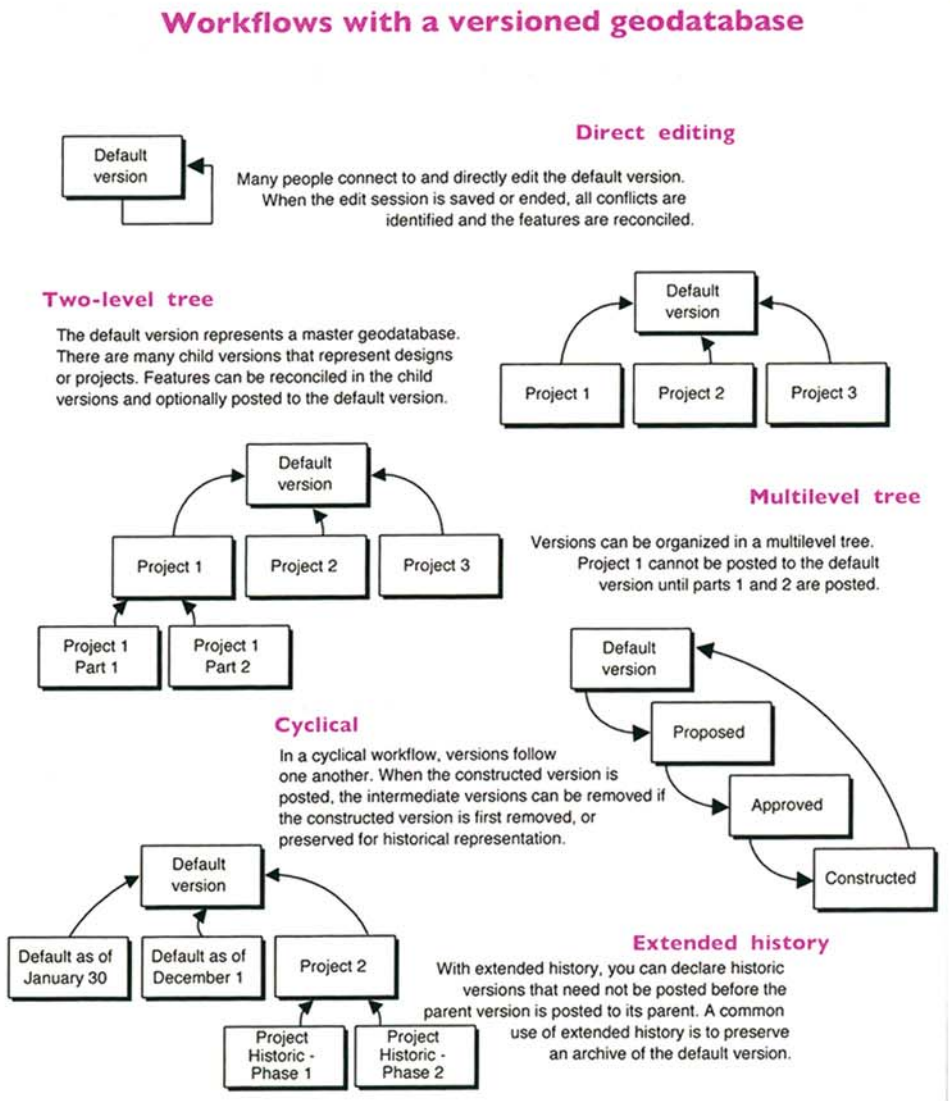
ران گفت:"با استفاده از قابلیت ورژنینگ، کاربران به‌روزرسان متعدد، بدون افزونگی داده و یا ایجاد اختلال، می‌توانند بر روی یک پایگاه داده واحد، اطلاعات را ویرایش کنند (شکل ۴-۲)." ران رو به فرانک کرد و گفت: "ممکن است برای ما توضیح دهی که نقشه‌های کاغذی قدیمی شرکت چگونه به‌روز می‌شد؟"

فرانک توضیح داد: "در گذشته، نسخه اصلی نقشه در یک مکان مطمئن نگهداری می‌شد. زمانی که یک شیت نقشه نیاز به ویرایش داشت، فرد نقشه‌کش، نسخه اصلی نقشه را از داخل کشوی کمد خارج و ابتدا تاریخ ویرایش را از روی آن پاک می‌کرد. از این لحظه، دیگر هیچ‌کس اجازه تکثیر این شیت نقشه را نداشت و به‌عبارت دیگر، پرینت نقشه‌ای که تاریخ ویرایش نداشت معتبر نبود. فرد نقشه‌کش تغییرات را به‌تدریج بر روی نسخه اصلی شیت نقشه ثبت می‌کرد و تا زمانی که حجم تغییرات به یک میزان قابل‌قبول نمی‌رسید، کار ویرایش را ادامه می‌داد. به همین دلیل، امکان داشت فرآیندکاری ویرایش یک نقشه هفته‌ها طول بکشد."

"در طول روزها و یا شاید هفته‌های متمادی، فرد نقشه‌کش تغییرات را بر روی نقشه اعمال می‌کرد. معمولا موقعیت مکانی تغییرات با یک دایره قرمز رنگ بر روی پشت نقشه مشخص می‌شد. زمانی که کار به اتمام می‌رسید، نقشه‌کش تاریخ ویرایش را بر روی شیت نقشه ثبت می‌کرد. در این زمان بود که نقشه تکثیر و در کلیه بخش‌های سازمان توزیع می‌شد. سپس، نسخه اصلی نقشه تا تغییرات بعدی در داخل کمد گذاشته می‌شد. شرکت‌های برق برای اطمینان از این موضوع که همیشه آخرین نسخه نقشه در اختیار پرسنل است، اجازه تکثیر نقشه بدون تاریخ ویرایش را نمی‌دادند."

در اینجا ران صحبت‌های فرانک را قطع کرد و گفت: "الان که نقشه‌های شرکت به فرمت دیجیتالی تبدیل شده، روند به چه نحوی است؟"

فرانک جواب داد: "متأسفانه با وجود آنکه نقشه‌ها دیجیتالی شده اما هنوز روال قبلی در شرکت ادامه دارد. زمانی که ما سیستم جدید را پیاده‌سازی کردیم هرگز گمان نمی‌کردیم که مجبور باشیم فرآیند



شکل ۴-۲- گردش کار ورژنینگ در سیستم GIS (منبع: Esri)

قبلی را حفظ کنیم. در حال حاضر، فرد نقشه‌کش آخرین فایل نقشه را نگهداری می‌کند. زمانی که قرار باشد یک شیت نقشه ویرایش شود، ابتدا تاریخ ویرایش از پرینت نقشه حذف می‌شود. پس از اتمام ثبت تغییرات، تاریخ ویرایش به نقشه اضافه و در کلیه بخش‌های سازمان توزیع می‌شود. فایل دیجیتالی به‌روز شده شیت نقشه نیز جایگزین فایل قبلی می‌گردد."

به نظر می‌رسید حالا دیگر فرانک به آمدن یک سیستم توانمندتر امیدوار شده بود. با استقرار سیستم جدید، کلیه مشکلات روال قبلی می‌توانست برطرف شود. فرانک گفت: "مشکل روال موجود آن است که شیت‌های نقشه با تأخیر به‌روز می‌شود. همان‌طور که اشاره کردم، فرد نقشه‌کش تا زمانی که تغییرات به یک حجم قابل قبول نرسد، نسخه جدید نقشه را منتشر نمی‌کند. درنتیجه، هیچ‌گاه نقشه‌های

موجود در بخش‌های مختلف سازمان کاملاً به‌روز نیست و حتی امکان دارد مغایرت‌های عمده‌ای با محل داشته باشد. به‌عنوان مثال، امکان دارد یک تیر برق در اثر برخورد خودرو شکسته و توسط بخش حوادث تعویض شود. در این صورت، تغییرات ایجاد شده توسط مسئول عملیات بر روی نقشه ثبت و برای واحد نقشه‌برداری ارسال می‌گردد. با فاصله زمانی کوتاهی، یک طرح توسط واحد مهندسی برای جابه‌جایی پایه مربوطه تهیه می‌شود. به دلیل آنکه هنوز ویرایش جدید نقشه، توسط واحد نقشه‌برداری منتشر نشده است، تغییرات صورت گرفته در محل در طرح لحاظ نمی‌شود. در زمان اجرای طرح، ناظر پروژه متوجه می‌شود که شبکه موجود در محل با طرح همخوان نیست و ناچار می‌شود که مغایرت‌های مشاهده شده را بر روی نقشه ثبت کند. به‌عبارت دیگر، از لحظه‌ای که ویرایش جدید یک شیت نقشه چاپ و تکثیر می‌شود، دیگر نقشه به‌روز نیست و نمی‌توان به آن، اعتماد لازم را داشت."

در اینجا، میچل، مهندس طراح وارد بحث شد، "روال موجود به‌روزرسانی نقشه‌ها، مشکلات خاصی را نیز در فرآیند طراحی ایجاد می‌کند. در زمان تهیه یک طرح جدید، مهندس طراح اساس کار خود را بر روی نقشه موجود می‌گذارد. همان‌طور که فرانک هم اشاره کرد، ممکن است از زمان انتشار نقشه، تغییرات زیادی در محل اتفاق افتاده باشد که هنوز در شیت‌های نقشه ثبت نشده باشد. بنابراین بسته به حجم تغییراتی که هنوز در شیت‌های نقشه ثبت نشده است، من طرح خود را بر پایه اطلاعاتی قرار می‌دهم که دیگر قدیمی شده‌اند. همچنین با توجه به طولانی بودن فرآیند تهیه طرح و اجرای پروژه، امکان دارد بعد از تهیه طرح و قبل از اجرای پروژه نیز اطلاعات موجود در طرح دچار تغییرات شود که این مغایرت‌ها اجرای طرح را دچار مشکل می‌کند. ایده‌آل آن است که هر زمان یک شیت نقشه به‌روز می‌شود، طرح‌های پیشنهادی در آن شیت نیز بازنگری و تغییرات ایجاد شده در نقشه، در طرح نیز لحاظ گردد. اما متأسفانه در عمل هیچ‌گاه این اتفاق نمی‌افتد."

ران درحالی‌که به یک تصویر با موضوع ورژنینگ در GIS اشاره می‌کرد (شکل ۴-۳) گفت: "خب، به نظر می‌رسد روال طراحی، فرآیند پیچیده و زمان بری باشد. فکر می‌کنم برای میچل جالب باشد اگر بداند که اساس بحث ورژنینگ در GIS همین مشکلی است که او به آن اشاره کرد. یک ورژن درواقع یک نسخه از اطلاعات پایگاه داده مکانی است که در یک زمان خاص تهیه شده است. کلیه اطلاعات مکانی و توصیفی و همچنین نحوه اتصال عوارض در یک ورژن نگهداری می‌شود. زمانی که برای یک کاربر ویرایشگر، یک ورژن در GIS ایجاد شود، دیگر عملکرد این کاربر باعث اختلال و یا توقف در ویرایش سایر کاربرانی که به‌صورت هم‌زمان مشغول کار بر روی یک پایگاه داده مشترک هستند، نمی‌شود."

"زمانی که کاربر ویرایشگر به پایگاه داده مکانی در سیستم GIS متصل می‌شود، ورژن خود را انتخاب می‌کند. به‌صورت پیش‌فرض، کاربر به نسخه اصلی پایگاه داده که والد سایر نسخه‌ها محسوب می‌شود، متصل می‌گردد. ورژن پیش‌فرض برخلاف سایر ورژن‌ها همیشه وجود دارد و نمی‌توان آن را حذف کرد. این ورژن، نشان دهنده آخرین وضعیت موجود شبکه است. کاربران ورژن‌های مختلف، تغییرات خود را بر روی ورژن اصلی ارسال می‌کنند. ورژن اصلی مشابه سایر ورژن‌ها امکان به‌روزرسانی مستقیم را نیز دارد."

"کاربران می‌توانند از روی نسخهٍ اصلی و یا نسخه‌های ساخته شده از روی نسخه اصلی، یک ورژن بسازند. در ابتدا، ورژن جدید کاملا مشابه ورژن والد است. با اعمال تغییرات بر روی ورژن جدید، به‌مرور زمان اختلاف بین ورژن‌ها زیاد می‌شود. کاربران می‌توانند به‌صورت هم‌زمان ورژن‌های مختلفی از یک ورژن والد بسازند. همچنین کاربران ویرایشگر مختلف می‌توانند به‌صورت هم‌زمان، بر روی یک ورژن تغییرات ثبت کنند."

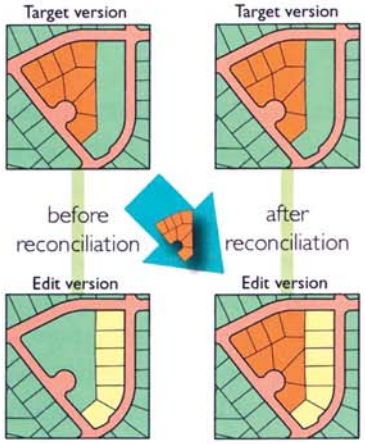
شکل ۴-۳- نحوه مدیریت تغییرات در ابزار ورژنینگ GIS (منبع: Esri)

فرآیند مغایرت گیری

ران که تازه گرم شده بود به سراغ مبحث بعدی رفت، "زمانی که ویرایش یک ورژن تمام می‌شود، کاربر می‌تواند تغییرات را با ورژن والد یکپارچه‌سازی کند. برای ارسال تغییرات، کاربر باید ابتدا مرحله مغایرت‌گیری بین نسخه والد و نسخه فرزند را انجام دهد. سپس اگر مغایرتی نبود، کاربر ویرایشگر می‌تواند تغییرات را به ورژن والد منتقل کند. در مرحله مغایرت گیری هم کنترل می‌شود که تغییرات صورت گرفته در نسخه فرزند مغایرتی با اطلاعات موجود در نسخه والد نداشته باشد و هم به‌روزرسانی‌های صورت گرفته در نسخه والد به نسخه فرزند منتقل می‌شود."

میچل گفت: "اگر اشکالی نداشته باشد قدری موضوع را شفاف‌تر کنیم. فرض کنیم طراحی قصد دارد یک طرح برای توسعه شبکه زمینی آماده کند. او در طرح خود مشخص کرده است که کابل جدید باید از داخل لوله شماره 4B عبور کند. آیا در فرآیند مغایرت گیری که تو به آن اشاره کردی، بررسی می‌شود که هنوز لوله 4B خالی است؟ این سؤال را می‌پرسم چون ما در واحد طراحی با این مشکل مواجه هستیم. در بازه زمانی که طراح مشغول تهیه طرح است، ممکن است یک طراح دیگر از آن لوله خالی برای تهیه طرح خود استفاده کند."

ران با اطمینان پاسخ داد: "با پیاده‌سازی مناسب سیستم GIS دیگر چنین مشکلی اتفاق نخواهد افتاد." او سپس برای توضیح بیشتر، تصویری را در خصوص گردش کار فرآیند مغایرت گیری بر روی صفحه نمایش انداخت (شکل ۴-۴) و گفت: "درواقع، در طول فرآیند طراحی، طراح هر زمان که بخواهد می‌تواند نسخه خود را با نسخه اصلی مقایسه کند و مرحله مغایرت گیری را انجام دهد. اگر طراح متوجه شود که لوله رزرو شده توسط او صاحب دیگری پیدا کرده است، می‌تواند طراح دوم را متقاعد کند که لوله مورد نظر را به او بازگرداند و یا اینکه طرح خود را تغییر بدهد و از مسیر دیگری برای عبور کابل استفاده کند."



شکل ۴-۴- مراحل اجرای فرآیند مغایرت‌گیری در ابزار ورژنینگ

"در مرحله مغایرت گیری، کلیه تغییرات انجام شده در نسخه تحت ویرایش و نسخه هدف با هم ادغام می‌شود. نسخه هدف همان نسخه‌ای است که در بالادست نسخه فرزند قرار دارد. تغییرات می‌تواند شامل درج جدید، حذف و یا ویرایش اطلاعات عوارض شود. در مرحله مغایرت گیری، این تغییرات به همراه مغایرت‌های احتمالی شناسایی می‌شود. پس از انجام مرحله مغایرت گیری، می‌توان تغییرات را بر روی ورژن والد ارسال کرد."

مدیریت مغایرت‌ها

ران گفت: "قبل از آمدن کامپیوتر، مهندسین و نقشه‌کش‌ها طرح پیشنهادی خود را در داخل مخزن نگهداری می‌کردند. هم‌زمان دو نفر نمی‌توانستند بر روی یک طرح کار کنند و اگر فردی برای یک منطقه طرح تهیه می‌کرد، از دیگر طرح‌های پیشنهادی تهیه شده در آن منطقه بی‌اطلاع بود. امروزه وضعیت متفاوت شده است. با استفاده از ابزار مغایرت گیری در محیط GIS، می‌توان تفاوت‌ها و تناقض‌های احتمالی را شناسایی کرد. مغایرت، زمانی به وجود می‌آید که چند کاربر، به‌صورت هم‌زمان یک عملیات متفاوت را بر روی یک عارضه انجام دهند."

"در مرحله مغایرت گیری، تناقض‌های احتمالی به کاربر نشان داده می‌شود و این کاربر است که باید در خصوص نحوه رفع مغایرت تصمیم‌گیری کند. فرض کنید که طراح شماره یک تصمیم گرفته است موقعیت مکانی یک ترانسفورماتور را جابه‌جا کند. یک طراح دیگر که از ایده همکار خود بی‌خبر است و شاید در یک طبقه دیگر و یا ساختمان دیگری قرار دارد، در حال تهیه طرح شماره دو است. او تصمیم دارد با حفظ موقعیت مکانی، ظرفیت ترانسفورماتور را افزایش دهد. این دو طرح با یکدیگر تناقض دارد.

به نظر شما کدام‌یک باید اجرا شود؟ قطعاً دو طرح به‌صورت هم‌زمان قابلیت اجرا ندارد و باید طراحان در این خصوص تصمیم‌گیری کنند. نرم‌افزار امکان تصمیم‌گیری ندارد و تنها با مقایسه ورژن‌های مختلف، تناقضات احتمالی و موقعیت مکانی این مغایرت‌ها را نمایش می‌دهد. در GIS، مجموعه امکاناتی که جهت شناسایی و رفع تناقضات احتمالی در حالت ویرایش هم‌زمان یک ورژن و یا مقایسه ورژن‌های مختلف در نظر گرفته است را مدیریت مغایرت (conflict management) می‌نامند."

کپی‌برداری از اطلاعات مکانی

ران گفت: "یکی دیگر از قابلیت‌هایی که در سیستم GIS جهت مدیریت اطلاعات در نظر گرفته شده، ابزار کپی‌برداری از پایگاه داده مکانی (Replication) است. به کمک ابزار کپی‌برداری، فارغ از وسعت و پراکندگی شرکت، می‌توان اطلاعات مکانی را در کل سازمان یکپارچه‌سازی کرد. در سیستم GIS می‌توان از کل و یا بخشی از پایگاه داده مکانی یک نسخه کپی تهیه کرد. با همگام‌سازی کردن نسخه کپی با پایگاه داده اصلی می‌توان تغییرات به‌روزرسانی شده بر روی نسخه کپی را به پایگاه داده اصلی منتقل کرد."

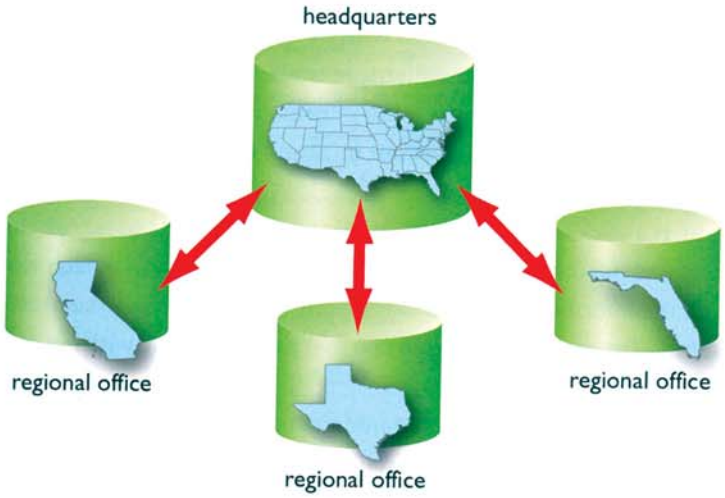
"استنلی، این قابلیت به کار تو می‌آید. ستاد شرکت می‌تواند اطلاعات محدوده جغرافیایی هر امور اجرایی را در قالب یک نسخه کپی از پایگاه داده اصلی در اختیار امورهای اجرایی قرار دهد. در این صورت، هر امور تنها بر روی داده‌های بخش خود کار می‌کند. پس از ویرایش تغییرات به‌روزرسانی شده بر روی نسخه کپی، امور اجرایی می‌تواند در زمانی که ترافیک شبکه ارتباطی سبک‌تر باشد، تغییرات را بر روی پایگاه داده اصلی منتقل کند. این قابلیت به‌خصوص در شرکت‌هایی که ارتباط مخابراتی بین ستاد و امورهای اجرایی ضعیف باشد بسیار کاربردی است. البته نشستن اطلاعات به‌روز شده توسط امورهای اجرایی بر روی پایگاه داده اصلی یک شرط هم دارد و آن شرط این است که آقای جان اجازه بدهد، نقشه‌های دستی او از زیر صندلی‌اش خارج شود و در اختیار سایر بخش‌ها قرار گیرد."

جان لبخندی زد و گفت: "خیلی امیدوار نباش"

ران ادامه داد، "به‌هرحال، امورهای اجرایی می‌توانند یک نسخه کپی از اطلاعات امور را در اختیار بخش‌های زیرمجموعه نیز قرار دهند. این ساختار مشابه یک درخت است و به شرکت‌های توزیع اجازه می‌دهد، اطلاعات مکانی را در کل سازمان توزیع و مدیریت کنند."

"شرکت‌های توزیع برق می‌توانند از نسخه کپی شده از اطلاعات مکانی هم در شرایط متصل به شبکه داخلی شرکت و هم در حالت آفلاین و عدم اتصال به پایگاه داده استفاده کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان یک نسخه از بخشی از اطلاعات مکانی شرکت را بر روی موبایل و یا تبلت انتقال داد و با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، اطلاعات را در محل مشاهده و ویرایش کرد."

سپس ران اسلاید جدیدی را بر روی صفحه نمایش انداخت (شکل ۴-۵) و گفت: "متولیان سیستم GIS می‌توانند نسخه‌های مختلفی از پایگاه داده مکانی را ایجاد و در سطح شرکت توزیع کنند. پس از اعمال تغییرات بر روی نسخه‌های فرعی می‌توان با سنکرون کردن نسخی کپی و پایگاه داده اصلی، تغییرات نسخه‌های فرعی را به نسخه اصلی انتقال داد. اگر بخواهیم تغییرات یک نسخه فرعی بر روی یک نسخه فرعی دیگر بنشیند، ابتدا باید یکی از نسخه‌های فرعی با نسخه اصلی سنکرون شود و در ادامه با سنکرون کردن نسخه فرعی دوم، تغییرات نسخه فرعی اول بر روی این نسخه نیز خواهد نشست.



شکل ۴-۵- به کمک ابزار کپی‌برداری از پایگاه داده مکانی می‌توان اطلاعات را در کل سازمان یکپارچه‌سازی کرد

تحلیل داده‌های مکانی

همه نفرات شرکت‌کننده در کارگاه آموزشی به جز استنلی، بعد از یک استراحت کوتاه دوباره به کلاس بازگشتند. استنلی به دلیل مشکلات پیش آمده در امور مجبور شده بود کلاس را ترک کند. ران از حضار پرسید: "شنیده‌ام استنلی در آستانه بازنشستگی است. راستی اگر او برای همیشه از شرکت برود آنگاه در طوفان بعدی چگونه شرایط بحرانی مدیریت خواهد شد؟ برای حل مشکلات پیچیده، شرکت نیاز به ابزارهای تصمیم‌گیری دارد. ابزارهایی که به اندازه دانش و تجربه استنلی هوشمند باشند." ران احساس کرد که افراد حاضر در کلاس در حال ارزیابی این موضوع هستند که آیا GIS می‌تواند مشابه استنلی در شرایط بحرانی به داد شرکت برسد و در مدیریت گروه‌های عملیاتی سودمند باشد.

ران ادامه داد، "قطعا پایداری سیستم توزیع شرکت AnyTown Energy در مناطق مختلف، متفاوت است، اما نقاط ضعف شبکه چیست و این نقاط در چه موقعیت جغرافیایی قرار دارد؟ همه ما می‌دانیم که سالیانه در سطح شرکت عملیات شاخه‌بری انجام می‌شود. هرسال بر عمر تجهیزات موجود شرکت افزوده و همین‌طور تجهیزات جدیدی در شرکت نصب می‌شود. چطور ما می‌توانیم این اطلاعات پراکنده را در کنار هم قرار دهیم و متوجه شویم چه بخش‌هایی از شبکه در برابر طوفان بعدی آسیب‌پذیر خواهد بود؟ اطلاعات مربوط به بازدید و تعمیر تجهیزات به همراه آدرس محل در سیستم تعمیرات و نگهداری وجود دارد. اطلاعات مربوط به تعداد باز و بست کلیدها در سیستم مدیریت خاموشی نگهداری می‌شود؛ اطلاعات مربوط به سابقه خرابی تجهیزات نیز موجود است. مشکل اصلی نبود اطلاعات نیست، بلکه پراکنده بودن و عدم یکپارچگی اطلاعات است."

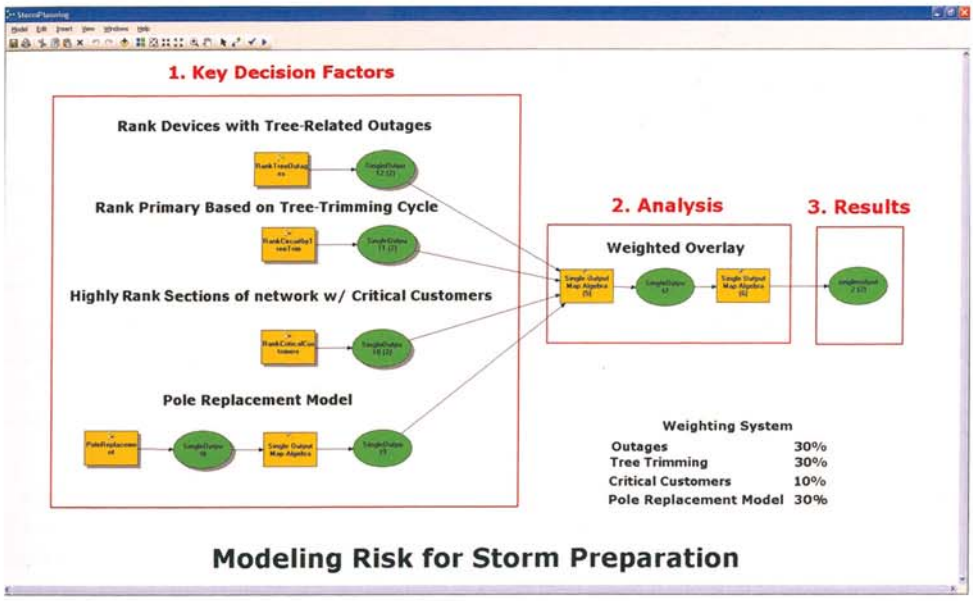
"در زمان وقوع خاموشی شبکه برق، مدیران بهره‌برداری باید با در نظر گرفتن پارامترهای اقتصادی تصمیم بگیرند که گروه‌های عملیاتی را به چه تعداد و در چه محل‌هایی مستقر کنند. چگونه این مدیران می‌توانند با اطلاعاتی که در اختیار دارند در حداقل زمان در این خصوص تصمیم‌گیری کنند؟ آن‌ها فرصت کافی برای اینکه بخواهند اطلاعات را از منابع پراکنده و غیرمطمئن جمع‌آوری کنند، ندارند. اطلاعاتی که دسترسی به آن دشوار باشد، هرچند هم دقیق باشد، باز در شرایط بحرانی بلااستفاده خواهد بود."

"از طرف دیگر با استفاده از سیستم GIS و تحلیل‌های مکانی موجود در آن، نه‌تنها می‌توان به اطلاعات دقیق دسترسی داشت، بلکه سناریوهای احتمالی برای حل مشکلات نیز در اختیار خواهد بود. استفاده از منابع اطلاعاتی پراکنده و اتکا به تجربه شخصی افراد و یا بهره‌گیری از تحلیل‌های مکانی مبنی بر سیستم‌های یکپارچه کامپیوتری، شما کدام‌یک را ترجیح می‌دهید؟ با استفاده از سیستم GIS می‌توان کلیه داده‌های لازم جهت ارزیابی نقاط آسیب‌پذیر شبکه را گردآوری و تحلیل کرد. مدیران شرکت با استفاده از نتایج این تحلیل‌ها و همچنین تجربه خود می‌توانند بهترین تصمیم را بگیرند."

"یکی از نقاط قوت سیستم GIS برای شرکت‌های توزیع برق این است که آن‌ها می‌توانند موقعیت و شرایط تجهیزات خود و همچنین ارتباط بین تجهیزات و محیط پیرامون را بر روی نقشه های جغرافیایی مشاهده کنند. توانایی سیستم GIS در تحلیل‌های مکانی، ریسک تصمیم‌گیری شرکت‌ها بر پایه دانش و تجربه شخصی پرسنل را کاهش می‌دهد." ران این جمله را گفت ولی در ادامه مقداری لحن خود را نرم‌تر کرد، "نیروهای اجرایی شرکت اطلاعات زیادی در خصوص وضعیت شبکه دارند. زمانی که ابرهای طوفانی در دوردست ظاهر می‌شوند، برخی پرسنل باتجربه شرکت ممکن است بتوانند نقاط آسیب‌پذیر احتمالی شبکه را پیش‌بینی کنند. آن‌ها این کار را با استفاده از سال‌ها تجربه و ذهن خلاق خود انجام می‌دهند. استنلی قبلا این موضوع را ثابت کرده است. تعمیرکارانی مثل جان، کلیه اطلاعات شبکه را در ذهن خود نگهداری می‌کنند و وضعیت تجهیزات را با چشم خود دیده‌اند. زمانی که این پرسنل بازنشسته شوند، همه این تجربیات و تحلیل‌های ذهنی با آن‌ها خواهد رفت." افراد حاضر در کلاس با شنیدن این جملات به فکر فرو رفتند.

"هرچند GIS نمی‌تواند جایگزین هوش و فراست انسانی شود اما ابزارهایی را فراهم می‌کند که با استفاده از آن می‌توان دانش پرسنل را ارزیابی و زیرساخت مناسبی جهت تصمیم‌گیری بهتر فراهم کرد. GIS می‌تواند از سایر سرویس‌های مکانی، مثل نقشه‌های پیش‌بینی آب‌وهوا استفاده کند. این سیستم می‌تواند با استفاده از اطلاعات بازدید و سیستم تعمیرات و نگهداری، موقعیت مکانی تجهیزاتی که هنوز سرویس نشده‌اند را نمایش دهد. سیستم GIS می‌تواند به شما بگوید که در چه مناطقی نیاز به شاخه‌بری دارید. اطلاعات مربوط به مشخصات فنی و عمر تجهیزات نیز در سیستم GIS نگهداری می‌شود. درنهایت، سیستم GIS با یکپارچه‌سازی و تحلیل این اطلاعات می‌تواند به شما بگوید که چه بخش‌هایی از شبکه تحت تأثیر طوفان خواهد بود و چه تجهیزاتی در طوفان احتمالی در معرض آسیب بیشتر قرار دارد."

"شرکت‌های توزیع برق با استفاده از اطلاعات مربوط به مسیر حرکت طوفان و همچنین تجهیزات در معرض آسیب، می‌توانند به کمک GIS به نحوی موقعیت استقرار گروه‌های عملیاتی را تعیین کنند که حداقل خاموشی را داشته باشند. استنلی در طوفان قبلی این کار را انجام داد، ولی با تکیه بر ذهن خود. با استفاده از سیستم GIS می‌توان این فرآیند را به‌صورت مکانیزه و در حداقل زمان انجام داد و حتی سوابق اطلاعات را جهت تصمیم‌گیری‌های آتی بایگانی کرد. به این تصویر نگاه کنید. در این دیاگرام، فرآیند تعیین بخش‌های آسیب‌پذیر در شرایط وقوع طوفان احتمالی با استفاده از سیستم GIS ترسیم شده است (شکل ۴-۶). توجه داشته باشید که در این مدل پردازش مکانی (geoprocessing model) اطلاعات از منابع مختلف گردآوری می‌شود. در ادامه با وزن دهی به پارامترهای مؤثر در تصمیم‌گیری نتایج استخراج می‌شود. مشابه همین روند، استنلی مناطق پر ریسک را با دایره‌های قرمز رنگ بر روی نقشه مشخص کرد. مزیت ایجاد مدل پردازش مکانی این است که می‌توان با استفاده از آخرین اطلاعات به‌روزرسانی شده و با تغییر شرایط آن را مجددا اجرا کرد."



شکل ۴-۶-مدل پردازش مکانی تعیین مناطق پر ریسک در زمان وقوع طوفان

خانم ماریا گفت: "معذرت می‌خواهم ران. با توجه به مطالبی که الان تو گفتی به نظر می‌رسد که GIS زیرساخت شبکه هوشمند باشد و قبل از عملیاتی سازی شبکه هوشمند، ابتدا باید بستر مکانی ذخیره‌سازی اطلاعات آن را آماده کرد."

ران پاسخ داد: "حق با توست ماریا. به نظر تو GIS چه نقشی در شبکه هوشمند می‌تواند داشته باشد؟"

خانم ماریا جواب داد، "ما به سیستمی جهت نگهداری و نمایش موقعیت مکانی حس‌گرها، وسایل اندازه‌گیری، مدارهای فرمان، رله‌ها و شبکه فیبر نوری نیاز داریم."

ران صحبت‌های خانم ماریا را تأیید کرد و در تکمیل آن گفت: "شرکت‌های توزیع برق نیازمند ابزارهایی هستند تا با استفاده از آن موقعیت مناسب نصب تجهیزات شبکه هوشمند بر روی تأسیسات شبکه توزیع را تعیین کنند. برای شرکت‌های توزیع برق مقرون‌به‌صرفه است که شبکه فیبر نوری را بر روی پایه‌های موجود برق و یا در داخل کانال‌های احداث شده جهت عبور کابل‌ها نصب کنند. سیستم GIS با نگهداری از اطلاعات مکانی و توصیفی شبکه موجود، نقش بی‌بدیلی در توسعه شبکه هوشمند دارد. GIS یک زیرساخت مکانی را جهت نمایش اطلاعات و شاخص‌های شبکه هوشمند فراهم می‌کند. با استفاده از سیستم GIS می‌توان شاخص‌های اندازه‌گیری شده توسط شبکه هوشمند را در طول زمان و بر اساس پارامتر مکان ذخیره‌سازی و از این طریق، روندها و الگوهای موجود بین داده‌ها را شناسایی کرد. با توجه به هوشمندی که از شبکه هوشمند انتظار می‌رود، این سیستم به GIS جهت تحلیل‌های پیشرفته مکانی، کشف الگوهای موجود بین داده‌ها، پیش‌بینی رفتار مشترکین و اندازه‌گیری شاخص‌های کلیدی نیاز دارد."

خانم لوییس صحبت‌های ران را قطع کرد و گفت: "پس خدمات مشترکین چه می‌شود؟ شما در این خصوص چیزی نگفتید."

ران پاسخ داد: "یکی از مهم‌ترین اجزای GIS شبکه توزیع، اطلاعات مربوط به مشترکین است. قطعاً در آینده نزدیک من بازدیدی از واحد خدمات مشترکین خواهم داشت و با لوییس و همکارانش صحبت‌های

تکمیلی را انجام خواهم داد. با استفاده از سیستم GIS می‌توان کلیه فرآیندهای مکان محور سازمان، از مهندسی و حسابداری تأسیسات گرفته تا حقوقی و خدمات مشترکین، را مدیریت کرد. به‌عنوان مثال، فرض کنیم یک شرکت بخواهد میزان رضایت‌مندی مشترکین را تحلیل کند. بسیاری از عوامل تأثیرگذار بر روی رضایت‌مندی مشترکین، ریشه مکانی دارد. با استفاده از یک سیستم GIS جامع می‌توان تأثیر خاموشی مشترکین بر رضایت‌مندی آن‌ها را شناسایی کرد. با یک پرس و جوی مکانی ساده در GIS می‌توان موقعیت مکانی مشترکینی که تجربه خاموشی داشته اند و همچنین فراوانی خاموشی آن‌ها را بر روی نقشه نمایش داد و در ادامه، مطالعات آماری انجام شده در خصوص میزان رضایت‌مندی مشترکین را با نتایج حاصل از نقشه‌ها ادغام کرد."

خانم لوییس گفت: "چه جالب، آیا می‌توان از نقشه سؤال پرسید؟"

ران جواب داد: "بله، و اگر شما رابطه معناداری بین اطلاعات مکانی موقعیت خاموشی مشترکین و میزان رضایت‌مندی آن‌ها پیدا کنید، می‌توانید به بررسی دقیق‌تر سایر مشترکینی بپردازید که با وجود عدم داشتن خاموشی، اما هنوز هم از خدمات شرکت ناراضی هستند. علاوه بر این، با دانستن موقعیت مکانی مشترکینی که کنتور آن‌ها قرائت نشده و قبض تخمینی برایشان صادر شده و یا مشترکینی که مبلغ قبض آن‌ها زیاد است، می‌توان تحلیل جامع‌تری در خصوص دلایل عدم رضایت‌مندی مشترکین داشت. اگر اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی پروژه‌های توسعه و نوسازی شبکه را هم به این داده‌ها اضافه کنیم قطعا تصویر شفاف‌تری از نوع نگاه مشترکین به شرکت خواهیم داشت. با کنار هم گذاشتن این اطلاعات ممکن است به این نتیجه برسیم که دلیل عدم رضایت برخی از مشترکین، مدت‌زمانی است که آن‌ها باید انتظار بکشند تا بتوانند درخواست خود را در مرکز تماس شرکت ثبت کنند."

خانم لوییس گفت، "با این حساب، احتمالا ما برخی مواقع بر اساس فرضیات غلط تصمیم‌گیری کرده‌ایم و به دلایل واقعی عدم رضایت‌مندی مشترکین بی‌توجه بوده‌ایم."

ران گفت: "چه کسی می‌داند؟ اما امیدوارم به‌زودی بتوانی با استفاده از GIS تحلیل‌های مکانی لازم را انجام دهی و نتایج حاصل را بر روی نقشه مشاهده کنی. قطعا تصمیم‌گیری بر عهده توست. GIS تنها اطلاعات مورد نیاز را در کنار هم و به صورتی نمایش می‌دهد که قبلا هرگز ندیده بودی. همچنین با استفاده از GIS می‌توان داده‌کاوی مکانی انجام داد و الگوهای رفتاری مشترکین را کشف نمود (به یادداشت‌های ران در خصوص تحلیل‌های مکانی مراجعه کنید)."

ران ادامه داد، "قابلیت‌های سیستم GIS به تحلیل داده‌های مکانی و نمایش بر روی نقشه منحصر نمی‌شود، بلکه می‌توان بر روی اطلاعات توصیفی نیز پردازش کرد. زمانی که قرار است به مشترکین یک منطقه در خصوص خاموشی ناشی از تعمیرات اطلاع‌رسانی کرد می‌توان با انتخاب مکانی این مشترکین در سیستم GIS و با استفاده از جدول اطلاعات توصیفی منتسب به این مشترکین، به آدرس و شماره تلفن آن‌ها دسترسی پیدا کرد و اطلاع‌رسانی لازم را در این خصوص انجام داد. با استفاده از ابزارهای موجود در GIS می‌توان گزارش‌های آماری از اطلاعات توصیفی تهیه کرد. تهیه جداول اطلاعاتی شامل میانگین، مجموع، میانه و انحراف معیار از مقادیر عددی اقلام توصیفی از دیگر قابلیت‌های سیستم GIS است. به‌عنوان مثال می‌توان مجموع طول شبکه فشار متوسط هوایی و کابلی را به تفکیک سطح مقطع محاسبه کرد و یا متوسط انرژی مصرفی در یک ناحیه خاص را تعیین نمود."

"با استفاده از تحلیل‌های مکانی موجود در GIS می‌توان ارتباط مکانی مجموعه‌ای از تجهیزات را تحلیل کرد. به‌عنوان مثال پراکندگی مکانی محل استقرار یک تجهیز، مرکز جغرافیایی پراکندگی مکانی یک دسته از تجهیزات، ارزیابی میزان تراکم تجهیزات در مناطق مختلف جغرافیایی و یا شناسایی هر نوع رابطه معنادار مکانی بین موقعیت تأسیسات."

یادداشت‌های آقای ران

تحلیل‌های مکانی

برای انجام یک تحلیل مکانی لازم است ابتدا نیاز خود را در قالب یک سؤال مطرح کنیم. سپس داده‌های مورد نیاز را شناسایی و روش تحلیل مکانی را انتخاب کنیم. درنهایت، داده‌ها پردازش خواهد شد و نتایج حاصل از تحلیل در قالب نقشه و یا جداول آماری قابل استفاده خواهد بود. در اینجا به چند نمونه ساده از تحلیل‌های مکانی اشاره خواهد شد:

- *امکان مشاهده موقعیت جغرافیایی و اطلاعات توصیفی کلیه تجهیزات بر روی نقشه. به‌عنوان مثال می‌توان آمار واقعی پایه‌های نصب شده در شرکت را به همراه اطلاعات توصیفی آن‌ها بر روی نقشه دید.*
- *امکان کارتوگرافی تجهیزات و مقایسه بین آن‌ها بر اساس یک قلم توصیفی بر روی نقشه. به‌عنوان مثال می‌توان اندازه سمبل مربوط به ترانسفورماتور را بر اساس ظرفیت آن تعریف کرد و با مشاهده نقشه، متوجه ظرفیت ترانسفورماتورهای نصب‌شده در بخش‌های مختلف شرکت شد و یا بر اساس تعداد مشترک هر امور اجرایی از رنگ‌های مختلف برای نمایش مناطق استفاده کرد و ناحیه‌های با مشترک بیشتر را پررنگ‌تر نمایش داد.*
- *می‌توان تجهیزات را بر اساس یک قلم توصیفی مرتب‌سازی و مقایسه کرد. به‌جای استفاده از مقادیر واقعی می‌توان از مقادیر نسبی استفاده کرد. مقادیر نسبی می‌تواند به‌صورت حرفی باشد مثل کم، متوسط و زیاد و یا به‌صورت عددی باشد مثل اعداد یک تا ده. به‌عنوان مثال می‌توان مشترکین را بر اساس میزان مصرف به سه دسته کم‌مصرف، میان مصرف و پرمصرف تقسیم‌بندی کرد و بر روی نقشه نمایش داد.*
- *می‌توان با گزارش‌گیری مکانی از یک تجهیز یا دسته‌ای از تجهیزات به یک مجموعه انتخاب شده جدید رسید و در ادامه تحلیل را بر روی تجهیزات انتخاب شده متمرکز کرد.*
- *می‌توان در اطراف یک تجهیز، بافر یا محدوده مکانی بر اساس طول و یا زمان تعریف کرد و مشخص کرد که چه تجهیزاتی در داخل و یا خارج از محدوده قرار می‌گیرند. به‌عنوان مثال مشترکینی را انتخاب کرد که در محدوده ۱۵۰ متری پست‌های توزیع هوایی قرار دارند و یا مشترکینی که خودروی عملیاتی شرکت ظرف ۱۵ دقیقه می‌تواند به محل آن‌ها برسد.*
- *می‌توان دو یا چند لایه مکانی را بر روی یک سیستم مختصات مشترک ترکیب و ادغام (overlay) کرد. از این طریق می‌توان به نتایج جدیدی در خصوص ارتباط مکانی بین تجهیزات دست پیدا کرد.*

ران توضیح داد: "با بررسی فاصله مکانی توزیع یک عارضه با سایر عوارض می‌توان به نتایج جدیدی دست پیدا کرد. به‌عنوان مثال، مسئله برق‌دزدی و خرابکاری تأسیسات الکتریکی یکی از چالش‌های شرکت‌های برق به شمار می‌رود. با بررسی توزیع مکانی نقاط برق‌دزدی در پیرامون شبکه توزیع، می‌توان برای پیشگیری از این مشکل برنامه‌ریزی بهتری انجام داد. اگر تمرکز نقاط برق‌دزدی در یک منطقه بیشتر باشد می‌توان هماهنگی لازم را با نیروی انتظامی برای گشت زنی بیشتر در منطقه مورد نظر انجام داد."

ران گفت: "علاوه بر تحلیل توزیع مکانی تجهیزات و حوادث، می‌توان از GIS برای کشف قرابت مکانی بین عوارض استفاده کرد. زمانی که یک دسته از تجهیزات از یک الگوی مکانی مشترک تبعیت می‌کنند معمولا بدین معناست که این الگوی مکانی به سایر تجهیزات موجود در آن لایه که در سایر مناطق هستند نیز قابل تعمیم است. به‌عنوان مثال با بررسی الگوی مصرف مشترکین یک منطقه، احتمالا به این نتیجه می‌رسیم که مشترکین مجاور هم روند مصرف تقریبا مشابهی دارند و این ویژگی برای سایر مناطق نیز می‌تواند صادق باشد. شناسایی روابط مکانی و شدت این روابط به ما کمک می‌کند که درک بهتری از آنچه در محل اتفاق می‌افتد داشته باشیم و پیش‌بینی کنیم که در کجا چه چیز اتفاق خواهد افتاد (به یادداشت‌های ران در خصوص تحلیل قرابت مکانی مراجعه کنید)."

یادداشت‌های آقای ران

تحلیل قرابت مکانی

تحلیل قرابت مکانی بر اساس این ایده شکل گرفته است که تجهیزات نزدیک به یکدیگر مشابهت بیشتری با هم دارند تا تجهیزاتی که از هم دور هستند. علاوه بر شناسایی الگوهای مکانی، GIS می‌تواند میزان و شدت این ارتباط مکانی را نیز اندازه‌گیری کند. به‌عنوان مثال، با بررسی میزان رضایت‌مندی مشترکین در مناطق مختلف می‌توان به الگوهای مکانی معناداری دست پیدا کرد. با استفاده از این تحلیل می‌توان به این نتیجه دست پیدا کرد که آیا مقادیر مشابه از یک رویداد خاص گرایش دارند که در مجاورت مکانی یکدیگر اتفاق بیفتند و یا اینکه توزیع پراکنده‌ای داشته باشند.

زمانی که عوارض مجاور از لحاظ یک ویژگی توصیفی مشابهت بیشتری با یکدیگر داشته باشند، قرابت مکانی مثبت خواهد بود و می‌توان بر اساس آن توصیف خاص، عوارض را خوشه‌بندی کرد. اما اگر عوارض مجاور، مشابه یکدیگر نباشند در این صورت قرابت مکانی منفی خواهد بود و این ویژگی توزیع پراکنده‌ای خواهد داشت.

تحلیل شبکه

یکی از قابلیت‌های سیستم GIS، ایجاد و تحلیل مجموعه به هم پیوسته‌ای از عوارض است که به اصطلاح شبکه (Network) نامیده می‌شود. ران در زمانی که بر روی مفاهیم شبکه برق مطالعه می‌کرد متوجه شد که می‌توان آرایش شبکه برق را با قابلیت تحلیل شبکه سیستم GIS مدل‌سازی کرد. او در سر کلاس ابتدا اشاره کوتاهی به این موضوع داشت و سپس ادامه داد "به کمک آنالیز شبکه می‌توان مشخص کرد که عوارض خطی مثل خیابان، لوله‌های آب و خطوط هوایی و زمینی شبکه برق به چه صورت به یکدیگر متصل شده‌اند. معمولا در سیستم GIS هر شبکه به‌صورت مجزا مدیریت می‌شود. به تکه خطوط تشکیل‌دهنده شبکه، سکشن (segment) می‌گویند، مثل تکه کابلی که از یک منهول شروع شده و تا منهول بعدی ادامه دارد. برای هر تکه خط می‌توان یک تابع هزینه و یا مقاومت در نظر گرفت. به‌عنوان مثال، برای شبکه راه‌ها می‌توان برای هر خیابان بر اساس طول، ترافیک و کیفیت مسیر یک هزینه در نظر گرفت و مناسب‌ترین مسیر را بر اساس تابع هزینه به دست آورد و یا در شبکه توزیع برق برای هر تکه خط بر اساس طول، سطح مقطع و جنس یک مقاومت در نظر گرفت."

"به کمک GIS می‌توان عوارضی که در پیرامون خطوط شبکه قرار دارد را شناسایی کرد. بعد از تعریف شبکه می‌توان کلیه تجهیزاتی را که در یک فاصله مشخص از خطوط شبکه قرار دارند، انتخاب کرد. با انتخاب عوارض پیرامون شبکه می‌توان به اطلاعات توصیفی این عوارض دسترسی داشت و تعداد آن‌ها را به تفکیک لایه شناسایی کرد. به‌عنوان مثال، با استفاده از آنالیز شبکه می‌توان مشترکینی را مشخص کرد که فاصله آن‌ها تا ساختمان امور اجرایی و یا یک پست فوق توزیع کمتر از ۱۵ دقیقه است."

"می‌توان جهت حرکت و یا جهت جریان را نیز در آنالیز شبکه مدل‌سازی کرد. جهت جریان بر اساس منبع (source) و چاه (sink) تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال، در شبکه انتقال برق می‌توان نیروگاه را به عنوان منبع تعریف کرد و یا در یک شبکه توزیع برق می‌توان از ترانسفورماتور پست فوق توزیع به‌عنوان عارضه نقطه‌ای منبع استفاده کرد. با تعریف جهت جریان در آنالیز شبکه، می‌توان از هر عارضه داخل شبکه، ره‌گیری بالادست انجام داد و به‌طرف منبع حرکت کرد و یا ره‌گیری پایین‌دست انجام داد و در خلاف جهت منبع حرکت کرد."

"به‌عنوان مثال، با ره‌گیری بالادست از یک مشترک به پست فوق توزیع تغذیه‌کننده آن رسید و یا با ره‌گیری پایین‌دست از یک ترانسفورماتور، مشترکین تغذیه شونده از آن را یافت. در آنالیز شبکه می‌توان

از ابتدا و یا انتهای هر سکشن عملیات ره‌گیری را آغاز کرد که این نقطه به‌اصطلاح با یک پرچم (flag) مشخص می‌شود. همچنین با گذاشتن مانع (barrier) بر روی خطوط می‌توان از انجام عملیات ره‌گیری در یک مسیر مشخص جلوگیری کرد. به‌عنوان مثال، در شبکه توزیع برق می‌توان با ره‌گیری پایین‌دست از کلیدی که قرار است باز شود و گذاشتن مانع بر روی انشعابی که قرار است مانور شود، محدوده خاموشی و همچنین مشترکین متأثر از این خاموشی را مشخص کرد و یا زمانی که خرابی یک تجهیز باعث بی‌برقی شبکه توزیع و ایجاد خاموشی ناخواسته می‌شود، می‌توان عوارض متأثر از این بی‌برقی را شناسایی کرد و مشخص کرد که آیا در این محدوده، مشترک حساسی وجود دارد و در بین مشترکین خاموش شده، کدام مشترک دیزل ژنراتور دارد و ممکن است برق را داخل شبکه تزریق کند."

نمایش تغییرات در طول زمان

ران گفت: "یکی از قابلیت‌های برجسته سیستم GIS امکان نمایش تغییرات وابسته به مکان در طول زمان است. با اضافه شدن بعد زمان به نقشه می‌توان تغییرات مرتبط با شرایط تجهیزات و حوادث را در طول زمان نمایش داد. با نمایش تغییرات صورت گرفته در شرایط تجهیزات بر روی نقشه می‌توان وضعیت آینده سیستم را پیش‌بینی کرد. کاربران می‌توانند نتایج برنامه‌ها و فعالیت‌های خود را با بررسی تغییرات توصیفی صورت گرفته در عوارض مکانی ارزیابی کنند. به‌عنوان مثال، شرکت توزیع می‌تواند روند مصرف مشترکین را قبل و بعد از نصب تجهیزات شبکه هوشمند مقایسه و نتایج حاصل از برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته را به‌صورت بصری بر روی نقشه مشاهده کند."

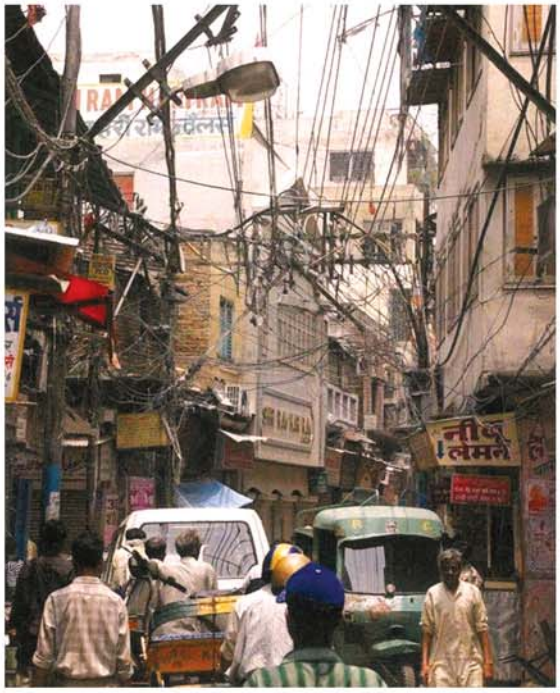
"حوادث مثل برخورد صاعقه و یا خاموشی می‌تواند به‌عنوان یک عارضه که منتسب به یک مکان است بر روی نقشه نمایش داده شود. با توجه به اینکه هر حادثه در یک مکان مشخص و در یک زمان مشخص اتفاق می‌افتد لذا GIS می‌تواند موقعیت مکانی حوادث را در طول زمان بر روی نقشه نمایش دهد. به‌عنوان مثال، اگر مرکز دیسپاچینگ بتواند موقعیت مکانی تماس‌های صورت گرفته با بخش حوادث را بر روی نقشه مشاهده کند، در آن صورت، در زمان حادثه و بروز خاموشی در شبکه، با بررسی پراکندگی مکانی تماس‌های انجام شده می‌تواند به موقعیت مکانی احتمالی خطا برسد و گروه‌های عملیات را برای بررسی دقیق‌تر موضوع به محل اعزام کند. به‌عنوان یک مثال دیگر، با داشتن سوابق اطلاعات مربوط به زمان و موقعیت برخورد صاعقه در محدوده شرکت، می‌توان الگوی مکانی برخورد صاعقه در فصول مختلف سال را پیش‌بینی کرد."

موبایل GIS: در محل چه خبر است

خانم فلو گفت: "می‌توانم صحبت‌های شما را قطع کنم و مطلب مهمی را بگویم؟ اگر GIS توانایی یکپارچه کردن منابع مختلف اطلاعاتی را دارد لطفا بگویید این سیستم چگونه می‌تواند گردش‌های کاری متنوع و پیچیده ما را بهبود دهد. ما میلیون‌ها تجهیز داریم که در سرتاسر محدوده جغرافیایی شرکت پراکنده شده‌اند، از مناطق روستایی گرفته تا دشت‌ها، بیابان‌ها، سواحل و نقاط مرزی. برخی تجهیزات ما بر روی پایه‌ها نصب شده است، برخی در زیرزمین دفن شده، برخی در انبارها نگهداری می‌شود و برخی نیز بر فراز آسمان و بر روی دکل‌های انتقال قرار دارد. از دیدگاه بهره‌برداری، ما گروه‌های فراوانی را به محل اعزام می‌کنیم، مثل گروه حوادث، کنتورخوان‌ها و تعمیرکاران."

ران صحبت‌های فلو را تأیید کرد و گفت: "پراکندگی تجهیزات و نیروی انسانی چالش مدیریتی بزرگی برای سازمان محسوب می‌شود. برای مدیران شرکت مهم است که بدانند پرسنل به چه محلی اعزام می‌شوند و در آن موقعیت، چه تجهیزاتی و با چه شرایطی وجود دارد."

مانی از بخش دیسپاچینگ گفت: "کاملاً صحیح است. به‌عنوان مثال، زمانی که یک ترانسفورماتور آتش می‌گیرد برای ما بسیار مهم است که بدانیم چه تجهیزاتی در مجاورت آن ترانس قرار دارد و نزدیک‌ترین گروه تعمیرات به محل حادثه کجاست. ایمنی یک دغدغه بزرگ برای شرکت‌های برق است."
ران گفت: "موبایل GIS، سومین قابلیت عمده سیستم GIS است که می‌تواند دغدغه‌های شما دو نفر را برطرف سازد. من این عکس را دیروز دیدم (شکل ۴-۷). به نظر من این تصویر به‌خوبی شرایط پیچیده شبکه توزیع برق را نمایش می‌دهد."



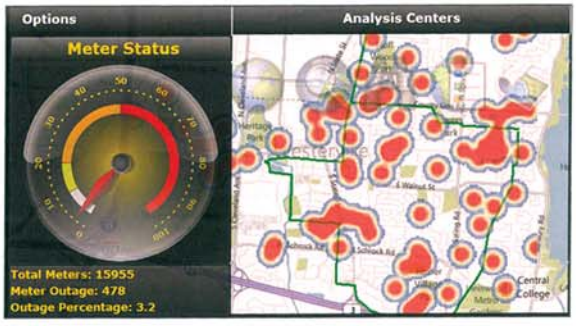
شکل ۴-۷- مدل سازی شبکه توزیع در سیستم GIS پیچیدگی‌های خاص خود را دارد.
(عکاس: Brent Jones، منبع: Esri)

"رمز موفقیت برای بهره‌برداری مناسب از شبکه، دسترسی به اطلاعات جامع و دقیق در خصوص وضعیت شبکه و موقعیت گروه‌های عملیاتی است. قطعا GIS به‌خوبی از عهده این مسئولیت برمی‌آید. با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، گروه‌های اجرایی به آخرین اطلاعات تأسیسات شرکت دسترسی خواهند داشت. به‌عنوان مثال، زمانی که گروه عملیاتی به یک تجهیز مراجعه می‌کند، GIS می‌تواند به او بگوید که آخرین بار این تجهیز کی بازدید و تعمیر شده است، عمر آن چقدر است، شرایط بهره برداری آن چگونه بوده است، سازنده آن چه شرکتی است، سابقه خرابی این تجهیز چیست و هر نوع اطلاعات مورد نیاز دیگر که برای آن تجهیز تعریف شده است در دسترس خواهد بود. گروه‌های عملیاتی می‌توانند مشابه شبکه هوایی، اطلاعات شبکه زمینی و یا تجهیزات دور از دسترس را بر روی موبایل و یا تبلت خود مشاهده کنند. همچنین اطلاعات محیط پیرامون تجهیزات مثل مسیرهای دسترسی، شرایط زیست‌محیطی، حیات‌وحش و مناطق پرخطر قابل مشاهده بر روی نقشه‌های جغرافیایی است."
جان تعمیرکار گفت: "آیا می‌توان با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، تغییرات را در محل ثبت کرد؟"

ران پاسخ داد: "بله، نیروهای عملیاتی می‌توانند با استفاده از فناوری موبایل GIS اطلاعات را در محل ویرایش کنند. جان، تو می‌توانی مغایرت‌ها را در محل اصلاح کنی، از تجهیزات معیوب عکس بگیری و به موقعیت مکانی آن منتسب کنی و اطلاعات مربوط به بازدید خود را در محل ثبت کنی."
فلو تأکید کرد: "با این حجم تجهیزات و نیروی انسانی، انتقال دقیق اطلاعات از بخش اجرایی به بخش دفتری کار بسیار مشکلی است. نیروهای عملیاتی معمولا تغییرات را به‌صورت دستی و بر روی نقشه‌های کاغذی ثبت می‌کنند. یک شرکت توزیع در مرکز کشور آمریکا گزارش کرده است که به بیش از یکسال وقت نیاز دارد تا بتواند تغییرات ثبت شده در محل را پردازش و در سیستم حسابداری خود وارد کند. شرکت ما هم در این زمینه وضع بهتری ندارد. نیروهای اجرایی یادداشت‌های ثبت شده بر روی نقشه را برای بخش دفتری ارسال می‌کنند، اما به دلیل دستی بودن و بدخط بودن تغییرات ثبت شده در محل، معمولا این یادداشت‌ها برای پرسنل بخش نقشه‌کشی خیلی واضح نیستند و ممکن است به صورت ناقص ثبت شوند. زمان‌بر بودن روند اعمال تغییرات نیز باعث کاهش دقت به‌روزرسانی نقشه‌ها می‌شود. درنتیجه، همیشه پرسنل شرکت با نقشه‌های ناقص و غیرقابل اعتماد مواجه هستند."
ران سؤال کرد: "اگر من درست متوجه شده باشم، شرکت شما هم مثل سایر شرکت‌های خدماتی اگر بخش از شبکه نیاز به تعمیر داشته باشد، ابتدا بخش مربوطه را از سایر بخش های شبکه جدا می کند و سپس با استفاده از داده های دینامیک و اطلاعات تعمیر و نگهداری، مانور مناسب را در شبکه اعمال می کند؟"
فلو پاسخ داد: "بله، کاملا صحیح است. اطلاعات مربوط به شرایط بهره‌برداری تجهیزات از سیستم اتوماسیون و سیستم تعمیرات و نگهداری به دست می‌آید."
ران گفت: "امروزه کاربرد موبایل GIS در ثبت اطلاعات مربوط به بازدید از تجهیزات بسیار بیشتر شده است و شرکت AnyTown Energy نیز می‌تواند از مزایای این تکنولوژی بهره‌مند شود. تجهیزات موبایل که GIS بر روی آن‌ها نصب شده است، به‌ویژه در شرایط بحرانی بسیار سودمند هستند و سرعت عملیات را افزایش می‌دهند. به‌جای تکیه کردن به نقشه‌های کاغذی قدیمی جان که در زیر صندلی ماشین بالابر جاسازی شده‌اند، کلیه پرسنل شرکت می‌توانند به کمک سیستم GIS از آخرین اطلاعات ثابت و متغیر تجهیزات مطلع شوند."

رصد کردن وضعیت شبکه

"چهارمین قابلیت شاخص سیستم GIS، توانایی آن در دریافت اطلاعات استاتیک و دینامیک از منابع مختلف و ارائه یک تصویر یکپارچه از وضعیت واقعی شبکه است. با ترکیب این قابلیت با فناوری موبایل GIS، کلیه پرسنل سازمان اعم از نیروهای اجرایی و دفتری از یک پنجره واحد به اطلاعات مکانی شرکت نگاه می‌کنند و شکاف موجود بین این دو بخش از بین خواهد رفت." ران این مطالب را گفت و در ادامه برای توضیح بیشتر تصویر زیر را بر روی مانیتور انداخت (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸- داشبوردهای مکانی وضعیت خاموشی در زمان وقوع طوفان (منبع: شهرداری Westerville ایالت Ohio)

خانم لوییس پرسید: "آیا این تصویر مربوط به داشبوردهای اطلاعاتی است که قبلاً شما به آن اشاره داشتید؟ ما هم در شرکت سیستم‌هایی داریم که می‌توانیم به‌وسیله آن‌ها از وضعیت شبکه باخبر شویم."
ران توضیح داد: "سیستم‌های کنترلی مثل اسکادا تنها می‌توانند بخشی از ماجرا را بیان کنند. در سیستم اسکادا، شبکه به‌صورت شماتیک و غیر مکانی نمایش داده می‌شود. درنتیجه، اپراتور مرکز دیسپاچینگ هیچ دیدی از وضعیت محیط پیرامون تجهیزات شبکه نخواهد داشت. به‌عنوان مثال، در صورت وقوع طوفان، مشخص نیست که چه بخش‌هایی از شبکه تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و یا به دلیل مشخص نبودن مسیرهای دسترسی به شبکه در نقشه‌های شماتیک، اپراتور مرکز کنترل تنها می‌تواند به تجربه خود برای راهنمایی گروه‌های عملیاتی تکیه کند. GIS می‌تواند اطلاعات لازم را از سیستم اسکادا، سیستم مدیریت خاموشی، سرویس داده های زیست‌محیطی و هر سیستم مکان‌مند دیگری دریافت کرده و در یک نمای واحد و بر روی نقشه‌های جغرافیایی به کاربران ارائه کند. همچنین GIS می‌تواند اطلاعات مربوط به بازدیدها که بر روی موبایل و یا تبلت ثبت شده است و نتایج حاصل از تحلیل‌های مکانی مثل نقاط آسیب‌پذیر شبکه را به کاربران نمایش دهد. اطلاعات مکانی مربوط به منابع خارج از سازمان مثل ترافیک، مسیریابی خودروها، وضعیت آب و هوا و سایر اطلاعات نیز قابلیت نمایش بر روی نقشه‌های GISرا دارد. در داشبوردهای مکانی کلیه اطلاعات از منابع مختلف ترکیب شده و یک تصویر جامع از آخرین وضعیت شبکه در اختیار تصمیم گیران سازمان قرار خواهد گرفت. در تصویری که بر روی صفحه نمایش قرار دارد، نتایج حاصل از تحلیل نقاط ریسک شبکه به نمایش در آمده و مناطقی که احتمال خاموشی در آن بیشتر بوده، بر روی نقشه مشخص شده است.

جمع‌بندی مطالب دوره آموزشی

با پایان یافتن دوره آموزشی و زمانی که نفرات برای ترک کلاس آماده می‌شدند، ران با خودش فکر می‌کرد که دیگر تیم GIS شرکت ایجاد شده است. کلیه نفرات حاضر در کلاس مشتاق بودند که اطلاعات تخصصی خود را از سیستم GIS افزایش دهند و از قابلیت‌های این سیستم در بهبود روال کاری بخش خود استفاده کنند. برای همه افراد کلاس شفاف شده بود که مسیر پیش روی شرکت جهت پیاده‌سازی سیستم GIS چیست و همکاران آن‌ها بعد از استقرار سیستم GIS چه امکاناتی در اختیار خواهند داشت.
ران در پایان گفت: "به همان سادگی که شما از اینترنت استفاده می‌کنید می‌توانید از قابلیت‌های سیستم GIS نیز در فرآیندهای کاری خود استفاده کنید. اکثر پرسنل شرکت تنها نیاز دارند که از طریق سیستم خود به GIS متصل شده و از ابزارهای کاربردی پیش‌بینی شده در این محیط استفاده کنند. اما فرانک و همکارانش در بخش نقشه‌برداری به آموزش‌های تخصصی بیشتری احتیاج دارند و راهبری این سیستم در آینده بر عهده آن‌ها خواهد بود. در قدم بعدی، ۳۰ نفر نقشه‌کش شرکت که در امورهای مختلف مشغول به کار هستند، به یک دوره آموزشی یک هفته‌ای نیاز دارند تا با اصول به‌روزرسانی اطلاعات در سیستم GIS آشنا شوند. مابقی پرسنل شرکت که در حدود ۱۴۰۰ نفر هستند از مزایای سیستم GIS در فرآیندهای کاری خود و در قالب برنامه‌های کاربردی بهره‌مند خواهند شد. آن‌ها نیازی به یادگیری مباحث تخصصی سیستم GIS ندارند و به‌راحتی از برنامه‌های کاربرپسند و مبتنی بر نقشه سیستم GIS استفاده خواهند کرد. من فکر می‌کنم این تعداد پرسنل برای یک شرکت برق با حدود یک میلیون مشترک منطقی باشد."
ران ادامه داد، "بخشی از مراحل آماده‌سازی استقرار سیستم GIS در یک سازمان به شناخت فرآیندهای کاری و تهیه برنامه عملیاتی اختصاص دارد. من برای گفتگو در خصوص مزایای سیستم GIS و شنیدن انتظارات و نیازهای شما به همه واحدهای شرکت مراجعه خواهم کرد. حضور شما در اینجا بسیار به من

کمک کرد تا شناخت بهتری از روال کاری موجود سازمان پیدا کنم و از این بابت بسیار سپاسگزارم. هر چه من شناخت بیشتری از فرآیندهای کاری شرکت برق داشته باشم بهتر می‌توانم مدل اطلاعاتی سیستم GIS را بر اساس نیازهای سازمان تهیه کنم. برای این منظور، من باید به شرح وظایف بخش‌های مختلف اشراف داشته باشم. همه بخش‌هایی که با اطلاعات مکانی سروکار دارند باید بررسی شوند، از مهندسی و بهره‌برداری گرفته تا واحد نقشه‌برداری و خدمات مشترکین. کمیته راهبری GIS شرکت با مدیران واحدهای شما هماهنگ خواهد کرد تا بتوانید بخشی از ساعات کاری خود را به فعالیت در تیم GIS اختصاص دهید."

فلو گفت: "من کاملاً آماده هستم."

میچل و مانی با هم گفتند: "ما هم همین‌طور"

بقیه نفرات هم آمادگی خود را جهت همکاری اعلام کردند. ران از همه تشکر کرد و سپس یک اتفاق بسیار جالب افتاد. آناند اجازه خواست تا موضوعی را عنوان کند، "من یکی از طرفداران پر و پا قرص سیستم GIS هستم. اگر اشکالی نداشته باشد، من مطالب ارائه شده توسط شما در کلاس را با آنچه از نفرات تیم GIS برای استقرار موفق این سیستم انتظار می‌رود، کنار هم بیاورم؟ من اطمینان دارم که با پیاده‌سازی موفق سیستم GIS شاهد رشد چشمگیری در افزایش بهره‌وری شرکت خواهیم بود...."

ران درحالی‌که که داشت به صحبت‌های آناند گوش می‌داد با خودش فکر کرد، "او می‌تواند بهترین دستیار برای من باشد."

آناند ادامه داد، "اگر بخواهم مطالبم را خلاصه کنم باید بگویم که سیستم GIS یک سیستم تک‌بعدی نیست و قابلیت‌های مختلف مثل مدیریت اطلاعات مکانی، تحلیل اطلاعات مکانی، انتقال اطلاعات مکانی و مشاهده وضعیت اطلاعات مکانی در آن پیش‌بینی شده است. اما همان‌طور که ران برای ما توضیح داد، برای استفاده از این قابلیت‌ها ابتدا باید مدل داده سیستم تهیه شود. مدل داده از چهار بخش تشکیل می‌شود: (۱) مدل فیزیکی سیستم، (۲) مدل منطقی سیستم، (۳) نقشه پایه و (۴) سرویس‌های نقشه تحت وب"

"بنابراین اگر ما بخواهیم ران را در انجام مأموریتش یاری کنیم، باید مشخص کنیم که در هر یک از این چهار بخش به چه اطلاعاتی نیاز است. نخست، در بخش مدل فیزیکی سیستم، ران احتیاج دارد بداند که شبکه برق از چه تجهیزاتی تشکیل شده است و مشخصات فنی این تجهیزات چیست. "سپس او باید مدل منطقی سیستم را تعریف کند. برای تعریف مدل منطقی، ران احتیاج دارد بداند که ارتباط تجهیزات شبکه برق با یکدیگر به چه نحوی است. به‌عنوان مثال، کدام تکه خط هوایی به کدام پایه متصل شده است و یا کدام کابل از داخل کدام لوله می‌گذرد."

خانم فلو وارد بحث شد و گفت: "برای شناخت ارتباط بین تجهیزات به‌خصوص شبکه زمینی، شما به یک مهندس احتیاج دارید. فکر می‌کنم میچل فرد مناسبی برای این کار باشد." میچل اظهار آمادگی کرد و گفت، "من همیشه برای کمک حاضرم. بعد از سال‌ها فعالیت در بخش طراحی، من اطلاعات بسیار خوبی در خصوص مشخصات فنی تجهیزات و همچنین نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر دارم."

آناند درحالی‌که به فرانک نگاه می‌کرد، گفت: "بسیار خوب، برای بخش سوم پروژه که اختصاص به نقشه‌های پایه دارد، فکر می‌کنم برای همه واضح است که چه کسی در بین ما بهترین گزینه برای همکاری است."

فرانک که امروز امیدوارتر به نظر می‌رسید، گفت، "خوشحال می‌شوم اگر کمکی از دست من بربیاید. البته آناند هم در این زمینه به‌اندازه من تخصص دارد. روی کمک ما دو نفر می‌توانید حساب کنید."

ران گفت: "نقشه‌های پایه، ارتباط بین تجهیزات شبکه برق با محیط پیرامونشان را مشخص می‌کنند. نقشه‌های پایه نمایش دهنده خیابان‌ها، سازه‌ها و در کل عوارض شهری و بیرون شهری هستند. ممکن است ما نتوانیم کتاب نقشه را قرض بگیریم ولی در سیستم‌های GIS امروزی، معمولا نقشه‌های پایه در

قالب سرویس نقشه از منابع برون‌سازمانی تأمین می‌شود.“ ران خیلی خوشحال بود که می‌توانست نقشه‌های پایه مورد نیاز را از خارج از سازمان تهیه کند چون نقشه‌های موجود شرکت AnyTown Energy قدیمی بودند و با سیستم‌های مختصات استاندارد همخوانی نداشتند.“

آناند ادامه داد، ”آخرین بخش مدل داده، تهیه سرویس‌های مکانی تحتِ وب است. چون من سال‌ها درگیر تهیه نقشه‌های موضوعی مورد نیاز کاربران بوده‌ام، با این مقوله کاملا آشنا هستم. با استفاده از این قابلیت می‌توان نقشه‌های سفارشی بخش‌های مختلف را از پایگاه داده مکانی GIS تولید و به‌صورت سرویس‌های مکانی تحت وب در اختیار آن‌ها گذاشت. سرویس‌های نقشه به‌ویژه برای کاربران غیرتخصصی، مثل ۱۴۰۰ همکار ما که در واحدهای مختلف سازمان نیاز به اطلاعات مکانی دارند، راهگشاست.“

ران در تکمیل صحبت‌های آناند گفت: ”سرویس‌های نقشه را می‌توان بر اساس نیاز کاربران سفارشی سازی کرد، مثلا سرویس نقشه خاصِ نمایش اطلاعات بار ترانسفورماتورها و یا سرویس نقشه جهت استفاده بر روی موبایل یا تبلت. معمولا سرویس‌های نقشه قابلیت ویرایش ندارند و ابزار بسیار مناسبی هستند جهت عمومی‌سازی استفاده از نقشه در بخش‌های مختلف شرکت. این سرویس‌ها با سرعت بالایی تولید می‌شوند و هم‌زمان می‌توانند به هزاران کاربر در داخل و خارج از سازمان خدمات ارائه کنند و حتی با استفاده از زیرساخت رایانش ابری (Cloud) نمایش داده شوند.“

کلاس به پایان رسیده بود و ران از برگزاری دوره آموزشی احساس رضایت داشت. او توانسته بود یک تیم علاقه‌مند و با تخصص‌های کاری مختلف را دور هم جمع کند.

فصل پنجم

طراحی مدل داده در سیستم GIS

Modeling Electric Distribution with GIS

طراحی مدل داده در سیستم GIS

بعد از دو هفته از شروع به کار در شغل جدید، ران توانسته بود تیم پروژه GIS را تشکیل دهد. در قدم بعدی او به دنبال آن بود تا بر روی کارکنان واحد نقشه‌برداری شرکت تمرکز کند. پس از پیاده‌سازی سیستم GIS، همکاران فرانک در واحد نقشه‌برداری مسئولیت نگهداری و راهبری این سیستم جدید را بر عهده خواهند داشت و لازم است با مفاهیم تخصصی مورد نیاز آشنا شوند. آن‌ها باید تفاوت‌های بین سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت و سیستم مدیریت اطلاعات مکانی GIS را درک کنند، تفاوت‌هایی که در شرکت AnyTown Energy در حد اختلاف بین شب و روز است.

بنابراین یک کارگاه آموزشی دیگر در پیش بود. فرانک یک روز را برای این کار در نظر گرفته بود و منتظر تماس ران بود تا هماهنگی نهایی را با او انجام دهد. برگزاری کلاس فرصت خوبی برای ران بود تا اطلاعات خود را از واحد نقشه‌برداری شرکت کامل‌تر کند و از آن‌طرف، با آموزش مفاهیم پایه GIS بتواند مقدمات تهیه مدل داده را فراهم سازد. برخی افراد شرکت‌کننده در کارگاه آموزشی دیروز، از او دعوت کرده بودند که از واحد آن‌ها بازدید کند و ران تصمیم گرفت قبل از شروع کلاس جدید به یکی از این واحدها سری بزند و از نزدیک با روال کاری آن‌ها آشنا شود.

مقایسه سیستم قدیمی و سیستم جدید

اولین کسی که از او دعوت کرد، آقای مانی کارشناس واحد دیسپاچینگ بود و ران، درخواست او را بلافاصله پذیرفت. او خیلی دوست داشت که مرکز کنترل بهره‌برداری شبکه را از نزدیک ببیند. اتاق مرکز دیسپاچینگ بسیار مجلل بود و مشابه مراکز کنترل ترافیک، بر روی دیوار صفحه‌های نمایش بسیار بزرگ نصب شده بود. دیسپاچینگ مرکز فرماندهی و کنترل شبکه برق است و کارشناسان این مرکز مرتب با واحدهای عملیاتی در ارتباط هستند و دستورات لازم را به آن‌ها ابلاغ می‌کنند.

برخی کاربران در سطح شرکت از نقشه‌های دیجیتالی استفاده می‌کنند و برخی نیز از نقشه‌های کاغذی. در واحد دیسپاچینگ هم از نقشه‌های کاغذی استفاده می‌شود و هم از نقشه‌های دیجیتالی.

ران متوجه یک سری کمدهای فلزی بزرگ شد که در بخشی از مرکز دیسپاچینگ در کنار هم قرار داشتند و سؤال کرد که در آن‌ها چه چیزی نگهداری می‌شود. مانی جواب داد: "شیت‌های کاغذی نقشه‌های شرکت در این کمدها نگهداری می‌شود. ما هر نقشه را با شماره شیت آن می‌شناسیم." سپس یکی از نقشه‌ها را از داخل کمد بیرون آورد و گفت: "این نقشه شماره Q-845-W است و ما دقیقا یک

شماره شیت تحت همین عنوان داریم." نقشه کامل شیت بندی شرکت بر روی دیوار نصب شده بود. بر روی این نقشه، کل محدوده شرکت توسط شیت‌های نقشه تقسیم‌بندی شده بود. برخی نقاط نقشه نیز با دایره‌های قرمز رنگ متمایز شده بود.

ران سؤال کرد: "نام‌گذاری شیت‌های نقشه برای شما چه کاربردی دارد؟"

مانی پاسخ داد: "شیت‌های نقشه، اساس همه کارهای ما را تشکیل می‌دهد. سیستم خدمات مشترکین، سیستم حسابداری تأسیسات، سیستم طراحی و سایر سیستم‌ها بر پایه گریدهای نقشه تعریف‌شده‌اند و شماره تعریف‌شده برای شیت‌های نقشه، زبان مشترک واحدهای مختلف شرکت برای شناسایی اطلاعات مکانی است."

ران دوباره به یاد صحبت‌های فرانک در خصوص کیفیت نقشه‌های پایه شرکت افتاد و نگرانی سراسر وجودش را فراگرفت. او برای انجام مأموریتش، مسیر سختی در پیش رو داشت و مجبور بود فرهنگ جاری استفاده از نقشه که در ذهن کارکنان شرکت رسوخ کرده بود را تغییر دهد.

نقشه‌های قدیمی

سیستم مدیریت نقشه‌های شرکت به اوایل قرن بیستم برمی‌گشت. تنها بهبودی که در شرکت AnyTown Energy اتفاق افتاده بود آن بود که شیت‌های کاغذی نقشه به فایل‌های دیجیتالی تبدیل شده بود، اما روال به‌روزرسانی و تکثیر نقشه‌ها تفاوتی نکرده بود. اگر کارکنان شرکت مثل مانی اصرار به حفظ شیت‌های نقشه داشته باشند دیگر به‌سختی می‌توان سیستم موجود را با یک سیستم مدرن جایگزین کرد.

ران آن روز با افراد زیادی از جمله اپراتورهای مرکز دیسپاچینگ و عوامل اجرایی صحبت کرد و متوجه شد که همه این نفرات، محدوده جغرافیایی شرکت را در قالب شیت‌های نقشه می‌شناسند. از دید آن‌ها هر شیت نقشه مربوط به یک ناحیه مکانی است و شیت بعدی، ناحیه مجاور را تشکیل می‌دهد. متأسفانه شیت‌های نقشه با نقشه‌های پایه استاندارد همخوان نبود و نمی‌شد نقاط برداشت‌شده با GPS را بر روی آن‌ها انتقال داد. هنوز مرکز دیسپاچینگ مدرن و مجلل شرکت مجبور بود بخشی از فضای خود را به بایگانی نقشه‌های کاغذی اختصاص دهد. با وجود دیجیتالی شدن نقشه‌های کاغذی قدیمی، اما هنوز گردش کاری و فرآیند سابق تهیه نقشه کاملا حفظ شده بود.

بر اساس همان فرآیند قبلی، هر شیت نقشه به‌صورت جداگانه نگهداری و به‌روزرسانی می‌شد. اما در پایگاه داده مکانی GIS وضعیت کاملا متفاوت است. کلیه اطلاعات مکانی به‌صورت یکپارچه و بر اساس سیستم‌های مختصات استاندارد نگهداری می‌شود. عوارض با استفاده از شماره شیت‌های نقشه شناسایی نمی‌شوند بلکه محدوده شیت‌های نقشه می‌تواند مثل یک لایه اطلاعاتی در محیط GIS نمایش داده شود. بعلاوه در سیستم GIS، اطلاعات مکانی و توصیفی عوارض به همراه نحوه ارتباط آن‌ها نگهداری می‌شود.

ران وقتی می‌دید نقشه شبکه برق به‌صورت گرید بندی شده نگهداری می‌شود و عوارض شبکه به جای تعریف شدن بر اساس طول و عرض جغرافیایی با شماره شیت شناسایی می‌شود، بسیار تأسف می‌خورد. برای یک مدیر GIS، نقشه‌های پایه استاندارد اساس کار را تشکیل می‌دهد. متأسفانه در شرکت AnyTown Energy وضعیت متفاوت بود. نقشه‌های جغرافیایی مورد استفاده از کیفیت و دقت لازم برخوردار نبودند و درنتیجه نمی‌توانستند با دنیای واقعی ارتباط مناسبی برقرار کنند.

درواقع، ران به دومین تعریف داده‌های مکانی اشاره‌کرده بود: هر داده‌ای که امکان نمایش بر روی نقشه داشته باشد. پایگاه داده مکانی GIS می‌تواند انواع مختلف اطلاعات مکانی را در خود ذخیره‌سازی کند.

محدوده شیت‌های نقشه دسته‌ای از اطلاعات مکانی است که می‌تواند به‌صورت عارضه سطحی (پلی گون) در سیستم GIS نگهداری شود. ران با خودش فکر کرد، با توجه به اصراری که کارکنان شرکت برای استفاده از گریدهای نقشه دارند او می‌تواند محدوده شیت‌ها را به‌صورت یک لایه در سیستم GIS تعریف کند تا آن‌ها بتوانند کاربری‌های موجود را حفظ کنند. البته هیچ‌کس نباید توقع داشته باشد که این محدوده‌های قراردادی، اساس کار GIS را تشکیل دهد.

بعد از اینکه ران کمی آرام گرفت و از شوک اولیه خارج شد با خودش فکر کرد که سیستم موجود نقشه‌برداری شرکت میراث گذشتگان است و سابقه و ریشه طولانی دارد. به‌هرحال، برخی شرکت‌ها این سیستم را قبل از پرواز اولین هواپیماها شروع کرده‌اند و او نباید توقع داشته باشد که به‌سادگی بتواند آن را اصلاح کند. اما ران با توجه به تفاوت‌های قابل‌توجه این سیستم با سیستم GIS، قصد نداشت دیگر این روال را ادامه دهد و به دنبال جایگزینی آن بود.

نقشه‌ها مدرن

نقشه‌های GIS کاملاً هوشمند هستند. شما می‌توانید پاسخ سؤالات خود را بر روی نقشه مشاهده و از اطلاعات نقشه برای تحلیل‌های مکانی استفاده کنید. چنانچه شما بخواهید یک نقشه جدید با مرزبندی مشخص تولید کنید (مشابه یک شیت نقشه)، به‌راحتی می‌توانید با یک پرس و جوی ساده مکانی در سیستم GIS به خواسته خود برسید، گزارشی مانند: کلیه پایه‌ها، ترانسفورماتورها و سایر تجهیزاتی را انتخاب کن که در محدوده تعیین‌شده بر روی نقشه کلی قرار دارند و از آن‌ها یک خروجی با فرمت نقشه ایجاد کن.

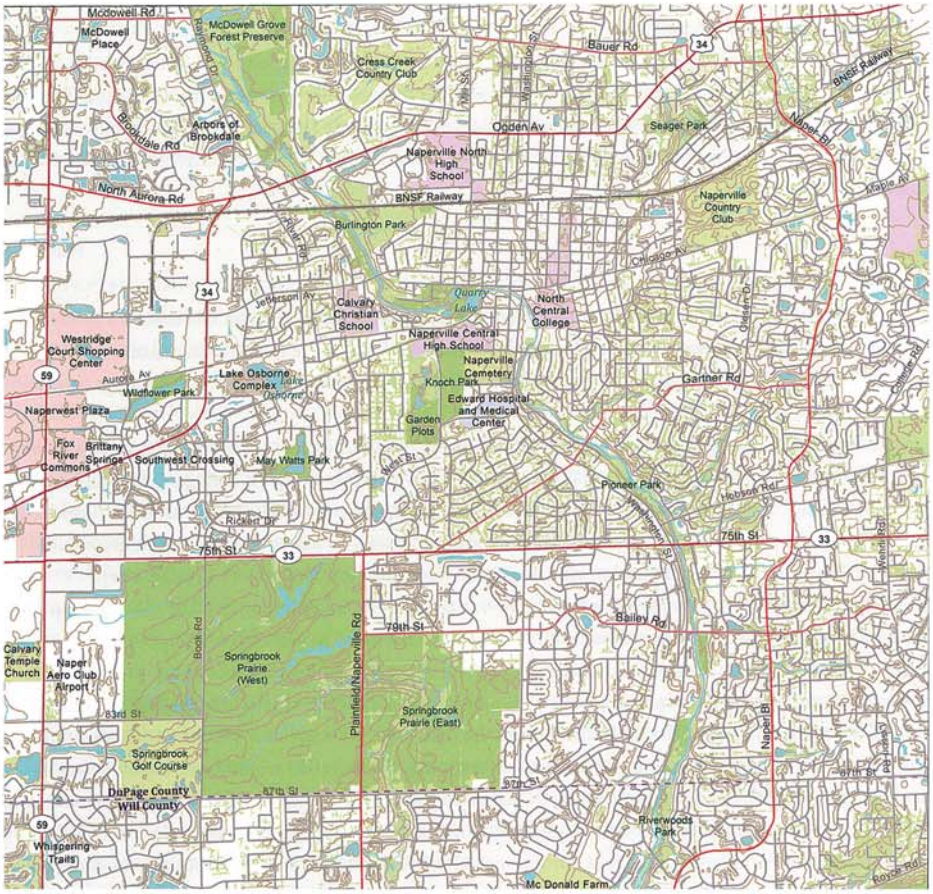
پایگاه داده مکانی با نگهداری اطلاعات توصیفی، مکانی و ارتباطات بین تجهیزات می‌تواند به کلیه سؤالات مکان محور شما پاسخ بدهد و به شما بگوید که چه چیزی در کجا قرار دارد و کجا چه چیز هست. با استفاده از این پایگاه داده می‌توان اطلاعات مکانی پراکنده را از منابع مختلف جمع‌آوری و به شیوه‌ای کاربرپسند و به‌صورت یکپارچه بر روی نقشه نمایش داد. ران به دفتر کارش بازگشت تا چند نمونه واقعی از نقشه‌های GIS را آماده کند. او به دنبال آن بود که با نشان دادن این نقشه‌ها به کارکنان شرکت، بهتر بتواند مزایای سیستم GIS را نسبت به سیستم فعلی معرفی کند.

ران سه نقشه با مقیاس متفاوت از یک منطقه تهیه کرد (شکل ۵-۱، ۵-۲ و ۵-۳). بعد از آماده شدن نقشه‌ها او به صندلی خود تکیه داد و دوباره خاطرات گذشته را مرور کرد.

زمانی که اولین بار برای مصاحبه استخدامی به شرکت AnyTown Energy مراجعه کرده بود، به کارکنان بخش نیروی انسانی که اطلاعاتی در مورد GIS نداشتند، گفته بود که او به دنبال مدرن کردن سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت است. در جلسه دوم، ران با مدیر دفتر فاوای شرکت که فردی آشنا با قابلیت‌های سیستم GIS بود، ملاقات کرد. هر دوی آن‌ها در این جلسه به‌اتفاق نظر رسیدند که دیگر نفس‌های سیستم نقشه‌برداری شرکت به شماره افتاده و لازم است هر چه سریع‌تر با سیستم GIS جایگزین شود. او می‌بایست با آموزش کارکنان واحد نقشه‌برداری، مقدمات انتقال از سیستم موجود به سیستم جامع GIS را فراهم می‌کرد. تعیین تکلیف نقشه‌های پایه یکی از اولویت‌های کاری بزرگ او بود. نقشه‌های پایه، ارتباط بین تجهیزات شبکه برق و دنیای واقعی پیرامونشان را برقرار می‌کنند. متأسفانه نقشه‌های موجود در شرکت AnyTown Energy از کیفیت لازم برخوردار نبودند و نمی‌شد در سیستم GIS به آن‌ها اتکا کرد.

به توصیه مشاور، شرکت تصمیم گرفته بود که پیاده‌سازی سیستم GIS را از بخش توزیع شروع کند. بخش توزیع، پر چالش ترین قسمت کسب‌وکار شرکت بود و هرگونه بهبودی در این بخش می‌توانست

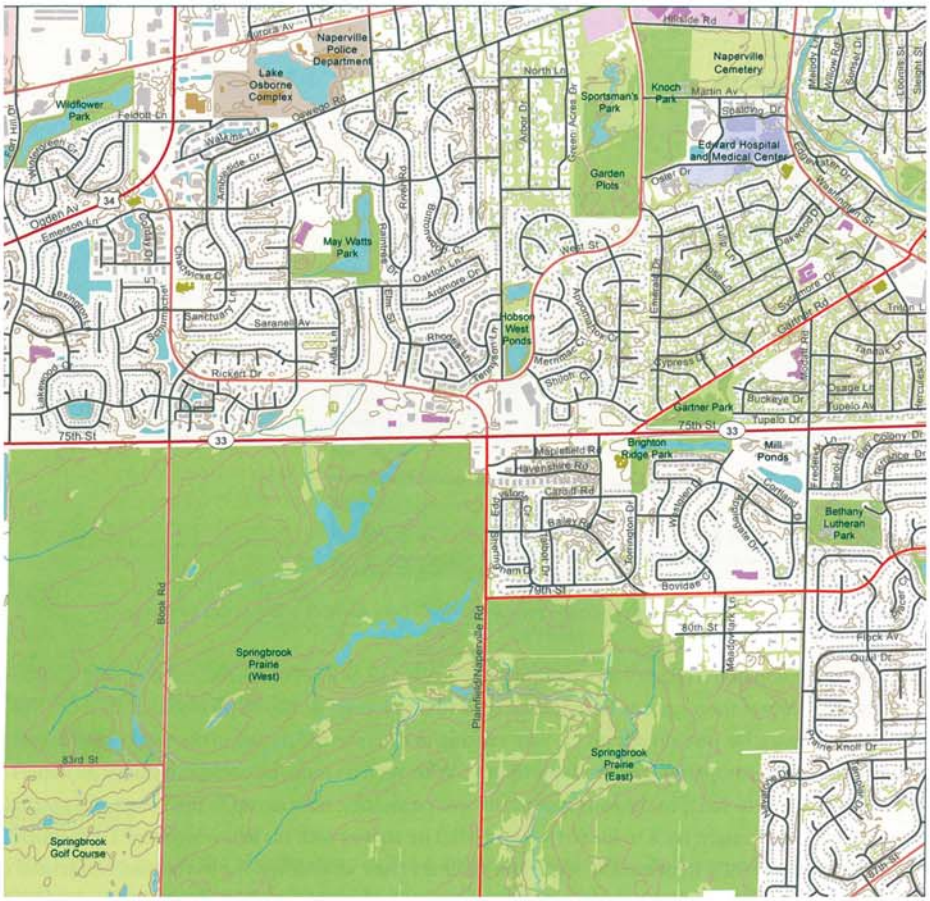
نرخ بازگشت سرمایه (ROI) قابل‌توجهی به همراه داشته باشد. پیاده‌سازی موفق سیستم GIS در بخش توزیع می‌توانست مقدمه خوبی برای پیاده‌سازی کامل این سیستم در سایر بخش‌های تولید، انتقال و خرده‌فروشی باشد. ران قبلا نمی‌دانست که محدوده کاری بخش توزیع در کجای زنجیره تولید، انتقال و مصرف انرژی الکتریسیته قرار می‌گیرد. اما حالا او آشنایی خوبی با فرآیندهای کاری بخش توزیع پیدا کرده بود و نقاط اتصال شبکه توزیع با بخش بالادست و پایین‌دست را کاملا می‌شناخت. به نظر می‌رسید در شرایط فعلی مؤثرترین اقدام، آشنا کردن کارکنان بخش نقشه‌برداری شرکت با مفاهیم پایه سیستم GIS باشد.



شکل ۵-۱- نمای دور از نقشه پایه (منبع: شهرداری Naperville در ایالت illinois)

رویکرد عملی

در مسیر حرکت به سمت واحد نقشه‌برداری، ران به یاد خاطراتش درباره پیاده‌سازی سیستم GIS در دولت محلی افتاد. در ابتدا، مقاومت‌های زیادی وجود داشت ولی در ادامه، سیستم GIS به یک نقطه امید تبدیل شد و همه واحدها به دنبال استفاده از GIS جهت حل مشکلات خود بودند.



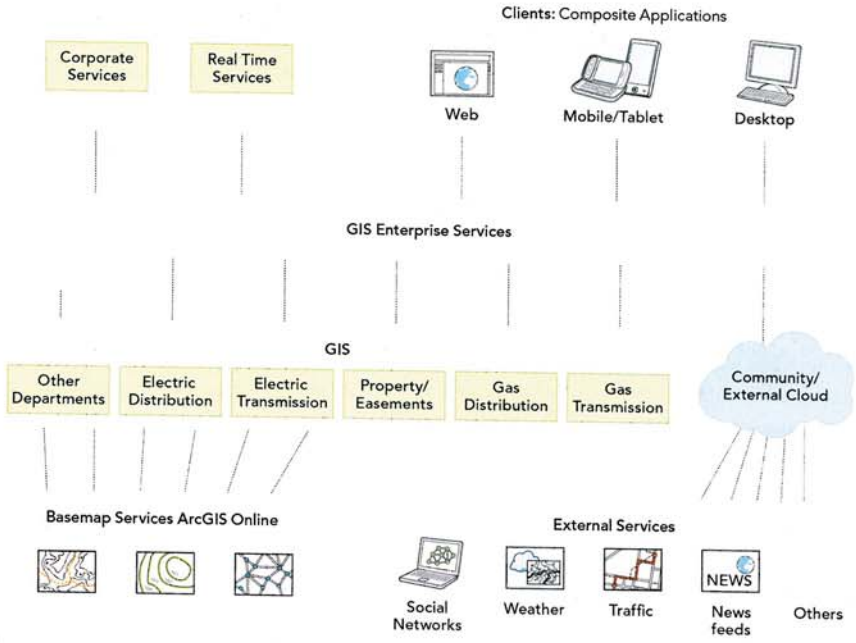
شکل ۵-۲- نمای نزدیک از نقشه پایه (منبع: شهرداری Naperville در ایالت illinois)

اوایل، واحدهای مختلف خیلی بخشی به سیستم GIS نگاه می‌کردند. یک واحد به دنبال نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۰۰۰ بود و واحد دیگری به دنبال آن بود که جزئیات نقشه را با مقیاس ۱:۲۰۰ ببیند. ران خیلی گیج شده بود و نمی‌دانست که چه‌کار باید بکند تا هم به درخواست‌های متناقض کاربران پاسخ دهد و هم از پیچیدگی زیاد نقشه‌ها جلوگیری کند. هر واحدی به دنبال برنامه‌های کاربردی خاص خودش در محیط GIS بود. درست است که او باید اشتیاق زیاد کاربران برای استفاده از GIS را حفظ و نیازهای آن‌ها را تأمین می‌کرد، اما ران به‌خوبی می‌دانست که سفارشی‌سازی بیش‌ازحد سیستم می‌تواند درنهایت مانع عملکرد مناسب آن شود و ممکن است برخی نیازهای کلی سازمان بدون جواب باقی بماند. هدف نهایی او عملیاتی کردن سیستم GIS در سطح سازمان بود و او باید بین درخواست‌ها، توازن و تعادل برقرار می‌کرد.

شکل ۵-۳- نمای نزدیک‌تر از نقشه پایه (منبع: شهرداری Naperville در ایالت illinois)

برای پاسخگویی مناسب به نیازهای بخش‌های مختلف سازمان، او نیاز به یک سند چشم‌انداز داشت که به GIS نه به‌عنوان ابزاری برای استفاده از نقشه، بلکه به‌عنوان یک سیستم اطلاعات مکانی نگاه کند. ران بر اساس تجربیات قبلی خود قصد داشت همین مسیر را در شرکت AnyTown Energy نیز در پیش بگیرد. تا اینجای مسیر هم او همین کار را کرده بود. ابتدا با فرآیندهای کاری سازمان آشنا شده و در ادامه به نیازهای واحدهای مختلف گوش داده بود. با تهیه سند چشم‌انداز، او بهتر می‌توانست افق پیش روی شرکت پس از پیاده‌سازی سیستم GIS را ترسیم کند. از طرف دیگر با تهیه سند چشم‌انداز و نقشه راه پیاده‌سازی سیستم، او می‌توانست نیازهای کاربران را به شکلی جامع و یکپارچه تأمین کند. او دوباره به یاد تجربیاتش در شغل قبلی افتاد. او به همکارانش نشان داده بود که GIS چگونه می‌تواند به نیازهای اطلاعاتی آن‌ها پاسخ دهد و فرآیندهای کاریشان را ارتقاء بخشد. در جلسات با مدیران واحدها، او بر روی نتایج استفاده از GIS تمرکز کرده بود و نشان داده بود که چگونه GIS می‌تواند مشکلات سازمان را شناسایی و مرتفع کند. او به مدیران شرکت ثابت کرده بود که چگونه یک سیستم به‌تنهایی می‌تواند همه گرفتاری‌ها را کاهش دهد، از خرابکاری تأسیسات گرفته تا نشتی آب، هزینه‌های اضافه‌کاری، نشت مواد خطرناک، جریمه‌های بیمه و میزان شکایت مردم.

او باید با نگاه تجاری به کسب‌وکارهای شرکت، سند چشم‌انداز را با رویکردی واقع گرایانه تهیه می‌کرد و نشان می‌داد که GIS چگونه می‌تواند به‌عنوان زیرساخت یکپارچه‌سازی کلیه بخش‌های مکان محور عمل کند. حق با خانم فلو بود. هر چه رویکرد او کاربردی‌تر باشد، بیشتر مقبول مدیران شرکت قرار می‌گیرد. با توجه به نیازهای اطلاعاتی یک شرکت برق، ساختار کلی چشم‌انداز شرکت AnyTown Energy مشابه اسلایدی می‌شد که ران برای کار قبلی خود آماده کرده بود (شکل ۵-۴). البته بسته به شرایط خاص شرکت برق باید این نمودار مورد بازنگری قرار می‌گرفت.



شکل ۵-۴- زیرساخت داده‌های مکانی (منبع: Esri)

مدیریت داده

در جلسه ملاقات با کارکنان واحد نقشه‌برداری، ران تأکید کرد که هر چه حجم اطلاعات نگهداری شده در پایگاه داده بیشتر شود، مدیریت آن دشوارتر خواهد شد. رویکرد او برای سیستم GIS آن بود که تنها اطلاعات ضروری و مورد نیاز در پایگاه داده نگهداری شود. به اعتقاد ران، اگر داده‌ای تحت کنترل ما نیست، نباید آن را در GIS ذخیره کنیم. او مجددا به این نکته اشاره کرد که مشکل نقشه‌های پایه شرکت AnyTown Energy آن است که با سیستم‌های مختصات شناخته‌شده و استاندارد همخوان نیست، ولی با این وجود، داده‌های آن توسط واحد نقشه‌برداری نگهداری و مدیریت می‌شود.

ران از فرانک پرسید: "چه کسی در شرکت AnyTown Energy مسئول ساخت‌وساز و نگهداری خیابان‌های شهر است؟"

فرانک پاسخ داد: "هیچ‌کس. شهرداری متولی احداث و نگهداری خیابان‌های شهر است."

ران گفت: "اگر کسی در شرکت AnyTown Energy مسئول اطلاعات مربوط به خیابان‌ها، املاک و معابر نیست پس این داده‌ها نباید در پایگاه داده مکانی GIS ذخیره‌سازی و نگهداری شود. این اطلاعات باید از سازمانی که متولی آن است به‌صورت سرویس دریافت شود." ران بعد از گفتن این جملات، توضیح داد که چگونه رویکرد سرویس گرایی می‌تواند باعث استفاده حداکثری از ظرفیت‌های سیستم GIS به عنوان یک زیرساخت یکپارچه کننده شود.

سیاست کلی ران در تشکیل پایگاه داده مکانی GIS آن بود که تنها اطلاعاتی که توسط شرکت نگهداری و مدیریت می‌شود، در سیستم GIS ذخیره شود. کلیه اطلاعات مورد نیاز شرکت AnyTown Energy که تحت کنترل این شرکت نیست، بهتر است به‌صورت سرویس‌های تحت وب، مستقیما از سازمان تأمین کننده آن دریافت شود. سرویس‌های نقشه همچنین می‌تواند توسط یک شرکت ثالث و با رویکرد تأمین نیازهای

ارگان‌های مختلف بر بستر رایانش ابری (به یادداشت‌های ران در خصوص رایانش ابری مراجعه کنید) ارائه شود. در درازمدت، به سود شرکت AnyTown Energy است که اطلاعات مربوط به خیابان‌ها و معابر شهری را از شهرداری دریافت کند تا اینکه بخواهد برای ذخیره‌سازی و مدیریت این داده‌ها، منابع و نیروی انسانی اختصاص بدهد. ران باید در خصوص یک‌چیز قاطعانه پافشاری می‌کرد: داده‌ها باید مبتنی بر سیستم‌های مختصات استاندارد باشد و در حد نقاط GPS دقت داشته باشد.

ران می‌دانست که سیستم‌های اطلاعاتی دیگری هم در شرکت AnyTown Energy وجود دارد، مثل سیستم اسکادا، سیستم مدیریت لوازم اندازه‌گیری و سیستم خدمات مشترکین. GIS هم یک سیستم اطلاعاتی است که باید بتواند با بقیه سیستم‌ها ارتباط برقرار کند. با استفاده از معماری سرویس گرا (SOA)،سیستم GIS تنها مسئولیت داده هایی را بر عهده دارد که به‌صورت مستقیم از آن نگهداری می‌کند و سایر داده‌های مورد نیاز را به‌صورت سرویس از بقیه سیستم‌های اطلاعاتی دریافت خواهد کرد. تنها از این طریق است که می‌توان یک سیستم GIS سازمانی کارا و موفق ایجاد کرد.

بر اساس چشم‌انداز ترسیم‌شده توسط ران، بعد از تشکیل پایگاه داده، نوبت به تهیه برنامه‌های کاربردی مبتنی بر GIS می‌رسد. برنامه‌های کاربردی به‌منظور استفاده از امکانات سیستم GIS جهت بهبود و تسهیل فرآیندهای کاری سازمان تهیه می‌شود. باز هم داده‌ها و برنامه‌های کاربردی هر سیستم توسط همان سیستم مدیریت می‌شود. به‌عنوان مثال، سیستم اسکادا اطلاعات دینامیک را مدیریت می‌کند، سیستم خدمات مشترکین اطلاعات مربوط به مشترکین را نگهداری می‌کند و سیستم نقلیه، اطلاعات مربوط به خودروها را مدیریت می‌کند. سیستم GIS با یکپارچه کردن کلیه داده‌های مکان محور سازمان می‌تواند امکان استفاده حداکثری از اطلاعات موجود را فراهم کند. به کمک قابلیت آنالیز شبکه سیستم GIS، می‌توان برنامه‌های کاربردی بسیار مناسبی تهیه کرد. به عنوان مثال، می‌توان با ترکیب اطلاعات سیستم GIS و اسکادا، اطلاعات بار یک فیدر را به‌صورت داشبورد مکانی بر روی نقشه نمایش داد. با اضافه کردن اطلاعات مربوط به سیستم خدمات مشترکین، علاوه بر اطلاعات بار فیدر، می‌توان مشترکین حساس موجود بر روی فیدر را نیز بر روی نقشه نمایش داد.

GIS می‌تواند با کلیه سیستم‌های مبتنی بر اطلاعات مکانی ارتباط برقرار کند و بدون افزونگی داده، زمینه یکپارچه‌سازی سیستم‌ها را فراهم نماید. با استفاده از GIS می‌توان داده‌ها را مدیریت و تحلیل کرد و نتایج حاصل از تحلیل را بر روی نقشه نمایش داد و از این طریق، یک ابزار تصمیم‌ساز در اختیار کاربران قرار داد.

عوارض و اقلام توصیفی مورد نیاز درGIS باید با انجام نیازسنجی و بر اساس چشم‌انداز کلی سیستم تعریف شود. به‌عنوان مثال، اگر واحدی درخواست کند که فیلد اطلاعاتی آخرین زمان بازدید ترانسفورماتور به سیستم GIS اضافه شود، ابتدا ما باید سؤال کنیم، آیا این فیلد در سیستم تعمیرات و نگهداری وجود ندارد؟ اگر پاسخ مثبت است، که دیگر نیازی به اضافه کردن آن در سیستم GIS نیست. اگر ما برای تحلیل در سیستم GIS به این فیلد احتیاج داشته باشیم، به‌راحتی می‌توانیم آن را از سیستم تعمیرات دریافت کنیم. ممکن است ما به‌صورت موقت این فیلد را در GIS نگهداری کنیم، ولی به‌روزرسانی و مدیریت آن در سر جای خودش انجام خواهد شد.

یادداشت‌های آقای ران

رایانش ابری

رایانش ابری (cloud) چیست و چه کاربردی برای سیستم GIS شبکه‌های توزیع برق دارد؟ حقیقت این است که با استفاده از زیرساخت رایانش ابری ، کاربران در سازمان تفاوتی را احساس نخواهند کرد. سیستم کامپیوتری شرکت‌های برق از بخش های مختلف سخت‌افزاری و نرم‌افزاری تشکیل‌شده است. سخت‌افزارها شامل سرور، ذخیره‌ساز، تجهیزات شبکه، روتر و پرینتر می‌شوند و برنامه‌های کاربردی مختلف شرکت مثل بیلینگ، سیستم مدیریت دارایی، سیستم مدیریت خاموشی و GIS در دسته نرم‌افزار قرار می گیرند.

در بیشتر موارد، کاربران از نرم‌افزارهای نصب شده بر روی کامپیوتر شخصی‌شان استفاده می کنند. برنامه‌های کاربردی تولیدشده در محیط وب هم کاربرد زیادی در شرکت‌ها دارد. برخی نرم‌افزارهای محیط وب اطلاعات را از برنامه‌های کاربردی محیط دسکتاپ دریافت می کنند و برخی نرم‌افزارهای دسکتاپ نیز از سرویس های تحت وب استفاده می کنند. با استفاده از رایانش ابری شما دیگر به اتاق سرور و سخت‌افزارهای قدرتمند نیازی نخواهید داشت و کامپیوتر شخصی کاربر تنها در حد یک نمایشگر خواهد بود. درواقع، زمانی که یک شرکت تصمیم به استفاده از رایانش ابری می گیرد مثل این است که سخت‌افزارهای خود را برون‌سپاری کرده است. در رایانش ابری به‌جای استفاده از معماری قدیمی کلاینت سروری از معماری سرویس گرا استفاده می‌شود. سخت‌افزارها و منابع پشتیبان سیستم رایانش ابری به نسبت اتاق سرور یک سازمان، بسیار بزرگ‌تر و قدرتمندتر هستند و می‌توان به نسبت نیاز هر شرکت، منابع مورد نیاز برای ارائه سرویس مطلوب را اختصاص داد.

ران امیدوار بود که شیوه او برای آموزش GIS بتواند چارچوب ذهنی فرانک و آناند را برای پیاده‌سازی موفق سیستم GIS آماده کند. او امیدوار بود که با ارائه مثال‌های کاربردی از مزایای سیستم GIS، انگیزه کارکنان واحد نقشه‌برداری برای یادگیری مطالب بیشتر را افزایش دهد.

ران قبل از اینکه فایل پاورپوینت آموزش مفاهیم GIS را در اتاق کنفرانس شرکت AnyTown Energy ارائه کند، گفت: "درست است که شرکت‌های توزیع برق از لحاظ ساختار، نوع خدمات و نحوه اداره با هم متفاوت هستند، ولی چارچوب کلی شبکه توزیع برق از دیدگاه مدل داده در همه‌جا مشابه است. در آینده این مطلب برای شما روشن‌تر خواهد شد."

به نظر می‌رسید که کارشناسان واحد نقشه‌برداری با اشتیاق مباحث کلاس را دنبال می‌کنند. آن‌ها می‌توانستند با تجربیاتی که در این پروژه کسب می‌کنند سطح مهارت و تخصص خود را افزایش دهند. تجربیاتی که برای هر شرکت برقی کاربرد دارد و می‌تواند باعث پیشرفت کاری این نفرات شود. ران ادامه داد، "شبکه‌های توزیع برق انواع مختلفی دارد و مدل داده باید به نحوی تعریف شود که همه این دسته‌بندی‌ها را در نظر بگیرد. ما ابتدا از مدل داده‌های آماده استفاده می کنیم و سپس با هماهنگی بخش‌های مختلف شرکت، تغییرات لازم را بر روی آن اعمال خواهیم کرد. اما حالا وقت آن است که دانش خود را در زمینه مفاهیم سیستم GIS بیشتر کنیم."

ران با این مقدمه وارد مباحث اصلی کلاس شد و تلاش کرد همکاران فرانک را با تفاوت‌های نقشه‌های موجود شرکت و آنچه در سیستم GIS خواهند داشت، آشنا کند.

نقشه‌های GIS و اصطلاحات فنی

با توجه به اینکه نتایج تحلیل‌ها و گزارش‌ها در سیستم GIS بر روی نقشه نمایش داده می‌شود، لذا نقشه‌های پایه باکیفیت برای این سیستم بسیار حیاتی است. نقشه، قلب سیستم GIS را تشکیل می‌دهد و امکان

تجسم بصریِ را برای کاربر فراهم می‌کند. با استفاده از GIS می‌توان روابطی بین داده‌های مختلف کشف کرد که قبلا هیچ توجهی به آن نمی‌شد. ران گفت: "اطلاعات مثل اجزای مختلف یک پازل در مقابل چشمان شما در کنارِ هم قرار داده می‌شود و به شما کمک می‌کند که از نقشه‌ها الهام بگیرید و روابطی را کشف کنید که قبلا از چشمان شما مخفی بود. به همین دلیل است که می‌گویم استفاده از نقشه‌های پایه موجود شرکت در سیستم GIS اتلاف سرمایه است و باعث می‌شود ما نتوانیم از بسیاری از قابلیت‌های این سیستم استفاده کنیم. در عوض، با استفاده از نقشه‌های پایه استاندارد می‌توانیم داده‌های خود را با سایر سازمان‌ها به اشتراک بگذاریم."

"با استفاده از نقشه‌های پایه می‌توان ارتباط مکانی تجهیزات شبکه برق با دنیای پیرامونشان را در سیستم GIS نمایش داد. نقشه‌های پایه، اطلاعات مکانی را به متن زندگی ما می‌آورند. در شبکه توزیع برق اکثر داده‌ها ماهیت مکانی دارد و به کمک نقشه‌های پایه می‌توان این اطلاعات را بین سیستم‌های مختلف به اشتراک گذاشت و همه داده‌ها را بر روی یک بستر مشترک نمایش داد. موقعیت جغرافیایی تجهیزات بر روی نقشه، کلید ارتباط بین سیستم‌های مختلف است."

"امروزه دیگر کمتر از نقشه‌های کاغذی در سیستم GIS استفاده می‌شود و نقشه‌ها کاملاً هوشمند شده‌اند. این نقشه‌ها ساده هستند و به‌راحتی با کاربر ارتباط برقرار می‌کنند و می‌توان آن‌ها را بر روی گوشی‌های هوشمند و یا تبلت نمایش داد. این ایده که نقشه باید نمایش دهنده همه جزئیات باشد دیگر قدیمی شده است و نقشه‌های جدید این امکان را دارند که در زوم‌های مختلف، اطلاعات متفاوتی را نمایش دهند و بر اساس نیاز کاربر سفارشی‌سازی شوند. به‌عنوان مثال، اگر بخواهیم بر روی نقشه، مناطقی که قابلیت اطمینان شبکه برق آن پایین‌تر از حد متوسط است را مشخص کنیم، دیگر نمایش لوله‌های آب و یا ایستگاه‌های اتوبوس بر روی این نقشه کار زائدی است و باعث گیج شدن کاربر می‌شود."

"نمایش اطلاعات بر روی نقشه، قدرت درک و شناخت کاربران را افزایش می‌دهد و هرچه نقشه ساده‌تر و واضح‌تر باشد بیشتر می‌تواند با کاربر ارتباط برقرار کند." سپس ران از حاضرین در کلاس پرسید، "نقشه‌هایی که من در شرکت AnyTown Energy دیده‌ام به دلیل داشتن جزئیات فراوان، بسیار پیچیده هستند. آیا شما با این موضوع موافق نیستید؟" حتی فرانک هم با بی‌میلی این حقیقت را پذیرفت.

ران با امیدواری بیشتر ادامه داد، "نقشه‌های GIS استاتیک نیست و می‌توان بر اساس نیاز کاربر آن را سفارشی‌سازی کرد. این نقشه‌ها مانند یک رابط تعاملی عمل می‌کنند که کاربران مختلف از مدیر و طراح گرفته تا برنامه‌ریز و بهره‌بردار می‌توانند اطلاعات مکانی و توصیفی مورد نیاز خود را بر روی آن مشاهده کنند."

او سپس با استفاده از یک فایل پاورپوینت توضیح داد که چگونه می توان نقشه های GIS را سفارشی سازی کرد:

- می‌توان لایه‌های نمایش داده‌شده بر روی نقشه را خاموش و یا روشن کرد و از سمبل دلخواه برای نمایش عوارض استفاده کرد.
- می‌توان عوارضی را که قرار است در هر زوم نقشه نمایش داده شود، سفارشی‌سازی کرد.
- می‌توان اطلاعات توصیفی مورد نیاز را بر روی نقشه برچسب زد و در زوم دلخواه آن را نمایش داد.
- می‌توان بر اساس اطلاعات توصیفی هر تجهیز، سمبل مناسب برای آن انتخاب کرد.
- می‌توان نتایج حاصل از تحلیل‌ها و پرس‌وجوهای توصیفی و مکانی را بر روی نقشه نمایش داد.
- می‌توان اطلاعات توصیفی و مکانی تجهیزات را جمع‌آوری و نگهداری کرد.
- می‌توان اطلاعات نقشه را در محیط دسکتاپ، وب و موبایل نمایش داد.
- می‌توان اطلاعات مکانی را به اشتراک گذاشت.

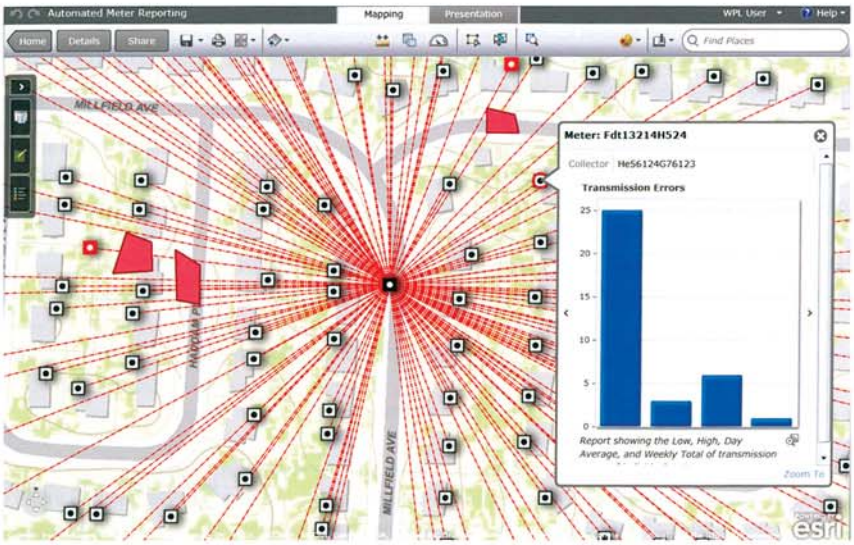
ران اضافه کرد، "با استفاده از نقشه می‌توان حجم عظیمی از داده‌های مکانی را به‌صورت سازمان‌یافته

نمایش داد. کاربران می‌توانند اطلاعات عوارض را بر روی نقشه مشاهده کنند، بین اطلاعات موجود در نقشه و حوادث دنیای واقعی ارتباط برقرار کنند و با تفسیر داده‌ها به نتایج جدید برسند. آن‌ها می‌توانند روابط بین داده‌ها را کشف کنند و از این یافته‌ها جهت تصمیم‌گیری بهتر استفاده کنند."

آناند پرسید:"متوجه نمی‌شوم منظور تو از کشف روابط جدید چیست؟"

ران پاسخ داد: "با استفاده از نقشه‌های هوشمند موجود در GIS می‌توان روابط بین عوارض را با استفاده از الگوهای مکانی شناسایی کرد. به‌عنوان مثال، می‌توان نوع رفتار مصرف مشترکین در مناطق مختلف را تحلیل کرد و یا احتمال وقوع حوادث را بر اساس عوامل مکانی پیش‌بینی کرد. در GIS نقشه‌ها دینامیک هستند و می‌توان تغییرات صورت گرفته در وضعیت داده‌ها را در طول زمان بر روی نقشه مشاهده کرد. با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات نهفته در دل نقشه را گزارش‌گیری کرد و نتایج حاصل را به‌صورت جدول، نمودار و گراف خروجی گرفت. سایر اطلاعات مرتبط با تجهیزات مثل عکس، فیلم، صوت و وب سایت‌های لینک شده نیز قابلیت انتخاب و خروجی گرفتن دارند. در این تصویر (شکل ۵-۵)، نحوه ارتباط ایستگاه فرستنده مخابراتی با کنتورهای هوشمند بر روی GIS نمایش داده شده است."

در ادامه ران تصمیم گرفت در خصوص قابلیت های GIS در ترکیب کردن ابزارهای توانمند نمایشی و تحلیل‌های قدرتمند مکانی بیشتر توضیح دهد: "با استفاده از ابزارهای تحلیلی GIS می‌توان نتایج حاصل از پرس‌وجوهای مکانی را به‌صورت یک لایه جدید بر روی نقشه ذخیره کرد. تحلیل‌های مکانی یکی از قابلیت‌های عمده سیستم GIS است. کاربران GIS می‌توانند با استفاده از امکانات تحلیلی متنوع، اطلاعات را از منابع مختلف جمع‌آوری و ترکیب کنند."



شکل ۵-۵- تحلیل کیفیت ارتباط ایستگاه فرستنده مخابراتی با کنتورهای هوشمند به کمک GIS
(منبع: شهرداری Westerville ایالت ohio)

"با استفاده از نقشه‌های وب می‌توان اطلاعات مربوط به آخرین وضعیت حوادث محدوده شرکت را در اختیار عوامل اجرایی قرار داد. اطلاعات موجود در سیستم GIS دینامیک است و لازم است مرتب به‌روزرسانی شود. یکی از کاربردهای متداول سیستم GIS در شبکه‌های برق، نمایش پارامترهای بهره‌برداری به‌صورت داشبوردهای مکانی بر روی نقشه است. اطلاعات مربوط به آخرین وضعیت شبکه در قالب پارامترهای تعریف شده به‌صورت داشبوردهای مکانی برای کاربر نمایش داده می‌شود و از این طریق، قدرت تصمیم‌گیری و

تحلیل کارکنان افزایش پیدا می‌کند."

ران ادامه داد، "امروزه شرکت‌های برق برای جمع‌آوری و به‌روزرسانی اطلاعات تجهیزات شبکه توزیع از سیستم GIS استفاده می‌کنند. زمانی که تأسیسات جدیدی به شبکه اضافه می‌شود لازم است اطلاعات مکانی و توصیفی آن، طبق یک فرآیند مشخص در سیستم GIS به‌روزرسانی شود. با استفاده از نقشه، بهتر می‌توان ایده‌ها، برنامه‌ها و طرح‌های مختلف را به اشتراک گذاشت. قابلیت‌های نمایشی و تحلیلی نقشه‌های GIS باعث شده این نقشه‌ها یک زیرساخت مناسب را جهت ارائه، درک و به اشترک گذاری طرح‌های مختلف فراهم کنند."

ران احساس کرد اکنون زمان مناسبی است تا به یکی از مشکلات بزرگ شرکت اشاره کند، "متأسفانه در شرکت AnyTown Energy با حجم عظیمی از نقشه‌های کاغذی مواجه هستیم." سپس یک عکس را که در جریان بازدید از بخش‌های مختلف شرکت گرفته بود بر روی دستش بلند کرد (شکل ۵-۶) و گفت: "وضعیت شرکت شما بی‌شباهت به این عکس نیست."

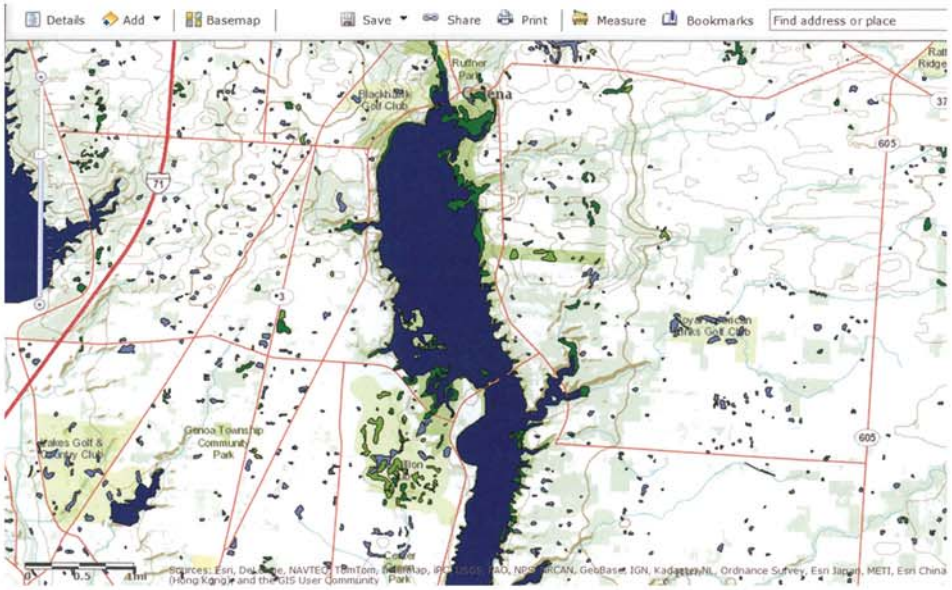
شکل ۵-۶- نگهداری مستندات داده‌ها در برخی شرکت‌ها به یک چالش بزرگ تبدیل شده است
(عکاس: Brent Jones، منبع: Esri)

لایه‌های اطلاعاتی

ران گفت: "لایه‌های اطلاعاتی یکی از مفاهیم پایه سیستم GIS است. خیلی قبل‌تر از معرفی سیستم GIS، مهندسین از مفهوم لایه برای نمایش ارتباط اجزای مختلف سیستم به یکدیگر استفاده می‌کردند. نمایش نحوه ارتباط اجزای مختلف سیستم بدن انسان، یکی از کاربردهای اولیه مفهوم لایه بندی بود. لایه اولیه، اسکلت بدن بود و بعد لایه اعضای بدن، لایه اعصاب، لایه ماهیچه‌ها، لایه پوست و درنهایت لایه مو بر روی آن قرار می‌گرفت. هر بخش بدن، مکان مخصوص به خود داشت و اجزای مختلف بدن توسط اعصاب و تاندون‌ها به یکدیگر مرتبط می‌شدند. در نقشه‌های اولیه، لایه‌ها بر روی صفحه‌های شفاف ایجاد و با روی هم قرار دادن این صفحات، نحوه ارتباط بین لایه‌های مختلف نمایش داده می‌شد."

ران ادامه داد، "ایده کلی آن بود که نحوه ارتباط بین لایه‌های مختلف اطلاعاتی توسط کاربر قابل‌مشاهده باشد. این یکی از نمونه‌های اولیه استخراج اطلاعات جدید از نقشه بود. گویا در شرکت‌های برق هم تجربه مشابهی وجود داشته و از روی‌هم قرار دادن صفحه شفاف محدوده سیل و نقشه شبکه برق برای شناسایی

تجهیزات در معرض آسیب استفاده‌شده است. در GIS این کارها بسیار سریع‌تر و راحت‌تر انجام می‌شود، در این شکل (شکل ۵-۷)، ترانس‌هایی که با آمدن سیل به زیر آب خواهند رفت شناسایی‌شده است.“
ران ادامه داد، ”نمایش ارتباط اجزای مختلف بدن به اطلاعات فیزیکی محدود می‌شود اما با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات توصیفی مرتبط با هر لایه را نیز نمایش داد. به‌عنوان مثال، می‌توان اطلاعات مربوط به جمعیت، میزان درآمد و سن مشترکین مختلف را به‌صورت لایه‌های مجزا بر روی نقشه به تصویر کشید. یک لایه می‌تواند نشان‌دهنده میزان احتمال وقوع حوادث در بخش‌های مختلف شبکه باشد و یا تجهیزات فیزیکی مثل پایه و ترانس را نشان دهد.“



شکل ۵-۷- مناطق تحت تاثیر سیل با رنگ آبی در سیستم GIS مشخص شده است.
(منبع: شهرداری Westerville ایالت ohio)

ران گفت: ”قدرت GIS در ترکیب لایه‌های مختلف اطلاعاتی و استخراج نتایج جدید و کشف الگوهای مکانی است. در سیستم GIS جهت سهولت کاربران، ابزارهای مختلفی به‌منظور شناسایی این الگوها و روندها پیش‌بینی شده است. به‌عنوان مثال، آیا ارتباطی بین میزان رضایت‌مندی مشترکین و موقعیت مکانی خاموشی‌ها وجود دارد؟ و یا آیا ارتباطی بین عملیات شاخه‌بری و تعداد خاموشی‌ها در مناطق مختلف وجود دارد؟ پاسخ این سؤال می‌تواند مثبت و یا منفی باشد. اما اگر جواب منفی باشد چرا باید در مناطقی که شاخه بری بر وقوع خاموشی تأثیرگذار نیست، این‌قدر هزینه مالی کرد؟ شرکت‌های برق سالیانه مبالغ هنگفتی را صرف عملیات شاخه‌بری می‌کنند اما آیا تا به‌حال از GIS برای ارزیابی میزان اثربخشی این فعالیت‌ها استفاده کرده‌اند؟ آیا زمانی که در یک منطقه عملیات شاخه‌بری انجام می‌شود، به همان نسبت هم میزان خاموشی مشترکین کاهش پیدا می‌کند؟ به کمک GIS خیلی از حقایق روشن می‌شود و می‌توان میزان درستی این فرضیه‌های قدیمی را صحت سنجی کرد. حتی می‌توان با استفاده از GIS وارد جزئیات بیشتری شد و میزان اثربخشی هر قرارداد شاخه‌بری را به‌صورت مجزا بررسی کرد.“
یک مجموعه لایه با یکدیگر تشکیل یک نقشه موضوعی را می‌دهند. سایت پلان یک نمونه نقشه موضوعی است که از لایه‌های مختلف مثل خیابان، ملک، آبراه و راه‌آهن تشکیل‌شده است. این نمونه نقشه، خاص شرکت‌های برق نیست و در سازمان‌های مختلف می‌تواند کاربرد داشته باشد. نقشه‌های موضوعی شامل

اطلاعات توصیفی و مکانی لایه‌های مرتبط می‌شوند.
ران در ادامه موضوع مطرح‌شده را به بحث گذاشت، "با توجه به توانمندی بالای سیستم GIS در شناسایی روندهای مکانی، می‌توان با استفاده از این سیستم، نقشه‌های موضوعی مختلف را در کنار هم تجزیه و تحلیل کرد. به لایه‌های اطلاعاتی مختلفی که می‌تواند برای شرکت برق کاربرد داشته باشد فکر کنید و چند نمونه نقشه موضوعی را نام ببرید؟"
فرانک، آناند و سایر نفرات حاضر در کلاس پاسخ‌های مختلفی را عنوان کردند: "نقشه پایه شامل شبکه خیابان‌ها، ساختمان‌ها و سایر عوارض زمینی؛ نقشه موضوعی تجهیزات نگه‌دارنده شبکه برق مثل پایه، تابلو و منهول؛ نتایج حاصل از تحلیل اطلاعات مکانی مثل نقشه مناطق با ریسک بالای خرابی، نقشه نقاط مستعد برخورد صاعقه و نقشه منطقه بندی رشد بار مشترکین."
ران از اینکه می‌دید این موضوع برای حاضرین در کلاس جذاب بوده خوشحال شد و ادامه داد، "مشابه بقیه علوم، GIS هم لغات و اصطلاحات فنی خاص خود را دارد. در اینجا قصد دارم تعدادی از این اصطلاحات فنی را خدمت شما معرفی کنم و نمونه‌های عملی کاربرد این لغات در شبکه‌های توزیع برق را نام ببرم. اصطلاحاتی مانند عارضه، توصیف، یادداشت، برچسب، ابعاد و تصاویر رستری در نمایش و مدیریت اطلاعات مکانی در سیستم GIS بسیار کاربرد دارند."

عارضه

ران توضیح داد: "لغت عارضه (feature)، برای تعریف یک موجودیت واقعی در سیستم GIS استفاده می‌شود. تاریخچه فن‌آوری GIS به علوم زمینی و مطالعات کاربری اراضی برمی‌گردد. در علوم جغرافیایی، موجودیت‌های زمینی تحت عنوان عارضه شناخته می‌شوند. با توسعه GIS این واژه کاربرد عمومی پیدا کرده است و برای تعریف هر نوع موجودیت مکانی از لفظ عارضه استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، کات اوت فیوز، پست زمینی و برقگیر یک نوع عارضه در شبکه هوایی محسوب می‌شوند (شکل ۵-۸)."

شکل ۵-۸- کات اوت فیوز به عنوان یک عارضه مکانی در سیستم GIS مدل‌سازی می‌شود.
(منبع: شرکت برق S&C)

"هر لایه نمایشی در سیستم GIS شامل یک نوع عارضه می‌شود. به هر عارضه نیز یک جدول اطلاعاتی در پایگاه داده GIS اختصاص پیدا می کند. یک پایه برق را در نظر بگیرید، هر سطر در جدول اطلاعات پایه به یک عارضه منحصربه‌فرد بر روی نقشه اختصاص دارد، مثل پایه واقع در تقاطع خیابان‌های Maple و Vine. به عبارت دیگر، عارضه پایه در پایگاه داده با یک جدول مشخص شده است و بر روی نقشه به‌صورت یک لایه نمایش داده می‌شود."

"همه عوارض سیستم GIS شبکه توزیع ماهیت فیزیکی ندارند، همان‌طور که همه اطلاعات مکانی موجود در محدوده شرکت برق نیز موجودیت فیزیکی ندارند. به‌عنوان مثال، یک عارضه ممکن است شامل مناطق با ریسک بالای خرابی باشد. معمولا عوارض شامل موجودیت‌هایی می‌شوند که بر روی و یا نزدیک سطح زمین قرار دارند. همچنین آن‌ها می‌توانند نماینده موجودیت‌های سطحی باشند، مثل محدوده شهرها، مناطق سیاسی، پارسل‌های ساختمانی و محدوده امورهای اجرایی. خوشبختانه، فکر کنم بشود محدوده شیت‌های مورد استفاده توسط شرکت شما را هم به‌عنوان یک عارضه در سیستم GIS تعریف کرد،" ران این مطلب را گفت تا خیال آن‌ها را از بابت کاربری‌های موجود شیت‌های نقشه راحت کند ولی به‌هیچ‌عنوان قصد نداشت که قابلیت‌های GIS را فدای حفظ وضعیت موجود کند.

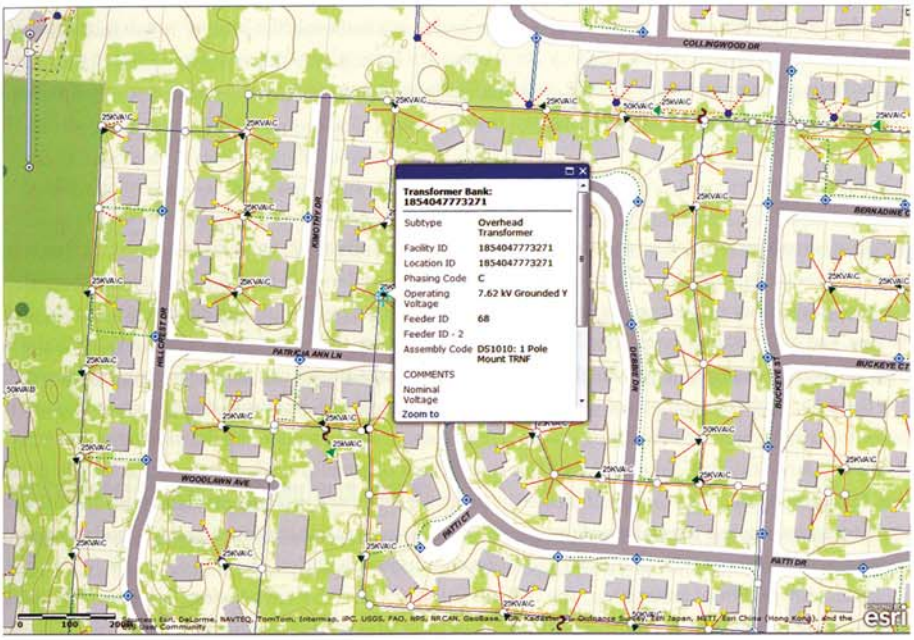
ران کلاس را با ارائه مطالب جدید در خصوص اصطلاحات فنی GIS ادامه داد و توضیح داد که عوارض جغرافیایی در محیط GIS به سه صورت نقطه، خط و چندضلعی بسته (پلی‌گون) نمایش داده می‌شوند که توضیحات بیشتر آن به شرح زیر است:

- **نقطه:** یک نقطه نشان‌دهنده یک موقعیت مکانی در فضاست که مختصات آن با X،Y و Z، یا طول، عرض و ارتفاع جغرافیایی مشخص می‌شود. نقاط برای عوارضی استفاده می‌شود که برای آنکه به‌صورت خط و یا پلی گون نمایش داده شوند، بیش از حد کوچک هستند. به‌عنوان مثال، در شبکه برق پایه، ترانسفورماتور و کلید به‌صورت نقطه‌ای نمایش داده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، عوارض نقطه‌ای، شکل ساده شده موجودیت‌های مکانی در دنیای واقعی هستند. این عوارض را می‌توان با نمادهای مختلف مثل مربع، دایره، لوزی و یا هر نماد نقطه‌ای دیگر بر روی نقشه نمایش داد. با این حال، باید توجه داشت که فارغ از شکل نماد انتخاب شده، عارضه تنها شامل یک نقطه در فضا می‌شود.
- **خط:** خطوط برای نمایش عوارضی به‌کار برده می‌شود که بیش از حد نازک هستند تا بتوان آن‌ها را به‌صورت یک سطح تعریف کرد. در شبکه برق برای این مورد، می‌توان از هادی‌ها و لوله‌های عبور دهنده کابل نام برد. یک هادی، درواقع یک استوانه طویل است که برای بیشترِ مقاصد می‌تواند به‌صورت یک خط در نقشه نمایش داده شود. اگر به جزئیات بیشتری نیاز باشد و مثلا بخواهیم قطر هادی و جنس آن را نیز نمایش دهیم، می‌توانیم این اطلاعات را به‌صورت قلم توصیفی به عارضه منتسب کنیم و آن‌ها را در جدول اطلاعات توصیفی قرار دهیم.
- **پلی‌گون:** یک پلی گون، نشان‌دهنده یک سطح بسته است. برای نمایش عوارضی مثل محدوده امورهای اجرایی، زمین پست‌های فوق توزیع، پارسل‌های ساختمانی، کاربری اراضی و محدوده شیت‌های شرکت AnyTown Energy از پلی گون استفاده می‌شود. با توجه به اینکه عارضه پلی گون یا چندضلعی نشان‌دهنده یک سطح بسته است، عوارض فاقد ضلع مانند دایره و بیضی هم در همین دسته قرار می‌گیرند.

توصیفات

ران توضیح داد: "در GIS، به اطلاعات توصیفی منتسب شده به یک عارضه جغرافیایی که معمولاً به صورت جدول در پایگاه داده ذخیره می‌شود، توصیفات(Attributes) می‌گویند. با تعریف اطلاعات توصیفی مربوط به یک عارضه، کاربران می‌توانند بر روی نقشه، عارضه مربوطه را انتخاب کرده و فرم اقلام

توصیفی تعریف شده را مشاهده کنند (شکل ۹-۵).



شکل ۵-۹- نمایش اطلاعات توصیفی یک ترانسفورماتور بر روی نقشه‌های Web GIS
(منبع: شهرداری Westerville ایالت ohio)

در GIS می‌توان از سمبل، رنگ و برچسب برای سفارشی‌سازی نماد عارضه بر حسب اطلاعات توصیفی استفاده کرد. به مثال‌های زیر توجه کنید:

- می‌توان خطوط هوایی سه فاز را با خط پیوسته سبز رنگ نمایش داد و کابل تک فاز را به‌صورت خط‌چین مشکی
- می‌توان آبراه‌ها و محدوده‌های آبی را با رنگ آبی نمایش داد تا کاربر درک بهتری از نقشه داشته باشد.
- می‌توان نام خیابان‌ها را بر روی خطوط آن برچسب زد.
- می توان برای هر عارضه یک سمبل مناسب انتخاب کرد و حوادث مختلف را با یک سمبل مخصوص بر روی نقشه نمایش داد.

در GIS، جداول اطلاعات توصیفی تخصیص داده شده به عوارض از چارچوب کلی زیر تبعیت می‌کند:

- هر سطر در جدول اطلاعات توصیفی نماینده یک عارضه منحصربه‌فرد است.
- هر ستون در جدول اطلاعات توصیفی نشانگر یک قلم توصیفی است که به همه عوارض آن جدول اختصاص دارد.
- هر قلم توصیفی فرمت مخصوص به خود دارد، مثل فرمت عدد، حرف و تاریخ.
- با توجه به اهمیت بحث مکان در سیستم GIS، اطلاعات مختصات جغرافیایی عارضه در داخل جدول اطلاعات توصیفی آن نگهداری می‌شود. در جدول اطلاعات توصیفی، فیلدی داریم تحت عنوان"Shape" که موقعیت عارضه بر روی نقشه در آن نگهداری می‌شود. برای عارضه نقطه‌ای، طول، عرض و ارتفاع عارضه ذخیره می‌شود. برای عارضه خطی، مختصات نقاط ابتدا، انتها و نقاط شکست و برای عارضه پلی گون، مختصات نقاط رأس چند ضلعی در این فیلد نگهداری می‌شود.

یادداشت و برچسب

ران گفت: "یادداشت(Annotation) ، یک عبارت حرفی است که توسط کاربر و به‌صورت دستی بر روی نقشه GIS ایجاد می‌شود. یادداشت مشخصات قابل تنظیم مختلفی دارد مثل سمبل محل درج عبارت حرفی، اندازه و نوع فونت و سایر امکانات نمایشی. می‌توان یک قلم توصیفی از یک عارضه را نیز به‌صورت یادداشت بر روی نقشه درج کرد. به‌عنوان مثال، اگر ارتفاع پایه به‌عنوان یک قلم توصیفی در جدول اطلاعاتی عارضه پایه در نظر گرفته شده باشد، کاربر می‌تواند ارتفاع پایه را در کنار سمبل عارضه به‌صورت یادداشت درج کند. برخی مواقع نیاز است که فاصله بین دو عارضه را به‌صورت یادداشت بر روی نقشه درج کرد. در بیشتر نقشه‌های طراحی، فواصل مورد نیاز به فرمتی که به اصطلاح "Dimensioning" نامیده می‌شود بر روی نقشه درج می‌گردد. از این نوع خاص یادداشت برای مشخص کردن طول و یا فاصله بین تجهیزات استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال، می‌توان طول اضلاع مختلف پست زمینی و یا فاصله بین دو پایه را بر روی نقشه درج کرد. فواصل نیز مثل یادداشت به‌صورت دستی بر روی نقشه درج می‌شود. مهندسین و طراحان معمولا موقعیت دقیق عارضه پیشنهادی بر روی نقشه را با فاصله زنی نسبت به عوارض مرجع مشخص می‌کنند.
برچسب (label) با یادداشت متفاوت است. در GIS می‌توان یک یا ترکیب چند قلم توصیفی را به‌صورت خودکار بر روی نقشه برچسب زد. برچسب هر عارضه به‌صورت خودکار در کنار موقعیت مکانی عارضه مربوطه درج می‌شود.

تصاویر

برای نمایش تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی از فرمت رستری برای ذخیره‌سازی اطلاعات استفاده می‌شود. فرمت رستری شامل ماتریسی از سلول‌های مربعی شکل است که هر سلول دارای یک مقدار مشخص است. از فرمت رستری بیشتر برای نمایش اطلاعاتی استفاده می‌شود که مرز بین داده‌ها خیلی مشخص نیست مثل اطلاعات پوشش گیاهی، مدل دیجیتالی ارتفاع (DEM) و میزان شدت انرژی باد در نقاط مختلف.

اجزای مختلف GIS

ران در ادامه به تشریح اجزای مختلف GIS که تشکیل‌دهنده مواد اولیه مدل داده هستند، پرداخت. طبق توضیحات او برای کارکنان واحد نقشه‌برداری، اجزای GIS به شرح زیر هستند:

- **سیستم مختصات (Coordinate system):** باید شبکه برق یک سیستم مختصات شناخته‌شده و استاندارد داشته باشد، به این مفهوم که بتوان موقعیت GPS ای تجهیزات را خروجی گرفت و یا اطلاعات برداشت‌شده با GPS را بر روی نقشه شبکه برق پیاده کرد. متأسفانه به این موضوع مهم در نقشه‌های موجود شرکت AnyTown Energy توجهی نشده بود.
- **عارضه (Feature Class) و لایه (Layer):** هر تجهیز یا عارضه در شبکه توزیع برق با یک جدول در پایگاه داده مکانی مشخص و با یک لایه بر روی نقشه نمایش داده می‌شود.
- **جداول غیر مکانی:** این جداول در داخل پایگاه دادهٔ مکانی GIS نگهداری می‌شوند، اما فاقد اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی هستند. این جداول معمولا از طریق یک فیلد اطلاعاتی به جداول توصیفی عوارض مکانی مرتبط می‌شوند. به‌عنوان مثال، برخی سوییچ‌ها در شبکه توزیع شامل رله می‌شوند. می‌توان اطلاعات توصیفی رله را به‌صورت یک جدول غیرمکانی در بانک ذخیره و از طریق یک فیلد توصیفی، سوییچ مرجع آن را مشخص کرد.

• **مجموعه عارضه (Feature datasets):** تعدادی عارضه به هم مرتبط که یک مجموعه را تشکیل داده اند. برای ایجاد شبکه هندسی و یا شبکه منطقی ابتدا لازم است یک مجموعه عارضه تعریف شود. شبکه منطقی در سیستم توزیع به معنای مدل‌سازی آرایش شبکه و تعریف نحوه ارتباط عوارض به یکدیگر است.

• **کلاس‌های ارتباطی (Relationship classes):** جداولی در پایگاه داده مکانی GIS که نحوه ارتباط عوارض مختلف با یکدیگر را مشخص می‌کنند. ارتباط سیم‌های شبکه هوایی با پایه، یک نمونه از کاربرد کلاس‌های ارتباطی است. در GIS می‌توان ارتباط یک به یک، یک به چند و چند به چند بین عوارض تعریف کرد.

• **قالب‌های نقشه (Map templates):** تنظیمات کارتوگرافی و نحوه نمایش لایه‌های مختلف نقشه، تحت عنوان قالب‌های نقشه شناخته می‌شود.

• **مدل داده:** ساختار داده‌ها در مدل داده تعیین می‌شود. مدل داده شرکت AnyTown Energy شامل عارضه، مجموعه عارضه، کلاس های ارتباطی، شبکه منطقی و اطلاعات رستری می‌شود.

ساختار مدل داده شرکت AnyTown Energy

ران برای آنکه نفرات حاضر در کلاس چشم‌انداز کامل‌تری از مدل داده شبکه توزیع برق داشته باشند، به‌مرور مفاهیمی پرداخت که پیش‌نیاز تشکیل مدل داده در شرکت AnyTown Energy است.

ران توضیح داد: "قدرت GIS در شناسایی ارتباطات مکانی است. به‌عنوان مثال، چگونه سیم به پایه مرتبط می‌شود؟ ممکن است پنج سیم به پایه متصل باشد. این یک نوع ارتباط مکانی است. ارتباطات بین عوارضی به سه دسته مختلف تقسیم‌بندی می‌شود: ارتباط یک به یک مثل ارتباط کدپستی با یک منطقه؛ ارتباط یک به چند مثل ارتباط پایه با سیم‌های برق؛ و ارتباط چند به چند مثل ارتباط سوییچ‌ها با سکشن‌ها که این ارتباطات باید در مدل داده تعریف شوند. اگر ارتباطات مکانی به‌درستی تعریف شوند دیگر نیاز کمتری به سیستم کدگذاری، جهت شناسایی تجهیزات خواهد بود."

"همان‌طور که قبلا اشاره کردم، ساختار داده‌ها در مدل داده تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال، می‌توان برای یک قلم اطلاعاتی، مقادیر مجاز تعریف کرد. به این قابلیت، امکان تعریف دامنه (domain) بر روی فیلدهای توصیفی می‌گویند. در شبکه فشار متوسط از سطوح ولتاژی ۳۴۰۰۰ ولت، ۱۵۰۰۰ ولت و ۵۰۰۰ ولت استفاده می‌شود. اگر سطح ولتاژ، قلم توصیفی یک عارضه فشار متوسط باشد می‌توان به کاربر تنها امکان انتخاب یکی از این سه سطح ولتاژ را داد. این قابلیت باعث افزایش کیفیت داده ورودی می‌شود و از خطای انسانی کاربر جلوگیری می‌کند."

کلاس عارضه

تجهیزات مختلف شبکه توزیع تحت عنوان کلاس عارضه (Feature class) شناخته می‌شوند. کلاس عارضه شامل کلیه عوارض مربوط به یک لایه می‌شود. یک پایه و اطلاعات توصیفی مربوط به آن، نمونه یک تجهیز در کلاس عارضه پایه است. از دیدگاه نمایشی، بین کلاس عارضه و لایه، ارتباط یک به یک وجود دارد. از دیدگاه ذخیره‌سازی، هر کلاس عارضه به‌عنوان یک جدول در پایگاه داده مکانی نگهداری می‌شود که هر سطر این جدول نشان‌دهنده یک عارضه مکانی منحصربه‌فرد است و می‌تواند در قالب لایه بر روی نقشه نمایش داده شود. در سیستم GIS می‌توان تنظیمات خاصی برای کلاس عارضه انجام داد مثل تعریف مقادیر مجاز برای اقلام اطلاعاتی، تعریف سمبل نمایشی و تعریف نام اصلی و مستعار برای هر کلاس عارضه.

از طرف دیگر، جدول اطلاعات غیر مکانی مشابه کلاس عارضه است با این تفاوت که اطلاعات مربوط به موقعیت تجهیزات در آن ذخیره نمی‌شود. به‌عنوان مثال، کلاس عارضه مشترک شامل اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی مشترکین می‌شود اما می‌توان اطلاعات مربوط به مصارف مشترکین را به‌صورت یک جدول غیرمکانی به این کلاس عارضه مرتبط کرد. جدول اطلاعات مربوط به مصارف مشترکین می‌تواند به‌صورت مستقیم توسط سیستم مدیریت کنتورهای هوشمند ایجاد و از طریق یک فیلد رابط به کلاس عارضه مکانی مشترکین در سیستم GIS متصل شود.

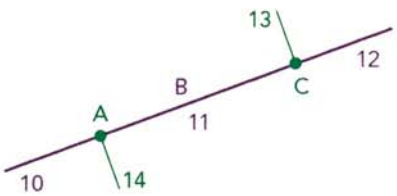
مجموعه عارضه

مجموعه عارضه (feature dataset) شامل تعدادی کلاس عارضه می‌شود که به‌صورت یک مجموعه در آمده است. هدف از تشکیل مجموعه عارضه، مدیریت ارتباطات مکانی بین کلاس عارضه‌های به هم مرتبط شده است. یکی از قابلیت‌های شاخص سیستم GIS امکان تعریف توپولوژی (Topologies) و شبکه (networks) بر روی مجموعه عارضه است.

توپولوژی و شبکه

توپولوژی، نحوه ارتباط هندسی عوارض را مشخص می‌کند. می‌توان با تعریف یکسری قواعد توپولوژیک، نحوه ارتباط هندسی عوارض با یکدیگر را مدیریت کرد. به‌عنوان مثال، می‌توان برای عارضه سطحی پارسل ساختمانی این قاعده را در نظر گرفت که محیط پارسل‌ها نباید از روی یکدیگر عبور کند و یا شکافی بین آن‌ها باشد. با استفاده از توپولوژی می‌توان کلیه پارسل‌های موجود که از این قاعده تبعیت نمی‌کنند را شناسایی و یا از درج عارضه‌های جدید که فاقد این شرط باشند، جلوگیری کرد.

آنالیز شبکه، برای مدیریت عوارض به هم پیوسته کاربرد دارد. یکی از ویژگی‌های مدل داده سیستم توزیع برق که آن را از سایر مدل داده‌ها متمایز می‌کند، بحث به هم پیوستگی اجزای شبکه برق است. همه تجهیزاتی که ارتباط خطی آن‌ها حائز اهمیت است، می‌توانند در شبکه نقش داشته باشند. ارتباطات بین اجزای مختلف شبکه در پایگاه داده مکانی نگهداری می‌شود. برای توضیح بیشتر مطلب، تصور کنید که یک هادی بین نقاط A و B قرار دارد و هادی دیگری بین نقاط B و C کشیده شده است (شکل ۵-۱۰). به کمک آنالیز شبکه می‌توان بین نقطه A و C ارتباط برقرار کرد. در شبکه توزیع این بدان معناست که جریان الکتریسیته می‌تواند از نقطه A به نقطه C برسد. در سیستم GIS می‌توان ارتباط بین اجزای مختلف شبکه را به‌صورت خودکار ایجاد کرد (البته به شرطی که نقاط ابتدا و انتهای عوارض خطی دقیقا به یکدیگر متصل باشند). در سیستم GIS به کمک قابلیت اتصال نقاط به یکدیگر (snaping) می‌توان از اتصال دقیق عوارض خطی مطمئن شد. به کمک قابلیت اتصال نقاط به یکدیگر، می‌توان خطوطی که فاصله آن‌ها از یک حد مشخص کمتر است را به یکدیگر متصل کرد. با ایجاد شبکه در سیستم GIS، می‌توان از قابلیت رهگیری بین اجزای مختلف شبکه استفاده کرد.



شکل ۵-۱۰- با استفاده از GIS می توان ارتباط مکانی بین عوارض را مدیریت کرد.

در اینجا ران به مطلبی اشاره کرد که از زبان فرانک شنیده بود، "یکی از مشکلات بزرگ نقشه‌های موجود شرکت این است که کسی کیفیت ترسیم عوارض نقشه را ارزیابی نکرده است. به‌عنوان مثال، ممکن است در ظاهر، یک خط به خط مجاورش متصل به نظر برسد اما چنانچه به‌اندازه کافی بر روی نقشه ریز شویم، متوجه می‌شویم که فاصله کوچکی بین خطوط وجود دارد. اگر خطوط شبکه به‌درستی به هم متصل نشده باشد، نمی‌توان از قابلیت رهگیری آنالیز شبکه استفاده کرد."

ران در ادامه توضیح داد که چرا اتصال دقیق تجهیزات شبکه در سیستم GIS توزیع برق این‌قدر اهمیت دارد: "باید توجه داشت که بسیاری از برنامه‌های کاربردی مورد نیاز شرکت توزیع بر اساس قابلیت رهگیری آنالیز شبکه استوار است. آنالیز شبکه درواقع آرایش شبکه توزیع را مدل‌سازی می‌کند. می‌توان از روی شبکه، نقشه شماتیک تولید کرد. نقشه شماتیک، اجباری به حفظ موقعیت مکانی تجهیزات ندارد و برای مقاصد تحلیلی شبکه برق بسیار کاربردی است. به‌عنوان مثال، برای برنامه مدیریت خاموشی و یا ایجاد هماهنگی حفاظتی بین فیوزها می‌توان از نقشه شماتیک استفاده کرد." ران اشاره کرد که در مرکز دیسپاچینگ هم می‌توان از نقشه شماتیک استفاده کرد. با این حال، او این مطلب را هم گفت که به دلیل آنکه نقشه تک خطی سیستم مدیریت خاموشی شرکت Any Town Energy مستقل از اطلاعات موجود در نقشه‌های شرکت ایجاد شده است، لذا این دو سیستم انطباق لازم را با هم ندارند.

دسته‌بندی کلاس عارضه

کلاس عارضه را می‌توان به دسته‌های مختلف تقسیم‌بندی کرد. از این قابلیت برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود. کاربردهای دسته‌بندی (subtypes) به شرح زیر است:

- ارتقاء عملکرد پایگاه داده مکانی با تعریف تجهیزات مختلف به‌عنوان زیرمجموعه یک کلاس عارضه موجود، به‌جای آنکه هر تجهیز به‌عنوان یک کلاس عارضه مجزا تعریف شود. به‌عنوان مثال، کلاس عارضه خط فشار متوسط را می‌توان به سه دسته هوایی، سطحی و زیرزمینی تقسیم‌بندی کرد و دیگر سه کلاس عارضه مجزا تعریف نکرد.
- می‌توان برای زیرمجموعه‌های کلاس عارضه مقادیر پیش‌فرض تعریف کرد. این مقادیر در زمان اضافه شدن تجهیز اعمال خواهد شد. به‌عنوان مثال، می‌توان کوچه را به‌عنوان زیرمجموعه کلاس عارضه خیابان در نظر گرفت. چنانچه حداکثر سرعت رانندگی در کوچه را به‌صورت پیش‌فرض ۳۵ مایل در ساعت در نظر بگیریم، در آن صورت با اضافه شدن یک کوچه جدید، مقدار پیش‌فرض سرعت نیز اعمال خواهد شد.
- می‌توان برای زیرمجموعه‌های کلاس عارضه، دامنه‌های مجاز تعریف کرد و به کاربر اجازه نداد مقدار نامعتبری را در سیستم وارد کند. به‌عنوان مثال برای زیرمجموعه‌های کلاس عارضه فشار متوسط، سطح ولتاژ مجاز یکی از مقادیر ۱۳.۸kv، ۳۴kv یا ۴.۱۶kv خواهد بود.
- می‌توان برای اتصال کلاس عارضه‌ها و زیرمجموعه‌های آن‌ها قواعد نحوه اتصال تعریف کرد تا پیوستگی شبکه به‌صورت اصولی حفظ شود. به‌عنوان مثال، می‌توان تعریف کرد که عارضه مفصل فشار متوسط تنها به کابل فشار متوسط متصل شود و نتواند به خط فشار متوسط هوایی متصل شود.
- می‌توان برای ارتباط مکانی کلاس عارضه‌ها و زیرمجموعه‌های آن‌ها قواعد توپولوژیک تعریف کرد. به عنوان مثال، می‌توان این قانون را گذاشت که دو نقطه انتهایی کلاس عارضه خیابان باید به یک خیابان دیگر متصل شود به‌جز خیابان‌هایی که در دسته بن‌بست تعریف شده باشند.
- می‌توان برای ارتباط کلاس عارضه‌ها و زیرمجموعه‌های آن‌ها بر اساس اقلام توصیفی قواعد ارتباطی تعریف کرد. به‌عنوان مثال، برای کلاس عارضه پایه برای دسته فلزی می‌توان تعریف کرد که تنها ترانسفورماتورهای با ظرفیت خاص بر روی آن قرار گیرد و برای دسته چوبی هم به همین نحو می‌توان ترانسفورماتورهای با ظرفیت مشخص تعریف کرد.

سیستم مختصات

ران توضیح داد: "هر لایه در سیستم GIS باید قابلیت انطباق مکانی با سطح زمین را داشته باشد تا بتوان آن را به‌درستی نمایش داد. سیستم مختصات (coordinate system) این چارچوب را فراهم می‌کند. درواقع، سیستم مختصات یک لایه در پایگاه داده مکانی مشخص می‌کند که این لایه چگونه بر روی سطح زمین می‌نشیند."

"امروزه از طریق اینترنت می‌توان به همه نوع داده‌های مکانی با سیستم‌های مختصات مختلف دسترسی داشت. اگر در خصوص سیستم مختصات و سیستم تصویر داده‌ها اطلاعاتی نداشته باشیم، نمی‌توانیم داده‌های مختلف را در کنار هم قرار داده و موقعیت مکانی دقیق آن‌ها را شناسایی کنیم. وظیفه GIS این است که بررسی کند چگونه می‌توان اطلاعات مکانی مختلف را کنار هم قرارداد. GIS این کار را با خواندن شناسنامه داده‌های مکانی (metadata) انجام می‌دهد. در شناسنامه داده‌های مکانی جزئیات مختلفی را می‌توان یافت مثل: ایجادکننده داده مکانی، میزان دقت داده‌ها، زمان ایجاد داده‌ها و سیستم مختصات و سیستم تصویر استفاده شده جهت تولید داده‌ها."

"مزیت استفاده از یک سیستم مختصات شناخته‌شده و استاندارد برای پایگاه داده آن است که شرکت می‌تواند به‌سادگی از داده‌های مکانی موجود در محیط اینترنت و همچنین اطلاعات مکانی سایر سازمان‌ها استفاده کند. به‌عنوان مثال، شرکتی که نگران آب‌گرفتگی پست‌های زمینی خود در اثر وقوع سیل است، می‌تواند اطلاعات مکانی مربوط به سیل احتمالی را از سازمان مدیریت بحران دریافت کرده و آن را بر روی نقشه GIS خود بیندازد. با برهم‌نهی لایه پست‌های زمینی در داخل پایگاه داده مکانی شرکت و لایه سیل که از خارج از سازمان تهیه شده است، به‌سادگی می‌توان نقاط آسیب‌پذیر شبکه را شناسایی کرد. بدون شک، اگر در GIS از سیستم مختصات استاندارد استفاده نشده بود، امکان استفاده از نقشه‌های مکانی سیل احتمالی وجود نداشت و نقاط به‌درستی بر روی یکدیگر قرار نمی‌گرفتند. امکان دریافت سرویس‌های نقشه برون‌سازمانی بر بستر رایانش ابری هم مستلزم استفاده از سیستم‌های مختصات استاندارد است."

فرانک گفت: "من کاملا متوجه شدم. نقشه‌های قدیمی ما سیستم مختصات استانداردی نداشت و ما فقط ظاهر این نقشه‌ها را از حالت کاغذی به فرمت دیجیتالی تبدیل کرده‌ایم. به همین دلیل است که ما نمی‌توانیم از اطلاعات مکانی سایر سازمان‌ها بر روی نقشه‌های خود استفاده کنیم، مشابه همان مثال محدوده آب گرفتگی سیل که تو به آن اشاره کردی. از طرف دیگر، اطلاعات برداشت‌شده با دستگاه GPS نیز قابلیت همخوانی با نقشه‌های ما را ندارد."

ران تأکید کرد: "ما برای سیستم GIS از نقشه‌های پایه دقیق و استاندارد دولت محلی استفاده خواهیم کرد و عوارض شبکه برق را بر روی این نقشه‌ها جانمایی می‌کنیم. خوب است که در مورد نقشه بیشتر صحبت کنیم."

قالب‌های نقشه

ران توضیح داد: "باید بتوان اطلاعات موجود در پایگاه داده مکانی GIS را بر روی نقشه نمایش داد. مشخصات مربوط به اطلاعات نمایش داده شده بر روی نقشه و چگونگی نمایش آن‌ها در قالب نقشه (map template) نگهداری می‌شود. به‌عنوان مثال، در قالب نقشه تعیین می‌شود که چه لایه‌هایی و با چه ترتیبی نمایش داده شود، از چه رنگ‌ها و سمبل‌هایی برای نمایش لایه‌ها استفاده شود و چه سرویس‌هایی در محیط نقشه فراخوان شود، مثل سرویس تصاویر ماهواره‌ای. در قالب نقشه تعیین می‌شود که چه اطلاعاتی بر روی نقشه برچسب‌زنی شود و اساسا همه تنظیمات نمایشی در قالب نقشه ذخیره می‌شود. می‌توان جهت ساخت سرویس، از قالب نقشه استفاده کرد. در این صورت، کارتوگرافی و تنظیمات نمایشی نقشه به سرویس منتقل می‌شود و می‌توان این سرویس را در سایر برنامه‌ها فراخوانی کرد."

"یکی دیگر از امکانات مهم قالب نقشه، امکان تعریف قواعد نمایشی است. در شرکت AnyTown Energy از فایل‌های نقشه مختلف برای مقیاس‌های گوناگون استفاده شده است. زمانی که کاربر بخواهد به جزئیات بیشتری دسترسی داشته باشد، به یک مجموعه فایل مراجعه می‌کند و زمانی که بخواهد کلیت نقشه را ببیند ناچار است به فایل‌های دیگری مراجعه کند. در قالب نقشه می‌توان بر اساس مقیاس و زوم نقشه تعریف کرد که چه لایه‌هایی نمایش داده شود و چه لایه‌هایی خاموش شود. حتی می‌توان بر اساس بزرگ‌نمایی نقشه تعریف کرد که چه برچسب‌ها و یادداشت‌هایی نمایش داده شود. زمان که کاربر بر روی نقشه زوم می‌کند می‌تواند لایه‌ها و جزئیات بیشتری را بر روی نقشه ببیند. به‌عنوان مثال، می‌توان تعریف کرد که در زوم‌های نزدیک، سایز فیوزهای فشار ضعیف نمایش داده شود. در زوم‌های دور نیز به‌منظور پرهیز از شلوغی نقشه، می‌توان تعریف کرد که لایه‌های کمتر و با جزئیات خلاصه‌تر نمایش داده شود. به‌عنوان مثال، می‌توان تعریف کرد که در زوم‌های دور فقط پست‌های فوق توزیع و فیدرهای فشار متوسط نمایش داده شود."

آناند گفت: "من متوجه منظورت شدم، در نقشه های شرکت ما همه جزئیات در همه زوم‌ها نمایش داده می‌شود، بدون آنکه بررسی شود آیا به این جزئیات نیازی وجود دارد یا خیر. این موضوع باعث پیچیده شدن نقشه‌ها می‌شود. اما GIS می‌تواند به‌صورت خودکار و بر اساس زوم نقشه، لایه‌ها را خاموش و روشن کند که این قابلیت باعث می‌شود درک نقشه سریع‌تر و آسان‌تر شود."

ران درحالی‌که از اثربخش بودن مطالب خود خشنود بود، گفت: "کاملا"

مدل داده

بعد از برگزاری آخرین کلاس آموزشی، ران احساس کرد که مقدمات لازم جهت طراحی مدل داده فراهم شده است. از حالا به بعد، اعضای تیم GIS با بررسی دقیق داده‌های مورد نیاز، تجهیزات و عوارضی را که در مدل داده شبکه توزیع برق نقش دارند، شناسایی خواهند کرد.

با ارزیابی سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت، ران به این نتیجه رسیده بود که باید روال‌های غلط گذشته مثل شناسایی موقعیت مکانی تجهیزات بر اساس شماره شیت نقشه کنار گذاشته شود. با توضیحاتی که او از فرانک، آناند و سایر نفرات واحد نقشه‌برداری در خصوص سیستم گریدبندی موجود شرکت شنیده بود، برای او کاملا روشن‌شده بود که زیرساخت داده های شرکت چگونه تشکیل شده‌است. تجهیزات بر اساس کد شیت نقشه شماره‌گذاری شده‌اند و اگر به هر دلیلی موقعیت مکانی یک تجهیز جابه‌جا شده و در شیت مجاور قرار گیرد، کد قبلی آن به‌اشتباه حفظ می‌شود. او می‌دانست که با پیاده‌سازی سیستم GIS همه این اشکالات برطرف خواهد شد. او باید کاربران را ترغیب می‌کرد که وابستگی ذهنی خود را به این نقشه‌های شیت بندی شده که محدوده شیت‌های آن با هیچ سیستم مختصات استانداردی هماهنگ نیست، کم کنند. ران از اعضای گروه GIS خواست که با شناسایی اجزای مهم شبکه توزیع برق به او کمک کنند تا بتواند دسته‌بندی کلی عوارض را تهیه کند. در ادامه او به دنبال آن بود تا اطلاعات توصیفی مورد نیاز برای تجهیزات را مشخص کند و تعیین کند که چه فیلدهایی در پایگاه داده مکانی GIS تعریف و چه اطلاعاتی از سایر سیستم‌ها دریافت شود.

ران با همکاری سایر نفرات تیم، بخش‌های مختلف شبکه توزیع را به شرح زیر لیست کرد:

۱. **پست فوق توزیع:** محلی که شبکه توزیع برق از آنجا آغاز می‌شود.

۲. **شبکه فشار متوسط**، شامل فیدرهای فشار متوسط و پست‌های برق فشار متوسط به فشار ضعیف: هر تجهیزی که در سطح ولتاژ بالای ۱۰۰۰ ولت و زیر ۳۵۰۰۰ ولت بهره‌برداری می‌شود.

۳. شبکه فشار ضعیف: هر تجهیزی که در سطح ولتاژ زیر ۱۰۰۰ ولت بهره‌برداری می‌شود، شامل شبکه روشنایی معابر.

۴. تجهیزات ساختمانی و نگهدارنده، شامل تابلو، پایه، ساختمان پست و منهول: تجهیزاتی که سایر تجهیزات بر روی آن‌ها سوار می‌شوند و یا به‌وسیله آن‌ها نگهداری می‌شوند.

۵. نقشه‌های پایه و داده های برون سازمانی: اطلاعات مربوط به سایت پلان و یا سایر اطلاعات مورد نیاز سازمان که قرار نیست در پایگاه داده مکانی شرکت نگهداری شوند. اطلاعات مکانی سایر شرکت‌های خدماتی مثل شبکه آب، گاز و مخابرات در این دسته قرار می‌گیرد. ایده کلی در این بخش آن است که به‌جای نگهداری از داده‌ها، آن‌ها را به‌صورت سرویس نقشه از سایر سازمان‌ها دریافت کنیم. در واقع، نقشه‌های پایه شامل اطلاعاتی می‌شود که در خارج از سازمان تولید و به‌روزرسانی می‌شود، اما دسترسی به آن‌ها برای شرکت مهم و کاربردی است. این اطلاعات می‌تواند شامل اطلاعات زیست‌محیطی، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات مربوط به مناطق تاریخی (معمولا در این مناطق اجازه شاخه‌بری داده نمی‌شود) و اطلاعات مدیریت شهری شود.

۶. مشترکین و شبکه هوشمند: موقعیت مکانی مشترکین، اطلاعات بیلینگ و موقعیت مکانی تجهیزات شبکه هوشمند. بیشتر اطلاعات مشترکین در سیستم خدمات مشترکین (CIS) نگهداری می‌شود، بنابراین نباید با انتقال این داده‌ها به پایگاه داده مکانی GIS افزونگی داده ایجاد کرد. نکته کلیدی آن است که موقعیت مکانی مشترکین و تجهیزات شبکه هوشمند در سیستم GIS ایجاد و اطلاعات توصیفی مورد نیاز، توسط سرویس از سیستم خدمات مشترکین و سیستم مدیریت لوازم اندازه‌گیری (MDM) دریافت شود.

۷.سایر اجزا: محدوده‌های کاری، محدوده امورهای اجرایی، محل انبارها و اطلاعات مربوط به املاک شرکت و همچنین اشیاء یا تجهیزاتی که به‌صورت موقت ایجادشده‌اند. (مثل عارضه ایجادشده توسط یک وب‌سرویس بیرونی).

فصل ششم

پست‌های فوق توزیع، نقطه آغازین شبکه توزیع

پست‌های فوق توزیع، نقطه آغازین شبکه توزیع

ران اطمینان داشت که به زودی شناخت کافی را از کارکردهای شبکه توزیع پیدا خواهد کرد و می تواند کار طراحی پایگاه داده را شروع کند. او می‌توانست هر چه را که نمی‌داند از همکاران جدیدش سؤال کند و قرار نیست همه اطلاعات را در ذهن خود نگهداری کند. به نظر ران رسید که سیستم GIS نیز باید به طریق مشابه عمل کند. قرار نیست همه اطلاعات در این سیستم ذخیره شود، بلکه کافی است GIS بداند اطلاعات مورد نیاز را از کدام منابع می‌تواند به دست آورد. ران متوجه شد که کارکنان بخش پست که از دو واحد طراحی و بهره‌برداری تشکیل شده است، اطلاعات فنی بسیار خوبی درباره موضوعات مورد نیاز او دارند. پرسنل بخش بهره‌برداری پست‌ها مانند چشم و گوش مرکز کنترل عمل می‌کنند. تنها کاری که ران باید انجام می‌داد، جمع‌آوری اطلاعات از آن‌ها بود. سپس با تجزیه و تحلیل این اطلاعات می‌توانست اجزای ضروری پست‌های فوق توزیع را جهت ایجاد مدل داده صحیح در GIS شناسایی کند.

در شرکت AnyTown Energy اطلاعات مربوط به تجهیزات شبکه برق در سیستم‌های مختلف ذخیره‌سازی و نگهداری می‌شد. به‌منظور مدیریت بهتر داده‌ها، باید از ذخیره‌سازی مجدد اطلاعات در سیستم GIS و افزونگی داده پرهیز می‌شد. البته این بدان معنی نیست که GIS نباید از اطلاعات سایر سیستم‌ها استفاده کند. با شناسایی اقلام توصیفی مورد نیاز GIS در سایر سیستم‌ها و برقراری ارتباط مناسب و منتسب کردن این اطلاعات به عوارض مکانی موجود در GIS، می‌توان حداکثر استفاده را از زیرساخت‌های اطلاعاتی موجود شرکت داشت.

حلقه رابط شبکه انتقال و توزیع

ران در خلال صحبت‌هایش با فرانک، متوجه موضوعی شد که او را دچار سردرگمی کرد. بخش‌هایی از شبکه برق در سیستم نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy در نظر گرفته نشده بودند. سیستم انتقال به‌کلی مدل نشده بود و بخش‌هایی از سیستم توزیع مانند فیدرهای فشار ضعیف نیز نادیده گرفته شده بودند. عجیب‌تر آن‌که حتی پست‌های فوق توزیع (شکل ۶-۱) که حلقه ارتباط دو شبکه انتقال و توزیع هستند نیز به‌صورت کامل در نقشه‌های شرکت ترسیم نشده بودند.

شکل ۶-۱- یک نمونه پست فوق توزیع (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

ران می‌دانست که پست‌های فوق توزیع یکی از حلقه‌های حیاتی زنجیره تولید، انتقال و مصرف انرژی الکتریسیته هستند. این پست‌ها نقطه شروع و همچنین تغذیه‌کننده شبکه توزیع هستند و عبور توان از شبکه انتقال به شبکه توزیع را امکان‌پذیر می‌کنند. ران از فرانک پرسید: "نحوه مدل‌سازی پست‌های فوق توزیع در سیستم نقشه‌برداری شرکت به چه صورت است؟" فرانک پاسخ داد: "پست‌های فوق توزیع با نماد مربع توخالی بر روی نقشه‌ها نمایش داده می‌شوند و در ابتدای فیدرهای فشار متوسط قرار می‌گیرند. مدیریت نقشه‌ها و ترسیمات مربوط به داخل پست‌های فوق توزیع، بر عهده یک گروه مستقل از واحد نقشه‌برداری به نام گروه طراحی پست‌ها قرار دارد."

ران دوباره سؤال کرد: "در صورتی که واحد نقشه‌برداری اطلاعات مکانی مربوط به فیدرهای فشار متوسط را ویرایش کند و یا گروه طراحی پست‌ها، اطلاعات پست فوق توزیع را تغییر دهد، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ آیا فعالیت‌های این دو گروه با هم هماهنگ شده است و دسترسی به تغییرات یکدیگر دارند؟"

فرانک پاسخ داد: "به نکته مهمی اشاره کردی. متأسفانه اطلاعات این دو گروه با یکدیگر هماهنگ نیست. به همین دلیل، برای بررسی و مقایسه این دو سری اطلاعات، یک نفر در مرکز کنترل شبکه مسئول اصلاح و علامت‌گذاری نقشه‌های پست فوق توزیع و فیدرهای خروجی از آن است تا گروه‌های عملیاتی همواره در جریان آخرین تغییرات باشند."

اما ران با توجه به بازدید اخیرش از مرکز کنترل شبکه می‌دانست که کارها همیشه طبق برنامه پیش نمی‌رود. نقشه‌های موجود در مرکز کنترل که بخش‌های مختلف آن‌ها علامت‌گذاری شده است، تنها منبع موثق و به‌روز از وضعیت پست‌های فوق توزیع هستند. طبیعتاً اطلاعات این نقشه‌های کاغذی نمی‌تواند به‌سادگی در اختیار بخش‌های مختلف قرار گیرد.

بر اساس گفته‌های میشل، یکی از مهندسین طراح شرکت‌کننده در اولین کارگاه آموزشی، ران متوجه شد که گنجینه ارزشمندی از اطلاعات مرتبط با پست‌های فوق توزیع به‌صورت فایل‌های اتوکد و همچنین نقشه‌های پرینت شده در اختیار گروه طراحی پست‌ها قرار دارد. اما به‌جز نام فایل‌های اتوکد و شماره نقشه‌های بایگانی شده در داخل کمدها، هیچ راهکاری برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات وجود نداشت. علاوه بر این، هیچ‌کدام از نقشه‌ها دارای سیستم مختصات استاندارد نبودند. مجموعه‌ای از نقشه‌های علامت‌گذاری شده در اختیار گروه طراحی پست‌ها بودند و تنها زمانی که

مهندسین طراح قصد داشتند یک نقشه جدید را آماده کنند، تغییرات ثبت شده قبلی بر روی نقشه را به‌روز می‌کردند. مشکل بزرگ اینجا بود که خیلی مواقع، تغییرات مشاهده شده توسط گروه‌های اجرایی به واحد طراحی منتقل نمی‌شد.

میشل نیز تأیید کرد که تغییرات به وجود آمده در شبکه که به‌صورت یادداشت و علامت بر روی نقشه ثبت می‌شود، باعث شلوغی و ناخوانا شدن نقشه‌ها شده است. همچنین او به مشکل بزرگ دیگری اشاره کرد، "مشکل بعدی در شرکت ما این است که نقشه‌های مربوط به پست‌های فوق توزیع در داخل یک ساختمان مجزا و دور از مرکز دیسپاچینگ نگهداری می‌شوند. در صورتی که فردی طی ساعات اداری به این نقشه‌ها نیاز داشته باشد، باز هم مشکل خاصی وجود ندارد. اما در شرایط بحرانی و به‌ویژه در خارج از وقت اداری، دستیابی به این اطلاعات بسیار دشوار است و می‌تواند مشکلات بزرگی را برای شرکت ایجاد کند." ران متوجه شد که اپراتورهای پست فوق توزیع جهت مواجهه با این مسئله، نقشه‌های حاشیه‌نویسی شده غیررسمی و مختص به خودشان را دارند که البته هیچ‌کس وجود آن‌ها را تأیید نمی‌کند. بسیاری از تغییراتی که به‌صورت دستی بر روی نقشه‌ها ثبت شده است، در بهره‌برداری روزانه از شبکه مورد نیاز نیست. اما همین اطلاعات، در زمان بروز حادثه که می‌تواند منجر به خاموشی مشترکین و یا صدمه دیدن پرسنل شود، ممکن است بسیار حیاتی باشد. اطلاعات و نقشه‌های موجود در بخش طراحی پست‌ها سازمان‌دهی مناسبی نداشت و دسترسی به آن‌ها زمان‌بر بود. درنتیجه، نمی‌توانست در ارزیابی سریع مشکلات چاره‌ساز باشد.

در بخش طراحی پست‌ها دو نوع نقشه از پست‌های فوق توزیع نگهداری می‌شد:

۱- دیاگرام تک‌خطی پست که شامل تجهیزات شاخص پست و چگونگی ارتباط بین آن‌هاست. همچنین این دیاگرام نحوه ارتباط شبکه انتقال و توزیع را نشان می‌دهد.

۲- مجموعه کاملی از مستندات نقشه‌های طراحی پست

ران جهت یادآوری کاربرد نقشه‌های تک‌خطی به یادداشت‌های خود مراجعه کرد (به یادداشت‌های ران در خصوص دیاگرام تک‌خطی پست‌ها مراجعه کنید). او به خاطر آورد که اپراتورهای مرکز دیسپاچینگ بیشتر از نقشه‌های تک‌خطی جهت کنترل شبکه استفاده می‌کنند (شکل ۶-۲). همچنین از لحاظ امنیتی دسترسی به نقشه‌های تک‌خطی محدود است و کسی مجاز به خارج کردن آن‌ها از مرکز کنترل نیست.

فایل‌های دیجیتالی اتوکد و نقشه‌های کاغذی که جهت ساخت پست مورد استفاده قرار می‌گیرد، دسته دیگر نقشه‌های واحد طراحی پست‌ها را تشکیل می‌دهد که از آن تحت عنوان مستندات طراحی پست نام برده می‌شود. یک پست ممکن است صدها نقشه از این دست داشته باشد که شامل جزئیات ساختمانی، نقشه کانال‌کشی زیرزمینی، پلان پی‌ریزی، جزئیات ساخت باس بارها، دیاگرام‌های منطقی باز و بست سوییچ‌ها، نقشه شماتیک پانل‌ها و سلول‌ها، منحنی‌های عملکرد رله‌ها، نقشه سیم‌کشی تابلوها، سیستم زمین و غیره می‌شود.

ارتباط با قابلیت اطمینان

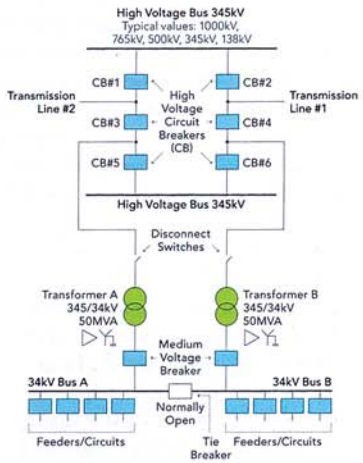
ران حالا دیگر به‌راحتی درک می‌کرد که چرا شاخص‌های قابلیت اطمینان شرکت AnyTown Energy پایین‌تر از حد نرمال است. زمانی که حادثه‌ای مانند عملکرد اشتباه رله، تریپ غیرمنتظره دژنکتور و یا وقوع طوفان در شبکه اتفاق می‌افتد، پرسنل شرکت امکان واکنش سریع را ندارند. دلیل این امر آن است که اطلاعات مورد نیاز جهت شناسایی و برطرف کردن مشکلات در بخش‌های مختلف شرکت پراکنده شده است. نقشه‌های قدیمی واحد نقشه‌برداری، نقشه‌های تک‌خطی موجود در مرکز

کنترل شبکه و اطلاعات مربوط به پست‌های فوق توزیع که در واحد طراحی پست‌ها و در یک ساختمان مستقل نگهداری می‌شوند، شرایط سختی را جهت پیدا کردن سریع منشأ خاموشی ایجاد کرده‌اند.
از دید ران، این شرایط باعث اتلاف وقت قابل‌توجه می‌شود. پس از بروز خطا و در حالی که مشترکین در انتظار وصل شدن مجدد جریان برق هستند، پرسنل پرتلاش شرکت AnyTown Energy با دستپاچگی به هر دری می‌زنند که به کمک اطلاعات پراکنده موجود در سازمان به منشأ خطا پی ببرند. خوشبختانه کارکنان باتجربه شرکت، اطلاعات بسیار مهمی را در ذهن خود نگهداری می‌کنند که در شرایط بحرانی کمک حال آن‌ها می‌شود. مشکل عمده آن است که این افراد باتجربه به‌سرعت در حال بازنشسته شدن هستند و با رفتن آن‌ها، اطلاعاتشان نیز از شرکت خواهد رفت. از طرف دیگر، یادداشت‌های ثبت شده توسط این افراد بر روی نقشه‌های کاغذی، خاطراتی است که با بازنشسته شدن آن‌ها به فراموشی سپرده خواهد شد.

یادداشت‌های آقای ران

دیاگرام تک‌خطی

دیاگرام‌های تک‌خطی چه هستند و به چه کار می آیند؟ تقریباً تمامی شبکه‌های الکتریکی به‌صورت سیستم‌های سه فاز هستند که می‌توان آن‌ها را به یک موتور سه سیلندر تشبیه کرد. قطعاً مشابه با موتورهای چهار، شش، هشت و دوازده سیلندر، می‌توان سیستم‌های الکتریکی با تعداد فاز متفاوت برای مثال تکفاز، دو فاز و شش فاز نیز داشت. هرچه تعداد سیلندرها بالاتر رود، موتور نرم‌تر کار می کند و معمولاً قدرت بیشتری نیز تحویل می‌دهد. به دلایل مختلف، شبکه برق متناوب بر اساس سیستم سه فاز پایه‌گذاری شده است.
مهندسین برق و نیروهای عملیاتی، طی سال‌های متمادی فعالیت در شبکه برق به این نکته واقف هستند که با وجود آنکه شبکه برق از سه فاز مجزا تشکیل شده است ولی هر سه فاز، متقارن و متعادل هستند. شبکه فشارقوی و بخش عمده‌ای از شبکه فشار متوسط در سراسر جهان به‌صورت سیستم سه فاز متقارن طراحی شده است. همچنین اکثر تجهیزات شبکه بر اساس سیستم سه فاز تولید شده‌اند، هرچند که برخی از تجهیزات نیز به‌صورت تک فاز مورد بهره‌برداری قرار می گیرند. به دلیل تقارن و مشابه بودن سه فاز، می‌توان از دیاگرام تک‌خطی برای نمایش شبکه استفاده کرد. در دیاگرام تک‌خطی، تنها مدار معادل یک فاز ترسیم می‌شود. این دیاگرام، در مقایسه با نمایش تک‌تک فازها و در برخی موارد سیم نول، به‌مراتب ساده‌تر و قابل‌فهم‌تر است. به همین دلیل است که امروزه استفاده از نقشه‌های تک‌خطی به‌ویژه در مراکز کنترل شبکه عمومیت پیدا کرده است.

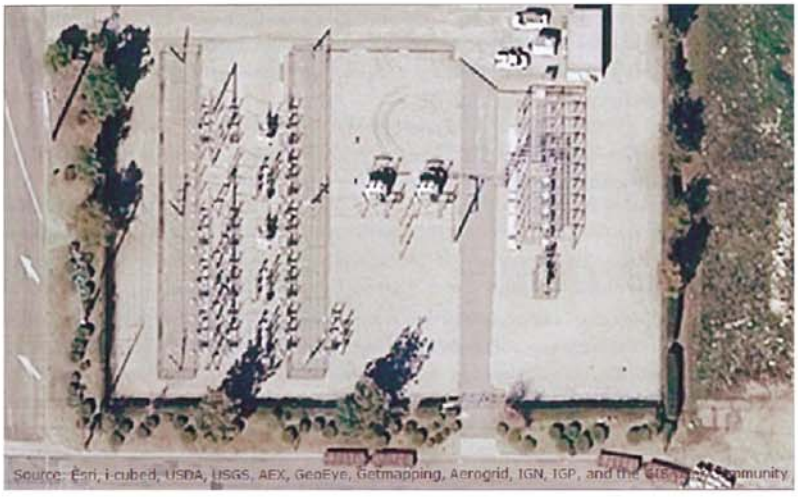


شکل ۶-۲- دیاگرام تک خطی یک نمونه پست HV/MV (منبع: Esri)

مشترکین شرکت AnyTown Energy مدت زمان بیشتری نسبت به مشترکین سایر شرکت‌ها برای بازیابی شبکه و وصل مجدد انرژی الکتریکی انتظار می‌کشیدند. سردرگمی پرسنل در روند بازیابی شبکه، باعث می‌شد به‌طور متوسط نیروی انسانی بیشتری برای برطرف کردن خطاها نیاز باشد. بنابراین شرکت AnyTown Energy در فرآیند رفع خطا و بازیابی شبکه، نیازمند صرف وقت و هزینه بیشتری نسبت به سایر شرکت‌های توزیع بود. این شرکت مجبور بود برای رسیدن به سود حداقلی، هزینه تعرفه‌های خود را بالا ببرد که درنهایت منجر به کاهش سطح رضایت‌مندی مشترکین می‌شد. برای ران، دلایل افت جایگاه شرکت بین سایر شرکت‌های توزیع کاملا روشن بود. آنچه برای او واضح بود، برای بسیاری از پرسنل شرکت مثل یک معما به نظر می‌رسید.

او سؤال مشابهی را از برخی پرسنل شرکت پرسید: "اگر تمامی داده‌ها را به کمک وجه مشترک آن‌ها یعنی مکان، ساماندهی و مدیریت کنیم آیا هزینه‌ها و همچنین زمان پاسخگویی شرکت کاهش نخواهد یافت؟". پاسخ‌ها متفاوت بود اما تقریبا همگی به موضوعات مشابهی اشاره داشتند. "انجام این کار بسیار مشکل است"، "نیازمند صرف هزینه و سرمایه‌گذاری بسیار زیادی است" و یا "تغییر برخی فرآیندهای کاری شرکت تقریبا غیرممکن است." این پاسخ‌ها نشان‌دهنده طرز تفکر کارکنان شرکت و دشواری‌های پیش‌روی ران بود.

ران متوجه شد که در برنامه پیش‌بینی شده جهت پیاده‌سازی سیستم GIS، پست‌های فوق توزیع در نظر گرفته نشده‌اند. بسیاری از پرسنل شرکت این پست‌ها را به‌عنوان بخشی از شبکه توزیع در نظر نمی‌گیرند. از آنجا که سیستم قدیمی نقشه‌برداری شرکت هرگز مسئولیتی در زمینه پست‌های فوق توزیع نداشته و نقشه‌های مربوطه را به سیستم اضافه نکرده است، تصور عمومی آن بود که در پیاده‌سازی سیستم GIS نیز باید همین روش را در پیش گرفت. پرسنل بخش پست‌ها، شامل واحد بهره‌برداری و واحد طراحی، در یک ساختمان مجزا مستقر بودند و از نقشه‌ها و ابزارهای متفاوت استفاده می‌کردند. به همین دلیل، ایده افزودن اطلاعات پست‌های فوق توزیع به سیستم GIS به ذهن هیچ‌کس به‌جز ران نرسیده بود. ران با خودش فکر کرد که پست‌های فوق توزیع بسیار بزرگ‌تر و مهم‌تر از آن هستند که تنها با یک سمبل مربع شکل توخالی در نقشه‌های شرکت AnyTown Energy نمایش داده شوند. او برای درک بهتر موضوع، به عکس هوایی یک پست فوق توزیع نگاه کرد (شکل ۶-۳).



شکل ۶-۳- تصویر ماهواره ای یک پست فوق توزیع HV/MV (منبع: تصاویر ماهواره ای i-cubed)

در شرکت AnyTown Energy اطلاعات و نقشه‌های پست‌های فوق توزیع در اختیار واحدی مستقل از واحد نقشه‌برداری قرار داشت. حتی تعمیرات و نگهداری از این پست‌ها نیز بر عهده گروه‌های عملیاتی جداگانه‌ای قرار داشت. به نظر می‌رسید، حصارها و دیوارهای اطراف پست فوق توزیع بین پرسنل متولی این بخش با سایر بخش‌های شرکت فاصله انداخته‌است و به‌سختی اجازه عبور اطلاعات را می‌دهد. بین گروه‌های عملیاتی پست‌های فوق توزیع و سایر گروه‌های اجرایی، لیست بلندبالایی از توافق‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مشترک وجود داشت ولی در عمل، دو طرف اطلاعات کامل و دقیقی از وضعیت یکدیگر نداشتند.

پس از مطالعه و بررسی دو منبع اطلاعاتی موجود در مورد پست‌های فوق توزیع، یعنی نقشه‌های تک خطی و مستندات طراحی پست، ران تصمیم گرفت که دسته دوم را به‌صورت مستقیم در سیستم GIS نمایش ندهد. اولین دلیل ران، حجم بیش از اندازه و غیرضروری این اطلاعات بود. بیش از هزاران نقشه، جدول و گزارش در فرمت‌های دیجیتالی و کاغذی وجود داشت. تغییرات زمان اجرا و همچنین تغییرات صورت گرفته توسط گروه‌های اجرایی بر روی نقشه‌های کاغذی علامت‌گذاری شده بود. بزرگ‌ترین مشکل سر راه اضافه کردن نقشه‌های علامت‌گذاری شده به سیستم GIS آن بود که این اطلاعات تنها بر روی نقشه‌های کاغذی وجود داشت. حتی همین نقشه‌های کاغذی نیز به‌درستی مدیریت و طبقه‌بندی نشده بودند. یک نقشه علامت‌گذاری شده مربوط به هشت ماه پیش، ممکن بود زیر انبوهی از کاغذهای دیگر قرار گرفته باشد که در بین آن‌ها نقشه مشابهی مربوط به دو سال قبل نیز وجود دارد. این روند ممکن است منجر به مبنا قرار گرفتن اطلاعات قدیمی و نادرست شود. ران با خودش فکر کرد، می‌توان تمام اطلاعات دسته دوم را بر اساس عوارض الکتریکی موجود در GIS (مانند دژنگتور، ترانس، باس بار و..) دسته‌بندی نمود و پس از اسکن کردن اطلاعات کاغذی، آن‌ها را به عارضه مورد نظر در سیستم GIS منتسب کرد. برای مثال، تمام اطلاعات مربوط به یک دژنگتور از قبیل کاتالوگ‌های فنی، نقشه‌های علامت‌گذاری شده و سایر اطلاعات مورد نیاز را به موقعیت مکانی آن عارضه در GIS مرتبط کرد. در این صورت کلیه اطلاعات در سراسر شرکت به اشتراک گذاشته می‌شود و از انحصار گروه‌های خاص خارج خواهد شد. این قابلیت می‌تواند زمان پاسخگویی شرکت به مشکلات و خطاهای گوناگون را کاهش دهد.

منبع دیگر اطلاعات یعنی دیاگرام‌های تک‌خطی پست که از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار هستند را می‌توان به‌راحتی به سیستم GIS اضافه کرد. درواقع، انجام این کار برای داشتن یک سیستم GIS کاربردی و دقیق ضروری است. در غیر این صورت با از دست رفتن اطلاعات مربوط به ارتباط بین فیدرها در پست، مدل‌سازی شبکه توزیع برق در سیستم GIS به‌صورت ناقص انجام می‌شود.

ران به‌درستی دریافته بود که مدل انتخابی برای نمایش پست‌های فوق توزیع در سیستم GIS باید امکان برقراری ارتباط با مستندات طراحی پست و نقشه‌های علامت‌گذاری شده را که در حال حاضر در ساختمان مجزایی انباشته شده‌اند، داشته باشد. در ادامه، ران بر روی نحوه نگهداری و به‌روزرسانی نقشه‌های تک‌خطی پست متمرکز شد. او متوجه شد که نقشه‌های تک‌خطی به‌صورت مکانی ترسیم نشده‌اند و حالت شماتیک دارند. با این وجود، برخی نقشه‌های تک‌خطی اطلاعاتی راجع به مکان تجهیزات نیز ارائه می‌کنند.

ران جهت مدل‌سازی درست و دقیق پست‌های فوق توزیع می‌بایست اطلاعات بیشتری راجع به آن‌ها کسب می‌کرد. بنابراین دوباره مشغول مطالعه کتاب‌ها و مستندات این حوزه شد. او همچنین به سراغ مهندسین واحد طراحی پست رفت و اطلاعات جامعی درباره نحوه کارکرد، مشخصات فنی و ارتباط پست‌های فوق توزیع با سایر بخش‌های شبکه قدرت به‌دست آورد.

نقطه تحویل انرژی به شبکه توزیع برق

ران می‌دانست پست‌های فوق توزیع، مراکز تحویل انرژی الکتریکی به شبکه توزیع هستند. مجموعه تجهیزات مستقر شده در پست فوق توزیع، امکان انتقال توان بین بخش انتقال و بخش توزیع را فراهم می‌کنند. شبکه انتقال، توان تولیدی در نیروگاه‌ها را به پست فوق توزیع تحویل می‌دهد. در پست، این توان به بسته‌های کوچک‌تر تقسیم شده و به نقاط خرده‌فروشی مصرف ارسال می‌شود. زنجیره تولید، انتقال و توزیع انرژی برق بسیار شبیه زنجیره توزیع سایر کالاهاست.

پست‌های فوق توزیع دو هدف مهم را دنبال می‌کنند:

۱- پایین آوردن سطح ولتاژ به‌گونه‌ای که برای توزیع در محیط شهری و مسکونی مناسب و ایمن باشد.

۲- تقسیم توان بین فیدرهای فشار متوسط

پست‌های فوق توزیع توان دریافت شده از شبکه انتقال را اندازه‌گیری می‌کنند. همچنین این پست‌ها محل نصب تجهیزات حفاظتی مختلف ازجمله رله و دژنکتور برای تشخیص و قطع خطاهای شبکه توزیع و عدم تأثیرگذاری آن‌ها بر شبکه انتقال هستند.

نباید پست‌های فوق توزیع را با پست‌های انتقال اشتباه گرفت. پست‌های انتقال شامل تجهیزات حفاظتی و کلیدزنی متعدد با آرایش‌های پیچیده هستند که مسیرهای متعدد عبور توان را به سایر خطوط انتقال فراهم می‌کنند. ولتاژ اولیه و ثانویه پست‌های انتقال، در محدوده ولتاژ فشارقوی قرار دارد. پست‌های فوق توزیع تجهیزات بسیاری را ، علاوه بر آنچه برای انتقال توان لازم است، در خود جای می‌دهند. این در حالی است که دیاگرام تک‌خطی پست (شکل ۶-۲) و سیستم GIS تنها تجهیزات انتقال توان را نمایش می‌دهند. ران در اولین بازدیدی که از یک پست فوق توزیع داشت، از حجم و تنوع تجهیزات موجود در پست دچار شگفتی شد. امروزه پست‌های فوق توزیع بسیار پیچیده هستند و از تکنولوژی بالایی بهره می‌برند. رله‌ها، تجهیزات کنترلی، سیستم‌های مخابراتی و تجهیزات اندازه‌گیری، بخش قابل‌توجهی از تأسیسات پست را به خود اختصاص می‌دهند. هنگامی‌که خطایی در تجهیزات قدرت موجود در پست رخ می‌دهد، زنجیره‌ای از اتفاقات و واکنش‌ها را به همراه خواهد داشت. ابتدا حسگرها و تجهیزات اندازه‌گیری، سیگنال لازم را به سمت رله‌های مکانیکی و یا الکترونیکی ارسال می‌کنند. رله‌ها با تجزیه و تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده و سایر سیگنال‌ها، تصمیمات مناسب را اتخاذ و فرمان لازم را بدون دخالت انسانی و در سریع‌ترین زمان ممکن صادر می‌کنند. برای مثال، عبور جریان خطا از یک تجهیز می‌تواند به عملکرد کلید قدرت بالادست آن منجر شود و یا وقوع مشکل مکانیکی در یک کلید، با تغییر وضعیت سایر کلیدها و ایجاد آرایش مناسب جهت برقرار ماندن مسیر تغذیه همراه خواهد شد.

ران با خودش فکر کرد که این نحوه عملکرد، شباهت زیادی به شبکه‌های هوشمند دارد. مفهوم خودترمیمی در شبکه هوشمند از مدت‌ها پیش مطرح بوده است. پست‌های فوق توزیع از سال‌ها قبل به‌صورت هوشمند کنترل می‌شده‌اند. تمامی اطلاعات از طریق حس‌گرها و ترانس‌های ولتاژ و جریان جمع‌آوری و پس از پردازش در پایانه مخابراتی پست (RTU) به سیستم SCADA ارسال می‌شود. این سیستم می‌تواند در صورت بروز حوادث مختلف در پست، مثل قطع شدن فن یک ترانس و یا بروز خطا در شبکه، پرسنل اتاق کنترل را به کمک هشدارهای مناسب آگاه کند. بسیاری از تجهیزات داخل پست نیز جهت حمایت و پشتیبانی از سیستم کنترل و رله‌ها عمل می‌کنند. هر پست شامل باتری خانه و سیستم پشتیبان آن جهت بالا بردن قابلیت اطمینان است. سیستم‌های تشخیص و اطفای حریق، سیستم‌های حفاظتی و امنیتی و کیلومترها کابل انتقال داده از دیگر تجهیزات پست‌های فوق توزیع هستند.

تجهیزات انتقال توان در پست‌های فوق توزیع از سه بخش اصلی تشکیل شده است: قسمت فشارقوی (HV)، قسمت ترانسفورماتور و قسمت فشار متوسط (MV). در پست‌های فوق توزیع از آرایش‌های مختلفی استفاده می‌شود اما در همگی این آرایش‌ها اجزای تقریبا مشابهی به کار رفته است که در شکل ۶-۲ قابل مشاهده است.

ران تصمیم گرفته بود که فقط دیاگرام تکی خطی پست را در سیستم GIS نمایش دهد و سایر اطلاعات و جزییات را به‌صورت فایل‌های دیجیتالی به عوارض مکانی مرتبط در نقشه منتسب کند. از دید GIS، این بدان معناست که تنها تجهیزات انتقال توان مانند دژنکتور، سکسیونر، هادی‌های اتصال دهنده، ترانس قدرت و باس بارها در یک پست فوق توزیع نمایش داده خواهند شد و سایر تجهیزات مانند رله‌ها، سیستم کنترل و باتری خانه به‌صورت عوارض مکانی مستقل در نظر گرفته نمی‌شوند. البته اطلاعات مربوط به این تجهیزات را می‌توان به عوارض مکانی موجود در پایگاه داده GIS مرتبط کرد. پس از برقراری ارتباط بین سیستم GIS و سیستم تعمیرات و نگهداری، می‌توان کلیه اطلاعات بازدید ثبت شده برای تجهیزات را به‌صورت مکانی بر روی نقشه‌های GIS نمایش داد. به عبارت دیگر، هر نوع اطلاعات مکانی و یا غیر مکانی که در سیستم GIS وجود ندارد را می‌توان به عوارض مکانی مرجع در سیستم GIS منتسب کرد و از قابلیت‌های تحلیل مکانی GIS جهت نمایش این اطلاعات بهره برد.

شرح وظایف و دستور کارِ پرسنل پست‌های فوق توزیع در تمامی شرکت‌های خدماتی ازجمله AnyTown Energy تقریبا مشابه است. همان‌طور که گفته شد در هر پست، تجهیزاتی برای نمایش هشدارهای لازم در مواقع اضطراری وجود دارد. به‌علاوه، در بسیاری از پست‌های فوق توزیع، سیگنال‌های ثبت شده در پست برای مرکز کنترل در ساختمان دیسپاچینگ شرکت ارسال می‌گردد.

اپراتورهای پست می‌توانند کلیدهای قدرت را در محل و به‌صورت دستی قطع و وصل کنند. علاوه بر این، امکان قطع و وصل کلیدها به‌صورت کنترل از راه دور و توسط مرکز کنترل نیز فراهم است. سیستم SCADA تمامی هشدارها و اتفاقات را کنترل و مدیریت می‌کند و در برخی موارد حتی تحلیل‌هایی نیز انجام می‌دهد. همچنین این سیستم تاریخچه و سابقه‌ای از اتفاقات، هشدارها و تصمیمات گرفته شده توسط اپراتورها را نیز ذخیره می‌کند. البته در حال حاضر تمامی پست‌ها به سیستم کنترل و مانیتورینگ SCADA متصل نیستند.

ران برنامه‌کاری خود را مرور کرد تا ببیند چه زمانی می‌تواند جایگاه شرکت در زمینه شبکه هوشمند را ارزیابی کند. به اعتقاد ران، می‌توان رله‌ها و تجهیزات کنترلی پست را که تحت مدیریت سیستم SCADA عمل می‌کنند، به‌نوعی یک شبکه هوشمند ساده در نظر گرفت، زیرا آن‌ها جریان خطوط، ولتاژ باس‌ها، توان انتقالی خطوط، دمای ترانسفورماتورها و بسیاری اطلاعات دیگر را مانیتور کرده و تصمیم‌هایی بر این اساس می‌گیرند. کلیدهای قدرت ابتدای فیدرها در پست فوق توزیع پس از تشخیص خطا به‌صورت خودکار مدار را قطع می‌کنند. در صورتی که قابلیت وصل مجدد این کلیدها فعال باشد، آن‌ها ابتدا چند لحظه صبر می‌کنند تا در صورتی که خطا گذرا باشد، فرصت کافی جهت برطرف شدن خطا فراهم گردد و در ادامه، عمل وصل مجدد را انجام می‌دهند (به یادداشت ران در خصوص کلیدهای قدرت با قابلیت وصل مجدد مراجعه کنید).

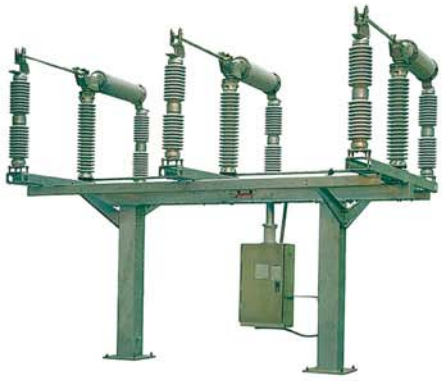
یادداشت‌های آقای ران

کلیدهای قدرت با قابلیت وصل مجدد

هرچند اصطلاح "خود ترمیمی" ازجمله مفاهیم مورد استفاده در شبکه‌های هوشمند است اما یکی از ابتدایی‌ترین شکل‌های خودترمیمی را می‌توان در عملیات وصل مجدد فیدرهای فشار متوسط مشاهده کرد. کلیدهای قدرت پست ممکن است قابلیت وصل مجدد را به‌صورت پیش‌فرض دارا باشند و یا بعداً به آن‌ها افزوده شده باشد. البته این قابلیت را می‌توان غیرفعال کرد. همچنین در طول مسیر شبکه و فیدرهای فشار متوسط، کلیدهای خاصی به نام ریکلوزر نصب شده‌اند که قابلیت تنظیم جهت وصل مجدد را دارند. مفهوم وصل مجدد بر اساس این واقعیت شکل گرفته که در شبکه قدرت (به‌خصوص شبکه هوایی) بسیاری از خطاها از نوع گذرا هستند و پس از مدت‌زمان کوتاهی برطرف می‌شوند. برای مثال، ممکن است در زمان وقوع طوفان شاخه‌ای از درختان جدا شده و بر روی شبکه سقوط کند. در صورتی که بر اثر برخورد شاخه، فاصله بین فازها کاهش یابد خطای اتصال کوتاه دوفاز و یا سه فاز رخ خواهد داد. حتی ممکن است شاخه درخت بین یک‌فاز و زمین قرار گیرد و جریان خطای اتصال زمین از آن عبور کند. در این حالت، یراق آلات شبکه مانند کراس آرم و یا سیم‌های اتصال زمین تجهیزات می‌توانند به عنوان نقطه زمین عمل کنند. با افتادن شاخه درخت بر روی زمین و بازگشت شبکه به حالت اول، خطا نیز برطرف خواهد شد. این دست خطاها که چند لحظه پس از بروز آن‌ها، شبکه به حالت عملکرد عادی باز می‌گردد را خطاهای گذرا می‌نامند. آمارها نشان می‌دهد که اکثر خطاهای سیستم قدرت، از این دسته هستند. بنابراین ریکلوز پس از قطع اولیه، چند لحظه صبر می‌کند تا خطای گذرای احتمالی برطرف شود و سپس دوباره وصل می‌شود.

بخش فشارقوی پست فوق توزیع

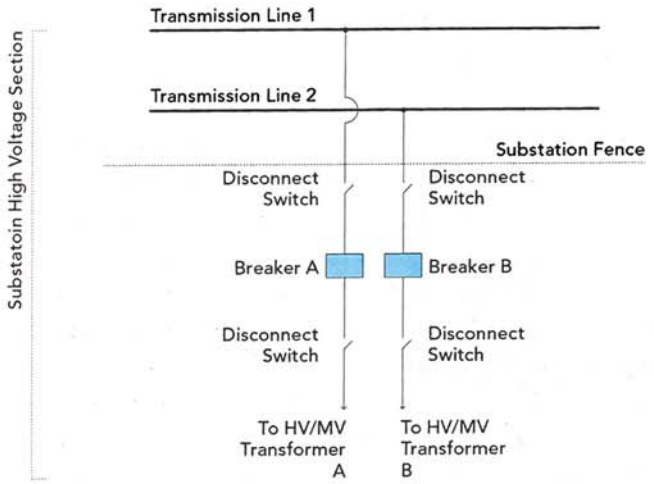
یک آرایش معمول برای بخش فشارقوی پست‌های فوق توزیع، شامل چند خط انتقال می‌شود (شکل ۶-۴). تعداد این خطوط متغیر است اما آرایش معمول استفاده از دو خط است. استفاده از یک و یا بیشتر از دو خط چندان متداول نیست. دلیل استفاده از دو یا چند خط انتقال جهت تغذیه پست آن است که در صورت بروز خطا روی یکی از خطوط انتقال، پست فوق توزیع همچنان برق‌دار باقی بماند. در حالی که اگر پست تنها توسط یک خط انتقال تغذیه شود، تمامی مشترکین تغذیه شونده توسط پست در اثر بروز خطا روی خط انتقال بدون برق خواهند شد و بایستی تا یافتن محل خرابی و تعمیر آن صبر کنند. در صورت استفاده از دو یا چند خط تغذیه‌کننده، برای هر مدار بایستی تجهیزات متناسب در پست فوق توزیع در نظر گرفته شود.



شکل ۶-۴- یک نمونه سکسیونر فشار قوی در پست HV/MV (منبع: شرکت برق S&C)

ران فهرستی از تجهیزات را که برای هر خط ورودی به پست فوق توزیع لازم است، استخراج کرد. اطلاعات مربوط به مدارهای سه فاز ورودی به پست فوق توزیع به‌صورت تک‌خطی در سیستم GIS نمایش داده خواهد شد (شکل ۶-۵). او تحقیقات بیشتری در مورد نحوه ارتباط و اتصال تجهیزات فشارقوی در پست‌های فوق توزیع انجام داد تا بتواند مدل درستی که نشان‌دهنده همین ارتباطات واقعی است را در سیستم GIS پیاده‌سازی کند. با مدل‌سازی دقیق ارتباط بین تجهیزات، می‌توان با استفاده از قابلیت ره‌گیری در محیط GIS، تحلیل کامل‌تری بر روی تأثیرات وقوع خطا در شبکه داشت.
تجهیزات بخش فشارقوی پست فوق توزیع عبارتند از:

- کلیدهای جداساز یا سکسیونرهای فشارقوی
- کلیدهای قدرت فشارقوی
- ترانس‌های اندازه‌گیری فشارقوی مانند ترانسفورماتور جریان و ولتاژ
- باس‌بارهای فشارقوی (در صورت نیاز)
- نقاط مانیتورینگ و پایش شبکه



شکل ۶-۵- دیاگرام تک خطی بخش فشار قوی پست فوق توزیع. (منبع: Esri)

ران متوجه شد که ولتاژ نامی سکسیونرهای فشارقوی مشابه ولتاژ خطوط انتقال است. تیغه جداکننده هر سه فاز سکسیونر به‌صورت هم‌زمان عمل می‌کند و تیغه‌ها دارای اینترلاک مکانیکی هستند. این جداکننده‌ها برای ایزوله کردن خطوط انتقال ورودی به پست فوق توزیع از بخش فشارقوی پست در زمانی که جریان بار قطع است به کار می‌روند. سکسیونرها معمولا مکانیسم عملکرد دستی دارند و برای قطع جریان خطا یا بار طراحی نشده‌اند.
کلیدهای قدرت سمت فشارقوی پست فوق توزیع برای قطع جریان عبوری از خطوط انتقال به پست مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کلیدها بزرگ و گران‌قیمت هستند و ولتاژ نامی آن‌ها مشابه ولتاژ خطوط انتقال است. مشابه سکسیونرها، در کلیدهای قدرت نیز هر سه فاز به‌صورت هم‌زمان عمل می‌کنند.
در شرایطی که شبکه انتقال و شبکه توزیع تحت مالکیت و بهره‌برداری مستقل باشند، لوازم اندازه‌گیری در سمت فشارقوی پست نیز نصب می‌شود. در این شرایط، می‌توان توان تحویلی به شبکه توزیع را در هر زمان اندازه‌گیری کرد.

در برخی آرایش‌های پست فوق توزیع از یک سکسیونر اضافی جهت ایزوله کردن بهتر تجهیزات بخش فشارقوی پست استفاده می‌شود. این سکسیونر بین کلید قدرت و ترمینال فشارقوی ترانسفورماتور نصب می‌شود.
تجهیزات اندازه‌گیری، مانیتورینگ و کنترلی نصب شده در بخش فشارقوی پست مسئولیت اندازه‌گیری توان عبوری و شناسایی خطاهای احتمالی را بر عهده دارند. ران بر اساس مطالعاتش دریافت که آرایش‌های متنوعی برای بخش فشارقوی پست فوق توزیع وجود دارد و شکل ۶-۵ تنها یک نمونه از آن‌هاست.

بخش ترانسفورماتور پست فوق توزیع

بخش ترانسفورماتور، دومین قسمت از تجهیزات حامل جریان در یک پست فوق توزیع است. ران متوجه شد که در یک آرایش متداول شامل دو خط انتقال، دو ترانسفورماتور قدرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرض کنید که ولتاژ خط انتقال ۱۳۸KV و ولتاژ بخش فشار متوسط ۱۵KV است. در این حالت، ولتاژ نامی ترانسفورماتور ۱۳۸KV/۱۵KV خواهد بود که به‌صورت ۱۳۸KV به ۱۵KV بیان می‌شود. یک ترانسفورماتور قدرت با اندازه متوسط می‌تواند ۳۰ مگا ولت آمپر (MVA) ظرفیت داشته باشد. برای درک بهتر این عدد جالب است بدانید یک منزل مسکونی سه‌خوابه به‌طور معمول حداکثر توان ظاهری ۵KVA از شبکه دریافت می‌کند. به این ترتیب یک ترانس ۳۰MVA می‌تواند ۶۰۰۰۰ خانه را تغذیه کند.
ترانسفورماتورهای قدرت پست فوق توزیع مجهز به سیستم‌های خنک‌کنندگی تکمیلی هستند. به‌طور معمول این سیستم‌های خنک‌کننده شامل فن و رادیاتور می‌شود. البته در برخی ترانسفورماتورهای قدرت جهت بالا بردن قدرت سیستم خنک‌کنندگی و افزایش سرعت گردش روغن، از پمپ استفاده می‌شود (شکل ۶-۶). سیستم خنک‌کنندگی مورد استفاده بر ظرفیت بارگذاری ترانسفورماتور تأثیر مستقیم دارد. سه سیستم معمول خنک‌کنندگی عبارت‌اند از:
۱. روغن طبیعی - هوا طبیعی (ONAN): در این روش هوا به‌طور طبیعی با سطح خارجی رادیاتورها در تماس است و گردش روغن نیز به شکل طبیعی صورت می‌گیرد.
۲. روغن طبیعی - هوا اجباری (ONAF): در این روش روغن به شکل طبیعی در گردش است اما سرعت تماس هوای خارج با بدنه رادیاتور به کمک نصب فن افزایش می‌یابد.
۳. روغن اجباری - هوا اجباری (OFAF): جهت بالا بردن قدرت خنک‌کنندگی در برخی ترانسفورماتورها علاوه بر نصب فن جهت چرخش هرچه سریع‌تر هوای محیط، گردش روغن نیز به کمک پمپ تسریع می‌شود. به این روش، روغن اجباری- هوا اجباری گویند.

شکل ۶-۶- یک نمونه ترانسفورماتور پست فوق توزیع با سیستم خنک کنندگی تکمیلی (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

استفاده از هرکدام از روش‌های مکمل خنک‌کنندگی می‌تواند ظرفیت بارگذاری ترانسفورماتور را تا ۳۳ درصد افزایش دهد. بنابراین ظرفیت بارگذاری یک ترانسفورماتور ۵۰MVA با سیستم‌های خنک‌کنندگی ONAN، ONAF و OFAF به ترتیب ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مگا ولت آمپر خواهد بود. البته این مقادیر به درجه حرارت محیط نیز بستگی دارد و به‌طور معمول برای دماهای زیر ۴۵ درجه سانتی‌گراد معتبر است. باید توجه کرد که دمای کار برخی ترانسفورماتورها تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد نیز می‌رسد. فرض کنید یک پست فوق توزیع شامل دو ترانسفورماتور با ظرفیت ۳۰MVA باشد، چنانچه هر دو ترانسفورماتور آن تحت بار باشند، ظرفیت پست ۶۰MVA خواهد بود. همان‌طور که قبلا نیز اشاره شد، ترانسفورماتورهای موجود در پست فوق توزیع از نوع کاهنده هستند و برای مثال، سطح ولتاژ را از ۱۳۸KV به ۱۵KV کاهش می‌دهند.

این ترانسفورماتورها به‌صورت یک واحد سه فاز ساخته می‌شوند. بدین معنی که تمامی سه فاز داخل یک محفظه یا تانک روغن قرار دارند. سه سیم، که هر یک مربوط به یک فاز است، از ترمینال‌های فشارقوی وارد ترانسفورماتور شده و از سمت ثانویه یا فشار متوسط ترانس نیز سه سیم خارج می‌شود. البته در بسیاری از موارد از سمت فشار متوسط، سیمِ چهارمی هم خارج می‌شود که به نقطه نوترال سیم‌پیچی ترانسفورماتور متصل است. این سیم معمولا به‌طور مستقیم به زمین وصل می‌شود. آرایش سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور جزو مشخصات فنی مهم این تجهیزات محسوب می‌شود که ران علاوه بر ترسیم دیاگرام، نکاتی را نیز در مورد آن‌ها یادداشت کرد (به یادداشت‌های ران در خصوص آرایش سیم‌پیچی ترانسفورماتورها مراجعه کنید).

یکی از روش‌های اتصال سیم‌پیچی‌های یک ترانسفورماتور استاندارد Δ-Δ است. بدین معنی که هر دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه به‌صورت مثلث بسته شده‌اند. سه اتصال ممکن دیگر Δ-Y، Y-Δ و Y-Y هستند. رایج‌ترین نحوه اتصال سیم‌پیچی ترانسفورماتورهای قدرت در پست فوق توزیع آرایش Δ-Y است (شکل ۶-۷). این نوع اتصال باعث ایجاد اختلاف فاز بین ولتاژ اولیه و ثانویه می‌شود. همچنین دسترسی به نقطه نوترال سیم‌پیچی ثانویه، امکان ایزوله کردن جریان خطای اتصال زمین را فراهم می‌سازد. نحوه اتصالات سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه یکی از مشخصات بسیار مهم ترانسفورماتورهای قدرت است. اندازه جریان‌های اتصال کوتاه و همچنین اضافه ولتاژهای احتمالی در شبکه برق از اهمیت خاصی برخوردار است و نوع اتصالات ترانسفورماتور و نحوه زمین کردن آن، تأثیر مستقیمی بر این پارامترهای شبکه دارد. بنابراین ران پس از انجام مطالعات تکمیلی، نکات جدیدی را در این زمینه یادداشت کرد (به یادداشت‌های ران در خصوص نحوه زمین کردن نوترال ترانسفورماتور مراجعه کنید).

یادداشت‌های آقای ران

زمین کردن نوترال ترانسفورماتور

می‌توان نقطه نوترال ترانسفورماتور مانند مرکز اتصال ستاره سیم‌پیچ‌های ترانس را به زمین متصل کرد. یکی از اهداف اتصال زمین کردن تجهیزات، محدود کردن جریان‌های اتصال کوتاه در سطحی است که سیستم قدرت بتواند آن‌ها را تحمل کند. ولتاژ نقطه نوترال یک سیستم سه فاز در شرایط ایده آل صفر است. اما اگر شرایط بهره‌برداری از شبکه بهینه نباشد می‌تواند منجر به عدم تعادل بین سه فاز و درنتیجه برق‌دار شدن نقطه نوترال ترانسفورماتور شود. برخلاف نقطه نوترال، ولتاژ زمین طبق تعریف همواره صفر است و می‌توان ولتاژ سایر نقاط را نسبت به آن سنجید. بنابراین با اتصال فیزیکی نقطه نوترال ترانسفورماتور به زمین می‌توان ولتاژ این نقطه را نیز به صفر رساند و آن را با زمین هم‌پتانسیل کرد.

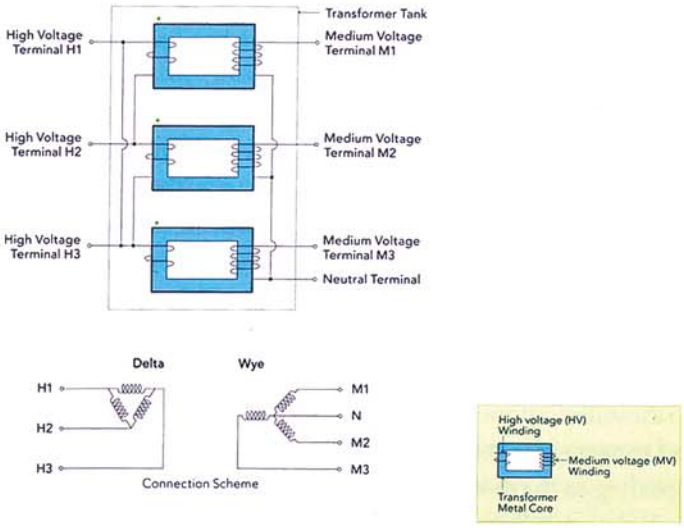
ران از خود پرسید، "چه مقدار از این اطلاعات را باید در GIS ذخیره کرد؟" در ساده‌ترین حالت، سیستم GIS باید شامل اطلاعات مربوط به اتصالات سیم‌پیچی ترانسفورماتورها و همچنین تمامی تجهیزاتی که به زمین وصل شده‌اند، مانند مقاومت و یا راکتورهای اتصال زمین باشد.

یادداشت‌های آقای ران

آرایش سیم‌پیچی ترانسفورماتورها

از ویژگی‌های مهم یک ترانسفورماتور سه فاز قدرت نحوه پیکربندی سیم‌پیچ‌های آن است. هر ترانسفورماتور شامل چندین سیم‌پیچ داخلی است که به دور هسته آهنی پیچیده شده‌اند. ترانسفورماتور انرژی الکتریکی دریافتی را به انرژی الکترومغناطیسی تبدیل می‌کند. این انرژی در هسته آهنی به گردش درمی آید و درنهایت در سیم‌پیچی ثانویه دوباره به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. در این فرآیند انرژی الکتریکی ثابت می‌ماند (با صرف‌نظر کردن از تلفات سیم‌پیچ‌ها و هسته ترانس) اما بر اساس تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، مقادیر ولتاژ و جریان تغییر خواهند کرد. در یک ترانسفورماتور کاهنده، نسبت تعداد دور اولیه به ثانویه مشخص می کند که ولتاژ چقدر کاهش خواهد داشت. همچنین جریان با نسبت عکس ولتاژ، تغیر می‌کند و درنهایت، توان ورودی و خروجی بدون در نظر گرفتن تلفات ثابت خواهد ماند.

از آنجا که ترانسفورماتور قدرت یک تجهیز سه فاز است، سیم‌پیچ‌های فشارقوی آن می‌توانند به اشکال مختلف به هم متصل شوند. هر سیم‌پیچ دو سر دارد. بنابراین سه سیم‌پیچ فشارقوی ترانسفورماتور دارای شش سر هستند که تنها سه عدد از آن‌ها از طریق ترمینال فشارقوی ترانس در دسترس است. سیم‌پیچ‌ها را می‌توان به‌صورت یک حلقه به یکدیگر بست. به این صورت که انتهای هر سیم‌پیچ به ابتدای سیم‌پیچ بعدی متصل شود. هر نقطه اتصال به یکی از ترمینال‌های خروجی سیم‌پیچ فشارقوی ترانسفورماتور متصل است. به این حالت، اتصال مثلث Δ گفته می‌شود. حالت دیگر آن است که انتهای تمام سیم‌پیچ‌ها را به یکدیگر متصل نمود. این نقطه همان ترمینال نوترال ترانسفورماتور است و سه انتهای دیگر سیم‌پیچ‌ها نیز ترمینال‌های فاز هستند. به این حالت، اتصال ستاره یا Y گویند.



شکل ۶-۷- پیکربندی ترانسفورماتور Y-Δ (منبع: Esri)

وسایل اندازه‌گیری متعددی، ولتاژ و جریان را در هر دو سمت اولیه و ثانویه ترانسفورماتور اندازه‌گیری می‌کنند. این تجهیزات به همراه سیستم‌های پیچیده کنترلی به‌دقت وضعیت ترانسفورماتور پست فوق توزیع را تحت نظر دارند. رله‌های هوشمند هنگام تشخیص شرایط خطا به‌سرعت واکنش نشان داده و ترانسفورماتور را از مدار خارج می‌کنند. همان‌طور که گفته شد ران تصمیم گرفت رله‌ها و سیستم کنترل را به‌صورت مستقیم در سیستم GIS مدل نکند. در عوض می‌توان از اطلاعات فنی و تنظیمات مربوط به این تجهیزات که توسط سایر بخش‌های شرکت نگهداری و به‌روز می‌شوند، استفاده و این اطلاعات را به عوارض مرجع در سیستم GIS منتسب کرد. یک وب سرویس ساده از سیستم GIS به سیستم تعمیرات و نگهداری تجهیزات حفاظتی می‌تواند فرآیند مدیریت رله‌ها را تسهیل کند. در پست‌های فوق توزیع جدید تمامی رله‌ها و تجهیزات کنترلی زیرمجموعه‌ای از یک سیستم پیچیده و پیشرفته تحت عنوان سیستم اتوماسیون پست هستند. ران با خودش فکر کرد، می‌توان در سیستم اتوماسیون از سرویس نقشه GIS استفاده کرد. از این طریق، می‌توان موقعیت مکانی پست‌های با قابلیت کنترل از راه دور را بر روی نقشه نمایش داد.

با توجه به اهمیت استراتژیک و قیمت بالای ترانسفورماتورهای فوق توزیع و همچنین دشواری تعمیرات و جایگزینی این تجهیز، تمهیدات مختلفی برای پیشگیری از انواع خرابی و خطا در آن‌ها به کار گرفته شده است. ترانسفورماتورهای بزرگ قدرت مملو از روغن هستند و سوراخ شدن و یا ترک برداشتن تانک روغن آن‌ها می‌تواند به یک فاجعه زیست‌محیطی منجر شود. یک ترانسفورماتور ۳۰MVA نزدیک به ۱۰۰ تن وزن دارد و محفظه آن در حدود ۱۰۰۰۰ گالن روغن را در خود جای داده است. ران بلافاصله با خود اندیشید که GIS می‌تواند ابزار بسیار مناسبی برای تحلیل عواقب احتمالی نشت روغن ترانسفورماتور باشد.

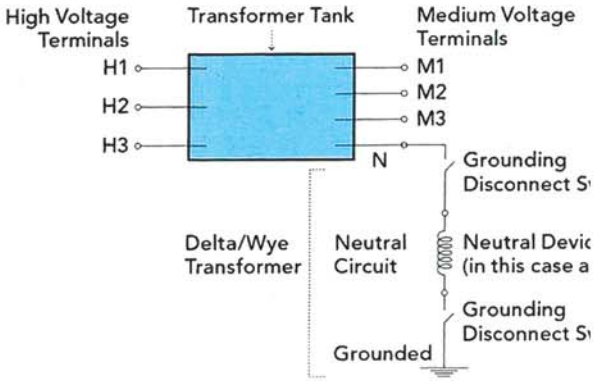
ترانسفورماتور سه سیم‌پیچه نوع دیگری از ترانسفورماتورهای قدرت است که در برخی پست‌های فوق توزیع استفاده می‌شود. همان‌طور که از نام آن پیداست این ترانسفورماتور شامل سه سیم‌پیچ است که از یک سیم‌پیچ فشارقوی و دو سیم‌پیچ فشار متوسط تشکیل شده است. دو سیم‌پیچ فشار متوسط می‌توانند نسبت تبدیل برابر داشته باشند. البته بسیاری از شرکت‌های توزیع ازجمله شرکت AnyTown Energy دارای دو سطح ولتاژ فشار متوسط مختلف هستند. در این حالت سیم‌پیچ‌های فشار متوسط نسبت تبدیل‌های متفاوتی دارند و ترانسفورماتور دو خروجی با ولتاژهای مختلف را فراهم می‌کند. بنابراین ران تصمیم گرفت ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه را با یک عارضه سه سر که از سه خط متصل به یکدیگر تشکیل شده است، مدل‌سازی کند. هر خط نشان‌دهنده یک سیم‌پیچ است.

ران به یاد آورد که ترانسفورماتور قدرت می‌تواند ترمینال نوترال نیز داشته باشد. در ترانسفورماتور سه فاز با اتصال ستاره، نقطه نوترال سیم‌پیچ ستاره از محفظه ترانسفورماتور بیرون آورده شده و نقطه نوترال سیستم سه فاز را شکل می‌دهد. در یک مدار ایده‌آل، ولتاژ نقطه نوترال صفر بوده و در صورت اتصال به زمین، جریان عبوری نیز صفر خواهد بود. هرچند هرگونه عدم تعادل در شبکه منجر به برق‌دار شدن نقطه نوترال و درنتیجه عبور جریان از طریق سیستم زمین می‌شود.

در یک پست فوق توزیع علاوه بر سیستم زمین ترانسفورماتور ممکن است تجهیزات دیگری مانند قطع‌کننده اتصال زمین، وسایل اندازه‌گیری، مقاومت و یا راکتور اتصال زمین نیز وجود داشته باشد. ران می‌دانست که باید تمامی این تجهیزات را در GIS مدل کند، زیرا آن‌ها علاوه بر اینکه در بهره‌برداری از پست تأثیرگذارند، در فرآیند مدیریت دارایی تجهیزات نیز بسیار حائز اهمیت هستند. او می‌بایست این تجهیزات را مدل می‌کرد تا بتواند نقشه‌های طراحی، جداول، مشخصات فنی و گزارش‌های مربوطه را به عوارض مکانی متناظر بر روی نقشه منتسب کند. همچنین در صورتی که در آینده شرکت بخواهد

محاسبات شبکه و طراحی خود را مکانیزه نماید، بایستی به اطلاعات توصیفی و همچنین نحوه اتصال تجهیزات سیستم زمین دسترسی داشته باشد و فراهم کردن این اطلاعات تنها از عهده GIS برمی‌آید. ران جهت ساخت مدل داده مورد نظرش اجزای بخش ترانسفورماتور پست را به‌صورت زیر خلاصه کرد:

- ترانسفورماتورهای قدرت که به‌صورت نقطه و یا خط نمایش داده می‌شوند.
- قطع کننده‌های سیستم زمین
- تجهیزات سیستم زمین مانند مقاومت و یا راکتور زمین
- اتصالات سیستم زمین (شکل ۶-۸)



شکل ۶-۸- دیاگرام اتصالات نقطه نوترال ترانسفورماتور (منبع: Esri)

بخش فشار متوسط پست فوق توزیع

بخش فشار متوسط پست فوق توزیع از چند دژنگتور که به باس بارهای فشار متوسط متصل هستند تشکیل می‌شود. این دژنگتورها معمولا داخل چهارچوب و محفظه‌های فلزی بسیار مقاومی به نام تابلو فشار متوسط قرار گرفته‌اند. هر دژنگتور سه فاز، از یک سمت به باس بار و از طرف دیگر به فیدر فشار متوسط متصل شده است و شش ترمینال ورودی و خروجی دارد که توانایی قطع جریان از سمتی به سمت دیگر را داراست. در این متن، منظور از عملکرد دژنگتور، باز و یا بسته شدن آن است. به شکل خیلی ساده می‌توان گفت دژنگتور کلیدی است که توانایی قطع جریان‌های خطای بسیار شدید را دارد. برخلاف سکسیونرهای پست فوق توزیع که تنها امکان عملکرد در شرایط بی‌باری را دارند، این کلید توانایی باز و یا بسته شدن در زمان عبور جریان را دارد (باز کردن یک سکسیونر هنگام عبور جریان می‌تواند باعث از بین رفتن آن شود). ران برای درک بهتر نحوه عملکرد دژنگتور، مطالعات بیشتری در مورد خطاهای اتصال کوتاه انجام داد (به یادداشت‌های ران در خصوص خطاهای اتصال کوتاه مراجعه کنید).

هر دژنگتور در سلول مختص خودش و داخل تابلو فشار متوسط قرار دارد (شکل ۶-۹). سه مجموعه از شینه‌های مسی و بسیار مقاوم در داخل تابلو فشار متوسط تعبیه شده است. به‌طور معمول دژنگتورها قابلیت جدا شدن از کوبیکل را دارند. می‌توان آن‌ها را به‌صورت کشویی داخل کوبیکل قرار داد که در این صورت اتصالات یک سمت کلید با باس بار برقرار خواهد شد. سمت دیگر کلید به فیدر خروجی فشار متوسط متصل می‌شود. باس بار فشار متوسط معمولا از دو بخش تشکیل می‌شود که در حالت کار نرمال به یکدیگر متصل نیستند. یک کلید در حالت عادی باز که اصطلاحا به آن "tie breaker" می‌گویند وظیفه قطع و وصل دو بخش باس بار را بر عهده دارد.

شکل ۶-۹- تابلوهای فشار متوسط پست فوق توزیع (منبع: شرکت برق CEZ)

یادداشت‌های آقای ران

اتصال کوتاه

برای فهمیدن بهتر اصول عملکرد کلیدهای قدرت، درک درست از مفهوم اتصال کوتاه ضروری است. طبق قانون اهم، اندازه ولتاژ برابر حاصل‌ضرب اندازه جریان در مقدار مقاومت الکتریکی است. در شرایط کار عادی سیستم قدرت، خطوط تحت ولتاژ نامی در حال تغذیه بارهای الکتریکی هستند. بارهای الکتریکی را می‌توان با مقاومت‌های متناظر مدل کرد که به‌طور معمول بسیار بزرگ‌تر از مقاومت معادل خطوط هستند. هنگامی که اتصال کوتاهی بین دو یا سه فاز رخ دهد و یا با برخورد یک فاز به زمین، خطای اتصال کوتاه فاز به زمین اتفاق بیفتد، مقاومت مدار به‌شدت کاهش می‌یابد. با توجه به ثابت بودن ولتاژ، قانون اهم بیان می‌کند که با کاهش شدید مقاومت، جریان به‌شدت افزایش خواهد یافت که این همان مفهوم جریان اتصال کوتاه است. عبور جریان شدید اتصال کوتاه از تجهیزات و خطوط شبکه باعث بالا رفتن سریع دمای آن‌ها شده و در صورتی که بیشتر از حد مجاز به طول بیانجامد، صدمات جبران‌ناپذیری به شبکه وارد خواهد کرد. وظیفه کلیدهای قدرت، تشخیص جریان‌های خطا و قطع سریع آن‌ها جهت حفاظت از تجهیزات شبکه برق است. قدرت این کلیدها بر اساس حداکثر ظرفیت قابل قطع جریان اتصال کوتاه تعیین می‌شود. در صورتی که جریان خطا از ظرفیت نامی کلید بزرگ‌تر باشد، امکان قطع جریان وجود نداشته و کلید توانایی عملکرد نخواهد داشت. این حادثه می‌تواند منجر به انفجار کلید و حتی وقوع آتش‌سوزی در پست فوق توزیع شود. طراحان شبکه توزیع همواره محاسبات اتصال کوتاه را برای مشخص کردن حداکثر جریان خطا و انتخاب تجهیزات با ظرفیت اتصال کوتاه مناسب انجام می‌دهند.

شرکت‌های توزیع بیشتر اطلاعات مورد نیاز جهت انجام مطالعات اتصال کوتاه را در سیستم GIS نگهداری می‌کنند. با توسعه شبکه توزیع و اضافه شدن فیدرها و خطوط، جریان اتصال کوتاه نیز می‌تواند افزایش پیدا کند. بنابراین محاسبات اتصال کوتاه باید به‌طور منظم انجام شود تا شرکت اطمینان یابد بالاترین جریان اتصال کوتاه ممکن در شبکه نیز از مقادیر نامی سطح اتصال کوتاه قابل تحمل کلیدهای قدرت و همچنین سایر تجهیزات کمتر است.

از آنجا که شبکه توزیع سه فاز است، ترکیبی از خطاهای مختلف ممکن است رخ دهد. برای مثال، ممکن است تنها یک فاز از فیدر بر روی زمین بیافتد. شرکت‌های توزیع به این نوع از خطا، اتصال کوتاه تک فاز به زمین می‌گویند. واژه خطا (fault) اشاره به بروز اتصال کوتاه در شبکه دارد. اگر تمامی فازها با زمین برخورد کنند، برای مثال در صورتی که

یک درخت روی شبکه سقوط کند، یک اتصال کوتاه سه فاز اتفاق می‌افتد. خطای دیگر در حالتی اتفاق می‌افتد که یک فاز با فاز دیگر برخورد داشته باشد. این خطا در شرایط برف و یا طوفان سنگین که به علت تغییر وضعیت ناگهانی فازها، امکان تماس آن‌ها با یکدیگر فراهم می‌شود، اتفاق می‌افتد. همچنین ممکن است پیمانکاران شرکت‌های خدماتی مانند آب، مخابرات و گاز هنگام حفاری با بیل مکانیکی باعث زخمی شدن کابل‌های زیرزمینی شوند. تخریب کابل‌های زیرزمینی می‌تواند باعث بروز خطای اتصال کوتاه دو فاز و یا سه فاز شود. در چنین شرایطی، کلیدهای قدرت ضمن تشخیص نوع خطا، به‌سرعت جریان اتصال کوتاه را قطع می‌کنند تا به تجهیزات شبکه آسیب وارد نشود.

در برخی پست‌های قدیمی باس بار رزرو و همچنین کوبیکل رزرو با دژنکتور باز پیش‌بینی شده است. پست‌های فوق توزیع آرایش‌های مختلفی دارند ولی قاعده کلی، اتصال تعدادی کلید قدرت به باس بار فشار متوسط است که خروجی هر یک از آن‌ها یک مدار یا فیدر نامیده می‌شود. اکثرا فیدرهای فشار متوسط توسط دژنکتور محافظت می‌شوند اما در برخی موارد ممکن است این وظیفه به سکسیونرهای فیوزدار محول شود. در تمامی حالات، سرکابل فیدرهای فشار متوسط به خروجی کلید متصل می‌شود و این نقطه گذار از پست فوق توزیع به شبکه فشار متوسط است.

ران می‌دانست که ترمینال خروجی دژنکتور، پایان شماتیک پست فوق توزیع و آغاز نمایش فیدرهای فشار متوسط شبکه توزیع است. در GIS می‌توان این نقطه فیزیکی را بر روی محیط چندضلعی پست فوق توزیع نمایش داد. سیستم نقشه‌برداری قدیمی شرکت AnyTown Energy دقیقا از همین نقطه نمایش شبکه را آغاز می‌کرد و از نقشه مربوط به شبکه الکتریکی داخل پست فوق توزیع صرف نظر کرده بود. همچنین ران دریافت که معمولا در همین نقطه است که مسئولیت بهره‌برداری از شبکه برق از بخشی به بخش دیگر در سازمان واگذار می‌شود.

هر فیدر فشار متوسط به کلید متناظرش در پست فوق توزیع متصل است. به‌طور کلی شناسه کلید قدرت پست مشابه با شناسه و یا شماره فیدر تحت حفاظت آن است. بنابراین بسیار مهم است که مدل مورد استفاده در پست فوق توزیع و شبکه فشار متوسط با یکدیگر همگام و همخوان باشد. ران با روش موجود در شرکت AnyTown Energy که مدیریت اطلاعات مربوط به پست‌های فوق توزیع کاملا به‌صورت مجزا از بخش فشار متوسط انجام می‌شد، به‌شدت مخالف بود زیرا این دو گروه، هیچ راهکار منسجمی جهت تبادل و به اشتراک‌گذاری داده‌ها نداشتند.

ران اجزای مختلف بخش فشار متوسط پست فوق توزیع را لیست کرد و در کنار هر یک، نحوه نمایش آن در مدل داده GIS را نیز یادداشت نمود.

لیست اجزای بخش فشار متوسط پست فوق توزیع	
نام تجهیز	**نحوه نمایش در GIS**
باس بار فشار متوسط (در بسیاری از پست‌ها، باس بارهای فشار متوسط با نام‌هایی مانند A1 یا 1A مشخص می‌شوند.	عارضه خطی
دژنکتور فشار متوسط	عارضه خطی یا نقطه‌ای
ترانسفورماتور اندازه‌گیری	عارضه نقطه‌ای
نقاط اندازه‌گیری و مانیتورینگ	عارضه نقطه‌ای

توان الکتریکی از خطوط انتقال و از طریق سکسیونرها و کلیدهای قدرت به سمت ترمینال فشارقوی ترانسفورماتور پست فوق توزیع جریان پیدا می‌کند. ترانسفورماتور سطح ولتاژ انتقال را به سطح ولتاژ فشار متوسط کاهش می‌دهد. سپس توان از طریق ترمینال فشار متوسط ترانسفورماتور به باس بار فشار متوسط

منتقل می‌شود. معمولاً باس بار فشار متوسط از دو بخش تشکیل شده است که در حالت کار عادی از طریق یک کلید باز از هم جدا شده‌اند. درنهایت توان به بسته‌های کوچک‌تر تقسیم شده و از طریق دژنگتورهای متصل به باسبار به سمت فیدرهای فشار متوسط جریان می‌یابد. معمولا چهار تا هشت فیدر به هر باسبار متصل است.

ران این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که هدف کلی پست فوق توزیع دریافت توان از خطوط انتقال، تبدیل توان از سطح ولتاژ انتقال به سطح ولتاژ فشار متوسط و درنهایت توزیع توان بین فیدرهای فشار متوسط است. این فیدرها هر یک وظیفه تغذیه مشترکین منطقه‌ای در همسایگی پست را برعهده دارند. در صورت وقوع خطا در شبکه، تجهیزات حفاظتی آن را تشخیص داده و کلیدهای قدرت، انتقال توان را متوقف می‌کنند. کلیدهای قدرت اساس کار مشابهی با کلیدهای مینیاتوری مورد استفاده در خانه‌های مسکونی دارند. ران در حالی که داشت طرح نهایی GIS را در ذهن خود مجسم می‌کرد، با خود گفت: "از همه این اطلاعات باید در ایجاد مدل داده GIS استفاده کرد."

مدل داده پست فوق توزیع

مدل داده، چگونگی نمایش، ذخیره‌سازی و تحلیل داده‌ها در سیستم GIS را مشخص می‌کند. در سالیان دور، کسانی که وظیفه تعریف مدل داده را بر عهده داشتند معتقد بودند که تمامی اطلاعات و داده‌هایی که هم‌اکنون و یا حتی در آینده مورد نیاز GIS خواهد بود، باید در مدل داده گنجانده و در سیستم GIS ذخیره شود. هرچند اطلاعات و داده‌های مورد نیاز برای بهره‌برداری کامل از تمامی امکانات و قابلیت‌های سیستم GIS در شرکت‌های خدماتی، بسیار گسترده و حجیم است اما امروزه کارشناسان بر این باورند که نیازی به ذخیره همه این اطلاعات در پایگاه داده GIS نیست. ران هم به این موضوع اعتقاد قلبی داشت. اگر سیستم دیگری متولی ذخیره‌سازی و به‌روزرسانی اطلاعات مورد نیاز است، تنها وظیفه طراحان مدل داده این است که امکان دسترسی سریع و مطمئن سیستم GIS به این اطلاعات را فراهم کنند.

ران اعتقاد داشت، در نظر گرفتن تمامی توصیفات ممکن عوارض و افزودن آن به مدل داده GIS، کار صحیحی نیست، بلکه لازم است اطمینان حاصل شود اطلاعات از محل مناسب و در زمان مناسب در دسترس سیستم GIS قرار دارد.

برای مثال، کلیدهای قدرت لیستی بسیار طولانی از اطلاعات توصیفی دارند که جریان، ولتاژ و مقادیر نامی کلید تنها بخشی از آن‌ها است. معمولا این اطلاعات در سیستم تعمیرات و نگهداری، مدیریت و ذخیره می‌شود. در حقیقت بخش عمده‌ای از اطلاعات توصیفی تجهیزات شبکه برق توسط سایر سیستم‌ها مدیریت و نگهداری می‌شود. از دید GIS، مکان تجهیزات و همچنین نحوه ارتباط آن‌ها با سایر اجزای شبکه بیشترین اهمیت را دارد. بدون شک سیستم GIS اطلاعات مشخصی را برای نمایش و تحلیل مناسب تجهیزات نیاز دارد. اما اگر این اطلاعات در سیستم دیگری ایجاد و ویرایش می‌شود، نبایستی امکان ویرایش آن‌ها در سیستم GIS وجود داشته باشد. ممکن است برخی اطلاعات برای انجام کارتوگرافی و یا تحلیل‌های مکانی در سیستم GIS ذخیره شود اما لازم است سرویس‌های لازم بین سیستم‌های مختلف به نحوی طراحی شود که در صورت تغییر اطلاعات در سیستم مرجع، داده‌های متناظر در سیستم GIS نیز به‌صورت خودکار به‌روز شود.

ران از خود پرسید: "فرآیند مدل‌سازی پست‌های فوق توزیع به چه نحو باید باشد؟" کلید پاسخ به این سوال، شناسایی تجهیزاتی است که باید در سیستم GIS مدل شوند. از آنجا که او تصمیم گرفته بود از مدل کردن تمامی اجزای پست اجتناب کند، ابتدا بایستی تجهیزات مهم و ضروری را شناسایی می‌کرد.

او قصد داشت تنها تجهیزات قدرت پست، یعنی تجهیزات عبور دهنده جریان را مدل کند. همچنین او تصمیم گرفت نقاط مانیتورینگ شبکه که تجهیزات اندازه‌گیری به آن‌ها متصل هستند و از طریق سیستم SCADA قابلیت نمایش دارند را نیز در سیستم GIS مدل کند. در قدم بعدی او باید اقلام توصیفی تجهیزات مورد نیاز را شناسایی می‌کرد.

فرآیند تهیه مدل داده مشابه ساخت یک جدول صفحه گسترده است که نام ستون‌های جدول، نشانگر عناوین اقلام توصیفی است و هر ردیف یک تجهیز را مدل می‌کند. البته او می‌بایست درباره این‌که کدام توصیفات در سیستم GIS تعریف شود، تصمیم می‌گرفت و با دقت فراوان از افزونگی اطلاعات و افزایش حجم مدل داده GIS خودداری می‌کرد. ران می‌دانست که لزومی به ذخیره همه توصیفات ممکن تجهیزات در پایگاه داده GIS نیست. برای مثال، اگرچه دانستن اینکه رنگ یک ترانسفورماتور قدرت، خاکستری تیره است می‌تواند جالب باشد اما ذخیره کردن رنگ ترانسفورماتور به‌عنوان یک قلم توصیفی در پایگاه داده سیستم GIS به دلیل کم‌اهمیت بودن آن، غیرمنطقی است و نباید انجام شود. در صورتی که اطلاعات مورد نیاز در سیستم دیگری ذخیره می شود می‌توان از طریق GIS به آن دسترسی پیدا کرد. البته شناسایی تمام توصیفاتی که در آینده مورد نیاز ابزارهای GIS خواهد بود و یا توسط تحلیل‌های سیستم GIS تولید می‌شود، جهت ساخت مدل داده ضروری است.

مدل داده نهایی GIS درواقع طراحی یک پایگاه داده کاربردی است که در آن جداول داده به همراه جداول ارتباطی مورد استفاده قرار خواهند گرفت. البته ران قصد داشت پیش از ساختن پایگاه داده نهایی، یکسری جداول ساده موقت به‌منظور نمایش اطلاعات توصیفی عوارض طراحی کند. او قصد داشت این جداول را با کاربران نهایی سیستم GIS به اشتراک بگذارد و از طریق بررسی بازخوردهای آنان، اطمینان حاصل کند که تمامی توصیفات و اطلاعات مهم درباره پست‌های فوق توزیع در نظر گرفته شده است. درنهایت و زمانی که همه کارشناسان در مورد جداول اطلاعاتی به توافق رسیدند، او می‌توانست آن‌ها را به الگوی نهایی پایگاه داده سیستم GIS اضافه کند.

ران آمادگی لازم جهت تعریف جداول اطلاعاتی اولیه عوارض پست فوق توزیع را کسب کرده بود. این جداول شامل تمام عوارض معمول در یک پست فوق توزیع می‌شوند و نوع نمایش تجهیزات (نقطه، خط، پلیگون) را نیز مشخص می‌کنند. همچنین تمامی توصیفات مورد نیاز تجهیزات در این جداول تعیین شده اند. حتی آن دسته از توصیفات که در سیستم GIS ویرایش و ذخیره نمی‌شوند نیز بایستی در این جداول حضور داشته باشند. اقلام توصیفی مورد نیاز تحلیل‌های مکانی GIS نیز لازم است در پایگاه داده در نظر گرفته شوند.

ابتدا ران شش دسته عارضه را که در مدل نهایی پست فوق توزیع حضور خواهند داشت، لیست کرد:

قطع کننده‌ها: سکسیونرها، فیوزها، کلیدهای قدرت و هر تجهیزی که بتواند به صوت اتوماتیک یا دستی جریان برق را قطع کند و به عبارت ساده‌تر انتقال توان را متوقف کند.

هادی‌ها: باس بارها، کابل‌های زمینی و همچنین خطوط هوایی انتقال توان که خطی هستند و توانایی قطع و وصل جریان را ندارند و تنها برای انتقال توان به کار می‌روند.

ترانسفورماتورهای قدرت: ترانسفورماتورها، اتوترانس‌ها و همچنین ترانسفورماتورهای سه سیم پیچه که هدف آن‌ها انتقال توان از یک سطح ولتاژ به سطح ولتاژ دیگر است.

تجهیزات موازی: تجهیزاتی مانند ترانسفورماتورهای زمین، راکتورهای شنت و بانک‌های خازنی که بین شبکه برق‌دار و زمین قرار می‌گیرند و وظیفه آن‌ها محدود کردن جریان خطا و کنترل ولتاژ است.

ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری: ترانسفورماتورهای جریان و ولتاژ که برای اندازه‌گیری پارامترهای اساسی شبکه و درنهایت کنترل آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

نقاط پایش شبکه: نقاطی از شبکه که تجهیزات اندازه‌گیری به آن متصل می شوند. پارامترهای سنجش شده در سیستم SCADA نمایش داده می‌شوند.

هنگامی‌که ران موافقت کلی شرکت درباره عوارض در نظر گرفته شده برای پست فوق توزیع را به دست بیاورد، می‌تواند کار ساخت پایگاه داده و مدل نهایی را آغاز کند. در این حالت، او کلیه اسناد و اطلاعات مورد نیاز برای ارزیابی مدل داده را در اختیار خواهد داشت و می‌تواند بسنجد که آیا مدل تهیه شده توانایی پاسخگویی به نیازها و انتظارات شرکت را خواهد داشت یا خیر.

جداول مرتبط با عوارض و توصیفات آن‌ها

توصیفات ذکر شده در جداول زیر برای بسیاری از تجهیزات پست فوق توزیع مشترک هستند. ران جدول ۶-۱ را برای دسته‌بندی و لیست کردن توصیفات عوارض و همچنین مشخص کردن محل ذخیره و نگهداری آن‌ها تهیه کرد.

جدول ۶-۱- توصیفات مورد استفاده در GIS

دسته‌بندی داده	اطلاعات توصیفی	محل نگهداری داده	توضیحات
پلاک مشخصات نامی	• ولتاژ نامی • جریان نامی • سطح عایق‌بندی • نوع عایق • کارخانه سازنده • حجم روغن	زمانی که برای اولین بار تجهیز به شرکت تحویل داده می‌شود، اطلاعات آن در سیستم مدیریت کالا و یا سیستم انبارداری ثبت می‌شود.	مشخصات حک‌شده روی پلاک تجهیزات. این مشخصات تا زمانی که تجهیز تعویض نشود تغییر نمی‌کند.
تحلیل‌های مداری	• امپدانس • مقادیر نامی اتصال کوتاه	SCADA و یا در برخی سیستم‌های DMS نوین. معمولاً نتایج در نرم‌افزارهای محاسباتی نگهداری می‌شوند و کمتر به‌صورت مستقیم در GIS مورد استفاده قرار می‌گیرند.	این اطلاعات در محاسبات الکتریکی مانند پخش بار و اتصال کوتاه به کار می‌روند. محاسبات الکتریکی در این سطح بیشتر توسط الگوریتم‌های تکرارشونده انجام می‌گیرند.
اطلاعات دینامیک	مقدار واقعی و در لحظه: • ولتاژ • جریان • توان اکتیو و راکتیو • باز یا بسته بودن کلیدها • برق‌دار و یا بی‌برق بودن	SCADA یا DMS. این توصیفات کاربرد زیادی در GIS دارند.	از طریق سیستم‌های مانیتورینگ که به اطلاعات ارسال شده توسط تجهیزات اندازه‌گیری دسترسی دارند، قابل دریافت و مشاهده است.
تعمیرات و نگهداری	• تاریخ آخرین بازدید تجهیز، • شرایط تجهیز در آخرین بازدید	اطلاعات مربوط به بازدید در سیستم تعمیرات و یا سیستم مدیریت پروژه نگهداری می‌شود. GIS از این اطلاعات برای ارزیابی ریسک استفاده می‌کند.	با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS می‌توان اطلاعات بازدید تجهیزات را در محل ثبت کرد.
اطلاعات دوره عمر تجهیزات	• عمر تجهیز • تاریخ سرویس تجهیز • پیش‌بینی نرخ خرابی	سیستم مدیریت اموال و ارزیابی دارایی، جهت برآورد نرخ خرابی تجهیزات کاربرد دارد.	اطلاعاتی در مورد بازه کاری و عمر مفید تجهیز
مالی	• هزینه خرید تجهیز • هزینه نصب تجهیز • هزینه نگهداری تجهیز • هزینه تعویض تجهیز • اطلاعات مالیاتی دارایی‌ها	این اطلاعات در سیستم حسابداری تأسیسات مدیریت می‌شود. می‌توان از این داده‌ها در GIS برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها استفاده کرد.	اطلاعات مالی مثل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات، کد حسابداری تجهیزات و تجهیزات وابسته به یکدیگر بیشتر در زمان تهیه طرح مبتنی بر GIS کاربرد دارد.

سپس او سه جدول دیگر برای بخش‌های فشارقوی (جدول ۶-۲)، ترانسفورماتور (جدول ۶-۳) و فشار متوسط پست فوق توزیع (جدول ۶-۴) ایجاد کرد که این جداول، تجهیزات مورد استفاده در پست، دسته‌بندی کلی، نوع نمایش در GIS و کاربرد آن‌ها در بخش‌های مربوطه را نمایش می‌دهند.

جدول ۶-۲- مدل داده بخش فشارقوی پست

نام عارضه	کلاس عارضه	نحوه نمایش در GIS	عملکرد تجهیز
سکسیونر	قطع کننده	خط یا نقطه	سکسیونرهای دستی یا اتوماتیک که قابلیت ایزوله کردن مدار در حالت بدون برق را دارند. این تجهیز یک قطعی قابل‌مشاهده را فراهم می‌کند که برای ایمنی بیشتر پرسنل بسیار سودمند است.
دژنگتور	قطع کننده	خط یا نقطه	جریان بار و یا اتصال کوتاه را قطع می‌کند. یکی از مشخصات بسیار مهم این تجهیز، نوع عایق و مکانیسم خاموش‌کننده آن است.
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری	ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری	نقطه	جریان و ولتاژ فشارقوی را به مقادیر قابل اندازه‌گیری برای تجهیزات کنترل و حفاظت تبدیل می‌کند.
اتصالات فشارقوی ازجمله باس بار	هادی	خط	هادی‌های جریان الکتریکی با استحکام مناسب که اتصال بین تجهیزات قدرت را فراهم می‌کنند.
نقاط اتصال SCADA	نقاط مانیتورینگ	نقطه	نقاطی از شبکه که اندازه‌گیری‌ها در آن‌ها انجام می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده به اتاق کنترل ارسال می‌شود. تناظر یک‌به‌یک بین نقاط اندازه‌گیری و نقاط موجود در GIS باید برقرار شود.

جدول ۶-۳- مدل داده بخش ترانسفورماتور پست

نام عارضه	کلاس عارضه	نحوه نمایش در GIS	عملکرد تجهیز
ترانسفورماتور قدرت	ترانسفورماتور	نقطه یا خط	توان را از سطح ولتاژ انتقال به سطح ولتاژ فشار متوسط تبدیل می‌کند. منبع بالادست شبکه توزیع
کلید اتصال زمین	قطع کننده	خط یا نقطه	کلید موجود در مسیر اتصال نوترال ترانسفورماتور به سیستم زمین
اتصالات سیستم زمین	هادی	خط	هادی‌های متصل‌کننده ترمینال خروجی نوترال ترانسفورماتور به سیستم زمین
تجهیزات اتصال زمین (راکتور، مقاومت)	هادی	خط	تجهیزی است (معمولاً مقاومت یا راکتور) که بین نقطه نوترال ترانسفورماتور و شبکه زمین پست نصب می‌شود و جریان خطای اتصال زمین را محدود می‌کند.

جدول ۶-۴- مدل داده بخش فشار متوسط پست فوق توزیع

نام عارضه	کلاس عارضه	نحوه نمایش در GIS	عملکرد تجهیز
اتصالات فشار متوسط ازجمله باس بار	هادی	خط	مشابه اتصالات بخش فشارقوی پست فوق توزیع
سکسیونر	قطع کننده	خط یا نقطه	سکسیونرهای معمولاً دستی که تنها برای ایزوله کردن مدار در حالت بدون برق مناسب‌اند. فراهم‌کننده یک دید فیزیکی از تجهیزات بدون برق
دژنکتور	قطع کننده	خط یا نقطه	جریان بار و خطا را قطع می‌کند. نقطه شروع فیدر فشار متوسط
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان	ترانسفورماتور اندازه‌گیری	نقطه	جریان و ولتاژ فشار متوسط را به مقادیر قابل اندازه‌گیری برای تجهیزات کنترل و حفاظت تبدیل می‌کند.
نقاط اتصال SCADA	نقاط مانیتورینگ	نقطه	محلی که اندازه‌گیری در آن نقطه صورت می‌گیرد. اطلاعات اندازه‌گیری شده از طریق بستر مخابراتی برای سیستم کنترل مرکزی ارسال می‌شود.
ترانسفورماتور زمین	تجهیزات شنت	نقطه	جهت ایجاد یک نقطه اتصال زمین استفاده می‌شود.
بانک‌های خازنی	تجهیزات شنت	نقطه	تعدادی خازن که در کنار هم قرار داده شده‌اند. خازن برای تأمین توان راکتیو مصرفی بارها و بهبود ضریب قدرت به کار می‌رود. معمولاً از این تجهیزات برای کنترل ولتاژ استفاده می‌شود.

چالش دوگانه

پست‌های فوق توزیع یکی از اجزای مهم شبکه برق هستند. به‌عنوان منبع تغذیه یا نقطه شروع شبکه توزیع، این پست‌ها امکان دریافت توان از شبکه انتقال و تزریق آن به شبکه توزیع را فراهم می‌کنند. ران بر اساس مطالعاتش دریافت که بخش فشارقوی پست‌های فوق توزیع را می‌توان اولین قسمت از شبکه توزیع و یا آخرین جزء شبکه انتقال نامید. زیرا در این بخش، توان مورد نیاز شبکه توزیع از شبکه انتقال دریافت می‌گردد. بخش دوم پست فوق توزیع که شامل ترانسفورماتور قدرت می‌شود، وظیفه کاهش سطح ولتاژ فشارقوی و تبدیل آن به ولتاژ فشار متوسط مورد نیاز شبکه توزیع را بر عهده دارد. در بخش فشار متوسط پست نیز توان الکتریکی به قسمت‌های کوچک‌تر تقسیم شده و چندین فیدر فشار متوسط را تغذیه می‌کند. این بخش، مدیریت توزیع توان در شبکه فشار متوسط را بر عهده دارد. ران می‌دانست که باید با واحد طراحی پست همکاری بیشتری کند تا مطمئن شود کلیه اقلام مورد نیاز در مدل داده سیستم GIS در نظر گرفته شده است. او باید به پرسنل این بخش و همکاران خود در تیم GIS تأکید می‌کرد که نیازی به تعریف کردن و ذخیره‌سازی تمامی توصیفات در پایگاه داده GIS نیست. بلکه باید راهکاری مطمئن و پایدار طراحی شود تا اطلاعات مورد نیاز از سیستم‌های مختلف در دسترس سیستم GIS قرار گیرد.

برخلاف سیستم قدیمی نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy، اطلاعات پست فوق توزیع ازجمله دیاگرام تک‌خطی، بخش مهمی از سیستم GIS خواهد بود. بنابراین اطلاعات، نقشه‌ها و مستندات پست‌های فوق توزیع شرکت، جهت استفاده در سیستم GIS باید جمع‌آوری و دسته‌بندی می‌شد. در راستای انجام این کار، ران با دو چالش بزرگ مواجه بود:

۱- او به راهکاری سریع، آسان و باکیفیت برای تبدیل نقشه‌های اتوکد مرتبط با پست فوق توزیع به داده‌های قابل استفاده در سیستم GIS نیاز داشت.

۲- او باید راهکاری برای تغییر فرآیندهای قدیمی شرکت در مدیریت اطلاعات پست‌های فوق توزیع می‌یافت. در حال حاضر این اطلاعات توسط گروه‌هایی کاملا مستقل و مجزا از سایر بخش‌های شرکت نگهداری می‌شود که دسترسی به این داده‌ها را سخت و زمان‌بر کرده است.

ران با خودش فکر کرد که حل مسئله اول به نسبت ساده است. راه‌های فراوانی برای بارگذاری و وارد کردن نقشه‌های اتوکد به سیستم GIS وجود دارد. اما او می‌دانست که چالش دوم بسیار بزرگ‌تر و سخت‌تر است، زیرا برای اصلاح آن می‌بایست فرهنگ پرسنل و حتی نظام اداری شرکت AnyTown Energy تغییر پیدا کند.

فصل هفتم

شبکه فشار متوسط، قلب سیستم توزیع

Modeling Electric Distribution with GIS

شبکه فشار متوسط، قلب سیستم توزیع

شبکه فشار متوسط، دومین بخش از شبکه توزیع بود که می‌بایست توسط ران مدل می‌شد. او بارها شنیده بود که شبکه فشار متوسط مانند قلب و روح سیستم توزیع است و به همین دلیل، بسیار مشتاق بود که چیزهای جدیدی راجع به آن بیاموزد. به‌عنوان اولین قدم، او جلسه‌ای با چند نفر از اپراتورهای مرکز دیسپاچینگ در اولین ساعات صبح روز دوشنبه از سومین هفته کاری‌اش در شرکت AnyTown Energy ترتیب داد. این افراد درواقع مانیتورینگ و کنترل شبکه توزیع را بر عهده دارند و دستورات مربوط به کلیدزنی و مانور فیدرها را به گروه‌های عملیاتی ابلاغ می‌کنند. اما در کمال تعجب هیچ‌کس در جلسه حاضر نشد!

قلب و روح شبکه توزیع گرفتار در بحران

مشخص شد که دلیل عدم حضور پرسنل دیسپاچینگ در جلسه، گرفتار شدن آن‌ها در یک شرایط بحرانی بود. مشکل حادی برای شبکه به وجود آمده بود: یک آتش‌سوزی ناگهانی در یک کانال زیرزمینی که کابل‌های فشار متوسط از آن عبور می‌کرد، باعث شده بود تمامی ۳۰ کابل موجود در کانال از بین برود و درنتیجه، بسیاری از مشترکین دچار خاموشی شوند. این کابل‌های فشار متوسط ۱۵KV، برق بخش بزرگی از شبکه شهری شامل چندین بیمارستان و دو مرکز آتش‌نشانی را تغذیه می‌کردند. منزل شهردار و دو تن از اعضای شورای شهر نیز در محدوده خاموشی قرار داشت.

شهردار شخصا پیگیر ماجرا شده بود. رسانه‌ها اخبار خاموشی را پوشش می‌دادند و به دنبال آن بودند که چه زمانی خاموشی برطرف می‌شود. اما شرکت AnyTown Energy هیچ ایده و سرنخی برای پاسخگویی به سؤالات نداشت.

ران به سمت اتاق مرکز دیسپاچینگ شبکه به راه افتاد تا ببیند کارشناسان این مرکز چگونه از سیستم قدیمی نقشه‌برداری شرکت، برای مدیریت شبکه و عبور از بحران استفاده می‌کنند. او آن‌ها را در حالی یافت که به‌دقت مشغول بررسی انبوهی از نقشه‌های کاغذی بودند. آن‌ها بر روی نقشه، مناطقی را که امکان عبور موقت کابل و برق‌رسانی به بخش‌های آسیب‌دیده داشتند، علامت‌گذاری می‌کردند. (شاید اگر ران چند هفته زودتر چنین صحنه‌ای را می‌دید، بسیار متعجب می‌شد که چرا پرسنل مرکز دیسپاچینگ از سیستم نقشه‌برداری شرکت برای تحلیل برق‌رسانی به محدوده‌های خاموشی استفاده نمی‌کنند اما در طی این دو هفته او به بسیاری از کمبودها و نواقص این سیستم پی برده بود.)

رسیدن ران به مرکز دیسپاچینگ، هم‌زمان شد با ورود سراسیمه یکی از معاونان ارشد شرکت که می‌خواست بداند آتش‌سوزی چگونه آغاز شده است. هیچ‌کس جواب دقیقی نداشت. یکی از کارشناسان دیسپاچینگ توضیح داد: " پیش از آتش‌سوزی، جریان عبوری از کابل‌ها بالا بوده است اما هیچ‌کدام بیشتر از حد مجاز بارگذاری نشده بودند. ما مشخصات فنی مربوط به سطح مقطع کابل‌ها را بررسی کردیم. طبق ارزیابی ما کابل‌ها توانایی تحمل جریان بار را داشته‌اند." همه افراد حاضر در مرکز دیسپاچینگ متعجب و سردرگم بودند.

ران درحالی‌که به نقشه‌های روی میز اشاره می‌کرد، پرسید: "اجازه هست نگاهی بیندازم؟" پس از بررسی نقشه ها او به این نتیجه رسید که هیچ راهی برای تشخیص این‌که کدام کابل‌ها از داخل کانال عبور کرده است، وجود ندارد.

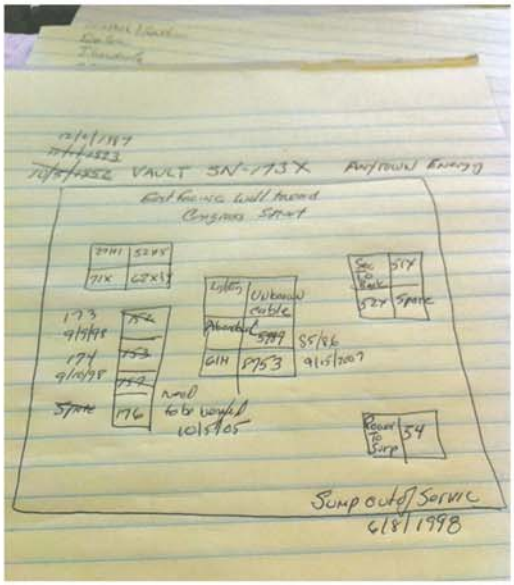
یکی از پرسنل دیسپاچینگ گفت: "ما برای اینکه بفهمیم کدام فیدرها آسیب دیده‌اند بایستی به نقشه‌های طراحی رجوع کنیم." نقشه‌های کاغذی طراحی روی میز دیگری قرار داشت. این نقشه‌ها به‌مرور زمان کهنه و رنگ‌پریده شده بودند. فرآیند زمان‌گیر و پردردسر استخراج اطلاعات مورد نیاز مدیریت بحران از نقشه‌های طراحی برای ران عجیب به نظر می‌رسید، اما شوک بزرگ‌تر هنوز در راه بود. با مطالعه نقشه ها، ران متوجه شد که شرکت AnyTown Energy کابل‌های تغذیه‌کننده اصلی و رزرو محدوده خاموشی را از داخل یک کانال عبور داده است!

به‌مرور زمان و در صورت سازمان‌دهی نامناسب اطلاعات و عدم یکپارچگی داده‌ها، چنین اتفاقاتی ممکن است رخ دهد. قبل از وقوع آتش‌سوزی، هیچ‌کس متوجه این نکته که کابل‌های رزرو نیز به همان میزان کابل‌های اصلی در معرض خطر هستند، نشده بود. البته ران اطمینان داشت که GIS توانایی آن را دارد که به کارشناسان دیسپاچینگ نسبت به امکان بروز چنین حوادثی هشدارهای لازم را بدهد. در پاسخ به این پرسش که در چه قسمتی‌هایی از شبکه وقوع یک اتفاق (در این حالت مثلا آتش‌سوزی) می تواند به خاموشی‌های گسترده منجر شود، GIS امکان شناسایی نقاط با ریسک بالا و نمایش آن بر روی نقشه را دارد. البته ران به هیچ عنوان قصد نداشت این موضوع را در آن شرایط بحرانی مطرح کند اما به عنوان یک نکته کاربردی در دفترچه‌اش یادداشت کرد. به نظر می‌رسید این ایده، ارزش مطرح کردن با مدیران ارشد شرکت را داشته باشد.

یکی از مشکلات شرکت AnyTown Energy این بود که بیشتر پرسنل، شبکه فشار متوسط را به عنوان مجموعه‌ای از فیدرها می‌دیدند. در نظر آن‌ها هر فیدر به عنوان موجودیتی مستقل و مجزا از بقیه شبکه در محدوده شهر امتداد پیدا کرده است. حتی قبل از ایجاد سیستم یکپارچه نقشه‌برداری، شرکت برای هر فیدر نقشه مجزایی داشت. در ادامه نیز همین روند دنبال شده بود. از آنجا که پرسنل دیسپاچینگ و گروه‌های عملیاتی عادت کرده بودند فیدرها را به‌صورت مجزا روی نقشه ببینند، نمی‌توانستند درک درستی از نحوه ارتباط فیدرها با یکدیگر و یا با عوامل خطرآفرین داشته باشند.

بعدها خانم فلو برای ران تعریف کرد که برطرف کردن خاموشی و تعویض کابل‌ها علاوه بر فشار منفی رسانه‌ها، برای شرکت هزاران دلار هزینه در پی داشته است. اما آتش‌سوزی چگونه اتفاق افتاده بود؟ لوله بخار یک خشک‌شویی بسیار بزرگ دقیقا در کنار کانال محل عبور کابل‌ها احداث شده بود. برای اولین سال بود که خشک‌شویی با ظرفیت کامل خود فعالیت می کرد. حرارت بالای لوله بخار و همچنین جریان زیاد کابل‌ها، باعث ایجاد آتش‌سوزی در داخل کانال و درنتیجه سوختن کلیه کابل‌های مجاور هم شده بود. پرسنل دیسپاچینگ کوچک‌ترین اطلاعی راجع به لوله بخار نداشتند، اما واحد مهندسی به‌خوبی از وجود آن آگاه بود. واحد طراحی، نقشه برق‌رسانی به خشک‌شویی را تهیه کرده بود و جالب آنجاست که کابل تغذیه‌کننده خشک‌شویی نیز دقیقا از داخل همین کانال عبور می‌کرد.

ران طرح کاغذی برق‌رسانی به خشک‌شویی را پیدا کرد، اما هیچ‌یک از نسخه‌های کاغذی و دیجیتال نقشه‌های طراحی، موقعیت مکانی لولهٔ بخار خشک‌شویی را نشان نمی دادند. او با جستجوی بیشتر متوجه یک نقشه دستی اولیه شد که احتمالا قرار بوده به دست طراحان برسد ولی در انبوهی از کاغذ و برگه به دست فراموشی سپرده شده بود. در این نقشه دستی، لوله بخار تغذیه‌کننده خشک‌شویی در کنار کانال عبور دهنده کابل‌های برق ترسیم شده بود. ران با تلفن همراه خود از این طرح دستی عکس گرفت (شکل ۷-۱). ران اکنون مدرک کاملا دست اولی در اختیار داشت که اهمیت و توانمندی سیستم GIS در پیشگیری از حوادث و افزایش ایمنی را اثبات می‌کرد. با استفاده از GIS می‌توان موقعیت مکانی محل عبور کابل‌های برق را در کنار خط لوله بخار بر روی نقشه‌های جغرافیایی نمایش داد و از بروز چنین حوادثی جلوگیری کرد.



شکل ۷-۱- نقشه دستی دیاگرام داخلی پست زیرزمینی شرکت AnyTown Energy (منبع: Esri)

ران متوجه ایرادات اساسی در نوع نگرش کارکنان شرکت AnyTown Energy به سیستم نقشه‌برداری شد. اولین و بزرگ‌ترین مشکل این بود که پرسنل شرکت نقش چنین سیستمی را تنها در ترسیم مجدد طرح‌های دستی و ورود چندباره اطلاعات و به طور کلی دوباره‌کاری می‌دانستند. به همین دلیل، حساسیت لازم را نسبت به پیگیری رفع مغایرت‌های احتمالی در نقشه‌ها نداشتند. مشکل اساسی دوم این بود که پرسنل شرکت هرگز اطلاعات شبکه را از دید جغرافیایی و مکانی نگاه نمی‌کردند. به‌عنوان مثال، آن‌ها هرگز تأثیر متقابل و ارتباط کابل‌های فشار متوسط مختلف با یکدیگر و یا ارتباط با سایر عوامل محیطی را در نظر نمی‌گرفتند. درنهایت می‌توان گفت به‌جز مدیر دفتر فاوا و آناند (یکی از اعضای تیم پیاده‌سازی پروژه GIS) سایر نفرات اطلاعی نداشتند که GIS بسیار فراتر از یک سیستم نقشه‌برداری است. درواقع، GIS یک سیستم مدیریت اطلاعات مکانی است که نه‌تنها می‌تواند در حل مشکلات راه گشا باشد بلکه می‌تواند از وقوع حوادث نیز جلوگیری کند.

ران بسیار مشتاق بود که به پرسنل بخش بهره‌برداری شرکت اعلام کند، آن‌ها برای مدیریت بهینه نفرات و تجهیزات در طول دوره بازیابی شبکه می‌توانند از تحلیل‌های مکانی استفاده کنند، اما این کار را نکرد. زیرا او می‌دانست سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت توانایی اجرای تحلیل‌های مورد نیاز را ندارد و تهیه

و اجرای برنامه‌ای که بتواند این مشکلات را برطرف کند نیازمند صرف زمان و هزینه بسیار زیادی است. همچنین او می دانست که با پیاده‌سازی سیستم GIS می‌توان نشان داد که چه کابل‌هایی از داخل هر کانال عبور کرده است و چند متر کابل و با چه مشخصاتی برای تعمیر قسمت آسیب‌دیده نیاز است. همچنین با استفاده از سیستم GIS می‌توان مراحل بازیابی شبکه را بر روی نقشه‌های جغرافیایی مشاهده کرد. بدون شک، معرفی ناگهانی و بدون مقدمه چنین قابلیت‌هایی، بدون محقق شدن بستر لازم، می‌توانست توقعات نابجایی در پرسنل شرکت ایجاد کند و درنهایت باعث فاصله گرفتن آن‌ها از سیستم GIS شود.

ابعاد وسیع بحران پیش‌آمده، باعث شد ران به اهمیت فوق‌العاده شبکه فشار متوسط در سیستم توزیع پی ببرد. این اتفاق عزم ران را برای مطالعه بیشتر در مورد نحوه کارکرد شبکه فشار متوسط و تهیه بهترین مدل داده ممکن راسخ تر نمود. با این نگاه، او مطالعه کتاب های جدیدی که از خانم فلو گرفته بود را با جدیت آغاز نمود.

شبکه توزیع اولیه

ران متوجه شده بود که شبکه فشار متوسط نقش بسیار مهمی در سیستم توزیع دارد. شبکه فشار متوسط از خروجی کلیدهای فشار متوسط پست فوق توزیع آغاز شده و به‌صورت هوایی و یا زمینی در کل محدوده نیرورسانی شرکت گسترده شده است. تجهیزات این شبکه ممکن است بر روی پایه‌ها، در سطح زمین و یا در کانال‌های زیرزمینی قرار گرفته باشد. شبکه فشار متوسط، خیابان‌های شهر و جاده های روستایی را پیموده و از رودخانه‌ها و آبراه‌ها عبور می‌کند تا توان الکتریکی را به شبکه فشار ضعیف تحویل دهد. شبکه فشار ضعیف هم به نوبه خود متولی تحویل توان به مشترکین نهایی است.

در کلیه شرکت‌های برق، شبکه فشار متوسط شامل مجموعه ای از فیدرها است که از طریق نقاط مانور قابلیت اتصال به یکدیگر دارند. بخش‌هایی از شبکه فشار متوسط، در گذشته مربوط به شبکه فوق توزیع بوده‌اند که با گذشت زمان و با تغییر سطح ولتاژ استاندارد شبکه انتقال، به جزئی از شبکه توزیع تبدیل شده‌اند.

در آمریکای شمالی، گاهی اوقات به شبکه فشار متوسط، شبکه توزیع اولیه و به فیدرهای فشار متوسط، فیدرهای اولیه و یا مدارهای اولیه گفته می‌شود. محدوده ولتاژ شبکه فشار متوسط به‌طور معمول بین ۵KV تا ۴۸KV متغیر است و شبکه های قدیمی‌تر ولتاژ نامی پایین‌تری دارند. وظیفه شبکه فشار متوسط دریافت توان از شبکه قدرت (پست فوق توزیع) و انتقال آن به مراکز توزیع برق محلی (پست هوایی، پست زمینی و یا پست زیرزمینی) است.

ران به ذهنش رسید که شبکهٔ فشار متوسط را می‌توان به کامیون‌های حمل مواد غذایی تشبیه کرد. مشترکین به‌ندرت مستقیما از این کامیون ها خرید می کنند. به‌طور مشابه، به غیر از مشترکین صنعتی بزرگ، سایر مشترکین به‌ندرت بدون واسطه به شبکه فشار متوسط متصل می‌شوند. حتی در صورت اتصال مستقیم مشترکین به شبکه فشار متوسط، این دسته از مشترکین اغلب شبکه فشار ضعیف اختصاصی دارند.

خطوط فوق توزیع قدیمی و پست های MV/MV

خطوط فوق توزیع قدیمی نیز در حال حاضر بخشی از شبکه فشار متوسط هستند. این خطوط همان‌طور که از نام آن‌ها برمی آید، از مجموعه‌ای از فیدرها تشکیل شده‌اند که به‌طور مستقیم به شبکه فشار ضعیف متصل نیستند. بلکه این خطوط تنها به خطوط فشار متوسط دیگر که البته

سطح ولتاژ پایین‌تری دارند متصل می‌شوند. ران با تعجب از خود پرسید: "چرا یک شرکت توزیع برق باید بیش از یک سطح ولتاژ فشار متوسط داشته باشد؟". پس از یک مشورت کوتاه با خانم فلو، او متوجه شد که توسعه شبکه برق در طول سالیان متمادی باعث بالا رفتن سطح ولتاژ انتقال و باقی ماندن برخی خطوط فوق توزیع قدیمی شده است.

در ابتدا، سطوح ولتاژ نامی سیستم قدرت پایین‌تر بوده است. به‌عنوان مثال، در دهه ۱۹۲۰ شرکت‌های توزیع ۱۵KV را ولتاژ بالایی می دانستند و خطوط مربوطه را در دسته خطوط انتقال طبقه بندی می کردند. چند دهه بعد، هنگامی‌که شرکت‌های برق سطح ولتاژ فشار متوسط را از ۴KV به ۱۵KV افزایش دادند به دلایل اقتصادی نمی توانستند شبکه‌های قدیمی را به‌طور کامل جمع‌آوری و از رده خارج کنند. بنابراین بخش هایی از شبکه فشار متوسط با ولتاژ پایین‌تر به‌جای ماند که همچنان از آن‌ها بهره برداری می شود. برخی از مشترکین از طریق شبکه فشار متوسط با سطح ولتاژ جدید تغذیه می‌شوند. اما بخش دیگری از طریق شبکه قدیمی و به کمک پست‌های توزیع MV/MV برق‌دار می‌شوند. در این پست‌های قدیمی، سطح ولتاژ بالاتر فشار متوسط (مانند ۱۵KV) به سطح ولتاژ فشار متوسط پایین تر (مانند ۴KV) تبدیل می‌شود. همچنین این پست ها به‌عنوان نقطه سوییچ زنی فیدرهای فشار متوسط قدیمی به کار می روند. عبارت MV/MV نشان می دهد ولتاژ هر دو سمت پست در محدوده فشار متوسط قرار می گیرد. برای مثال یک پست MV/MV، مشابه آنچه در پست های فوق توزیع وجود دارد، به‌طور معمول دو ترانس ۱۵KV/۴KV و چندین فیدر ۴KV دارد که به کمک مجموعه‌ای از دژنگتورها محافظت می‌شوند. اگر سطح ولتاژ خط فوق توزیع ۶۹KV باشد، ولتاژ نامی ترانسفورماتور پست فوق توزیع نیز ۶۹KV/۱۵KV خواهد بود.

خانم فلو به ران گفت که شرکت AnyTown Energy به دنبال آن است که از دست این شبکه‌های قدیمی با ولتاژ متفاوت خلاص شود. اما از آنجا که این تجهیزات هنوز قابل استفاده هستند، شرکت به طور تدریجی اقدام به برکناری آن‌ها و احداث شبکه جدید می‌کند. خانم فلو توضیح داد: "وجود دو و یا حتی سه سطح ولتاژ فشار متوسط، موضوع غیرمعمولی در شبکه توزیع نیست. این شرایط از پیش برنامه ریزی شده نیست و تنها به دلایل اقتصادی اتفاق افتاده است. قطعا استفاده از تجهیزات با سطوح ولتاژ مختلف، مشکلات خاص خود را هم دارد. لزوم انبار کردن قطعات یدکی اضافی، تهیه دستورالعمل‌های متفاوت بهره‌برداری و لزوم ارائه آموزش‌های تخصصی بیشتر ازجمله مشکلات متنوع بودن سطح ولتاژ فشار متوسط است."

ران در مورد بحران امروز صبح ابهامی داشت که باید حتماً از خانم فلو سؤال می‌کرد. زمانی که او در مرکز دیسپاچینگ بود از یکی از اپراتورهای اتاق کنترل شنید که به سرپرست شیفت می‌گفت: "هر دو خط اصلی تغذیه‌کننده شبکه توزیع که از داخل کانال عبور می‌کرده، آسیب جدی دیده است." ران برای اولین بار بود که اصطلاح خطوط تغذیه‌کننده شبکه توزیع را می‌شنید. او از صحبت‌های سرپرست شیفت متوجه شده بود که این خطوط، پست‌های فشار متوسط را به هم متصل می‌کنند. ران از خانم فلو سؤال کرد: "آیا آن‌ها همان خطوط فوق توزیع قدیمی نیستند که اکنون جزء شبکه فشار متوسط دسته‌بندی می‌شوند و ما در موردشان صحبت کردیم؟" خانم فلو به نشانه تأیید سرش را تکان داد.

خانم فلو گفت: "بله. این خطوط بیشتر پست‌های برق زیرزمینی مناطق مرکزی شهر را تغذیه می‌کنند. (در فصل ۸ درباره این پست‌ها بیشتر صحبت شده است.) او ادامه داد، "من می دانم تو راجع به چه چیزی فکر می کنی. تو حدس می زنی از آنجا که پست های MV/MV در سیستم نقشه‌برداری شرکت وجود ندارند، پس هیچ‌کدام از خطوط فوق توزیع قدیمی نیز در نقشه‌ها مدل نشده‌اند. حدست کاملا درست است."

ران در راه بازگشت به دفتر، مرتب سرش را به نشانه عدم رضایت تکان می داد. او با خود آرزو می کرد کاش برخی از حدسیات و پیش‌بینی‌هایش درباره ناقص بودن داده‌های مورد نیاز سیستم GIS درست از آب درنمی‌آمدند.

فیدرها، نقاط انتقال و نقاط تبدیل توان

توان انتقالی در هر شبکه الکتریکی تابعی است از ولتاژ و جریان خطوط. جهت انتقال مقادیر بالاتر توان یا بایستی ظرفیت جریان خطوط را افزایش داد (که باعث می شود سطح مقطع خطوط بالا رفته، وزن و قیمت آن‌ها افزایش یابد) و یا سطح ولتاژ را بالا برد. بالا بردن سطح ولتاژ، مستلزم در نظر گرفتن حریم بیشتر برای شبکه و همچنین تأمین تجهیزات عایقی مناسب است. شبکه فشار متوسط باید بین این دو پارامتر تعادل نسبی برقرار کند. از آنجا که شبکه فشار متوسط تقریبا در تمامی سطح شهر و همچنین روستاها و راه های برون‌شهری وجود دارد، بهره برداری از آن‌ها در سطوح ولتاژ بالا برای شرکت های توزیع مقدور نیست زیرا این امر می‌تواند برای مردم، مشترکین و همچنین پرسنل شرکت خطرآفرین باشد.

ران با بررسی و مطالعه شبکه فشار متوسط به این نتیجه رسید که می‌توان این شبکه را به سه بخش کلی تقسیم کرد: اولین بخش فیدرها هستند. فیدرها مجموعه ای از خطوط زمینی و هوایی هستند که در کل محدوده شرکت پراکنده شده اند. فیدرها مانند رگ های شبکه فشار متوسط هستند. بخش دوم شبکه فشار متوسط به‌جامانده از گذشته است. بخش هایی از شبکه فشار متوسط بسیار قدیمی بوده و متعلق به زمانی هستند که شبکه برق تازه ایجاد شده بود و سطح ولتاژ آن پایین تر بود. پست‌های MV/MV، متولی انتقال توان از شبکه فشار متوسط جدید با ولتاژ استاندارد به خطوط قدیمی فشار متوسط با ولتاژ پایین تر هستند که هنوز برکنار نشده‌اند و در حال بهره برداری هستند. این فیدرها در حال برق رسانی به پست های توزیع و مشترکین هستند. بخش سوم نیز پست های توزیع هستند که انتقال توان از شبکه فشار متوسط به شبکه فشار ضعیف را بر عهده دارند. بنابراین ران تصمیم گرفت مدل داده شبکه فشار متوسط را بر مبنای همین تقسیم‌بندی شکل دهد:

- **فیدرهای فشار متوسط**
- **پست‌های MV/MV:** ماهیت این پست‌ها در گذشته مشابه پست‌های فوق توزیع امروزی بوده است. در حال حاضر از این پست‌ها برای انتقال توان از یک سطح ولتاژ فشار متوسط به یک سطح ولتاژ پایین‌تر فشار متوسط استفاده می‌شود.
- **پست های MV/LV:** این پست ها نقطه تبادل انرژی بین شبکه فشار متوسط و شبکه فشار ضعیف به کمک ترانسفورماتورها هستند. به‌طور معمول هر پست از مجموعه ای از تجهیزات کلیدزنی و حفاظتی مانند کلید اتوماتیک و فیوزها به همراه ترانسفورماتور تشکیل شده است. از آنجا که وظیفه این پست ها تغذیه شبکه فشار ضعیف است، از یک ترانسفورماتور کاهنده در ساختار آن‌ها استفاده شده است. از لحاظ فنی، ترانسفورماتورهای MV/LV هم در دسته شبکه فشار متوسط قرار می‌گیرند و هم در دسته شبکه فشار ضعیف. این موضوع با توجه به سیم‌پیچ‌های فشار متوسط و فشار ضعیف بکار رفته در ساختمان ترانسفورماتور کاملا بدیهی است.

فیدرهای فشار متوسط

فیدرهای فشار متوسط اولین بخش از شبکه فشار متوسط هستند. فیدرهای فشار متوسط به سه شکل هوایی، زمینی و سطحی احداث می‌شوند. این سه ساختار می‌توانند به‌صورت هم‌زمان در شبکه وجود داشته باشند. به‌عنوان مثال، ممکن است یک فیدر به‌صورت زمینی از پست فوق توزیع آغاز شود، سپس بر روی یک پایه بالا بیاید و به شکل هوایی ادامه پیدا کند و درنهایت تجهیزات سطحی را تغذیه کند. بنابراین مدل‌سازی صورت گرفته در سیستم GIS باید هر سه ساختار را پوشش دهد.

ران با توجه به آسیب‌پذیری بالای شبکه فشار متوسط هوایی در شرایط بد جوی (شکل ۷-۲)، از

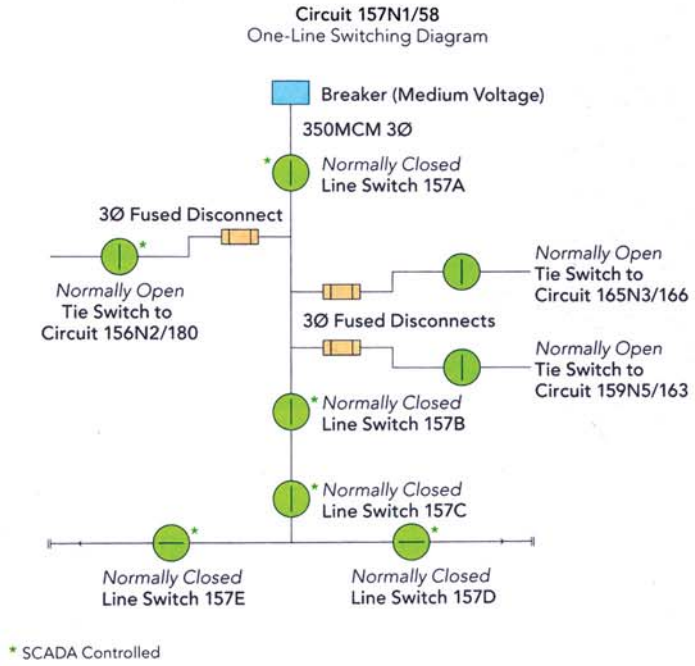
خانم فلو سؤال کرد: "چرا همچنان شرکت‌های توزیع به احداث شبکه فشار متوسط هوایی ادامه می‌دهند؟"
خانم فلو در جواب گفت: "شرکت های توزیع به سه دلیل این کار را انجام می دهند. اولین دلیل، هزینه سرسام آور و غیرقابل توجیه تبدیل تمامی شبکه های توزیع هوایی به زمینی است. تبدیل یک بخش از شبکه فشار متوسط هوایی به زمینی هزینه ای معادل ده برابر ساخت همان شبکه هوایی را به همراه خواهد داشت."

"دلیل دوم نگهداری و تعمیرات دشوارتر شبکه زمینی است. هرچند شبکه فشار متوسط زمینی کمتر در معرض خطا و خرابی ناشی از طوفان و سایر شرایط نامساعد جوی است، اما تعمیر یک کابل زمینی به مراتب بیشتر از یک خط هوایی طول می‌کشد. در برخی شرکت‌ها کابل فشار متوسط مستقیما داخل خاک دفن می‌شود. آن‌ها کابل را داخل کانال حفر شده انداخته و آن را در زیر خاک مدفون می کنند و درنهایت مناطق حفاری‌شده را مرمت می‌کنند. برخی دیگر از شرکت های توزیع ترجیح می دهد لوله هایی را در کانال حفر شده نصب کنند تا سپس بتوانند کابل های فشار متوسط را داخل این لوله‌ها انتقال دهند. به‌طور معمول، دریچه‌هایی برای دسترسی به لوله‌های انتقال کابل پیش‌بینی می‌شود. از طریق این دریچه‌ها می‌توان کابل‌های موجود را بیرون کشید و یا یک کابل جدید احداث کرد. این نحوه اجرا، هزینه ها را بالاتر می برد، اما درنهایت تعمیر و نگهداری شبکه را تسهیل می‌کند، زیرا شرکت برای دسترسی به کابل‌ها نیاز به حفاری خیابان، پیاده‌رو و یا ملک شخصی مردم نخواهد داشت."

مشکل بزرگ شرکت AnyTown Energy که ران نیز به آن پی برده بود این بود که در دهه های گذشته هیچ‌کس به موقعیت مکانی مسیر احداث کابل ها توجهی نکرده بود. به همین دلیل، هنگامی‌که یک فیدر زمینی معیوب می‌شد، پیدا کردن مکان دقیق حفر زمین جهت دسترسی به کابل، نیازمند صرف زمان بسیار زیاد و سعی و خطای فراوان بود. ران با خودش فکر کرد که اگر موقعیت مکانی مسیر احداث کابل در سیستم GIS ثبت شود، به‌طور قطع، زمان مورد نیاز برای رفع عیب کاهش خواهد یافت. درصورتی‌که شبکه زمینی از نوع دفنی باشد، شرکت توزیع ناچار است که ابتدا محل خطا را پیدا کرده و سپس منطقه مورد نظر را حفاری کند. پس از یافتن نقطه خرابی و تعمیر کابل، باید مناطق حفاری شده مجدد ترمیم شود. بنابراین عملیات خطایابی و تعمیر خطوطی که مستقیما زیر خاک مدفون شده‌اند، نیازمند صرف زمان و هزینه به‌مراتب بالاتری است.

شکل ۷-۲- خسارت دیدن شبکه هوایی در اثر طوفان (عکاس: Zackary Johnson منبع: Esri)

فلو ادامه داد، "سومین دلیل استفاده شرکت های توزیع از خطوط هوایی آن است که شبکه زمینی بیشتر در معرض گرم شدن قرار دارد و از مزایای خنک‌کنندگی طبیعی هوا بی‌بهره است. استفاده از روش‌هایی مانند نصب کابل در داخل لوله باعث بهبود این شرایط می‌شود اما هزینه‌بر است."
بر اساس آنچه در امریکای شمالی مرسوم است، شبکه فشار متوسط ترکیبی از تجهیزات سه فاز و تکفاز است. خارج از امریکای شمالی تقریبا تمامی شبکه های فشار متوسط به‌صورت سه فاز متعادل احداث می شوند. این آرایش در شبکه فشار متوسط شهری آمریکای شمالی نیز به کار رفته است. ران بر اساس مطالعاتش دریافت که شبکه فشار متوسط معمولا به‌صورت تک‌خطی در سیستم GIS مدل می‌شود (شکل ۷-۳).



شکل ۷-۳- دیاگرام تک خطی یک فیدر فشار متوسط (منبع: Esri)

یک فیدر فشار متوسط از خروجی دژنکتور پست فوق توزیع آغاز شده و پس از خروج از پست راه خود را از میان خیابان های شهر، جاده های روستایی، تونل های زیرزمینی، کانال ها، منهول ها و دریچه ها به سمت مشترکین محلی ادامه می دهد. سطوح ولتاژ فشار متوسط معمول در سراسر جهان عبارت اند از: ۴۶KV, ۳۵KV, ۲۴KV, ۱۵KV, ۴KV, ۲KV. در واقعیت، ممکن است ولتاژ بهره‌برداری از شبکه تفاوت‌های محدودی با این سطوح ولتاژ رایج داشته باشد. به‌طور مثال، شرکت توزیعی که مقدار نامی ولتاژ تجهیزات فشار متوسط آن ۱۵KV است، ممکن است بهره برداری از شبکه را در ولتاژهای ۱۳.۸KV، ۱۴.۴KV و یا ۱۱KV انجام دهد. هرچند در امریکای شمالی ترکیبی از فیدرهای سه فاز و تکفاز مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما مانند سایر نقاط دنیا یکی از اهداف شرکت های توزیع، ازجمله AnyTown energy، حفظ تعادل بین سه فاز است.
هرچه سطح ولتاژ بالاتر رود، برای انتقال توان ثابت می توان جریان کمتری داشت. درنتیجه می توان انتظار داشت شبکه فشار متوسط قدیمی که سطح ولتاژ پایین‌تری دارد، طول و ظرفیت انتقال توان کمتری داشته باشد. این فیدرها به دلیل طول کوتاه‌تر و توان عبوری کمتر، قابلیت اطمینان مطلوبی

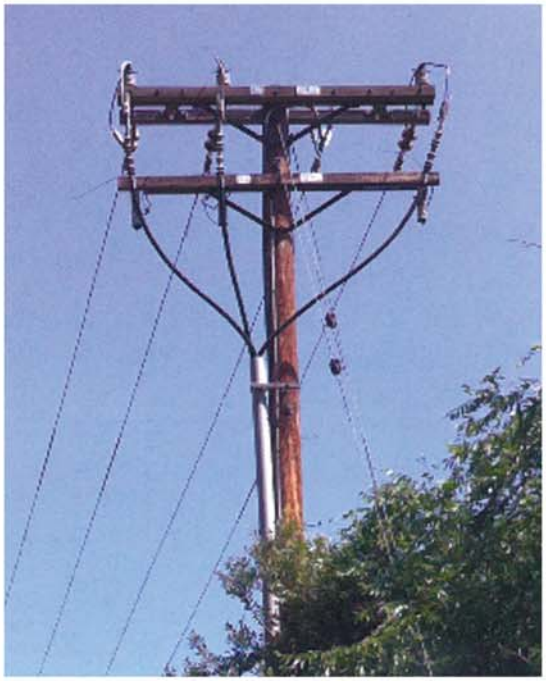
دارند و نرخ خرابی آن‌ها به نسبت پایین است. با این وجود، به‌طور کلی شبکه های فشار متوسط با ولتاژ بالاتر به دلیل تلفات پایین‌تر و هزینه‌های کمتر تعمیرات و نگهداری ازلحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر هستند. هرچه سطح ولتاژ خطوط بالاتر رود، فاصله بین سیم های شبکه نیز افزایش پیدا می‌کند. ران در راه بازگشت به خانه با دقت بیشتری به فیدرهای فشار متوسط هوایی نگاه می‌کرد. او سعی داشت با توجه به فاصله بین خطوط و همچنین ابعاد مقره‌ها سطح ولتاژ شبکه را حدس بزند.

ساختار هوایی

روز بعد ران متوجه شد که در سراسر جهان، شبکه فشار متوسط سه فاز هوایی به‌طور معمول برای تغذیه مناطق روستایی و حاشیه شهرها مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۷-۴).

شکل ۷-۴- فیدر فشار متوسط هوایی (عکاس: Zackary Johnson، منبع: Esri)

فیدرهای فشار متوسط، حتی فیدرهای هوایی، به‌طور معمول ابتدا به‌صورت زمینی و از طریق کانال از پست فوق توزیع خارج شده و سپس در جایی مناسب بیرون از پست، به شبکه هوایی متصل می‌شوند. در بخش زمینی، فیدر از سه کابل مجزا که نسبت به هم عایق شده‌اند، تشکیل می‌شود. در ادامه، این فیدر سه فاز زمینی از طریق یک پایه که اصطلاحا رایزر (riser pole) نام دارد به شبکه هوایی متصل می‌شود. پایه رایزر یک پایه چوبی، فلزی و یا بتنی است که کابل سه فاز از طریق لوله نصب شده بر روی آن به شبکه هوایی متصل می‌شود (شکل ۷-۵). در بالای پایه، کابل سه فاز به کلید جداساز نصب شده بر روی کراس آرم متصل می‌شود. هر کلید جداساز دو سمت دارد. یک سمت آن به کابل سه فاز متصل شده و سمت دیگر آن شروع بخش هوایی فیدر فشار متوسط است.

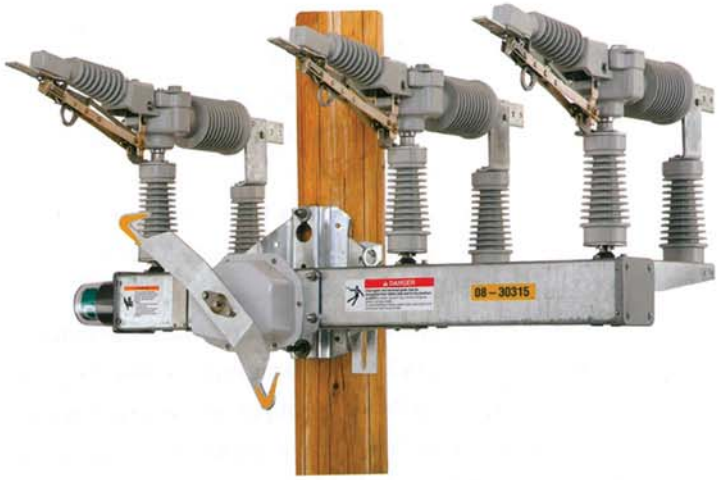


شکل ۷-۵- پایه رایزر (عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

احتمالاً شما منظره پایه‌های چوبی و یا بتونی نصب شده در موازات جاده‌های خارج از شهر و یا مناطق روستایی که شبکه سه فاز به‌صورت تک مداره و مثلثی از روی پایه‌ها عبور کرده است را زیاد دیده باشید. در این ساختار، یک فاز از روی پایه و دو فاز دیگر از دو گوشه کراس آرم عبور می‌کند. این آرایش را می‌توان فیدر فشار متوسط شعاعی کلاسیک دانست. منظور از شعاعی آن است که تنها یک منبع جریان برای تغذیه بارها وجود دارد که همان دژنگتور اول فیدر است. توان الکتریکی از پست به سمت مشترک جریان پیدا می‌کند. در شبکه‌های فشار متوسط از ساختار حلقوی و چند سو تغذیه نیز ممکن است استفاده شود. در این حالت ممکن است چندین فیدر به یکدیگر متصل شوند و توان مصرفی از بیش از یک منبع فراهم می‌شود. در شبکه‌های چند سو تغذیه، بسته به میزان بارهای مصرفی، ممکن است جریان در جهت‌های مختلف در شبکه برقرار شود.

کلیدهای نصب شده در شبکه‌های حلقوی ممکن است در حالت کار عادی باز باشند و تنها در زمان وقوع خطا بر روی شبکه و به‌منظور کمینه کردن خاموشی مشترکین بسته شوند. از این نوع ساختار در مناطقی که به قابلیت اطمینان بالاتری نیاز باشد، استفاده می‌کنند. هزینه احداث این نوع شبکه به دلیل تجهیزات اضافه‌ای که نصب می‌شود، گران‌تر است. این ساختار که اصطلاحاً "حلقه باز" نیز نامیده می‌شود در خارج از آمریکای شمالی بسیار رایج است.

ران با خودش فکر کرد که دانستن نام و مشخصات فنی تجهیزات شبکه فشار متوسط برای ایجاد مدل داده سیستم GIS ضروری است. بنابراین او شروع به یادداشت‌برداری از مشخصات تجهیزات مختلف کرد و تلاش کرد در صورت امکان، تصویر مناسبی از این تجهیزات تهیه کند. یکی از تجهیزاتی که توجه او را به خود جلب کرد یک کلید جداساز سه فاز هوایی بود که سه فاز آن به‌صورت هم‌زمان عمل می‌کرد (شکل ۷-۶).



شکل ۷-۶- سکسیونر هوایی با قابلیت عملکرد همزمان بر روی سه فاز (منبع: شرکت برق S&C)

یادداشت‌های آقای ران

تفاوت سیم نول و زمین

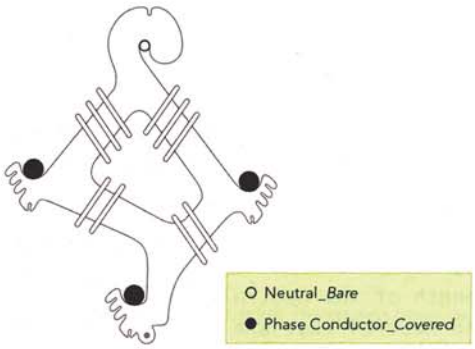
تفاوت سیم نول و زمین در چیست؟ آیا این دو یک‌چیز نیستند؟ نه. در یک سیستم سه فاز اگر تمامی فازها متعادل و متقارن باشند، در هرلحظه از زمان، هیچ جریانی از طریق زمین برگشت پیدا نخواهد کرد زیرا مجموع برداری جریان های سه فاز برابر با صفر خواهد شد. به‌عنوان مثال، برای تغذیه یک مشترک خانگی تکفاز، از یک سیم رفت و یک سیم برگشت استفاده می شود. درصورتی که جریان سیم رفت ۱۵ آمپر باشد، جریان سیم برگشت منفی ۱۵ آمپر خواهد بود و مجموع دو جریان برابر صفر خواهد شد. همین موضوع در شبکه سه فاز نیز صادق است. مشکل زمانی رخ می‌دهد که سه فاز نامتعادل باشند و مقادیر مختلفی از جریان را عبور دهند. در این حالت، جریانی از سیم چهارم که همان نول است عبور خواهد کرد.

از آنجا که سیم نول نیز دارای مقاومت است، عبور جریان از آن باعث می شود سیم برق‌دار شده و ولتاژ آن متناسب با مقدار جریان و مقاومت سیم افزایش یابد. به این ترتیب، درصورتی که عدم تعادل سه فاز از حد مشخصی بیشتر شود، ولتاژ ایجاد شده بر روی سیم نول می‌تواند خطرناک و یا حتی کشنده باشد. به همین دلیل، سیم نول را در فواصل معین به زمین متصل می‌کنند تا ولتاژ آن را نزدیک به صفر نگاه دارند. مشخص است که ولتاژ فقط در نقاط اتصال به زمین برابر صفر است و در سایر نقاط می‌تواند برق‌دار باشد. بنابراین بایستی با سیم نول مشابه یک سیم برق‌دار رفتار کرد.

زمین یک هادی بسیار بزرگ است. در صورت اتصال مناسب تجهیزات به زمین (برای مثال از طریق میله‌های فولادی دفن شده در عمق خاک)، تمامی الکترون های اضافی مواد رسانا به زمین تخلیه شده و با زمین هم پتانسیل خواهند شد. یک سیستم زمین بسیار متداول، دفن کردن یک صفحه مسی در عمق زمین و متصل کردن تمامی قسمت های فلزی تجهیزات و همچنین سیم نول به این صفحه مسی است. بررسی نقاط اتصال زمین و اطمینان از کارکرد مناسب آن‌ها در شبکه توزیع اهمیت بالایی دارد. اگر نقاط اتصال کثیف شده و یا فلز مورد استفاده خورده شود، باعث ایجاد مقاومت بین زمین و نقطه اتصال خواهد شد. عبور جریان از این مقاومت باعث ایجاد اختلاف پتانسیل می‌شود. اگر عدم تعادل شبکه سه فاز شدید باشد و اتصال زمین نیز به‌درستی انجام نشده و دارای مقاومت بالایی باشد ممکن است ولتاژ سیم نول و بدنه فلزی تجهیزات به سطح خطرناکی برسد. به همین دلیل، ثبت نقاط اتصال زمین در سیستم GIS می‌تواند حائز اهمیت باشد.

در برخی از شبکه های توزیع هوایی از سیم چهارمی که در زیر کراس آرم نصب می‌شود، استفاده می‌کنند. البته ممکن است در مواردی، شرکت توزیع این سیم را در کنار سایر فازها نصب کند. این سیم چهارم، نول نام دارد. در حالت عادی قرار نیست جریانی از این سیم عبور کند، اما در صورت بروز عدم تعادل در شبکه این امر اتفاق خواهد افتاد. سیم نول می تواند هم در شبکه فشار متوسط و هم در شبکه فشار ضعیف به کار رود. در صورت استفاده هم‌زمان از سیم نول در شبکه فشار ضعیف و شبکه فشار متوسط به آن "نول مشترک" می‌گویند. ران یادداشتی در مورد سیم نول و زمین نوشت (به یادداشت‌های ران در خصوص سیم نول و زمین مراجعه کنید.) زیرا متوجه شد که ثبت و ذخیره نقاط اتصال زمین در سیستم GIS بسیار با اهمیت است.

ران بر اساس مطالعاتش دریافت که کابل‌های فاصله‌دار یکی دیگر از آرایش‌های مورد استفاده در شبکه فشار متوسط هوایی است. در این آرایش از سیم‌های روکش‌دار که از طریق اسپیسر (spacer) از هم جدا شده‌اند، استفاده می‌شود. اسپیسرها به‌صورت یکنواخت در طول مسیر خط قرار گرفته اند. خطوط جداشده توسط اسپیسر به‌طور معمول از سه هادی فاز و یک هادی نول تشکیل شده‌اند (شکل ۷-۷). قیمت تمام شده احداث این خطوط به نسبت بالاست اما در برابر شرایط نامساعد جوی و همچنین برخورد شاخه درختان استقامت بیشتری دارند. به همین دلیل، از این نوع خطوط بیشتر در مناطق جنگلی و معابر پردرخت استفاده می‌شود.



شکل ۷-۷- دیاگرام اسپیسر مورد استفاده در کابل های فاصله دار (منبع: Esri)

ساختار زیرزمینی

شبکه فشار متوسط زمینی تشکیل شده است از کابل‌های فشار متوسط که از داخل لوله، کانال، محفظه‌های زیرزمینی و منهول عبور کرده‌اند. برخی کابل‌ها نیز به‌صورت مستقیم در زیر خاک دفن شده‌اند.

در ساختار زیرزمینی، تجهیزاتی مانند کلید، ترانسفورماتور و یا اتوبوستر ممکن است در داخل منهول و یا پست زیرزمینی قرار گیرند. این شیوه احداث شبکه فشار متوسط بسیار پرهزینه است اما این مزیت را دارد که به‌طور کامل در برابر رانندگان بی‌دقت، شرایط بد جوی و خرابکاری محافظت شده است. تمام تجهیزات به‌کاررفته در ساختار زیرزمینی در برابر نفوذ آب مقاوم هستند و می توانند برای زمان های طولانی به‌صورت شناور در آب به عملکرد عادی خود ادامه دهند. همچنین این ساختار به‌طور کامل از مقابل دید مردم پنهان است و به همین دلیل، برای مناطق شهری گزینه بسیار مناسبی است. خطوط زمینی شبکه فشار متوسط نیز همانند خطوط هوایی، در آرایش های شعاعی، حلقه باز و چند سو تغذیه طراحی شده اند.

شبکه توزیع به‌صورت مش (تارعنکبوتی) نیز نوع دیگری از ساختار زیرزمینی است. این شبکه از فیدرهای

فشار متوسطی تشکیل شده است که تعداد زیادی پست های فشار متوسط به ضعیف یا به عبارتی پست های توزیع را تغذیه می کنند. پست‌های زیرمجموعه نیز به‌نوبه خود شبکه فشار ضعیف سه فاز تارعنکبوتی را تغذیه می‌کنند. در ترمینال فشار ضعیف ترانسفورماتور پست زیرزمینی تجهیزی به نام محافظ شبکه نصب می‌شود. این تجهیز اجازه عبور جریان خطا از بخش فشار ضعیف به شبکه فشار متوسط را نمی‌دهد. این ساختار از قابلیت اطمینان بسیار مناسبی برخوردار است، اما هزینه اجرای آن نیز بالاست. با توجه به مسیرهای متعدد تغذیه مشترکین، طبیعی است که میزان قطعی و خاموشی در این ساختار بسیار پایین باشد. زمانی که یک کابل فشار ضعیف در ساختار تارعنکبوتی می‌سوزد، مشابه آن است که یک کلید باز شود اما به دلیل مسیرهای متعدد جریان، مشترکین خاموشی را تجربه نخواهند کرد. نکته منفی این ساختار آن است که در صورت سوختن یک کابل زمینی هیچ مشترکی بدون برق نشده و بنابراین خود شرکت نیز متوجه خرابی و معیوب شدن کابل نمی شود. در صورت خرابی کابل های بعدی ممکن است مشترکین بی‌برق شوند. تعیین موقعیت مکانی کابل‌های معیوب در این ساختار کار بسیار دشواری است و سیستم GIS می‌تواند در این زمینه راه گشا باشد.

از شبکه مش (تار عنکبوتی) گاهی اوقات به نام شبکه ثانویه نام برده می شود و معمولاً در مراکز پرجمعیت شهری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این ساختار، ترانسفورماتور و تجهیزات جانبی آن در داخل محفظه‌های زیرزمینی احداث شده در زیر خیابان‌ها و پیاده‌روها نگهداری می‌شوند. ران متوجه شد که بخش فشار ضعیف ساختار مش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است لذا در دفترچه یادداشتش نوشت که در آینده در این خصوص بیشتر تحقیق کند (به فصل ۸ مراجعه کنید).

ساختار سطحی

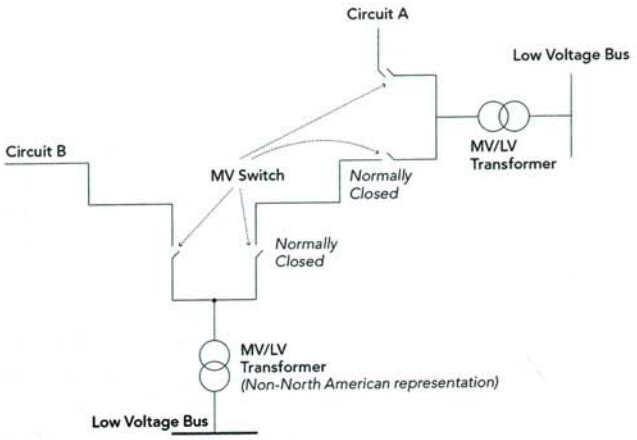
ساختار سطحی یکی دیگر از انواع معمول شبکه زمینی است. در آمریکای شمالی این ساختار تحت عنوان شبکه زمینی مسکونی (URD)[۱] نیز نام برده می‌شود. در این ساختار تمامی کابل ها به‌صورت زمینی احداث می‌شود و سایر تجهیزات بر روی سطح زمین و در داخل ساختمان پست زمینی و یا تابلو قرار می‌گیرد. ترانسفورماتور، تجهیزات کلیدزنی، باس بارها و فیوزها همه در داخل محفظه پست فشار متوسط به فشار ضعیف که بر روی سطح زمین قرار دارد، جای می‌گیرند. در آمریکای شمالی استفاده از فیدرهای فشار متوسط تک فاز و یا دو فاز بسیار متداول است.

کابل های تغذیه‌کننده پست‌های توزیع یا به‌طور مستقیم در خاک مدفون شده‌اند و یا از داخل کانال و یا لوله های پلاستیکی و فلزی عبور کرده اند. هرچند معمول است که این پست ها دو مسیر تغذیه به سمت پست فوق توزیع داشته باشند، اما گاهی اوقات به صورت شعاعی احداث می شوند. در شبکه های حلقه باز نیز به‌طور معمول مسیرهای موازی برای تغذیه یک پست توزیع در نظر گرفته شده است که با بازنمودن برخی کلیدها، در هر حالت تنها یک مسیر تغذیه برای هر پست وجود خواهد داشت. درصورتی که امکان تغذیه پست از مسیر اصلی فراهم نباشد، با انجام مانور، می‌توان از مسیر جایگزین استفاده کرد. هنگام مطالعه، ران در یکی از صفحات کتاب به دیاگرامی برخورد کرد که در آن نحوه تغذیه پست‌های توزیع در ساختار سطحی و با آرایش حلقه باز ترسیم شده بود (شکل ۷-۸). در برخی موارد، باز و بست سوییچ‌ها از طریق اتوماسیون انجام می‌شود. امکان کنترل کلیدها از طریق اتوماسیون زمینه‌ساز محقق شدن یکی از ویژگی‌های شبکه‌های هوشمند به نام "خود ترمیمی[۲]" است.

فیدرهای شعاعی ساده یکی دیگر از آرایش‌های مورد استفاده در شبکه زمینی است. در این حالت، فیدر فشار متوسط از ترمینال خروجی دژنکتور پست فوق توزیع آغاز شده و تمامی مسیر را به‌صورت زمینی

۱- Underground residential distribution
۲- Self-healing

طی می‌کند. کابل‌ها ممکن است مستقیماً داخل خاک دفن شوند و یا از داخل کانال عبور کنند. مشابه فیدرهای هوایی شعاعی، در برخی نقاط فیدر زمینی امکان مانور با فیدرهای مجاور پیش‌بینی شده است. در نقاط مانور، کلیدهایی قرار دارند که در حالت کار عادی شبکه در وضعیت باز هستند.



شکل ۷-۸- دیاگرام تک خطی یک پست توزیع **MV/LV** که توسط دو فیدر فشار متوسط امکان تغذیه دارد (منبع: Esri)

برای ران جای سؤال بود که چرا نقاط مانور را در وضعیت بسته قرار نمی‌دهند. با مطالعه بیشتر، او دو دلیل برای این موضوع پیدا کرد. هنگامی‌که دو (و یا بیشتر از دو) فیدر به هم متصل می‌شوند (موازی می‌شوند)، مقاومت معادل (درواقع امپدانس که متناسب است با مقاومت) آن‌ها کاهش خواهد یافت. این امر باعث افزایش جریانی خواهد شد که در صوت بروز خطا از شبکه می‌گذرد. بنابراین ممکن است جریان اتصال کوتاه بر روی برخی فیدرها از مقادیر اسمی و قابل تحمل کلیدهای موجود در فیدر بیشتر شود. درصورتی‌که خطایی رخ دهد و کلیدهای قدرت توانایی قطع جریان اتصال کوتاه را نداشته باشند، آسیب جدی به کابل‌ها، کلیدها و همچنین ترانسفورماتورها وارد خواهد شد. دلیل دیگر آن است که در صورت بهره برداری از شبکه به‌صورت چند سو تغذیه، جریان می‌تواند در هر جهتی داخل فیدر جاری شود. این امر، حفاظت و کنترل شبکه را بسیار پیچیده‌تر خواهد کرد.

پست‌های MV/MV

ران به یاد صحبت‌های خانم فلو در مورد پست‌های MV/MV افتاد. در حقیقت، این پست‌ها در وسط فیدرهای فشار متوسط قرار می‌گیرند و تنها به دلیل مسائل اقتصادی، بهره‌برداری از این پست‌های قدیمی همچنان ادامه پیدا کرده است. این پست‌ها مشابه پست های فوق توزیع مدل می‌شوند، با این تفاوت که سطح ولتاژ کلیدها، باس بارها و تجهیزات هر دو سمت پست، فشار متوسط است. ترانسفورماتور موجود در این پست‌ها از نوع کاهنده است و سطح ولتاژ بالاتر فشار متوسط را به سطح ولتاژ پایین‌تر فشار متوسط تبدیل می‌کند.

نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای موجود در این پست‌ها مقادیری ازجمله ۱۵KV/۴.۱۶KV و ۳۴.۴KV/۱۴.۴KV است. این اعداد می‌توانند کمی گیج‌کننده باشد، زیرا به‌طور معمول ترمینال ولتاژ بالای ترانسفورماتور را اولیه یا فشار قوی و سمت دیگر را ثانویه و یا فشار ضعیف می نامند، درحالی‌که شبکه هر دو سمت این پست‌ها در رده فشار متوسط دسته‌بندی می‌شود.

پست های توزیع MV/LV

انتقال قدرت از شبکه فشار متوسط به شبکه فشار ضعیف در پست های توزیع رخ می دهد. از نقطه‌نظر فنی، شبکه فشار متوسط به سیم پیچ اولیه ترانسفورماتورهای توزیع منتهی شده و شبکه فشار ضعیف از سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور آغاز می شود.

در سیستم GIS، ترانسفورماتور پست توزیع به‌عنوان یک عارضه تکی مدل می‌شود ولی به دلیل وجود سیم‌پیچ فشار متوسط و سیم‌پیچ فشار ضعیف در داخل ترانس، این عارضه هم در مجموعه عوارض دسته فشار متوسط قرار می‌گیرد و هم در مجموعه عوارض دسته فشار ضعیف. این تجهیز توان را از شبکه فشار متوسط دریافت می‌کند و به شبکه فشار ضعیف تحویل می‌دهد (مشابه ماشین‌های حمل‌کننده مواد غذایی به مغازه‌ها). شبکه فشار ضعیف نیز انرژی الکتریکی را به‌طور مستقیم به مشترکین تحویل می دهد (مشابه مأمور اداره پست).

از ترانسفورماتورهای توزیع به شکل های مختلف در شبکه استفاده می شود. ساده ترین نوع آن یک ترانسفورماتور تکفاز هوایی است که توان را از فیدر تک فاز فشار متوسط تحویل گرفته و به هادی های سمت فشار ضعیف انتقال می‌دهد. یک آرایش ساده دیگر، ترانسفورماتور تک فاز واقع شده در یک پست زمینی سطحی است که از طریق یک کابل تک فاز برق‌دار می‌شود (به این آرایش، پست پدمانتد نیز گفته می‌شود). ترانسفورماتورهای سه فاز واقع شده در پست‌های MV/LV یکی دیگر از آرایش‌های متداول مورد استفاده است. پیچیده‌ترین آرایش نیز مربوط به زمانی است که ترانسفورماتور توسط بیش از یک فیدر سه فاز تغذیه می‌شود و یک شبکه مش فشار ضعیف را تغذیه می‌کند.

سکشن‌ها (تکه فیدرها)

سکشن ها از هادی ها و تجهیزات مرتبط با آن‌ها تشکیل شده است که در کنار یکدیگر بخشی مستقل از یک فیدر را تشکیل می دهند. یک اتفاق عادی، مانند باز و یا بسته شدن یک کلید، نمی‌تواند ماهیت یک سکشن را تغییر دهد. واضح است که افتادن درخت روی شبکه هوایی و پاره شدن سیم‌ها و یا بریده شدن کابل‌های زمینی می‌تواند باعث دوتکه شدن یک سکشن شود. اما از دیدگاه مدل‌سازی در GIS، می‌توان هر سکشن را به‌عنوان یک عارضه مجزا در نظر گرفت. محدوده یک سکشن توسط تجهیزات سوییچ زنی مشخص می‌شود. تجهیزات سوییچ زنی می‌تواند شامل کات اوت فیوز، کلیدهای جداساز دستی و یا خودکار و دژنکتور شود. از دیدگاه محاسبات پخش بار و یا خاموشی، هر سکشن می‌تواند در یکی از دو وضعیت روشن و یا خاموش (برق‌دار یا بدون برق) قرار گیرد. تغذیه هر سکشن ممکن است از طریق مسیر و یا مسیرهای طبیعی و معمول و یا از طریق نقاط مانور برقرار شود.

یک فیدر فشار متوسط از مجموعه ای از سکشن های به‌هم پیوسته تشکیل شده است که تحت شرایط نرمال و از پیش طراحی شده، اجازه عبور توان از مسیر فیدر را می دهند. تمامی کلیدهایی که سکشن های یک فیدر را به هم متصل می‌کنند، در وضعیت بسته قرار دارند و تمامی کلیدهایی که سکشن هایی از دو فیدر مجاور را به هم متصل می‌کنند، در وضعیت باز قرار دارند. بنابراین بسیار محتمل است که سکشن‌هایی که در حالت کار نرمال شبکه متعلق به یک فیدر هستند، به‌صورت موقت جزئی از فیدر مجاور شوند. درواقع این اتفاق همواره در حال رخ دادن است. در این صورت گفته می‌شود که بخش‌های مذکور از فیدر در وضعیت خارج از برنامه قرار دارند. سوییچ‌هایی که برای رسیدن به این حالت خاص تغییر وضعیت داده‌اند نیز کلیدهای خارج از برنامه یا در وضعیت سوییچ زنی موقت خوانده می‌شوند. بنابراین در طول زمان، یک فیدر می تواند از سکشن های متفاوتی تشکیل شود که برخی از آن‌ها برنامه ریزی شده و بقیه خارج از برنامه هستند.

ران درحالی‌که نگاهش را از روی برگه های کتاب برمی داشت، با خود گفت: "نحوه مدیریت این اطلاعات متغیر در سیستم GIS باید موضوع جذابی باشد." سپس ران به دیدار خانم فلو رفت تا با راهنمایی او اطلاعات بیشتری در این زمینه کسب کند.

خانم فلو با دقت به صحبت‌های ران گوش کرد و در ادامه توضیح داد: "از آنجا که فیدرها همواره در حال مانور شدن و تغییر آرایش هستند، نگهداری داده ها و اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان (برای مثال ۱۰ فیدر با پایین ترین سطح قابلیت اطمینان) و یا آمار تجهیزات آن‌ها می تواند به نتایج گمراه‌کننده ای منجر شود. برای مثال، فرض کنید یک فیدر از دیدگاه شاخص‌های قابلیت اطمینان عملکرد خوبی ندارد، زیرا نرخ وقوع خطا و زمان خاموشی در این فیدر به‌طور محسوسی بالاتر از سایر فیدرها است. می‌توان قابلیت اطمینان این فیدر را با تغییر آرایش و انتقال سکشن‌های پردردسر به فیدرهای مجاور بهبود بخشید. به این ترتیب قابلیت اطمینان فیدر اول بهبود یافته و در عوض، شرایط فیدرهای اطراف بدتر خواهد شد. به این ترتیب، از نگاه کلی قابلیت اطمینان سیستم تغییر نخواهد کرد و تنها برخی مشکلات به‌صورت موقتی پوشانده می شود."

ران با خود اندیشید که جمع آوری اطلاعات قابلیت اطمینان برای سکشن های هر فیدر می‌تواند راهکار مناسب‌تری باشد. GIS بستر مناسبی را جهت اندازه‌گیری و ثبت داده‌های قابلیت اطمینان فراهم می کند. سکشن های یک فیدر تنها از طریق نصب و یا جمع آوری تجهیزات کلیدزنی تغییر می‌کنند و تغییر وضعیت کلیدها تأثیری در ماهیت سکشن‌ها نمی‌گذارد. بنابراین تا زمانی که شرکت توزیع با تعریف دستورکار جهت نصب کلیدهای جدید و یا جابه جایی کلیدهای موجود، آرایش شبکه را تغییر ندهد، تمامی سکشن های فیدر بدون تغییر باقی خواهند ماند. البته سایر تجهیزات مانند پست های توزیع، ترانسفورماتورها، برق‌گیرها و نشانگرهای خطا می توانند به یک سکشن اضافه و یا کم شوند. اما درنهایت سکشن همچنان هویت خود را حفظ کرده و به‌عنوان یک جزء منحصر به فرد شناخته می شود.

خانم فلو تأکید کرد: "قابلیت اطمینان یکی از شاخص های اصلی ارزیابی عملکرد شرکت‌های توزیع است. واضح است که شاخص‌های قابلیت اطمینان به جای اینکه از دید شرکت های توزیع تعریف شوند، بایستی از چشم انداز مشترکین مورد بررسی قرار گیرند. بنابراین تلاش شرکت‌های توزیع برای بهبود قابلیت اطمینان از طریق جابه‌جایی سکشن‌های با نرخ خرابی بالا، از دید مشترکینی که از خاموشی طولانی و پرتکرار رنج می‌برند، ارزشی نخواهد داشت."

خانم فلو ادامه داد، "تاکنون شرکت های توزیع به سمت بررسی شاخص های قابلیت اطمینان تک‌تک مشترکین حرکت نکرده اند اما شاخص‌های استانداردی تعریف کرده اند که بتوانند عملکردشان از دید مشترکین را با سایر رقبا مقایسه کنند. این شاخص ها بسیار پرکاربرد هستند و می توانند وضعیت شرکت را از نظر خاموشی و قابلیت اطمینان با سایر شرکت‌های توزیع مقایسه کنند. رایج‌ترین و پرکاربردترین شاخص قابلیت اطمینان مورد استفاده در شبکه توزیع، شاخص متوسط زمان خاموشی سیستم یا همان SAIDI است. مفهوم SAIDI ساده بوده و به‌راحتی قابل درک است. این شاخص مدت زمان متوسطی را نشان می دهد که مشترکین شرکت در یک سال بدون برق بوده اند. به‌عنوان مثال، اگر تمامی مشترکین شرکت AnyTown Energy در یک سال، دو ساعت خاموشی را تجربه کرده باشند، شاخص SAIDI شرکت نیز همان ۱۲۰ دقیقه و یا ۲ ساعت خواهد بود. نحوه انجام محاسبات این‌گونه است که زمان خاموشیِ تک‌تک مشترکین با یکدیگر جمع شده و درنهایت بر تعداد کل مشترکین شرکت تقسیم می‌شود. معمولا تمامی شرکت‌ها از واحد دقیقه برای نمایش شاخص SAIDI استفاده می‌کنند، زیرا کاهش تنها چند دقیقه‌ای این شاخص کار بسیار عظیمی است. بین خودمان بماند اما من فکر می کنم شاخص SAIDI شرکت در صورت استفاده از ابزارهای مناسب جهت شناسایی مناطق با نرخ خرابی بالا و سپس اصلاح عیوب شبکه می‌تواند تا مرز ۹۰ دقیقه در سال کاهش پیدا کند."

ران بلافاصله گفت: "ابزارهایی مانند سیستم GIS"
ران متوجه شد که میزان شاخص SAIDI در ایالات متحده به‌طور متوسط در حدود ۱۲۰ دقیقه است، درحالی‌که همین شاخص برای کشور کره جنوبی کمتر از ۲۰ دقیقه است. واضح است که متوسط زمانی خاموشی مشترکین در مناطق مختلف جهان، دامنه تغییرات وسیعی دارد.
ران با شاخص بسیار مهم دیگری به نام متوسط تعداد خاموشی سالانه سیستم یا SAIFI نیز آشنا شد. این شاخص تنها به تعداد دفعات قطع شدن جریان برق مرتبط بوده و زمان خاموشی در آن بی‌تأثیر است. بنابراین اگر تمامی مشترکین شرکت در سال ۵ بار قطعی را تجربه کنند، شاخص SAIFI برابر با ۵ خواهد بود. ران کاملا اطمینان داشت که با پیاده‌سازی سیستم GIS و درنتیجه امکان تجزیه و تحلیل دقیق‌تر علل خاموشی، شاخص‌های SAIDI و SAIFI بهبود قابل توجهی خواهند یافت. ران برای مدل‌سازی بهتر سکشن‌های فیدر فشار متوسط در سیستم GIS، فهرستی از تجهیزات مرتبط با آن‌ها را تهیه کرد:

- **هادی ها:** مانند سیم های شبکه هوایی و کابل ها
- **تجهیزات فشار متوسط:** تجهیزاتی مانند پست های توزیع، اتوبوستر، ترانسفورماتور، بانک خازنی، برق‌گیر و نشانگر خطا
- **تجهیزات کلیدزنی:** مانند ریکلوزر، کلیدهای جداساز، دژنکتورهای وسط خط و کات اوت فیوزها.

باید به خاطر داشت که تمامی سکشن های هر فیدر فشار متوسط به‌گونه ای پیکربندی شده‌اند که درنهایت، جریان‌های هر سه فاز تا حد امکان متعادل و متقارن باشند. یک فیدر فشار متوسط سه فاز دارای سه مسیر مجزای جریان است که با در نظر گرفتن سیم نول، این عدد می‌تواند به چهار مسیر افزایش یابد. هر فاز و همچنین سیم نول به‌طور فیزیکی از یکدیگر مجزا هستند. بنابراین ران با خود اندیشید که بهتر است هر فاز به‌صورت جداگانه در GIS مدل شود. یک تکه از فیدر (برای مثال سکشن ۱۳۵۱۷) از سه فاز با نام های فاز ۱، ۲ و ۳ تشکیل شده است. در خطوط هوایی، فاصله فیزیکی سه فاز از یکدیگر زیاد است. اما در شبکه زمینی، ممکن است هر سه فاز به همراه سیم نول در غلاف یک کابل قرار گیرند.
معنی دقیق متعادل بودن سه فاز چیست؟ شبکه سه فاز مانند یک موتور سه سیلندر است. فرض کنید سیستم جرقه‌زنی و همچنین توان تولید شده توسط هر سیلندر با یکدیگر هماهنگ نباشد، در این صورت راندمان موتور کاهش پیدا خواهد کرد. شبکه برق نیز عملکرد مشابهی دارد. اگر همه‌چیز خوب پیش رود، هر سه فاز توان یکسانی را عبور می‌دهند و ولتاژ و جریان فازها با یکدیگر مشابه است. اگر سه فاز متعادل نباشند، جریان در سیم نول برقرار می‌شود که مشکلات بهره‌برداری خاص خود را به همراه خواهد داشت. یکی از این مشکلات آن است که امکان دارد بر روی برخی نقاط سیم نول، ولتاژهایی با دامنه بالا و خطرناک ایجاد شود. تمامی شرکت های توزیع علاقه مند هستند که تعادل سه فاز را تا حد ممکن حفظ کنند. این امر از طریق طراحی مناسب شبکه (با اجتناب از تغذیه بارهای بزرگ تکفاز) و مدیریت بار صورت می‌گیرد.
ران عکسی از یک ترانسفورماتور سه فاز پیدا کرد (شکل ۷-۹) که در آن سیم‌پیچ هر سه فاز در داخل یک تانک روغن قرار گرفته بود. سپس برای یافتن یک پست سطحی با ظرفیت بالا اینترنت را جستجو کرد (شکل ۷-۱۰).

شکل ۷-۹- تابلوی پدمانتد حاوی ترانسفورماتور روغنی سه فاز
(عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

شکل ۷-۱۰- یک نمونه پست MV/LV سطحی
(عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

دوراهی مدل‌سازی شبکه

ران به مرحله ای از کار رسیده بود که می‌بایست برای به دست آوردن اطلاعات لازم با تیم پروژه GIS مشورت می‌کرد. اکنون فرصت مناسبی بود تا آخرین یافته‌ها و برنامه‌هایش برای مدل‌سازی شبکه توزیع در سیستم GIS را با همکاران خود مطرح کند. تا به حال، او زمان بسیار زیادی برای مطالعه و همچنین ملاقات با نفرات کلیدی شرکت صرف کرده بود تا اطمینان حاصل کند که اطلاعات مورد نیاز برای پیاده‌سازی موفق سیستم GIS را کسب کرده است.

ابتدا او باید جواب این سؤال را پیدا می‌کرد که آیا نوع فاز، یک ویژگی توصیفی برای هادی فیدر فشار متوسط است؟ پاسخ این پرسش در بسیاری از سیستم‌های GIS ای مثبت است. اما اگر دقیق‌تر نگاه کنیم، هیچ مشخصه ای نمی توان یافت که این توانایی را به افراد بدهد که فاز یک هادی را تعیین کنند. اطلاعات توصیفی مهم یک هادی باید طول عمر آن، سطح مقطع و نحوه عایق‌بندی باشد.

اگر فردی در پست فوق توزیع جای ترمینال های مربوط به فاز ۱ و ۲ را در خروجی دژنگتور فشار متوسط پست عوض کند، چه اتفاقی خواهد افتاد؟ البته این موضوع می تواند از نقطه‌نظر بهره برداری مشکلاتی را ایجاد کند اما از سوی دیگر، چنین اقدامی نوع فاز تمامی هادی‌های فیدر مربوطه را تغییر خواهد داد. بنابراین ران با خود اندیشید که نوع فاز، درواقع یک ویژگی ذاتی هادی خط نیست و تابعی از شرایط بهره برداری شبکه توزیع است.

ران بر اساس مطالعاتش دریافت که در هر لحظه، دامنه ولتاژ هر فاز نسبت به دو فاز دیگر متفاوت است. به این ترتیب اگر کارگری سعی کند کلیدی را بین دو فاز غیر همنام ببندد، به‌محض اینکه تیغه های کلید به هم نزدیک شوند، شرایط اتصال کوتاه برقرار شده و قوس شدیدی داخل کلید ایجاد می‌شود. این شرایط می‌تواند منجر به نابودی کلید و صدمات جدی برای کارگر شود. از طرف دیگر، با توجه به وجود سطوح ولتاژی مختلف در شبکه فشار متوسط، بستن کلید بین دو فاز همنام نیز باید با احتیاط انجام شود.

ران می دانست شرکت های توزیع بسیار به‌ندرت اقدام به جابه جایی فازها می کنند و به این نتیجه رسید که در نظر گرفتن فاز به‌عنوان یک ویژگی هادی های خط می تواند قابل قبول باشد. البته بلافاصله به خود یادآوری کرد که در این صورت، همه باید از نحوه تعریف این قلم اطلاعاتی مطلع باشند. درواقع، فاز هر هادی تنها به شرایط بهره برداری از شبکه وابسته است و یک ویژگی ذاتی برای هادی محسوب نمی‌شود.

ران چیزهای بیشتری نیز یاد گرفت. ازجمله او فهمید که علی‌رغم آنکه هر فاز، مدار جداگانه مربوط به خود را دارد اما بسیاری از تجهیزات شبکه به‌صورت هم‌زمان بر روی سه فاز عمل می‌کنند. برای مثال، ریکلوزر یک کلید قابل قطع زیر بار است که به‌طور خودکار جریان خطا در شبکه پایین‌دست را تشخیص می دهد و مدار را قطع می‌کند. (در این متن، شبکه پایین‌دست با حرکت در جهت جریان و دور شدن از منبع تغذیه شناخته می‌شود و شبکه بالادست با حرکت در خلاف مسیر جریان و به سمت منبع تغذیه).

پس از باز شدن کلید و چند ثانیه توقف، مجددا کلید وصل شده و مدار برق‌دار می‌شود. به دلیل مکانیسم قطع و وصل به کار رفته در این کلید به آن ریکلوزر می گویند. دژنگتور ابتدای فیدر نیز درصورتی که قابلیت وصل مجدد آن فعال شود، عملکردی مشابه ریکلوزر خواهد داشت، به این صورت که پس از قطع جریان می‌توان تنظیم کرد که ظرف چند ثانیه مجددا فیدر برق‌دار شود.

بسیاری از خطاها حالت گذرا دارند و پس از مدتی، عامل خطا خودبه‌خود از بین می‌رود. به‌عنوان مثال، افتادن شاخه درخت بر روی شبکه هوایی می‌تواند باعث نزدیک شدن فازها و درنتیجه بروز اتصالی شود. هنگامی‌که جریان خطا توسط تجهیزات حفاظتی قطع می‌شود، به احتمال زیاد شاخه درخت بر روی زمین می‌افتد و به این ترتیب عامل خطا برطرف می‌شود. سنجاب ها نیز با راه رفتن روی شبکه می توانند

باعث بروز خطا شوند. با ایجاد اتصالی بر روی شبکه، سنجاب به دلیل برق‌گرفتگی بر روی زمین می‌افتد و خطا برطرف می‌شود. بنابراین با توجه به اینکه بسیاری از خطاها به‌خصوص خطاهای ایجاد شده بر روی شبکه هوایی حالت گذرا دارند، وصل مجدد شبکه می‌تواند بسیاری از خطاها را پوشش دهد و شبکه را به شرایط عادی بهره برداری بازگرداند.

ریکلوزرها نیز به‌طور هم‌زمان بر روی سه فاز عمل می‌کنند. هر سه فاز در عمل از درون محفظه قطع ریکلوزر عبور می‌کنند. برخی کلیدهای دستی دارای ساختار جداگانه‌ای برای هر فاز هستند. اما آن‌ها نیز معمولا به‌صورت گروهی و هم‌زمان بر روی سه فاز عمل می‌کنند. به این ترتیب که مکانیسم عملکرد هر سه فاز با یکدیگر اتصال مکانیکی دارند و به کمک یک دسته، هر سه باهم باز و یا بسته می‌شوند. کلیدهای دستی با عملکرد گروهی، ریکلوزرها و کلیدهای موتوردار را بایستی به‌صورت یک عارضه تکی در سیستم GIS مدل کرد که بر روی هر سه فاز به‌صورت هم‌زمان عمل می‌کنند.

در اینجا، ران برای مدل‌سازی شبکه فشار متوسط به یک دوراهی رسید که نمی دانست کدام مسیر را باید انتخاب کند: آیا او باید سه فاز را به‌صورت جداگانه مدل می‌کرد و هر فاز را یک لایه خطی جداگانه در نظر می‌گرفت؟ یا اینکه هر سه فاز را به‌عنوان یک عارضه در نظر می‌گرفت؟ به‌خصوص اینکه در شبکه فشار متوسط، هر سه فاز متعادل هستند و کمتر به‌صورت نامتعادل و تکفاز مورد بهره برداری قرار می‌گیرند.

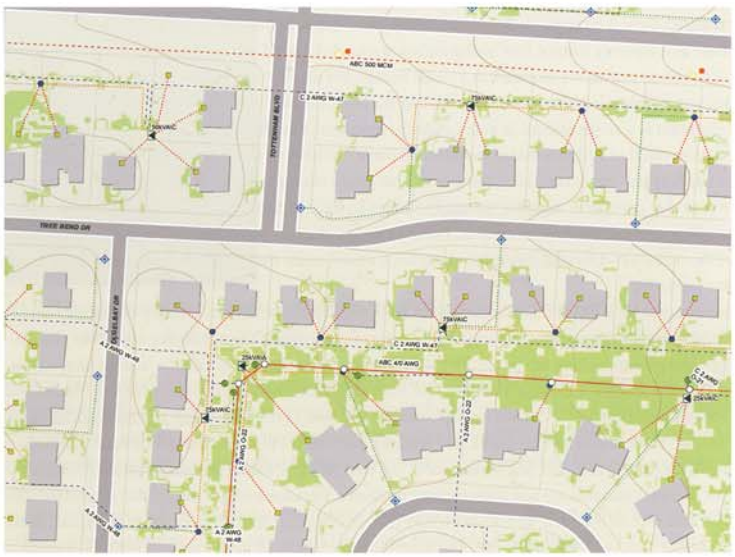
شکل ۷-۱۱- یک نمونه کلید جداساز سه فاز (عکاس: Zackary Johnson، منبع: Esri)

مسئله دیگر نحوه مدل کردن تجهیزات کلیدزنی با عملکرد گروهی بود (شکل ۷-۱۱). اگر ران می‌خواست هر فاز را به‌صورت جداگانه مدل کند، در این صورت بایستی بر روی هر فاز یک کلید جداگانه در نظر می‌گرفت. درحالی‌که در واقعیت تنها یک کلید وجود دارد. با توجه به نکات مطرح شده، ران درنهایت مباحث را به این صورت جمع‌بندی کرد: درصورتی‌که تقریبا تمام شبکه فشار متوسط از تجهیزات سه فاز تشکیل شده باشد، پاسخ ساده است. بهتر است فیدرها به‌صورت تک‌خطی مدل شده و برای هر سه فاز یک عارضه در نظر گرفته شود. ران برای اطمینان بیشتر، سیستم GIS سایر شرکت ها را مورد بررسی قرار داد و مشاهده کرد که این نحوه مدل‌سازی برای شرکت‌های خارج از امریکای شمالی به‌خوبی پاسخگو بوده است. البته همان طور که گفته شد، خارج از امریکای شمالی شبکه فشار متوسط تقریبا در تمامی موارد به‌صورت سه فاز احداث و بهره‌برداری می شود. آیا این مدل پاسخگوی نیازهای شرکت AnyTown Energy نیز خواهد بود؟

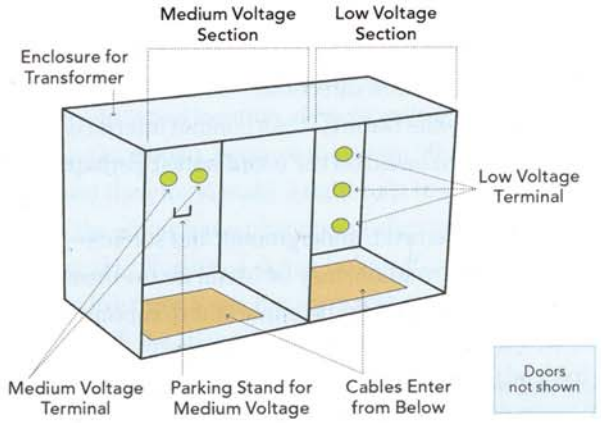
در امریکای شمالی، می توان شبکه فشار متوسط تکفاز را در بسیاری از مناطق مشاهده کرد. در این شرایط،

چنانچه بخواهیم فیدرهای فشار متوسط را به‌صورت یک عارضه تک‌خطی در سیستم GIS مدل کنیم ناچار خواهیم بود که در اقلام توصیفی هادی وضعیت فازها را مشخص کنیم. این بدان معناست که برای هر سکشن باید در اقلام توصیفی مشخص کنیم که از چند فاز و از کدام فازها تشکیل شده است. در بسیاری از مناطق ممکن است یک انشعاب دو فاز از یک شبکه اصلی سه فاز گرفته شده باشد. در این حالت باید مشخص کرد که فیدر انشعابی از چه فازهایی تشکیل شده است، مثلا فاز ۱ و ۲، فاز ۲ و ۳، و یا فاز ۱ و ۳. ران متوجه نوعی پیچیدگی و به‌هم‌ریختگی در نحوه مدل‌سازی شد. در وضعیت فعلی، علاوه بر اتصالات فیزیکی برقرار شده در سیستم GIS، باید ارتباطات مکانی از دید اقلام توصیفی نیز بررسی و تأیید شود تا درنهایت به مدل درست و واقعی از نظر الکتریکی رسید. پیچیدگی این نوع مدل‌سازی در شبکه‌های سطحی به‌مراتب بیشتر خواهد بود، زیرا در این شبکه به‌وفور از کلیدهای تک فاز استفاده شده است.

در بسیاری از شبکه های سطحی در امریکای شمالی، تنها یک یا دوفاز از شبکه منشعب شده و به سمت یک خیابان یا نقاط بار امتداد پیدا می‌کند. پست های توزیع آرایش سطحی از نوع پدمانتد هستند. در این پست‌ها بر روی باس‌بار فشار متوسط سه ورودی/خروجی تعبیه شده است. اولین نقطه اتصال همان ورودی پست است که به باس بار فشار متوسط متصل شده و تغذیه ترانسفورماتور را بر عهده دارد. دومین نقطه، اتصال خروجی پست است که به باس بار فشار متوسط متصل شده و ادامه شبکه و سایر پست‌های زیردست را تغذیه می‌کند. سومین نقطه، به باس بار فشار متوسط متصل نیست و تنها به عنوان مکانی برای قرار دادن سرکابل مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر دو نقطه اتصال اول پر شده باشند، جریان در باس بار برقرار خواهد شد. درصورتی‌که سرکابل به نقطه سوم متصل شود، یک نقطه شکست یا رینگ باز در انشعاب تکفاز ایجاد خواهد شد. به‌طور معمول چنین انشعاباتی به‌صورت دو فاز احداث می شوند و نقطه سوم برای جداسازی دو فاز و ایجاد یک نقطه مانور دستی به کار می رود. از دید فنی، استفاده از نقطه سوم یک اتصال باز قابل مشاهده را فراهم می‌کند. ران حتی یک نقشه GIS (شکل ۷-۱۲) از این آرایش را به همراه دیاگرام داخلی یک نمونه پست پدمانتد (شکل ۷-۱۳) پیدا کرد.



شکل ۷-۱۲ یک نمونه نقشه GIS مربوط به شبکه فشار متوسط سطحی تک فاز
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)



شکل ۷-۱۳- دیاگرام داخلی یک نمونه پست پدمانتد تک فاز (منبع: Esri)

ران متوجه شد که راه حل جامع و یکنواختی برای مدل سازی شبکه فشار متوسط در سیستم GIS وجود ندارد. اگر یک شرکت توزیع تصمیم بگیرد هر فاز را به‌صورت جداگانه مدل کند، در آن صورت می‌تواند جزئیات مربوط به تجهیزات موجود بر روی هر فاز را نمایش دهد. اما چنانچه همه فازها به‌صورت یک عارضه مدل شوند، به‌ناچار برخی اطلاعات مورد نیاز به اقلام توصیفی انتقال پیدا خواهد کرد. البته نمایش و فهم شیوه مدل‌سازی تک‌خطی برای کاربران ساده‌تر است. با توجه به موارد مطرح شده می‌توان گفت، هر دو شیوه مدل سازی مزایا و معایب خاص خود را دارند.

ران متوجه شد که سکشن‌ها معمولا به‌صورت یک عارضه تکی در سیستم GIS مدل می‌شوند. تا زمانی که اطلاعات مربوط به هادی تغییر نکند و یا به نقطه انشعاب نرسیده باشیم، سکشن ادامه پیدا می‌کند. بنابراین اگر تعداد فاز هادی تغییر کند و یا انشعابی از خط گرفته شود باید یک عارضه خطی جدید در سیستم GIS ترسیم شود. از آنجا که هادی‌های تشکیل‌دهنده سکشن‌های فیدر شامل نقاط شکست و یا انشعاب می شوند (برای مثال، پست توزیع منشعب شده از شبکه فشار متوسط)، می‌توان در مدل‌سازی انجام شده از این نقاط به‌عنوان ابتدا و انتهای سکشن استفاده کرد.

بنابراین یک حالت مدل‌سازی سکشن در سیستم GIS آن است که ابتدا و انتهای یک عارضه خطی، شامل عوارض نقطه‌ای، نقاط انشعاب و یا شکست باشد. برخی از شرکت های توزیع از این روش برای مدل سازی خطوط استفاده می‌کنند. حالت دیگر آن است که تا زمانی که اطلاعات توصیفی هادی‌های سکشن تغییری پیدا نکرده است، یک عارضه خطی می‌تواند شامل نقاط شکست نیز باشد. در حالت اول، خطوط فشار متوسط روی تک‌تک گره‌ها شکسته می‌شود و هر تکه خط شامل دو نقطه ابتدا و انتها است. در این حالت، عارضه سکشن به‌صورت یک خط ساده ترسیم می‌شود. در حالت دوم، عارضه سکشن به‌صورت یک خط مرکب[1] (شامل نقاط شکست) ترسیم می‌شود و طول آن ممکن است بسیار طولانی باشد. درنهایت با توجه به‌سادگی و یکنواختی مدل در حالت اول و کاربرد آسان‌تر در حالت دوم، نحوه ترسیم عارضه سکشن در سیستم GIS تعیین می‌شود.

بسیاری از شرکت های توزیع برای مدل‌سازی عارضه سکشن از حالت دوم استفاده می‌کنند. این روش باعث کاهش تعداد رکوردها در پایگاه داده و درنتیجه کاهش حجم آن می شود. البته این شیوه نیز مشکلات خاص مربوط به خود را دارد. سکشن‌های ترسیم شده به‌صورت خطوط مرکب ممکن است

۱- polyline

بسیار طولانی بوده و چندین مایل امتداد داشته باشند. زمانی که یک کاربر در حالت ویرایش اطلاعات یک سکشن در یک نقطه خاص است کاربر دیگری که بخواهد اطلاعات این سکشن را در مایل‌ها دورتر ویرایش کند، با خطای مغایرت (conflict) نرم‌افزار GIS مواجه خواهد شد. از طرف دیگر در روش اول، زمانی که کاربر بخواهد یک قلم توصیفی عارضه سکشن را بر روی نقشه برچسب بزند، از آنجا که هر تکه خط به‌صورت یک عارضه جداگانه ترسیم شده است، نقشه بسیار شلوغ و ناخوانا خواهد شد.

ران پس از بررسی مدل داده استفاده شده در سایر شرکت‌های توزیع متوجه شد که در برخی از آن‌ها جهت جریان نیز به‌عنوان یک قلم توصیفی تعریف شده است. اما جهت جریان یک مشخصه ذاتی تجهیزات الکتریکی نیست و می تواند با توجه به شرایط بهره برداری و وضعیت کلیدها تغییر کند. همان‌طور که فاز تغذیه را نیز نمی‌توان یک مشخصه ذاتی تجهیزات در نظر گرفت (به یادداشت‌های ران در خصوص جهت جریان در شبکه های توزیع مراجعه کنید).

درصورتی‌که سکشن به‌صورت خط مرکب در سیستم GIS مدل‌سازی شود، می‌تواند شامل چند نقطه شکست باشد. طول مکانی این نوع خط در سیستم GIS بر اساس مختصات نقاط ابتدا و انتها و همچنین نقاط شکست به دست می‌آید. می‌توان برای خطوط، قلم توصیفی طول واقعی را نیز در نظر گرفت تا از این طریق، تغییرات طول هادی ناشی از تغییر ارتفاع نیز به نحوی در سیستم GIS در نظر گرفته شود.

می‌توان برای کلاس عارضه هادی، زیرمجموعه‌های هوایی، زمینی و سطحی را در نظر گرفت. در خصوص اطلاعات توصیفی، نحوه قرار گرفتن کابل‌ها در زیر خاک (دفن مستقیم در زیر خاک و یا داخل کانال و لوله) می‌تواند اهمیت داشته باشد. برای کابل‌هایی که به‌صورت مستقیم در زیر خاک دفن شده‌اند، دانستن عمق دفن کابل مفید است. ترتیب چرخش فازها دیگر قلم توصیفی با اهمیت است که برای شبکه هوایی کاربرد دارد.

یادداشت‌های آقای ران

جهت جریان در شبکه‌های توزیع

جهت جریان را نمی‌توان به‌عنوان یک مشخصه ذاتی برای تجهیزات الکتریکی در نظر گرفت. البته همان‌طور که سرعت را می‌توان به‌عنوان یک مشخصه توصیفی متغیر به اتومبیل نسبت داد، دامنه جریان عبوری از خطوط را نیز می‌توان به‌عنوان اطلاعات دینامیکی عارضه در نظر گرفت. در بسیاری از شبکه‌های توزیع، به‌خصوص در شبکه های شعاعی، جهت جریان کاملا مشخص است. در شبکه توزیع شعاعی، جریان از منبع تغذیه یا همان ترمینال خروجی دژنکتور پست فوق توزیع به فیدرها تزریق شده و به سمت مشترکین ادامه پیدا می‌کند. بنابراین جهت جریان در تمامی فیدرها و سکشن‌ها مشخص است. این اطلاعات تا زمانی که آرایش شبکه تغییر نکند به قوت خود باقی است. هنگامی که خطایی در شبکه رخ می‌دهد، سیستم حفاظت بالادست عمل کرده و جریان سکشن‌های زیردست کلید قطع می‌شود. گروه عملیات پس از یافتن سکشنی که خطا در آن اتفاق افتاده است، آن را از شبکه جدا نموده و با انجام مانور و تغییر آرایش فیدرها، سکشن‌های بدون برق را از مسیرهای مجاور برق‌دار می‌کند.

در این حالت، جهت جریان در برخی از سکشن های فیدر برعکس حالت طبیعی و نرمال آن خواهد بود. البته ممکن است به نظر بیاید که این اتفاق به‌ندرت و تنها در شرایط بروز خطا اتفاق خواهد افتاد. اما حقیقت آن است که امروزه مشترکین می توانند پنل های خورشیدی و سایر انواع منابع تولید پراکنده را به شبکه توزیع متصل کنند. شرکت های توزیع و بخش خصوصی در حال اضافه کردن این تولیدات پراکنده به تمامی نقاط شبکه هستند. در چنین شرایطی، سیستم GIS نمی تواند (و نباید) جهت جریان را به‌عنوان یک مشخصه ثابت و استاتیک تجهیزات در نظر بگیرد. به عبارت دقیق تر، جهت جریان به اندازه و زاویه ولتاژ موجود در دو انتهای خطوط وابسته است. با این تفاسیر، جهت جریان را نمی توان یک مشخصه توصیفی برای تجهیزات انتقال توان در نظر گرفت.

در سیستم های متعادل سه فاز، مدل فیزیکی و تحلیلی شبکه تقریباً یکسان است. اما در صورت نیاز به تحلیل شبکه نامتعادل، مانند شبکه تکفاز و یا بارهای به‌شدت نامتعادل، دیگر مدل فیزیکی پاسخگو نخواهد بود. تحلیلگران شبکه قدرت، ابزارهای متعددی برای انجام محاسبات و مدیریت شبکه‌های نامتعادل تهیه کرده اند.

استفاده از روش مؤلفه‌های متقارن، معمول ترین روش برای حل مسائل مربوط به شبکه نامتعادل است. در این روش، شبکه سه فاز نامتعادل به‌صورت سه شبکه جداگانه متعادل و مستقل از هم مدل می‌شود. هر یک از این مدارهای معادل به‌صورت جداگانه تحلیل و بررسی می‌شود. درنهایت، پاسخ این سه شبکه مجزا به کمک اصل جمع آثار و محاسبات فازوری با یکدیگر ترکیب شده و پاسخ کامل به دست می‌آید. این سه شبکه مجزا به‌اصطلاح توالی مثبت، توالی منفی و توالی صفر نامیده می‌شوند. شبکه توالی مثبت و شبکه سه فاز متعادل کاملا مشابه هستند. شبکه توالی منفی نیز مشابه شبکه توالی مثبت است اما ترتیب فازها قرینه است. شبکه توالی صفر کاملا متفاوت بوده و وابستگی شدید به نحوه اتصال سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتورهای سه فاز و سیستم زمین آن‌ها دارد.

به اعتقاد ران، باید شبکه فشار متوسط به نحوی در سیستم GIS مدل شود تا بتواند بستر لازم جهت محاسبات مدارهای معادل را تأمین کند. بنابراین او از مهندس قدرت حاضر در تیم پروژه GIS درخواست کرد که اطلاعات توصیفی و مکانی مورد نیاز جهت تحلیل شبکه با استفاده از روش مؤلفه‌های متقارن را تهیه کند. برخی از تجهیزات شبکه فشار متوسط مانند راکتورهای زمین تنها قابلیت مدل شدن در شبکه توالی صفر را دارند و اطلاع از مشخصات آن‌ها جهت محاسبه خطای اتصال زمین ضروری است. به اعتقاد ران لازم است تجهیزات تأثیرگذار بر مدار توالی صفر شناسایی شوند، هرچند که ممکن است این تجهیزات در سیستم GIS مستقیما به شبکه متصل نشوند.

در خصوص مدل‌سازی فازهای هر مدار شبکه فشار متوسط با یک عارضه خطی، یک مشکل دیگر نیز وجود دارد. همه شرکت‌های توزیع برای سال های متمادی شبکه فشار متوسط را به‌صورت دیاگرام تک‌خطی مدل کرده اند. در آن زمان هیچ دلیل منطقی برای ترسیم چهار خط موازی برای نمایش سه فاز و سیستم نول در نقشه ها وجود نداشت. از دید مدل سازی فیدرها، این شیوه به‌خوبی پاسخگوست اما از دید فیزیکی کمبودهایی وجود دارد. اولین اشکال درباره خطوط هوایی است. در این خطوط، سه فاز از لحاظ فیزیکی از یکدیگر جدا هستند. به همین دلیل، امکان وجود تفاوت‌هایی در تجهیزات موجود بر روی هر فاز وجود دارد. برای مثال، اگر هادی یکی از فازهای شبکه تعویض شود و فازهای دیگر بدون تغییر باقی بماند، در آن صورت دیگر عمر هادی سکشن نامشخص خواهد بود. البته چنین مواردی را می‌توان با اضافه کردن فیلدهای توصیفی به عارضه مدیریت کرد، هرچند که به سادگی و یکنواختی مدل لطمه می‌زند. اگر یکی از فازهای شبکه هوایی پاره شود و گروه تعمیرات از بوش اسپلایس جهت تعمیر خط استفاده کند، در آن صورت مکان عارضه جدید مهم خواهد بود. در چنین حالتی یک نقطه جدید و یا به عبارتی یک عارضه جدید، تنها برای یکی از فازها ایجاد شده است. اگر هر فاز به‌صورت جداگانه مدل شود، اضافه کردن این نقاط بر روی هر فاز به‌سادگی انجام خواهد شد.

مدل‌سازی شبکه سه فاز در سیستم GIS چالش‌های مخصوص به خود را دارد. اگر هر فاز به‌صورت عارضه جداگانه مدل‌سازی شود، نقشه بسیار شلوغ خواهد شد و از لحاظ کارتوگرافی، درک نقشه برای کاربر دشوار می‌شود. تصور کنید از روی یک پایه چند فیدر هوایی عبور کرده باشد، در این صورت برای تک تک فازها باید یک خط جداگانه بر روی پایه ترسیم کرد. از طرف دیگر، استفاده از یک عارضه برای نمایش سه فاز و نول به‌راحتی قابل‌فهم بوده و منطبق با دانسته ها و آموخته های فعلی پرسنل شرکت توزیع است. استفاده از این شیوه در مقایسه با روش اول دقت پایین تری دارد و ممکن است مشکلات مدل سازی مانند نیاز به اضافه کردن فیلدهای

توصیفی جهت نمایش جزئیات مورد نیاز را داشته باشد.
یکی از چالش های مهم شرکت های توزیع در بهره برداری از شبکه، حفظ ولتاژ تغذیه مشترکین در محدوده استاندارد تعیین شده از سوی سازمان های نظارتی (محدوده ٪۵ ولتاژ نامی سیستم) است. اگر ولتاژ از این محدوده خارج شود، می تواند به تجهیزات مشترکین و شبکه آسیب وارد کند. برای تنظیم ولتاژ راه‌های مختلفی وجود دارد. تپ چنجر ترانسفورماتور یکی از ابزارهای مورد استفاده توسط شرکت‌های توزیع برای مدیریت ولتاژ شبکه است. در ساختمان ترانسفورماتور، دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه بر روی هسته آهنی بسته شده‌اند. تعداد دور این سیم پیچ ها تعیین کننده نسبت ولتاژ طرف اولیه به ثانویه است. بنابراین اگر سیم‌پیچ اولیه ۵۰ دور و سیم‌پیچ ثانویه ۵ دور داشته باشد، نسبت تعداد دور اولیه به ثانویه ۱۰:۱ خواهد بود. در این حالت اگر ولتاژ سمت اولیه ۵۰KV باشد، ولتاژ خروجی سمت ثانویه ۵KV خواهد بود. این رابطه ساده ریاضی باعث رضایت خاطر و لبخند ران شد. تپ چنجر، بر اساس اندازه ولتاژ مورد نیاز خروجی، تعداد دور یکی از سیم‌پیچ‌ها را به میزان اندکی تغییر می دهد. به‌عنوان مثال، در حالتی که تپ چنجر در سمت اولیه قرار دارد و ولتاژ خروجی کمتر از حد مجاز است، بایستی تعداد مناسبی از دورهای سیم‌پیچ اولیه را از مدار خارج کرد. در این حالت، چنانچه ولتاژ اولیه ۵۰KV باشد، با از مدار خارج کردن یک دور سیم‌پیچ اولیه، در سمت ثانویه ولتاژ به ۵.۱KV افزایش پیدا خواهد کرد.
تجهیز دیگر که برای تنظیم ولتاژ در وسط فیدرهای اکثرا طولانی استفاده می‌شود، اتوبوستر نام دارد. اتوبوستر یک ترانسفورماتور با نسبت دورهای یکسان در سیم پیچ های اولیه و ثانویه است. این تجهیز از تپ چنجرهای خودکار بهره می برد. درصورتی‌که ولتاژ فیدر در میانه خط خارج از محدوده مجاز باشد، تپ چنجر با خارج کردن و یا به مدار آوردن دورهای سیم پیچ اقدام به تنظیم ولتاژ خروجی می‌کند.

مدل داده شبکه فشار متوسط

در کل و با وجود همه پیچیدگی‌ها، ران اعتقاد داشت مدل‌سازی شبکه فشار متوسط در سیستم GIS کار دشواری نیست، چون این شبکه تنها شامل خطوط هوایی و زمینی به همراه تعداد اندکی از تجهیزات مانند بانک های خازنی، برق‌گیرها، کلیدها و ترانسفورماتورها می‌شود. درنهایت، هر عارضه یک رکورد از جداول پایگاه داده را به خود اختصاص خواهد داد. اما فعلا ران قصد داشت تا تنها فهرستی از تجهیزات مورد نیاز در مدل داده را آماده کند. سپس او می‌توانست اطلاعات توصیفی و غیرمکانی مرتبط با هر تجهیز را در جداول مربوطه در پایگاه داده ذخیره کند. آنچه اکنون ران بدان احتیاج داشت، چند جدول ساده و استاندارد برای طبقه‌بندی توصیفات هر عارضه بود تا از این طریق بتواند به‌راحتی اطلاعات خود را با سایر افراد تیم به اشتراک بگذارد و نظرات آن‌ها را جویا شود.
او در دفترچه یادداشتش نوشت که در این مرحله از مدل سازی تجهیزات مخابراتی انتقال دهنده اطلاعات حس‌گرها و لوازم اندازه گیری صرف نظر می‌کند. هرچند که لازم است مدل‌سازی این تجهیزات در پروژه های آتی مورد توجه قرار گیرد.

عوارض شبکه فشار متوسط

ران عوارض شبکه فشار متوسط را برای مدل سازی در سیستم GIS به شش دسته تقسیم کرد:
- **عوارض کلیدزنی:** انواع کلیدها، کات‌اوت فیوز، دژنکتور و سایر تجهیزاتی که به‌صورت دستی و یا اتوماسیون جریان برق را قطع می‌کنند.
- **هادی‌ها:** خطوط هوایی و زمینی فشار متوسط که امکان قطع جریان را ندارند و وظیفه انتقال توان از یک نقطه به نقطه دیگر را بر عهده دارند.

• **ترانسفورماتورهای توزیع:** تمامی ترانسفورماتورها و اتوبوسترها که توان را از یک سطح ولتاژ به سطح ولتاژ دیگر تبدیل می‌کنند.
• **تجهیزات موازی:** ترانسفورماتورهای زمین، راکتورهای موازی، بانک‌های خازنی، برق‌گیرها و سایر تجهیزاتی که بین شبکه و زمین قرار می‌گیرند. اصطلاح موازی و یا شنت، به معنی اتصال از یک فاز به زمین است.
• **لوازم اندازه‌گیری:** ترانسفورماتورهای ولتاژ و جریان که وظیفه اندازه‌گیری پارامترهای شبکه را بر عهده دارند.
• **نقاط پایش شبکه:** نقاطی از شبکه که تجهیزات اندازه‌گیری به آن متصل شده اند و نمونه‌برداری از پارامترهای شبکه در آن‌ها انجام می گیرد. این اطلاعات در سیستم SCADA مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جداول مرتبط با عوارض و توصیفات آن‌ها

ران جدولی شامل بسیاری از مشخصات مشترک تجهیزات شبکه فشار متوسط و مکان ذخیره و نگهداری این اطلاعات آماده کرد (جدول ۷-۱). با مشاهده این جداول، ران نتیجه گرفت که بسیاری از مشخصات شبکه فشار متوسط با آنچه او در مورد پست های فوق توزیع و یا شبکه فشار ضعیف می‌دانست، مشترک هستند.

جدول ۷-۱- اطلاعات توصیفی مورد استفاده در GIS

دسته‌بندی داده	اطلاعات توصیفی	محل نگهداری داده	توضیحات
پلاک مشخصات نامی	• ولتاژ نامی • جریان نامی • کارخانه سازنده • سطح عایق‌بندی • حجم روغن (در صورت وجود)	زمانی که برای اولین بار تجهیز به شرکت تحویل داده می‌شود اطلاعات آن در سیستم مدیریت کالا و یا سیستم انبارداری ثبت می‌شود.	مشخصات حک‌شده روی پلاک تجهیزات. این مشخصات تا زمانی که تجهیز تعویض نشود، تغییر نمی‌کند.
تحلیل‌های مداری	• امپدانس • مقادیر نامی اتصال کوتاه	SCADA و یا در برخی سیستم‌های DMS نوین. معمولاً نتایج تحلیل در نرم‌افزارهای محاسباتی نگهداری می‌شوند و کمتر به‌صورت مستقیم در GIS مورد استفاده قرار می‌گیرند.	این اطلاعات در محاسبات الکتریکی مانند پخش بار و اتصال کوتاه به کار می‌روند. محاسبات الکتریکی در این سطح بیشتر توسط الگوریتم‌های تکرارشونده انجام می‌گیرند.
اطلاعات دینامیک	مقدار واقعی و در لحظه: • ولتاژ • جریان • توان اکتیو و راکتیو • باز یا بسته بودن کلیدها • برق‌دار و یا بی‌برق بودن	SCADA یا DMS. این توصیفات کاربرد زیادی در GIS دارند.	این اطلاعات از طریق سیستم‌های مانیتورینگ که به اطلاعات ارسال شده توسط تجهیزات اندازه‌گیری دسترسی دارند، قابل دریافت و مشاهده است.
تعمیرات و نگهداری	• تاریخ آخرین بازدید تجهیز • شرایط تجهیز در آخرین بازدید	اطلاعات مربوط به بازدید در سیستم تعمیرات و یا سیستم مدیریت پروژه نگهداری می‌شود. GIS از این اطلاعات برای ارزیابی ریسک استفاده می‌کند.	با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS می‌توان اطلاعات بازدید تجهیزات را در محل ثبت کرد.
اطلاعات دوره عمر تجهیزات	• عمر تجهیز • تاریخ سرویس تجهیز • پیش‌بینی نرخ خرابی	سیستم مدیریت اموال و ارزیابی دارایی. جهت برآورد نرخ خرابی تجهیزات کاربرد دارد	اطلاعاتی در مورد بازه کاری و عمر مفید تجهیز
مالی	• هزینه خرید تجهیز • هزینه نصب تجهیز • هزینه نگهداری تجهیز • هزینه تعویض تجهیز • اطلاعات مالیاتی دارایی‌ها	این اطلاعات در سیستم حسابداری تأسیسات مدیریت می‌شود. می‌توان از این داده‌ها در GIS برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها استفاده کرد.	اطلاعات مالی مثل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات، کد حسابداری تجهیزات و تجهیزات وابسته به یکدیگر بیشتر در زمان تهیه طرح مبتنی بر GIS کاربرد دارد.

ران اعتقاد داشت که نباید تمامی اطلاعات را در سیستم GIS نگهداری و ذخیره کرد. درواقع، اگر اطلاعات شبکه فشار متوسط در سایر سیستم‌های شرکت توزیع مانند مدیریت دارایی و یا مدیریت دستورکار ثبت می شود، سیستم GIS تنها باید از این سیستم‌ها سرویس بگیرد. سپس او جدولی از تجهیزات تهیه کرد که در آن نحوه پیاده‌سازی شبکه فشار متوسط در مدل داده GIS شرح داده شده بود (جدول ۷-۲).

جدول۷-۲- مدل داده شبکه فشار متوسط

نام عارضه	کلاس عارضه	نحوه نمایش در GIS	عملکرد تجهیز
خط هوایی	هادی	خط ساده - خط مرکب	سیم انتقال‌دهنده توان الکتریکی
کابل زمینی	هادی	خط ساده - خط مرکب	کابل انتقال‌دهنده توان الکتریکی
جداکننده	تجهیزات کلیدزنی	خط یا نقطه	جداسازی یک قسمت شبکه از قسمت‌های دیگر. جداکننده یک سکشن از سکشن‌های مجاور
ریکلوزر	تجهیزات کلیدزنی	خط یا نقطه	کلیدی که ابتدا جریان مدار را قطع می‌کند و پس از مدت مشخصی دوباره عمل وصل را انجام می‌دهد تا مشخص شود خطا گذرا بوده یا خیر. پس از تعداد محدودی وصل مجدد ناموفق، در وضعیت باز قفل می‌شود.
کلید وسط خط	تجهیزات کلیدزنی	خط یا نقطه	مشابه جداکننده است.
کلید مانوری	تجهیزات کلیدزنی	خط یا نقطه	کلیدی که در حالت عادی باز است و نقطه مانوری بین دو فیدر را فراهم می‌کند.
کات اوت فیوز	تجهیزات کلیدزنی	خط یا نقطه	یک کلید دستی که به کمک فیوز محافظت می‌شود. با سوختن فیوز، تیغه اتصال کلید به شبکه باز می‌شود.
فیوز	تجهیزات کلیدزنی	خط یا نقطه	تجهیزی حفاظتی که در شرایط اتصال کوتاه و یا اضافه بار شدید ذوب شده و ناحیه خطا را ایزوله می‌کند.
نقاط اتصال SCADA	نقاط مانیتورینگ	نقطه	نقاطی از شبکه که اندازه‌گیری‌ها در آن‌ها انجام می‌شود. مقادیر اندازه‌گیری شده به اتاق کنترل ارسال می‌شود.
ترانسفورماتور توزیع MV/LV	ترانسفورماتور	نقطه یا خط	تبدیل توان از سطح ولتاژ فشار متوسط به سطح ولتاژ فشار ضعیف
نول	هادی	خط	سیمی که در شرایط عدم تعادل جریان فازها برقدار شده و معمولاً زمین می‌شود.
تجهیزات اتصال زمین (راکتور، مقاومت)	هادی	خط	تجهیزی است (معمولاً مقاومت یا راکتور) که بین نقطه نول ترانسفورماتور و شبکه زمین پست نصب می‌شود و جریان خطای اتصال زمین را محدود می‌کند. به این ترتیب یک اتصال زمین مؤثر ایجاد می‌شود.
ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری ولتاژ و جریان	ترانسفورماتور اندازه‌گیری	نقطه	جریان و ولتاژ فشار متوسط را به مقادیر قابل اندازه‌گیری برای تجهیزات کنترلی و حفاظتی تبدیل می‌کند.
ترانسفورماتور زمین	تجهیزات شنت	نقطه	به منظور ایجاد نقطه زمین استفاده می‌شود.
بانک‌های خازنی	تجهیزات شنت	نقطه	تعدادی خازن که در کنار هم قرار داده شده‌اند. خازن برای تأمین توان راکتیو مصرفی بارها و بهبود ضریب قدرت به کار می‌رود. معمولاً از این تجهیزات برای کنترل ولتاژ استفاده می‌شود.
برقگیر	تجهیزات شنت	نقطه	تجهیزی که بین هادی‌های شبکه فشار متوسط و زمین قرار گرفته است. به نحوی طراحی شده که در برابر ولتاژ نامی سیستم به‌صورت مدار باز عمل کند و در برابر اضافه ولتاژ شدید به‌صورت اتصال کوتاه. قدرت اتصال کوتاه قابل تحمل توسط این تجهیز بر اساس میزان شدت صاعقه در یک منطقه و همچنین نوع سیستم زمین انتخاب می‌شود.
اتوبوستر	ترانسفورماتور	نقطه یا خط	ترانسفورماتوری که برای تغییرات کوچک در ولتاژ خط و بهبود پروفیل ولتاژ طراحی شده است.
ترانسفورماتور کاهنده MV/MV	ترانسفورماتور	نقطه یا خط	در شبکه‌های قدیمی برای تبدیل یک سطح ولتاژ فشار متوسط به سطح ولتاژ پایین‌تر فشار متوسط استفاده می‌شود. ساختار آن مشابه پست‌های فوق توزیع است.
پست‌های قدیمی			پست‌های فوق توزیع قدیمی که اکنون بخشی از شبکه فشار متوسط هستند.

مشکل عدم به هنگام رسانی داده‌ها

سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت AnyTown Energy، بیشتر شامل نقشه‌های رقومی شده و بسیار قدیمی از فیدرها بود که قدمت برخی از آن‌ها به زمان آغاز به کار شرکت برمی‌گشت. در بهترین حالت

این سیستم تنها به‌عنوان نقشه راه‌ها و جاده های محدوده شرکت مورد استفاده قرار می گرفت و کارکنان برای آنکه کلیتی از موقعیت مکانی تجهیزات شبکه داشته باشند به آن رجوع می‌کردند. چنین سیستمی نمی توانست به‌عنوان یک ابزار کارگشا و استراتژیک برای حل سریع مشکلات شرکت به کار گرفته شود. ران به خاطر آورد که پرسنل مرکز دیسپاچینگ، در روز حادثه، نقشه‌های کاغذی را بر روی میز کنفرانس کنار یکدیگر قرار می‌دادند تا شاید راه‌حلی برای رفع مشکلات پیدا کنند. دیدن چنین منظره‌ای به‌هیچ‌وجه برای او خوشایند نبود.

علاوه بر این، ران متوجه شد که مهندسین واحدهای طراحی و برنامه‌ریزی شرکت برای انجام هر گونه تحلیل مداری مانند پخش بار یا محاسبات اتصال کوتاه، بایستی به صورت دستی اطلاعات فیدرها را در نرم افزار محاسباتی وارد کنند. ران می دانست که برنامه پخش بار یک ابزار پیچیده جهت یافتن جریان و ولتاژ تمامی نقاط شبکه با توجه به الگوی بار مشترکین است. به‌طور مشابه، برنامه محاسبات اتصال کوتاه نیز وظیفه مشخص کردن جریان خطوط در شرایط وقوع خطاهای مختلف ازجمله خطای اتصال زمین را بر عهده دارد. مشکل اساسی عدم هم خوانی داده‌های موجود در سیستم نقشه‌برداری و اطلاعات تجهیزات شبکه در نرم افزارهای محاسباتی پخش بار و اتصال کوتاه بود، درحالی‌که هر دو سیستم شبکه توزیع را مدل می کردند. تنها راهی که کارشناسان دفتر مهندسی می توانستند از تغییرات جدید اطلاعات شبکه باخبر شوند، سؤال کردن از فرانک و همکارانش در مورد آخرین ویرایش نقشه‌های شرکت بود. به این ترتیب، هیچ تضمینی وجود نداشت که داده‌های مورد استفاده در تحلیل‌های مهندسی، بر اساس آخرین وضعیت واقعی اطلاعات شرکت باشد.

ران در آن روز بحرانی، سؤالی از کارشناسان مرکز دیسپاچینگ پرسید که پاسخ آن را پیشاپیش می‌توانست حدس بزند: "شما اطلاعات مورد نیاز برای سیستم مدیریت خاموشی را از چه منبعی دریافت می‌کنید؟" آن‌ها به او گفتند که اطلاعات اولیه و پایه از سیستم نقشه‌برداری شرکت دریافت شده است. به دلیل مدل نشدن دقیق اتصالات الکتریکی و نامشخص بودن فازهای شبکه در نقشه‌های شرکت، پرسنل دیسپاچینگ تنها می‌توانستند از سیستم مدیریت خاموشی برای مشاهده مکان خطا استفاده کنند و این امکان را نداشتند که مکان‌هایی که احتمال وقوع خاموشی بیشتر است را شناسایی کنند. ران سؤال آخر را با احتیاط بیشتری پرسید: "آخرین باری که اطلاعات سیستم مدیریت خاموشی بر اساس سیستم نقشه‌برداری شرکت به‌صورت مکانیزه به‌روزرسانی شده و داده‌های این دو سیستم همگام‌سازی[۱] شده‌اند کی بوده است؟". سرپرست دیسپاچینگ پس از یک مکث طولانی پاسخ داد: "اطلاعات این سیستم‌ها دیگر هیچ‌گاه همگام‌سازی نشده‌اند."

۱- synchronization

فصل هشتم

شبکه فشار ضعیف، تحویل دهنده انرژی الکتریسیته

Modeling Electric Distribution with GIS

شبکه فشار ضعیف، تحویل‌دهنده انرژی الکتریسیته

قبل از استخدام ران و بر اساس توصیه‌های شرکت مشاور، مدیران واحد فاوا و برق شرکتAnyTown Energy چشم‌انداز کلی پروژه GIS را تعیین کرده بودند. هردوی آن‌ها می‌دانستند که دیگر سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت جوابگوی نیازهای سازمان نیست و لازم است که هر چه سریع‌تر با سیستم پیشرفته GIS جایگزین شود. آن‌ها در آخرین جلسه استخدامی برای ران توضیح دادند که برای پیاده‌سازی پروژه GIS دو فاز در نظر گرفته‌اند. در فاز اول، زیرساخت لازم شامل پایگاه داده، سخت‌افزار، سرور و سایر منابع کامپیوتری مورد نیاز تأمین و در ادامه، برنامه‌های نرم‌افزاری موجود در محیط جدید تولید خواهد شد. پس از تکمیل فاز اول، انتقال و تبدیل اطلاعات به سیستم GIS در فاز دوم انجام خواهد شد.

برنامه‌های نرم‌افزاری سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت به یکسری ابزارهای ویرایش اطلاعات و تعدادی ابزار تخصصی کار با نقشه محدود می‌شد. همچنین اطلاعات مکانی نقشه‌های شرکت از طریق یک واسط کاربری در اختیار سیستم مدیریت خاموشی (هرچند بعدها ران متوجه شد که هیچ‌وقت ارتباط واقعی بین نقشه‌های موجود شرکت و سیستم مدیریت خاموشی برقرار نشده است) و سیستم حسابداری تأسیسات قرار می‌گرفت. تنها برنامه جدیدی که برای پیاده‌سازی در سیستم GIS پیش‌بینی شده بود، مکانیزه کردن فرآیند گردش کار پرونده‌ها در سیستم مدیریت دستورکار بود. تهیه این برنامه، یکی از توصیه‌های کلیدی شرکت مشاور بود. فرآیند تهیه دستورکار بر اساس نقشه‌های موجود در شرکت AnyTown Energy بسیار زمان‌گیر و کاملا به‌صورت دستی بود و حجم زیادی کاغذ مصرف می‌شد. با مکانیزه کردن فرآیند تهیه دستورکار و ترسیم طرح بر بستر GIS، علاوه بر روان‌سازی گردش‌کار پرونده‌ها، به میزان قابل‌توجهی در مصرف کاغذ صرفه‌جویی خواهد شد.

ران مأموریت داشت که بر اساس چشم‌انداز تعریف شده توسط مدیران شرکت، پیاده‌سازی سیستم GIS را دنبال کند. او بسیار خوش‌بین بود که با تکیه بر تجارب قبلی و ایده‌های خوبی که در خصوص شبکه توزیع پیدا کرده بود، بتواند پروژه را با موفقیت به سرانجام رساند. اما هر چه اشراف او به وضعیت جاری شرکت بیشتر می‌شد، تصویر متفاوت‌تری از آینده پروژه در برابرش شکل می‌گرفت. او خیلی زود فهمید که نقشه‌های شرکت علاوه بر داشتن مغایرت‌های فراوان، ناقص نیز هستند. موضوعی که به‌احتمال زیاد مدیران شرکت اطلاعات کافی نسبت به آن ندارند. به‌عنوان مثال، پست‌های فوق توزیع که حلقه ارتباطی بین سیستم انتقال و سیستم توزیع برق هستند، اساسا در نقشه‌های دیجیتالی شرکت وجود ندارند.

بنابراین او ناچار بود که اطلاعات مکانی و توصیفی پست‌های فوق توزیع را با جستجو بین فایل‌های قدیمی طراحی، نقشه‌های کاغذی و یادداشت‌های دست‌نویس شده در حاشیه نقشه‌ها پیدا کند و پس از مدل‌سازی پست فوق توزیع در سیستم GIS، آن‌ها را به سیستم جدید انتقال دهد. درست است که شرایط خوب نبود ولی به نظر می‌رسید بتوان آن را مدیریت و اصلاح کرد. ران امیدوار بود که حلقه مفقوده دیگری در اطلاعات نقشه‌های شرکت وجود نداشته باشد. او هنوز احساس خوبی داشت و فکر می‌کرد که علی‌رغم همه مشکلات، بتواند پروژه را در بازه زمانی برنامه‌ریزی شده و بر اساس بودجه مصوب به سرانجام رساند.

در ادامه بازدید از بخش‌های مختلف شرکت، ران تصمیم گرفت که این بار به واحد خدمات مشترکین مراجعه کند.

تغییر برنامه کاری

خانم لوییس ۲۷ سال بود که در شرکت AnyTown Energy کار می‌کرد. او قبلاً در کلاس آموزشی ران شرکت کرده بود اما در تمام طول دوره کاملاً ساکت بود و حرفی نزده بود. او حالا قصد داشت تجربیات و نظرات خود را با ران در میان بگذارد.

لوییس که به استقبال ران رفته بود، به او گفت: "من را می‌شناسی؟ من جزو نفرات شرکت‌کننده در کارگاه آموزشی شما بودم. من مسئول سیستم TCR[1] شرکت هستم." لوییس از حالت چهره ران متوجه شد که او چیزی از سیستم TCR نمی‌داند و اطلاعی ندارد که کارکرد این سیستم چیست. بنابراین تصمیم گرفت شغلش را با جزئیات بیشتری معرفی کند، "در سیستم TCR اطلاعات مربوط به مشترکین تغذیه شونده از ترانسفورماتورها نگهداری می‌شود. زمانی که یک مشترک به شرکت اضافه می‌شود و یا آرایش موجود شبکه فشار ضعیف تغییر می‌کند، من وظیفه دارم که اطلاعات سیستم TCR را به‌روزرسانی کنم."

لوییس توضیح داد که سیستم TCR از یک پایگاه داده تشکیل شده است که در آن اطلاعات ترانسفورماتورها و مشترکین تغذیه شونده از آن‌ها نگهداری می‌شود. اطلاعات مربوط به مشترکین شامل نام، آدرس، تعرفه مصرف، سابقه مصرف و مبلغ صورتحساب از سیستم خدمات مشترکین دریافت می‌شود.

لوییس ادامه داد، "کافی است شماره گرید را در سیستم TCR وارد کنی، در این صورت لیست کلیه ترانسفورماتورهای موجود در محدوده گرید به همراه مشترکین تغذیه شونده از هر ترانس در اختیارتان خواهد بود." او سپس سرش را به نشانه تأسف تکان داد و گفت: "هر زمان که من به این نقطه نزدیک می‌شوم که دیگر اطلاعات یک منطقه در سیستم TCR کاملاً به‌روز است، واحد مهندسی یک ترانسفورماتور جدید نصب می‌کند و همه چیز خراب می‌شود. من مجبورم دوباره یک پرینت از نقشه بگیرم و با مراجعه به محل، اطلاعات سیستم را اصلاح کنم." ران می‌دانست که اطلاعات سیستم TCR بسیار بااهمیت است، چون هم در بازیابی شبکه توسط بخش بهره‌برداری کاربرد دارد و هم در بخش مهندسی می‌توان از این اطلاعات برای محاسبات پخش بار استفاده کرد.

لوییس که امیدوار بود با آمدن سیستم GIS مشکلات او کمتر شود، گفت: "زمانی که اطلاعات با تأخیر در سیستم TCR به‌روز می‌شود من احساس بدی پیدا می‌کنم، چون امکان دارد همکاران من دیر متوجه اضافه‌بار شدن یک ترانسفورماتور شوند."

۱- Transformer Customer Relationship

حلقه مفقوده بعدی

همین‌طور که ران با دقت در حال گوش دادن به صحبت‌های لوییس بود، او جزئیات بیشتری را در خصوص سیستم TCR عنوان کرد، "در سیستم TCR اطلاعات مربوط به ترانسفورماتورهای فشار متوسط به فشار ضعیف شامل شماره گرید نقشه، ظرفیت ترانس، تاریخ آخرین سرویس ترانس و همچنین مشترکین تغذیه شونده از هر ترانسفورماتور نگهداری می‌شود." همین‌طور که او داشت توضیح می‌داد، ران در حال یادداشت‌برداری از مطالب مطرح شده بود (به یادداشت‌های ران در خصوص ارتباط مشترکین و ترانسفورماتور مراجعه کنید).

ران پس از شنیدن صحبت‌های خانم لوییس گفت: "فکر می‌کنم نیازی به انتقال اطلاعات سیستم TCR به سیستم GIS نباشد. پس از بارگذاری اطلاعات نقشه‌های موجود شرکت در سیستم GIS، می‌توان با استفاده از ابزارهای تحلیل شبکه به‌صورت اتوماتیک ارتباط بین ترانسفورماتور، شبکه فشار ضعیف، کابل سرویس‌ها و مشترکین تغذیه شونده توسط آن‌ها را برقرار کرد و دیگر نیازی به به‌روزرسانی دستی تغییرات نیست. قطعا این قابلیت سیستم GIS باعث ایجاد تحولی مثبت در شرکت می‌شود و می‌تواند راندمان کاری بخش‌های مختلف را بهبود دهد."

یادداشت‌های آقای ران

برقراری ارتباط بین ترانسفورماتور و مشترکین

ایده برقراری ارتباط بین ترانسفورماتور و مشترکین تغذیه شونده از آن به سال‌ها قبل بازمی‌گردد. سیستم‌های مدیریت خاموشی اولیه از این تکنیک استفاده می‌کردند. شیوه کار به این صورت بود که اگر مشترکی برای گزارش خاموشی تماس می‌گرفت، اولین کاری که شرکت می‌کرد این بود که لیست مشترکین تغذیه شونده از ترانسفورماتور مربوطه را استخراج کند چنانچه افراد دیگری هم از این لیست برای گزارش خاموشی تماس می‌گرفتند شرکت توزیع مطمئن می‌شد که مشکل فراتر از خاموشی تک منزلی است و احتمالا کل مشترکین ترانس بی‌برق شده‌اند. درنتیجه، دیگر نیازی به تماس سایر مشترکین تغذیه شونده از آن ترانسفورماتور نبود و گروه‌های عملیاتی اقدامات لازم را انجام می‌دادند.

این شیوه برای دوره‌ای جوابگو بود اما مشکلات خاص خودش را داشت. اساسا به‌روز نگاه داشتن اطلاعات مربوط به ارتباط مشترکین و ترانسفورماتورها کار بسیار سختی بود. برخی مواقع شرکت‌های توزیع برق برای متعادل‌سازی بار، بخشی از مشترکین تغذیه شونده از یک ترانسفورماتور را به ترانسفورماتور مجاور منتقل می‌کنند. زمانی که بار یک ترانسفورماتور بیش از حد مجاز شود معمولا شرکت‌های توزیع یک ترانسفورماتور جدید نصب می‌کنند و بخشی از مشترکین به ترانسفورماتور جدید منتقل می‌شوند تا تقسیم بار بهتر صورت گیرد. اگر شرکت توزیع نتواند این تغییرات را به‌موقع به‌روز کند، به‌مرور اطلاعات سیستم TCR اعتبار خود را از دست خواهد داد و نمی‌توان به آن اطمینان کرد.

اشکال بزرگ این روش آن است که از آرایش شبکه فشار ضعیف صرف‌نظر شده است. اکثر مشترکین به‌صورت مستقیم به ترانسفورماتور متصل نیستند، بلکه ابتدا از طریق کابل سرویس به شبکه فشار ضعیف وصل می‌شوند و شبکه فشار ضعیف به ترانسفورماتور متصل می‌شود. اتصال مستقیم مشترکین به ترانسفورماتور و در نظر نگرفتن شبکه فشار ضعیف باعث می‌شود که به‌روزرسانی اطلاعات سیستم TCR کاملا به‌صورت دستی انجام گردد که با توجه به حجم بالای تغییرات شبکه توزیع، استمرار این شیوه کار بسیار دشواری است. در شبکه‌های هوشمند، اهمیت مدل‌سازی شبکه فشار ضعیف در سیستم GIS دوچندان می‌شود، چون شرکت‌های توزیع باید اطمینان کسب کنند که هیچ تجهیزی اضافه‌بار پیدا نمی‌کند. همچنین باید دقیقا مشخص شود که هر مشترک از چه ترانسفورماتوری تغذیه می‌شود و مشترکین تغذیه شونده از یک ترانسفورماتور در کجا قرار دارند. یکی دیگر از ایرادات سیستم TCR این بود که چنانچه یک مشترک از بیش از یک ترانسفورماتور تغذیه می‌شد، مثل برخی مشترکین حساس، ارتباطات تعریف شده در پایگاه داده دچار اشکال می‌شد.

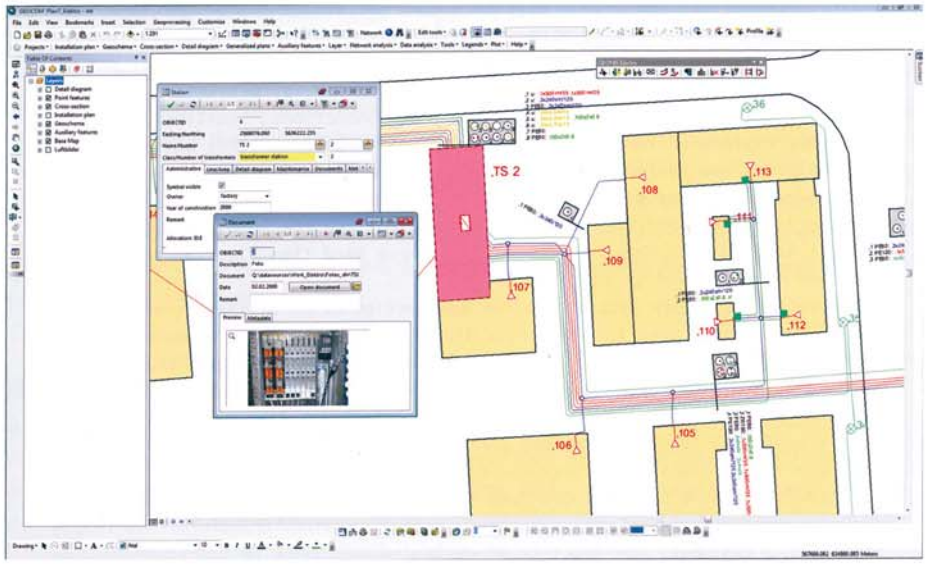
در اینجا بود که لوییس خبر غیرمنتظره‌ای را به ران داد: "اطلاعات سیستم TCR از نقشه‌های شرکت قابل استخراج نیست. در نقشه‌های شرکت فقط پست‌های فشار متوسط به فشار ضعیف ترسیم شده است. هیچ ارتباطی بین موقعیت مکانی مشترکین و پست‌های برق در نقشه‌های شرکت وجود ندارد." آنچه خانم لوییس گفت به این معنا است که از شبکه فشار ضعیف در نقشه‌های شرکت AnyTown Energy صرف‌نظر شده است.

ظاهراً زمانی که فرانک و همکارانش نقشه‌های کاغذی شرکت را به فرمت دیجیتالی تبدیل می‌کرده‌اند، آن‌قدر هزینه‌های پروژه از مبلغ پیش‌بینی شده فراتر رفته است که آن‌ها تصمیم گرفته‌اند از شبکه فشار ضعیف چشم‌پوشی کنند. به عبارت دیگر، در فایل‌های دیجیتالی نقشه‌های شرکت اثری از شبکه فشار ضعیف و کابل‌های سرویس وجود نداشت.

ران می‌خواست مطمئن شود که آنچه شنیده حقیقت دارد، لذا سؤال کرد: "یعنی می‌خواهی بگویی که کیلومترها شبکه فشار ضعیف و کابل سرویس که در واقعیت وجود دارد، در نقشه‌های دیجیتالی شرکت ترسیم نشده است؟"

لوییس به نشانه تأیید سرش را تکان داد.

اطلاعات مربوط به شبکه فشار ضعیف در شرکت AnyTown Energy تبدیل نشده بود. با این حال، ران تصاویری از نقشه‌های GIS سایر شرکت‌های برق دیده بود که در آن‌ها شبکه فشار ضعیف تغذیه‌کننده ساختمان‌های مسکونی نمایش داده شده بود (شکل ۸-۱). بنابراین او می‌دانست که این کار قابل انجام است.



شکل ۸-۱- نمایش شبکه فشار ضعیف بر روی نقشه‌های GIS (منبع: شرکت Geocom)

وضعیت دشواری بود. بر اساس چشم‌انداز اولیه، قرار بود مراحل تهیه طرح با استفاده از GIS مکانیزه شود. بدون اطلاعات شبکه فشار ضعیف، این هدف امکان تحقق نداشت. ران از خودش سؤال کرد: "چگونه می‌توان از GIS به‌عنوان بستر تهیه طرح استفاده کرد وقتی‌که اطلاعات مربوط به شبکه فشار ضعیف در آن وجود ندارد؟" به نظر می‌رسید که اوضاع از آنچه او تصور می‌کرد خراب‌تر بود.

ران تصمیم گرفت که آرامش خود را حفظ کند، بنابراین از خانم لوییس به خاطر همکاری‌اش تشکر کرد و به او امیدواری داد که با آمدن سیستم GIS بسیاری از مشکلات واحد خدمات مشترکین حل خواهد شد.

ران برای آنکه نشان دهد این لیوان نیمه پری هم دارد، به لوییس گفت: "خوب، باز جای خوشبختی دارد که اطلاعات کلیه ترانسفورماتورها و مشترکین تغذیه شونده توسط آن‌ها در سیستم TCR نگهداری می‌شود. این داده‌ها راهنمای بسیار خوبی جهت اضافه کردن اطلاعات شبکه فشار ضعیف به سیستم GIS است."

گمشده بعدی: ترانسفورماتورها و شبکه فشار ضعیف مرکز شهر

خانم لوییس گفت: "ایده خوبی است. فقط یک مشکل وجود دارد. اطلاعات همه ترانسفورماتورها و مشترکین مرتبط با آن‌ها در سیستم TCR وارد نشده است." ران احساس کرد که سرش در حال گیج رفتن است. لوییس ادامه داد، "ترانسفورماتورهای مرکز شهر به همراه اطلاعات مشترکین مرتبط با آن‌ها در سیستم TCR وارد نشده است." سپس لوییس چند نمونه گزارش خروجی از سیستم TCR را از کیفش بیرون آورد تا به ران نشان دهد که چه اطلاعاتی در سیستم TCR وارد شده است (شکل ۸-۲).

TRANSFORMER CUSTOMER RELATIONSHIP (TCR)

10/22/2012 TIME:13:43:22

TRANSFORMER	KVA	VOLTAGE	POLE	IN SERVICE DATE	
16854	50	4160	123/14	10/15/1987	
	1435 South Lawrence St		Lowell	Meter number:	8993456876
	1437 South Lawrence St		Lowell	Meter number:	8993433876
	1439 South Lawrence St		Lowell	Meter number:	8446456876
	1440 South Lawrence St		Lowell	Meter number:	8993456222
	1441 South Lawrence St		Lowell	Meter number:	8993455877
	1442 South Lawrence St		Lowell	Meter number:	8993456247
	1447 South Lawrence St		Lowell	Meter number:	8993565016
	1435 Mable Ave		Lowell	Meter number:	8993456877
16855	37.5	4160	123/14	10/15/1987	
	12 Arcadia		Lowell	Meter number:	4213456876
	13 Arcadia		Lowell	Meter number:	4213456626
	14 Arcadia		Lowell	Meter number:	4216456713

شکل ۸-۲- اطلاعات رقومی ذخیره شده در سیستم TCR (منبع: Esri)

خانم لوییس گفت: "گروه شبکه متولی اطلاعات این بخش از سیستم است. آن‌ها از نقشه‌های کاغذی قدیمی استفاده می‌کنند. برای اطلاعات پست‌ها و شبکه فشار ضعیف بخش مرکزی شهر فایل دیجیتالی نقشه وجود ندارد." ران دیگر رغبتی برای حرف زدن نداشت، ولی برای تکمیل شدن اطلاعاتش پرسید: "وسعت شبکه بخش مرکزی شهر چقدر است؟" لوییس پاسخ داد: "حدود ۵۰ درصد از مشترکین شرکت در این بخش قرار دارند." ران تازه به یاد آورد که فرانک قبلا در خصوص عدم مدل‌سازی شبکه بخش مرکزی شهر چیزهایی به او گفته بود، اما تازه فهمید که اطلاعات این بخش از شبکه چقدر اهمیت دارد. اطلاعات نقشه‌های دیجیتالی شرکت به شبکه فشار متوسط محدود می‌شد. همچنین داده‌های مربوط به پست‌های زیرزمینی بخش مرکزی شهر که تعداد قابل‌توجهی ساختمان در آن قرار داشت، در نقشه‌های دیجیتالی شرکت در نظر گرفته نشده بودند.

ران باید به دیدار مدیران شرکت می‌رفت تا با هماهنگی آن‌ها برنامه تدوین شده جهت عملیاتی‌سازی

پروژه GIS را تغییر دهد. او باید مطمئن می‌شد که اطلاعات مربوط به شبکه پایین‌دست پست‌ها به‌صورت کامل در سیستم GIS لحاظ خواهد شد.
ران باید مدل داده شبکه فشار ضعیف را در سیستم GIS ایجاد می‌کرد. برای این کار او باید اول نسبت به کارکرد شبکه فشار ضعیف شناخت پیدا می‌کرد: چگونه شبکه فشار ضعیف توان را از بخش فشار متوسط به مشترکین منتقل می‌کند؟ شبکه فشار ضعیف از چه اجزایی تشکیل شده است؟ او باید تجهیزات شبکه فشار ضعیف و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر را شناسایی و اقلام توصیفی هر تجهیز در سیستم GIS را تعیین می‌کرد. درنهایت، او باید نحوه ارتباط شبکه فشار ضعیف با سایر بخش‌های تشکیل‌دهنده سیستم توزیع را مشخص می‌کرد. (خوشبختانه، تیم پروژه GIS می توانستند به او در انجام این کار کمک کنند.)

متفاوت از سایر شبکه‌ها

دو سطح ولتاژ متداولی که توسط مشترکین در نقاط مختلف جهان استفاده می‌شوند، عبارت‌اند از: سطح ولتاژ ۱۲۰ ولت در قاره آمریکای شمالی و سطح ولتاژ ۲۲۰ ولت در سایر نقاط جهان. تصور اولیه ران این بود که نیازی به بررسی شبکه فشار ضعیف در خارج از آمریکا ندارد، اما بسیار مشتاق بود که با تفاوت‌های دو سیستم آشنا شود (به یادداشت‌های ران در خصوص دلایل عدم استفاده از سطح ولتاژ ۱۲۰ ولت در سایر نقاط جهان مراجعه کنید). بعدها او متوجه شد که طراحی بخشی از شبکه فشار ضعیف شرکت AnyTown Energy مشابه مناطق خارج از آمریکا است، بنابراین از اینکه باید بر روی هر دو سیستم مطالعه می‌کرد بسیار خوشحال بود. برخلاف نظر فرانک، ران اعتقاد داشت که کلیه شبکه‌های فشار ضعیف باید در سیستم GIS مدل‌سازی شوند.
ران بر اساس مطالعاتی که انجام داد، متوجه شد که شبکه فشار ضعیف از اجزای مختلفی تشکیل شده است که در سطح ولتاژ بسیار پایین‌تر از شبکه فشار متوسط بهره‌برداری می‌شوند. دامنه ولتاژ در شبکه فشار ضعیف در بازه ۱۲۰ ولت تا ۶۰۰ ولت قرار دارد و در شرکت‌های توزیع مختلف می‌تواند عدد آن متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، در قاره آمریکای شمالی معمولا از سطح ولتاژ ۴۸۰ ولت سه فاز در شبکه فشار ضعیف استفاده می‌شود. بسیاری از ساختمان‌های اداری به‌صورت مستقیم از این سطح ولتاژ برای تغذیه بارهای بزرگ مثل، سیستم تهویه هوا، پمپ‌ها و موتورها استفاده می‌کنند. برای تغذیه بار روشنایی در ساختمان‌های بزرگ معمولا از سطح ولتاژ ۲۷۷ ولت تک فاز استفاده می‌شود. بارهایی نیز هستند که برای تغذیه آن‌ها از سطوح ولتاژ بالاتر مثل ۶۰۰ ولت سه فاز استفاده می‌شود. قاعده کلی که قبلا ران آموخته بود در شبکه فشار ضعیف نیز صادق بود: با افزایش سطح ولتاژ می‌توان ظرفیت توان تحویلی را افزایش داد. همچنین در یک بار ثابت، با افزایش سطح ولتاژ، دامنه جریان کاهش پیدا می‌کند و می‌توان از هادی‌ها با مقاطع پایین‌تر استفاده کرد. پایین آمدن دامنه جریان، کاهش میزان تلفات الکتریکی شبکه را نیز به دنبال دارد.
ساختمان‌ها، کارگاه‌ها، مراکز صنعتی و مدارسی که توسط سطح ولتاژ ۴۸۰ و یا ۶۰۰ ولت تغذیه می‌شوند، معمولا دارای یک ترانسفورماتور داخلی کاهنده فشار ضعیف به فشار ضعیف هستند که برای مصارف معمولی در سمت ثانویه ترانس، ولتاژ ۱۲۰ ولت (برای آمریکای شمالی) و یا ۲۲۰ ولت (سایر نقاط جهان) تأمین می‌شود.

یادداشت‌های آقای ران

چرا در سایر نقاط جهان کمتر از سطح ولتاژ ۱۲۰ ولت استفاده می‌شود؟

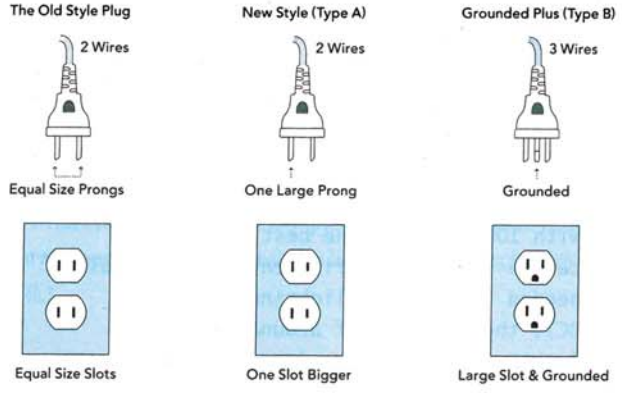
در سال‌های آغازین استفاده از انرژی الکتریکی، ژنراتورهای جریان مستقیم با همان ولتاژ تولیدی به مصرف‌کننده‌ها متصل شده بودند و به این صورت تولید و انتقال برق با یک ولتاژ انجام می‌گرفت. بارهای اولیه بیشتر ماهیت روشنایی داشتند و از آنجا که لامپ‌های التهابی آن زمان تنها در ولتاژ ۱۰۰ ولت قابل‌استفاده بودند، لذا ادیسون اولین بار از این سطح ولتاژ برای شبکه توزیع استفاده کرد. با ابداع برق ولتاژ متناوب (AC)، بازهم از همان سطح ولتاژ متداول ۱۰۰ ولت استفاده شد که به‌مرور زمان به ۱۲۰ ولت تغییر پیدا کرد.

همان‌طور که گفته شد در سال‌های اولیه، بار روشنایی عمده مصرف شبکه برق را به خود اختصاص می‌داد. با افزایش مقبولیت انرژی الکتریسیته در سطح جهان، بار روشنایی دیگر جزء کوچکی از بار کل سیستم محسوب می‌شد و درنتیجه تمایل به استفاده از سطح ولتاژهای بالاتر افزایش یافت. طراحان اولیه شبکه برق در خارج از قاره آمریکا بر روی سطح ولتاژ ۲۲۰ ولت که حدودا دو برابر ولتاژ مورد استفاده توسط ادیسون بود، به توافق رسیدند. با افزایش سطح ولتاژ، ظرفیت توان انتقالی افزایش پیدا می‌کرد و امکان استفاده از هادی‌های با مقاطع پایین‌تر فراهم می‌شد.

امروزه با افزایش تقاضای انرژی الکتریسیته و همچنین استفاده از فناوری‌های جدید در شبکه توزیع مثل شارژ خودروهای برقی، نصب سلول‌های خورشیدی، احداث مولدهای بادی و نیروگاه‌های محلی گازی، سیستم توزیع برق فشار ضعیف کشور آمریکا با بزرگ‌ترین چالش خود مواجه شده است.

سیستم توزیع برق آمریکای شمالی

در آمریکای شمالی و کشورهایی که از سیستم آمریکای شمالی تبعیت می‌کنند، ولتاژ استاندارد بهره‌برداری برای کلیه وسایل برقی از لامپ و کامپیوتر گرفته تا جاروبرقی و فریز ۱۲۰ ولت است. فرکانس نامی شبکه نیز ۶۰ هرتز (دور در ثانیه) است. در این سیستم، وسایل برقی از طریق سه‌شاخه (به سه‌شاخه تیپ A و B در شکل ۸-۳ نگاه کنید) به پریز متصل می‌شوند. سه‌شاخه تشکیل شده از شاخک فاز (۱۲۰ ولت تک فاز)، شاخک نول (در حالت ایده‌آل ولتاژ آن برابر صفر است) و شاخک زمین (ولتاژ صفر). اگر از دوشاخه استفاده شود، شاخک بزرگ‌تر فاز است و شاخک کوچک‌تر نول. در شبکه‌های قدیمی‌ترِ ممکن است هنوز از دوشاخه‌هایی که هر دو شاخک آن مشابه و هم‌اندازه است استفاده شود. معمولا در منازل مسکونی و ساختمان‌های اداری از برق تک فاز ۱۲۰ ولت استفاده می‌شود.



شکل ۸-۳- پریز و دوشاخه‌های استاندارد در شبکه برق آمریکای شمالی (منبع: Esri)

وسایلی که مصرف برق آن زیاد باشد، مثلاً بالای ۲۰۰۰ وات، به سطح ولتاژ بالاتری نیاز دارند. در غیر این صورت، باید از سیم با مقاطع بسیار بالاتر استفاده کرد که اقتصادی نیست. برای تأمین توان بیشتر برای وسایل پرمصرف، مثل سیستم تهویه هوا و یا پمپ استخر، از ولتاژ ۲۴۰ ولت تک فاز استفاده می‌شود. امروزه، شرکت‌های توزیع برای اکثر مشترکین خانگی از کابل سرویس سه رشته تک فاز با ظرفیت جریان ۲۰۰ آمپر استفاده می‌کنند.

اگر به توان بیشتری نیاز باشد - به‌عنوان مثال، برای کارگاه‌ها یا مراکز تجاری - شرکت‌های توزیع، برق سه فاز را با ولتاژ ۴۸۰ ولت و یا بالاتر تحویل مشترک می‌دهند. موتورهای بزرگ با برق سه فاز عملکرد بهتر و یکنواخت‌تری دارند. برق سه فاز از طریق یک کابل چهار رشته که سه رشته آن به فاز و یک رشته آن به نول اختصاص دارد تحویل مشترک می‌شود.

در سیستم فشار ضعیف آمریکای شمالی، شما از دو طریق می‌توانید به برق ۱۲۰ ولت تک فاز برسید. در روش اول می‌توان برق را به‌صورت کابل سه رشته تک فاز با ولتاژ ۲۴۰ ولت به مشترک تحویل داد و تک رشته نول را در محل مشترک زمین کرد. در این روش، شما دو رشته فاز که هرکدام ولتاژ ۱۲۰ ولت با قطب مخالف یکدیگر دارند در اختیار مشترک قرار داده‌اید. در روش دوم می‌توان برق سه فاز ۲۰۸ ولت را به مشترک تحویل داد. از این شیوه، بیشتر در مناطق پرتراکم مثل مرکز شهر استفاده می‌شود. با اتصال وسایل برقی به یکی از سیم‌های فاز و سیم نول، برق ۱۲۰ ولت در اختیار مشترک خواهد بود. یخچال و اتو تفاوت این دو روش را درک نمی‌کنند. با این حال، وسایلی که مصرف برق بالاتری دارند مثل ماشین لباس شویی و پمپ استخر، می‌توانند از ولتاژ ۲۴۰ ولت تک فاز در روش اول و ۲۰۸ ولت سه فاز در روش دوم استفاده کنند. خانم فلو قبلا به ران گوشزد کرده بود که اگر بخواهیم دامنه ولتاژ تک فاز را در سیستم سه فاز محاسبه کنیم، کافی است مقدار ولتاژ سه فاز را تقسیم بر ریشه دوم عدد سه کنیم. درنتیجه، حاصل تقسیم عدد ۲۰۸ بر ریشه دوم عدد سه مساوی می‌شود با ۱۲۰.

شرکت‌های توزیع در آمریکای شمالی معمولا برق مشترکین را از طریق یک کابل تک فاز سه رشته تأمین می‌کنند. دو رشته از کابل سرویس، ولتاژ ۱۲۰ ولت دارند که در قطب مخالف یکدیگر هستند و رشته سوم، سیم نول است که در محل مشترک زمین می‌شود و ولتاژ صفر دارد. هر مشترک از طریق یک کلید (در انشعاب‌های قدیمی‌تر این کار توسط فیوز انجام می‌شود) در برابر جریان اتصال کوتاه محافظت می‌شود. برای وسایل پرمصرف از ولتاژ ۲۴۰ ولت استفاده می‌شود. با توجه به اینکه دو رشته فاز در قطب مخالف قرار دارند لذا می‌توانند اختلاف پتانسیل ۲۴۰ ولت را تأمین کنند. این ولتاژ برابر است با ولتاژ خروجی ترانسفورماتور تک فاز ابتدای شبکه فشار ضعیف.

در سیستم سه فاز، برق مشترکین توسط یک کابل سرویس چهار رشته تأمین می‌شود که سه رشته آن به فاز و یک رشته آن به نول اختصاص دارد. هر فاز به‌تنهایی برق ۱۲۰ ولت را تأمین می‌کند و اختلاف پتانسیل بین دو فاز مختلف برابر ۲۰۸ ولت است. ران متوجه شد که این سیستم مشابه شبکه فشار ضعیف در سایر نقاط جهان است، به‌جز اینکه در سایر نقاط جهان به‌جای استفاده از ولتاژ تک فاز ۱۲۰ ولت و ولتاژ سه فاز ۲۰۸ ولت از ولتاژ تک فاز ۲۲۰ ولت و ولتاژ سه فاز ۳۸۰ ولت استفاده می‌شود (به یادداشت‌های ران در خصوص مقایسه ولتاژ تک فاز و سه فاز مراجعه کنید).

یادداشت‌های آقای ران

شبکه تک فاز در مقایسه با شبکه سه فاز

دامنه ولتاژ سه فاز و تک فاز ممکن است برای برخی افراد گیج کننده باشد. همان‌طور که در ضمیمه کتاب هم اشاره شده است، دامنه ولتاژ متناوب ثابت نیست و از الگوهایی مثلثاتی مثل سینوس و کسینوس تبعیت می‌کند. این الگوها در طبیعت نیز وجود دارد، مثل حرکت تناوبی پاندول ساعت. شاید برخی افراد این تصور را داشته باشند که چنانچه در سیستم سه فاز، دامنه ولتاژ هر فاز ۲۲۰ ولت باشد درنتیجه، اختلاف پتانسیل دو فاز باید دو برابر این مقدار و مساوی با ۴۴۰ باشد. اما باید توجه داشت که هر فاز، زاویه مخصوص به خود را دارد، بنابراین اختلاف پتانسیل بین دو فاز بر اساس روابط مثلثاتی ۱.۷۳۲ (ریشه دوم عدد سه) برابر دامنه ولتاژ هر فاز است. به‌عنوان مثال، در سیستم سه فاز ۲۰۸ ولت، دامنه هر فاز نسبت به زمین برابر ۱۲۰ ولت است (۲۰۸ تقسیم بر ریشه دوم عدد سه). در سیستم سه فاز ۳۸۰ ولت که در اتحادیه اروپا (EU) متداول است، دامنه ولتاژ تک فاز برابر ۲۲۰ ولت است (۳۸۰ تقسیم بر ریشه دوم عدد سه). در سیستم سه فاز ۴۸۰ ولت که در آمریکای شمالی برای مصارف صنعتی استفاده می‌شود، مقدار دامنه ولتاژ تک فاز برابر ۲۷۷ ولت است (۴۸۰ تقسیم بر ریشه دوم عدد سه).

در آمریکای شمالی، شرکت‌های توزیع گرایش دارند که از ترانسفورماتورهای تک فاز فشار متوسط به فشار ضعیف با ظرفیت کم استفاده کنند، بنابراین ظرفیت‌های ۵۰KVA، ۲۵KVA و ۱۰۰KVA دور از انتظار نیستند. این ترانسفورماتورها تنها تعداد کمی مشترک را تغذیه می‌کنند و معمولا تنها یک فیدر فشار ضعیف خروجی دارند. در این سیستم به‌ندرت شبکه فشار ضعیف خروجی از یک ترانس تا ترانس مجاور ادامه پیدا می‌کند. در برخی نقاط شبکه فشار ضعیف بین خروجی یک ترانسفورماتور با خروجی ترانسفورماتور مجاور، نقطه مانور پیش‌بینی می‌شود. برخی مشترکین نیز به‌صورت مستقیم از خروجی ترانسفورماتور تغذیه می‌شوند و دیگر شبکه فشار ضعیفی در کار نیست.

سیستم فشار ضعیف در سایر نقاط دنیا

در خارج از آمریکای شمالی، متداول‌ترین سطح ولتاژی که توسط مشترکین استفاده می‌شود، از چراغ و توستر گرفته تا فریزر و ماشین ظرفشویی، ۲۲۰ ولت است. فرکانس شبکه نیز ۵۰ هرتز است. در این سیستم از دوشاخه‌های مختلفی برای اتصال به پریز برق استفاده می‌شود. پرکاربردترین نوع دوشاخه که بیشتر در اروپا استفاده می‌شود، دو شاخک استوانه‌ای شکل دارد که یک شاخک آن مربوط به فاز و شاخک دوم مربوط به نول می‌شود. برخی مواقع از شاخک سوم که اختصاص به اتصال زمین دارد نیز استفاده می‌شود. معمولا دوشاخه‌ها و پریزها به نسبت سیستم آمریکای شمالی، ظرفیت جریانی بزرگ‌تری دارند و توان بیشتری را می‌توان از آن‌ها عبور داد. در سطح جهان، فارغ از انواع مختلف پریز و نحوه اتصال وسایل برقی، شبکه فشار ضعیف کارکرد کاملا مشابهی دارد. در اتحادیه اروپا سطح ولتاژ ۲۲۰ ولت به‌عنوان استاندارد شبکه فشار ضعیف تک فاز و سطح ولتاژ ۳۸۰ ولت به‌عنوان استاندارد شبکه فشار ضعیف سه فاز در نظر گرفته شده است. معمولا شرکت‌های توزیع در سطح جهان با ۱۰ الی ۲۰ درصد بالا و پایین، نسبت به سطوح ولتاژی استاندارد، برق را در اختیار مشترکین قرار می‌دهند.

در خارج از آمریکای شمالی به دلیل استفاده از سطح ولتاژ بالاتر، شبکه فشار ضعیف وسیع‌تر و گسترده‌تر است. در این سیستم افت ولتاژ کمتر است و در مقایسه با ولتاژ ۱۲۰ ولت، به ازای توان عبوری ثابت می‌توان از هادی‌ها با مقاطع پایین‌تر استفاده کرد. در سیستم سه فاز، متعادل بودن جریان عبوری فازها اهمیت ویژه‌ای دارد (به یادداشت‌های ران در خصوص سیستم سه فاز مراجعه کنید).

سیستم فشار ضعیف در سایر نقاط جهان بسیار شبیه ساختار شبکه فشار متوسط در آمریکای شمالی است. شبکه فشار ضعیف به دو صورت هوایی و زمینی در کلیه کشورها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و معمولا

نحوه احداث شبکه فشار ضعیف از نظر هوایی و یا زمینی بودن از شبکه فشار متوسط بالادست آن تبعیت می‌کند.

شکل ۸-۴- نمایش شبکه کابلی فشار ضعیف بر روی نقشه‌های GIS

ران یک نقشه GIS در اینترنت پیدا کرد که در آن شبکه فشار ضعیف نمایش داده شده بود (شکل ۸-۴). او همچنین یک تصویر از جزیره Crete در کشور یونان پیدا کرد که در آن شبکه روشنایی معابر قابل مشاهده بود. (شکل ۸-۵).

شکل ۸-۵- شبکه فشار ضعیف روشنایی معابر در جزیره Crete کشور یونان
(عکاس: بیل میهان، منبع: Esri)

چهار جزء اصلی شبکه فشار ضعیف

برای ران درک کارکرد شبکه فشار ضعیف کار ساده‌ای بود. اکثر مشترکین از طریق شبکه فشار ضعیف برق‌دار می‌شوند. او بر اساس مطالعاتش دریافت که شبکه فشار ضعیف از چهار جزء اصلی زیر تشکیل شده است:

- **پست فشار متوسط به فشار ضعیفMV/LV:** توان الکتریکی در سمت ثانویه پست، تحویل شبکه فشار ضعیف می‌شود.

- **فیدرهای فشار ضعیف:** این خطوط توان را در سطح ولتاژ فشار ضعیف از پست‌ها تحویل گرفته و تا نزدیکی محل مشترکین منتقل می‌کنند.
- **کابل سرویس مشترک:** از طریق کابل سرویس، مشترکین به فیدرهای فشار ضعیف متصل می‌شوند.
- **شبکه روشنایی معابر:** از طریق این شبکه، انرژی برق مورد نیاز چراغ‌های روشنایی معابر تأمین می‌شود.

متأسفانه ران متوجه شد که خطوط فشار ضعیف در نقشه‌های شرکت AnyTown Energy مدل‌سازی نشده است. همچنین بر اساس گفته‌های خانم لوییس، اطلاعات پست‌ها و شبکه فشار ضعیف بخش مرکزی شهر در نقشه‌های دیجیتالی شرکت وارد نشده است و مدیریت داده‌های این بخش از طریق نقشه‌های کاغذی و توسط گروه شبکه انجام می‌شود. بخش قابل‌توجهی از مشترکین در قسمت‌های مرکزی شهر واقع شده‌اند و فقدان اطلاعات آن‌ها در نقشه‌های دیجیتالی شرکت، می‌تواند چالش‌های زیادی را در مسیر پیاده سازی سیستم GIS ایجاد کند.

یادداشت‌های آقای ران

سیستم سه فاز

بر اساس تعریف، ولتاژ AC مقدار ثابتی ندارد و به‌صورت متناوب دامنه آن تغییر می‌کند (به ضمیمه کتاب مراجعه کنید). اندازه ولتاژ متناوب مرتب تغییر می‌کند، از صفر ولت به ولتاژ ماکسیمم، دوباره بازگشت به نقطه صفر، سپس حرکت به سمت نقطه مینیمم (معمولاً منفی است) و دوباره بازگشت به نقطه صفر که این تغییرات در کل یک دوره تناوب را تشکیل می‌دهد. در هر ثانیه ۶۰ دوره تناوب اتفاق می‌افتد (در خارج از آمریکای شمالی در هر ثانیه ۵۰ بار). شکل موج ولتاژ در دوره‌های تناوب یکسان است و از روابط مثلثاتی مثل سینوس و کسینوس تبعیت می‌کند. در سیستم تک فاز تنها یک شکل موج وجود دارد و در سیستم سه فاز، سه شکل موج متمایز قابل‌تشخیص است. به دلیل اینکه شکل موج‌های سه فاز با هم اختلاف زاویه دارند و نقاط صفر، ماکزیمم و مینیمم آن‌ها در زمان‌های مختلف اتفاق می‌افتد لذا در هر زمان، اختلاف پتانسیل قابل‌توجهی بین فازها وجود دارد. اختلاف پتانسیل بین فازها، ولتاژ فاز به فاز نامیده می‌شود. اختلاف پتانسیل بین هر فاز و زمین دامنه کمتری دارد و ولتاژ فاز به زمین و یا فاز به نول نامیده می‌شود. در سیستم سه فاز ۳۸۰ ولت که در خارج از آمریکای شمالی استفاده می‌شود، ولتاژ فاز به فاز برابر ۳۸۰ ولت و ولتاژ فاز به زمین برابر ۲۲۰ ولت است. در سیستم سه فاز ۲۰۸ ولت که در آمریکای شمالی استفاده می‌شود، ولتاژ فاز به زمین برابر ۱۲۰ ولت است. در سیستم سه فاز ۴۸۰ ولت که بیشتر در مناطق صنعتی آمریکای شمالی استفاده می‌شود، ولتاژ فاز به زمین برابر ۲۷۷ ولت است.

نحوه عملکرد شرکت‌کنندگان در مسابقه دو امدادی می‌تواند مثال خوبی برای تشریح عملکرد سیستم سه فاز باشد. فرض کنید مسیر مسابقه یک دایره است که از ۳۶۰ درجه تشکیل شده است. شرکت‌کنندگان در مسابقه شامل فاز A، فاز B و فاز C می‌شوند. فاز A با شلیک تپانچه حرکت خود را شروع می‌کند. دونده فاز B با همان سرعت شرکت‌کننده اول و زمانی که فاز A یک سوم مسیر را طی کرده، حرکت خود را آغاز می‌کند. دونده فاز A، ۱۲۰ درجه از فاز B جلوتر است. شرکت‌کننده سوم، فاز C، حرکت خود را زمانی که فاز B یک سوم مسیر را طی کرده است آغاز می‌کند. اگر سه شرکت‌کننده آهنگ حرکت یکسانی داشته باشند شرکت‌کننده فاز C، ۱۲۰ درجه از فاز B و ۲۴۰ درجه از فاز A عقب‌تر است. همین‌طور می‌توان گفت که شرکت‌کننده فاز A، ۲۴۰ درجه از فاز C جلوتر است. اگر دونده فاز A خسته شود و سرعت خود را کم کند، شرکت‌کننده فاز B و C خودشان را به او نزدیک‌تر می‌کنند و دیگر اختلاف بین فازها ۱۲۰ درجه نخواهد بود. این مثال، توضیح مناسبی برای نحوه کارکرد سیستم سه فاز است. زمانی که اختلاف بین فازها ۱۲۰ درجه نباشد، دیگر سیستم متعادل نیست و کارکرد بهینه خود را ندارد.

ران در مطالعاتش آموخت که ساختار شبکه فشار ضعیف معمولاً از شبکه فشار متوسط تغذیه‌کننده آن تبعیت می‌کند. در مناطقی که شبکه فشار متوسط به‌صورت هوایی احداث شده است، شبکه فشار ضعیف نیز بیشتر به‌صورت هوایی است. احتمال دارد در برخی نقاط از شبکه هوایی، انشعاب زمینی گرفته شود اما معمولاً چنانچه شبکه فشار متوسط به‌صورت هوایی باشد، شبکه فشار ضعیف زیردست آن نیز هوایی است. همچنین، چنانچه شبکه فشار متوسط به‌صورت زمینی باشد، شبکه فشار ضعیف پایین‌دست آن نیز معمولاً زمینی است.

پست‌های فشار متوسط به فشار ضعیف

ران از مطالعات قبلی خود بر روی پست‌های فوق توزیع می‌دانست که ترانسفورماتورها سطح ولتاژ را تغییر می‌دهند. ترانسفورماتورهای فشار متوسط به فشار ضعیف، حلقه واسط شبکه فشار متوسط و شبکه فشار ضعیف هستند. ازلحاظ فنی، ترانسفورماتورها هم در شبکه بالادست و هم در شبکه پایین دست در نظر گرفته می‌شوند.

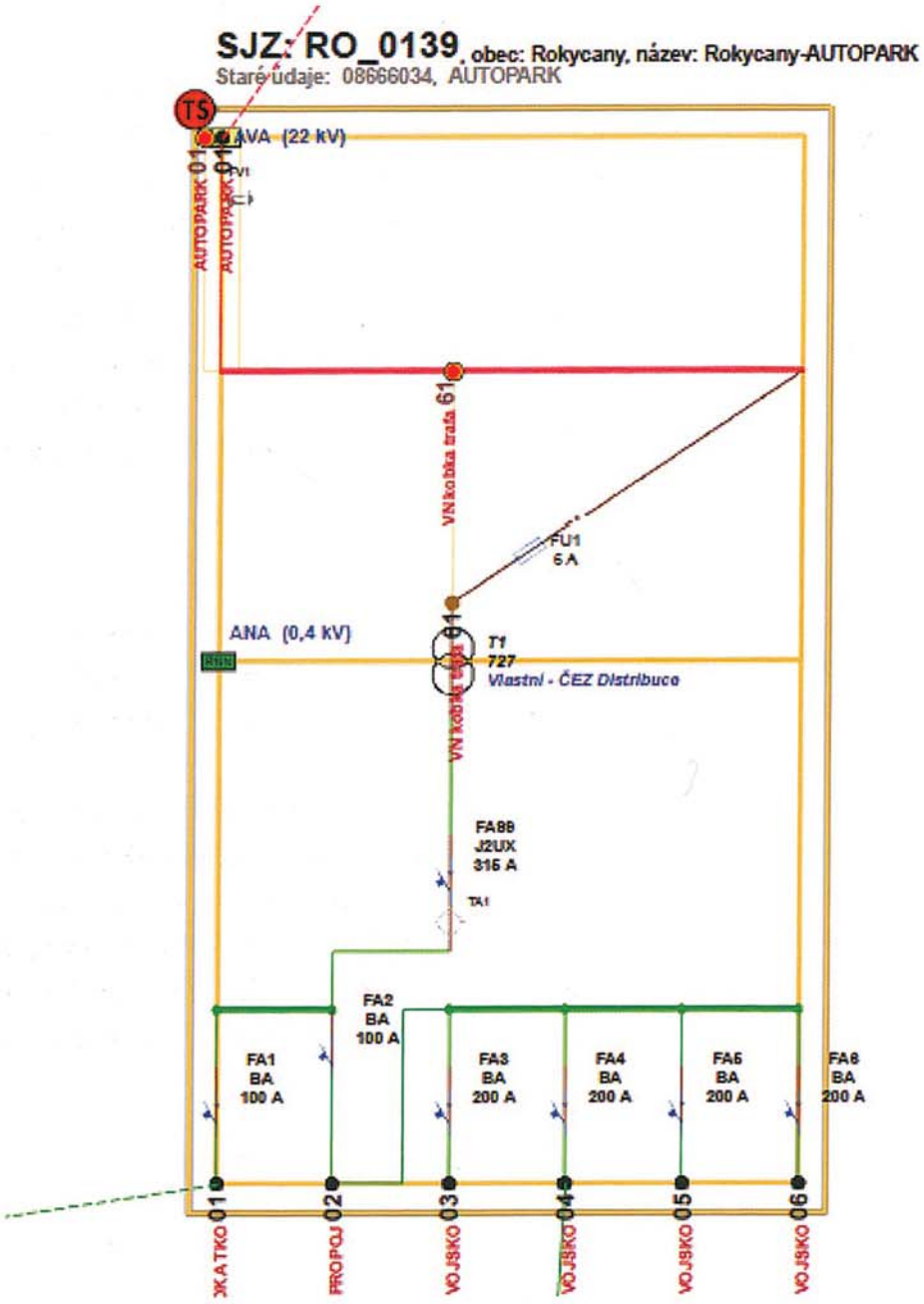
پست‌های فشار متوسط به فشار ضعیف شامل یک یا چند انشعاب از فیدرهای فشار متوسط، تجهیزات حفاظتی فشار متوسط (معمولا فیوز و در برخی نقاط نیز کلید با قابلیت کنترل از راه دور استفاده می‌شود)، ترانسفورماتور سه فاز و یا تک فاز (MV/LV) و شینه فشار ضعیف می‌شوند. کلید فیوزها به شینه متصل می‌شوند و وظیفه حفاظت فیدرهای فشار ضعیف را بر عهده دارند (این ساختار در شکل ۸-۶ نمایش داده شده است).

گاهی اوقات شرکت‌های توزیع با اتصال سیم بندی سه ترانسفورماتور تک فاز از مجموعه آن‌ها به‌عنوان یک ترانسفورماتور سه فاز استفاده می‌کنند.

برخی مواقع، دو فیدر فشار متوسط به ترانسفورماتور متصل می‌شود، یکی به‌عنوان تغذیه‌کننده اصلی و دیگری به‌عنوان رزرو. این ساختار، قابلیت اطمینان بالاتری دارد و چنانچه فیدر تغذیه‌کننده اصلی دچار اشکال شود، می‌توان ترانسفورماتور را از طریق فیدر رزرو برق‌دار کرد. در آمریکای شمالی از این ساختار برای تغذیه بارهای تجاری و صنعتی که اهمیت بیشتری دارند، استفاده می‌شود. در خارج از آمریکای شمالی، از پست‌های فشار متوسط به فشار ضعیف برای تغذیه همه نوع بار استفاده می‌شود. یک نمونه دیاگرام تک‌خطی پست‌های فشار ضعیف که در سیستم GIS مدل‌سازی شده است، در شکل ۸-۶ آمده است.

در سیستم فشار ضعیف آمریکای شمالی، ساختار اکثر پست‌های فشار ضعیف بسیار ساده است تا حدی که خیلی‌ها آن را به‌عنوان پست فشار متوسط به فشار ضعیف نمی‌شناسند. خیلی از پست‌ها به‌صورت تک فاز هستند. معمولا این نوع پست‌ها از یک فیوز حفاظتی فشار متوسط، یک ترانسفورماتور تک فاز و یک فیدر فشار ضعیف که حفاظت جداگانه‌ای ندارد، تشکیل شده است (برخی مواقع تجهیز حفاظتی فیدر فشار ضعیف در داخل ترانسفورماتور تعبیه می‌شود).

مهم‌ترین تفاوت شبکه فشار ضعیف آمریکای شمالی نسبت به سایر نقاط جهان، سادگی آن است. در آمریکای شمالی معمولا شبکه فشار ضعیف تک فاز است، بار کوچک‌تری را تأمین می‌کند، تعداد محدودتری مشترک را تغذیه می‌کند و در سطح ولتاژ ۲۴۰ ولت تک فاز بهره‌برداری می‌شود. در سایر نقاط جهان، شبکه فشار ضعیف سه فاز است، میزان بار و تعداد مشترک بیشتری را تغذیه می‌کند، از فیدرهای فشار ضعیف متعددی تشکیل شده است و در سطح ولتاژ ۳۸۰ ولت سه فاز بهره‌برداری می‌شود.



شکل ۸-۶- دیاگرام تک خطی یک پست فشار متوسط به فشار ضعیف (منبع: شرکت برق CEZ)

فیدرهای فشار ضعیف و کابل‌های سرویس

فیدرهای فشار ضعیف از خروجی پست‌های MV/LV شروع شده و به دو صورت هوایی و زمینی احداث می‌شوند. گاهی اوقات، یک فیدر فشار ضعیف از یک پست شروع شده و تا پست بعدی ادامه پیدا می‌کند، البته در یک نقطه از مسیر، اتصال در حالت عادی باز یا نقطه مانور در نظر گرفته می‌شود. در سیستم تک فاز آمریکایی شمالی تنها یک فیدر فشار ضعیف وجود دارد. کابل‌های سرویس، وظیفه اتصال کنتورهای برق مشترکین به فیدرهای فشار ضعیف را بر عهده دارند. ران به یاد آورد که در سیستم TCR، اطلاعات مربوط به ارتباط مشترکین و ترانسفورماتورها ذخیره شده اما فیدرهای فشار ضعیف و کابل‌های سرویس کاملا نادیده گرفته شده اند.

با بررسی بیشتر شبکه‌های فشار ضعیف هوایی، ران متوجه شد که بر روی برخی پایه‌ها بیش از یک فیدر ته خط شده و در این نقاط، امکان مانور بین فیدرهای فشار ضعیف در نظر گرفته شده است. ران می‌دانست که باید موقعیت مکانی نقاط مانور فشار ضعیف را در سیستم GIS مدل‌سازی کند. در شبکه هوایی، کابل‌های سرویس از خطوط فشار ضعیف هوایی منشعب شده و تا محل کنتور مشترک ادامه پیدا می‌کنند. کابل سرویس‌های زمینی از فیدرهای زمینی منشعب می‌شوند و از طریق لوله و یا دفن مستقیم در زیر خاک به محل مشترک می‌رسند. برخی مواقع، کابل تغذیه‌کننده مشترک به‌صورت مستقیم از خروجی فشار ضعیف پست احداث می‌شود و تا محل کنتور یا جعبه انشعاب زمینی مجاور موقعیت مکانی مشترک ادامه پیدا می‌کند. درصورتی‌که شرکت توزیع، برق را در جعبه انشعاب به مشترک تحویل دهد، مسئولیت اتصال جعبه انشعاب به کنتور بر عهده مشترک است.

شبکه روشنایی معابر

در سیستم آمریکای شمالی، معمولاً شبکه روشنایی معابر از فیدرهای فشار ضعیف منشعب و برای سطح ولتاژ ۱۲۰ و یا ۲۴۰ ولت طراحی می‌شود. برای مناطقی که با ولتاژ ۴۸۰ ولت سه فاز تغذیه شده است، مثل مراکز تجاری، از ۲۷۰ ولت تک فاز برای تغذیه شبکه روشنایی معابر استفاده می‌شود. شبکه روشنایی معابر توسط فتوسل کنترل می‌شود و زمانی که هوا تاریک می‌شود، چراغ‌ها روشن و با طلوع سپیده‌دم چراغ‌ها خاموش می‌شود. برخی فتوسل‌ها نیز با تنظیم ساعت عمل می‌کنند که به آن‌ها فتوسل نجومی می‌گویند.

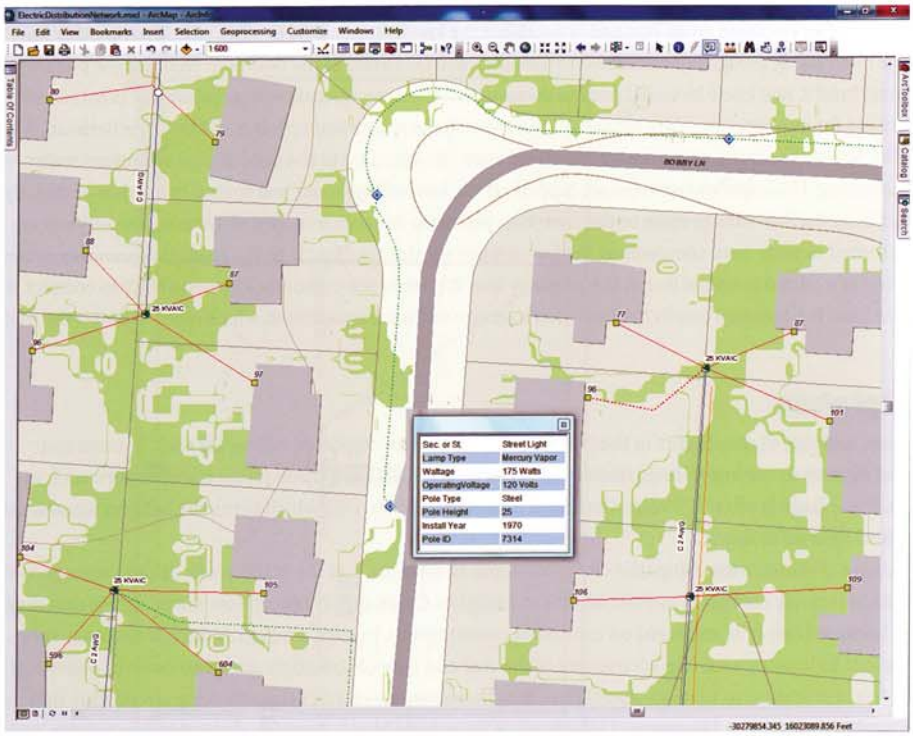
با توجه به اینکه در برخی مناطق، شهرداری مالکیت شبکه روشنایی معابر را بر عهده دارد، اندازه‌گیری دقیق میزان مصرف چراغ‌ها بسیار با اهمیت است. معمولا اطلاعات دقیقی از میزان مصرف شهرداری‌ها وجود ندارد و صورت‌حساب انرژی به‌صورت برآوردی و بر اساس تعداد پایه‌های روشنایی معابر صادر می‌شود. GIS بهترین ابزار جهت مدیریت اطلاعات روشنایی معابر است. با استفاده از GIS، می‌توان اطلاعات مربوط به نوع چراغ، توان مصرفی چراغ، نوع لامپ، مالکیت (شرکت توزیع یا شهرداری) و سایر اطلاعات مورد نیاز را به‌صورت مکانی در سیستم ذخیره کرد و بر روی نقشه‌های شهری نمایش داد. از این طریق با دقت بالایی می‌توان میزان مصرف شبکه روشنایی معابر شهرداری را محاسبه کرد. ران یک نقشه GIS داشت که شبکه روشنایی معابر در آن به نمایش در آمده بود (شکل ۸-۷). او این نقشه را زمانی که در دولت محلی کار می‌کرد، تهیه کرده بود. در خارج از آمریکای شمالی، معمولا از فیدرهای اختصاصی روشنایی معابر که از پست شروع می‌شوند، برای تغذیه چراغ‌ها استفاده می‌کنند.

شبکه فشار ضعیف در مناطق مرکزی شهر

ران زمانی که فهمید اطلاعات پست‌ها و شبکه فشار ضعیف مناطق مرکزی شهر هنوز به‌صورت نقشه‌های

کاغذی نگهداری می‌شود، بسیار دلسرد شد. ساختار شبکه فشار ضعیف بخش مرکزی شهر که به آن سیستم مش (mesh) هم گفته می‌شود، درواقع از دو نوع شبکه تشکیل شده است: شبکه چند سو تغذیه (تارعنکبوتی) (شکل ۸-۸) و شبکه حلقوی (شکل ۸-۹).

شرکت‌های توزیع در مناطقی که بارهای حساسی وجود داشته باشد، مثل بخش‌های مرکزی شهر و محدوده‌های با بار متراکم، این دو نوع شبکه را احداث و بهره‌برداری می‌کنند (به‌عنوان مثال، در شهر هوستون در ایالت تگزاس در ۹ منطقه از شبکه تارعنکبوتی استفاده شده است و در شهر بوستون در ۶ منطقه). از شبکه تارعنکبوتی برای برق‌رسانی به مناطق وسیع‌تر استفاده می‌شود و شبکه حلقوی اکثرا جهت تغذیه بارهای نقطه‌ای بسیار حساس مثل آسمان‌خراش‌ها کاربرد دارد. ران متوجه شد که مراکز تجاری بزرگ و آسمان‌خراش‌ها معمولا شبکه حلقوی اختصاصی دارند.

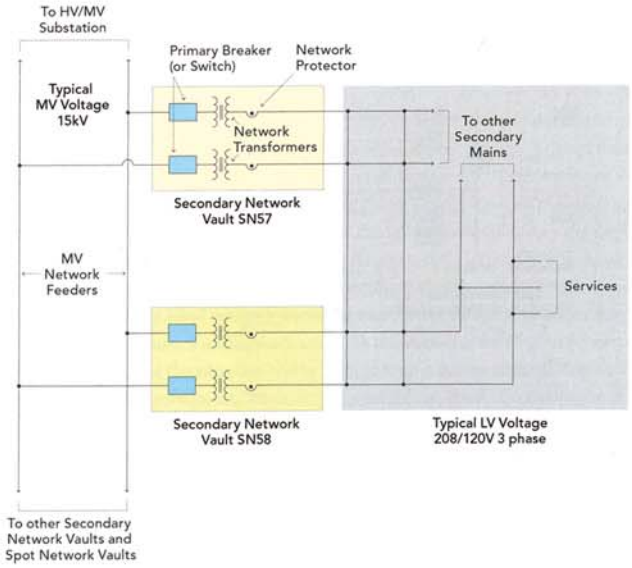


شکل ۸-۷- نمایش شبکه روشنایی معابر بر روی نقشه‌های GIS (منبع: شهرداری Westerville ایالت Ohio)

برق‌رسانی از مسیرهای مختلف

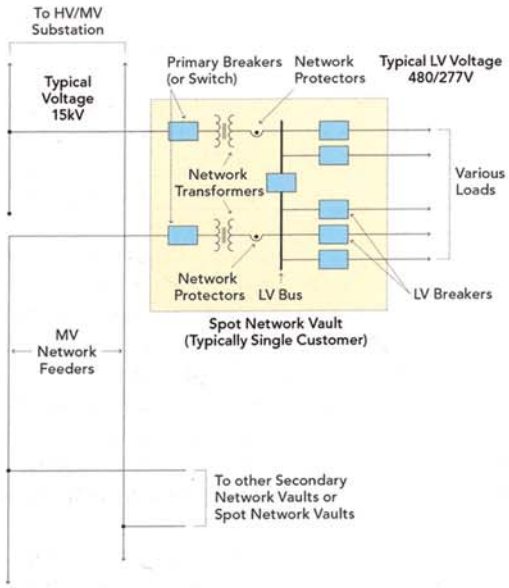
شبکه تارعنکبوتی و شبکه حلقوی قابلیت اطمینان بسیار بالایی دارند، چون می‌توانند از مسیرهای مختلف، برق مشترکین را تأمین کنند. در شبکه فشار ضعیف معمولی، اگر فیدر فشار متوسط تغذیه‌کننده پست و یا ترانسفورماتور پست دچار خرابی شود، در آن صورت کلیه مشترکین تغذیه شونده از آن پست بی‌برق می‌شوند. در شبکه چندسو تغذیه یا تارعنکبوتی خرابی فیدر فشار متوسط و یا ترانسفورماتور منجر به قطعی مشترکین نمی‌شود. حتی اگر بخشی از شبکه فشار ضعیف مش دچار خرابی شود، بازهم مشترکین بی‌برق نمی‌شوند. دلیل این موضوع بسیار ساده است: تغذیه شبکه مش توسط بیش از یک ترانسفورماتور و همچنین با به‌کارگیری فیدرهای فشار متوسط مختلف صورت می‌گیرد.

در شبکه تارعنکبوتی، شبکه مش از اتصال فیدرهای فشار ضعیف کابلی متعدد ایجاد می‌شود. شرکت‌های توزیع، کابل سرویس‌های مشترکین را به‌صورت مستقیم به شبکه مش متصل می‌کنند. برای جلوگیری از اضافه‌بار شدن کابل‌ها، شرکت‌های توزیع در برخی مناطق از محدود کننده‌های جریان استفاده می‌کنند.



شکل ۸-۸ - دیاگرام تک خطی شبکه فشار ضعیف تارعنکبوتی (منبع: Esri)

در کل دنیا، شبکه‌های حلقوی و تارعنکبوتی به‌صورت زمینی احداث می‌شوند. معمولاً کابل‌های تشکیل دهنده شبکه زمینی فشار متوسط و ضعیف از داخل لوله‌های قرار گرفته در قالب بتنی، منهول‌ها و پست‌های زیرزمینی عبور داده می‌شوند.



شکل ۸-۹- دیاگرام تک خطی شبکه حلقوی (منبع: Esri)

یکی از اجزای مهم شبکه حلقوی و تارعنکبوتی، محافظ شبکه است (شکل ۸-۱۰). محافظ شبکه از بازگشت جریان شبکه فشار ضعیف به سمت شبکه فشار متوسط جلوگیری می‌کند. به‌عنوان مثال، چنانچه در سمت شبکه فشار متوسط خطای اتصال کوتاه رخ دهد، جریان اتصال کوتاه می‌تواند از سمت مولدهای نصب‌شده بر روی شبکه فشار ضعیف به سمت شبکه فشار متوسط ایجاد شود. محافظ شبکه از این اتفاق جلوگیری می‌کند.

شکل ۸-۱۰- محافظ شبکه از بازگشت جریان شبکه فشار ضعیف به سمت شبکه فشار متوسط جلوگیری می‌کند.
(منبع: شرکت Richards Manufacturing)

ران بر اساس مطالعاتش آموخت که شبکه‌های حلقوی و تارعنکبوتی علی‌رغم قابلیت اطمینان بسیار بالا چالش‌های مخصوص به خود را دارند. اول اینکه هزینه احداث و نگهداری آن‌ها بسیار بالاتر است. مورد بعدی اینکه، با توجه به مانیتورینگ بسیار پایین شبکه فشار ضعیف کابلی، چنانچه خطایی بر روی مش‌ها اتفاق بیفتد و یا محدودکننده جریانی از مدار خارج شود، بازهم مشترکین بی‌برق نمی‌شوند و درنتیجه، شرکت توزیع متوجه ایجاد خرابی بر روی شبکه نمی‌شود. این موضوع به‌مرور زمان می‌تواند باعث ایجاد خرابی‌های گسترده در شبکه مش و درنتیجه فروپاشی آن شود. در بدترین حالت، ادامه این روند می‌تواند منجر به وقوع آتش‌سوزی‌های گسترده در شبکه کابلی و تخریب شبکه برق و تأسیسات مجاور آن شود. این شرایط ممکن است به‌ندرت اتفاق بیفتد اما واجب است پیش‌بینی لازم صورت گیرد. با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات مکانی شبکه کابلی را ذخیره کرد و بر روی نقشه‌های جغرافیایی نمایش داد، مشخص کرد که چه کابل‌هایی خراب شده‌اند، محل‌هایی از شبکه که محدودیت کابل‌های رزرو وجود دارد، تعیین کرد و موقعیت نصب تجهیزات حفاظتی را بر روی شبکه جانمایی کرد. از این طریق، می‌توان نقاط ضعف شبکه را شناسایی کرد.

چنانچه به علت خرابی‌های متعدد، شبکه تارعنکبوتی بی‌برق شود، بازیابی شبکه کار بسیار پیچیده‌ای است. به دلیل ماهیت یکپارچه و به‌هم‌پیوسته شبکه مش، راه‌حل ساده و سیستماتیکی برای وارد مدار کردن بارها وجود ندارد. به‌روز نگه داشتن اطلاعات چنین سیستمی کار دشواری است، به دلیل اینکه خیلی مواقع شرکت‌های توزیع امکان شناسایی خطاها را ندارند. همچنین به دلیل فشردگی و تراکم بالای شبکه تارعنکبوتی، مدل‌سازی و نمایش آن در سیستم GIS کار آسانی نیست. به دلیل همین پیچیدگی‌ها هنوز خیلی از شرکت‌های توزیع مثل شرکت AnyTonw Eergry اطلاعات شبکه مش مربوط به مناطق مرکزی شهر را به‌صورت کاغذی نگهداری می‌کنند. اما ران امیدوار بود بتواند این چالش را با پیاده‌سازی دقیق سیستم GIS برطرف کند.

شرکت‌های توزیع زمانی که منابع تولید پراکنده مثل سلول‌های خورشیدی، مولدهای بادی و یا مولدهای

مرسوم گازی را به شبکه تارعنکبوتی متصل می‌کنند، باید بسیار هشیار باشند، چون اگر خطایی در شبکه اتفاق بیفتد، منابع تولید پراکنده از مسیرهای مختلف جریان خطا را تقویت می‌کنند. در این حالت باید کنترل‌های پیشرفته‌تری وجود داشته باشد. توصیه می‌شود در زمان وقوع خطای اتصال کوتاه، کلیه مولدهای تولید پراکنده از شبکه جدا شوند. با این وجود، هنوز شناسایی خطاهای شبکه تارعنکبوتی یک چالش بزرگ محسوب می‌شود. معمولا شرکت‌های توزیع کنترل دقیقی بر مولدهای تولید پراکنده ندارند و در شرایط وقوع خطا ممکن است دامنه ولتاژ به‌اندازه کافی افت نکرده باشد تا بتوان خطا را شناسایی کرد. هرچه شبکه هوشمند بیشتر عمومیت پیدا می‌کند، مشکلات و چالش‌های شبکه‌های حلقوی و تارعنکبوتی بیشتر خودش را نشان می‌دهد.

مدل‌سازی شبکه فشار ضعیف

ران شناخت خوبی نسبت به انواع شبکه فشار ضعیف و همچنین تفاوت‌های موجود بین سیستم آمریکای شمالی و سایر نقاط جهان پیدا کرده بود، اما کار مهمی که حالا او باید انجام می‌داد مدل‌سازی شبکه فشار ضعیف در سیستم GIS بود. او شبکه فشار ضعیف را به سه دسته کلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

- **شبکه فشار ضعیف تک فاز:** این ساختار به آمریکای شمالی و سایر کشورهایی که از این سیستم تبعیت می‌کنند، اختصاص دارد. معماری سیستم به این شکل است که از یک انشعاب تک فاز که از شبکه فشار متوسط گرفته شده و به فیوز می‌رسد آغاز شده و در ادامه از طریق یک ترانسفورماتور تک فاز به فیدر فشار ضعیف متصل می‌شود. درنهایت، فیدر فشار ضعیف، برق مورد نیاز مشترکین که معمولا تعداد کمی هستند را فراهم می‌کند.
- **شبکه فشار ضعیف سه فاز ساده:** این سیستم شامل تجهیزات پست، ترانسفورماتور سه فاز، فیدرهای فشار ضعیف که توسط فیوز یا کلید حفاظت می‌شوند و مشترکین تک فاز و سه فاز است. این سیستم در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد اما در کشورهایی که از سیستم طراحی آمریکای شمالی تبعیت می‌کنند، بیشتر برای تغذیه مراکز صنعتی و تجاری استفاده می‌شود.
- **شبکه فشار ضعیف م ش:** این سیستم شامل پست‌های زیرزمینی، ترانسفورماتورهای بزرگ، محافظ شبکه، تجهیزات سوییچ زنی و شبکه به‌هم پیوسته فیدرهای فشار ضعیف کابلی می‌شود. از این سیستم در مراکز قدیمی شهرها زیاد استفاده شده است و معمولا اطلاعات آن به صورت نقشه‌های کاغذی نگهداری می‌شود.

جداول مرتبط با عوارض و توصیفات آن‌ها

اطلاعات توصیفی زیر برای بیشتر تجهیزات در شبکه فشار ضعیف عمومیت دارد. در جدول ۸-۱ به دسته‌بندی اطلاعات توصیفی و سیستمی که متولی ذخیره‌سازی و نگهداری از این داده‌هاست، پرداخته خواهد شد. خیلی از این اطلاعات توصیفی با سایر فصل‌ها مشابه است. جدول ۸-۲ مدل داده شبکه فشار ضعیف را نمایش می‌دهد.

جدول ۸-۱- اطلاعات توصیفی مورد استفاده در GIS

دسته‌بندی داده	اطلاعات توصیفی	محل نگهداری داده	توضیحات
پلاک مشخصات نامی	• سازنده • ولتاژ نامی • جریان نامی • سطح اتصال کوتاه	زمانی که برای اولین بار تجهیز به شرکت تحویل داده می‌شود، اطلاعات آن در سیستم مدیریت کالا و یا سیستم انبارداری ثبت می‌شود.	تجهیزات کمی در شبکه فشار ضعیف هستند که پلاک دارند. این اطلاعات برای انواع گزارش‌گیری‌ها کاربرد دارد.
تحلیل های مداری	• نتایج حاصل از محاسبات پخش بار • نتایج حاصل از محاسبات اتصال کوتاه	با توجه به اینکه سیستم خاصی متولی نگهداری این داده‌ها نیست، می‌توان از GIS برای ذخیره‌سازی این اطلاعات استفاده کرد.	محاسبات الکتریکی در سمت فشار ضعیف ساده است و می‌توان آن را به‌صورت مستقیم در داخل GIS انجام داد.
اطلاعات دینامیک	مقدار واقعی و در لحظه: • ولتاژ • جریان • توان اکتیو و راکتیو • باز یا بسته بودن کلیدها • برق‌دار و یا بی‌برق بودن	در برخی سیستم‌های DMS امکان ذخیره‌سازی و مدیریت اطلاعات دینامیک شبکه فشار ضعیف پیش‌بینی شده است. معمولاً اطلاعات دینامیک شبکه فشار ضعیف از کنتورهای هوشمند دریافت می‌شود.	مشاهده اطلاعات دینامیک بر روی نقشه‌های GIS ما را از آخرین وضعیت شبکه مطلع می‌کند.
تعمیرات و نگهداری	• تاریخ آخرین بازدید تجهیز • شرایط تجهیز در آخرین بازدید	اطلاعات مربوط به بازدید در سیستم تعمیرات و یا سیستم مدیریت پروژه نگهداری می‌شود. GIS از این اطلاعات برای ارزیابی ریسک استفاده می‌کند.	با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS، می‌توان اطلاعات بازدید تجهیزات را در محل ثبت کرد.
اطلاعات دوره عمر تجهیزات	• عمر تجهیز • تاریخ سرویس تجهیز • پیش‌بینی نرخ خرابی	در خصوص تجهیزات فشار ضعیف، داده‌های بسیار کمی در این زمینه وجود دارد	با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات وابسته به طول عمر تجهیزات را نمایش داد.
مالی	• هزینه خرید تجهیز • هزینه نصب تجهیز • هزینه نگهداری تجهیز • هزینه تعویض تجهیز • اطلاعات مالیاتی دارایی‌ها	این اطلاعات در سیستم حسابداری تأسیسات مدیریت می‌شود. می‌توان از این داده‌ها در GIS برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها استفاده کرد.	اطلاعات مالی مثل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات، کد حسابداری تجهیزات و تجهیزات وابسته به یکدیگر بیشتر در زمان تهیه طرح مبتنی بر GIS کاربرد دارد.

جدول ۸-۲- مدل داده شبکه فشار ضعیف

نام عارضه	کلاس عارضه	نحوه نمایش در GIS	توضیحات
اتصالات فشار ضعیف مثل شینه	هادی	خطی	مشابه شینه فشار متوسط
سوییچ فشار ضعیف	قطع کننده	نقطه‌ای و یا خطی	یک کلید دستی که معمولاً برای قطع مدار در شرایط بی‌باری پیش‌بینی شده و یک قطعی قابل مشاهده را فراهم می‌کند.
فیوز فشار ضعیف	قطع کننده	نقطه‌ای	قطع کننده جریان اتصال کوتاه، نقطه شروع فیدر فشار ضعیف
نقطه اتصال SCADA	نقطه مانیتورینگ	نقطه‌ای	محلی که اندازه‌گیری در آن نقطه صورت می‌گیرد. اطلاعات اندازه‌گیری شده از طریق بستر مخابراتی برای سیستم کنترل مرکزی ارسال می‌شود.
خط هوایی	هادی	خطی	سیم حامل جریان الکتریسیته
کابل زمینی	هادی	خطی	کابل حامل جریان الکتریسیته

مشکلات ناقص بودن اطلاعات

ران پیش‌بینی می‌کرد که پراکنده بودن اطلاعات شبکه فشار ضعیف در بخش‌های مختلف شرکت و نبودن بخش مهمی از اطلاعات شبکه در قالب نقشه‌های دیجیتالی گرفتاری‌های زیادی را برای شرکت AnyTonw Energy ایجاد کند. او بر اساس مطالعاتش دریافته بود که شبکه فشار ضعیف به‌اندازه شبکه فشار متوسط برای شرکت توزیع استراتژیک نیست. با این حال، برای کلیه برنامه‌هایی که با اطلاعات مشترکین سر و کار دارد ضروری است. علاوه بر این، با توجه به اینکه شرکت عملیاتی سازی پروژه شبکه هوشمند را شروع کرده، به‌زودی به این نکته خواهد رسید که شبکه فشار ضعیف حلقه رابط بین کنتورهای هوشمند و شبکه فشار متوسط است. ران بسیار تأسف خورد که اطلاعات شبکه فشار ضعیف در نقشه‌های دیجیتالی شرکت وارد نشده است. امروزه نصب مولدهای بادی، گازی و خورشیدی توسط مشترکین رو به افزایش است. توان تولید شده توسط این مولدها در شبکه فشار ضعیف جریان پیدا خواهد کرد و ممکن است باعث اضافه‌بار در برخی تجهیزات شبکه توزیع شود. همچنین اگر بر اساس برخی پیش‌بینی‌ها، مردم به‌سرعت به سمت خودروهای برقی و هیبریدی گرایش پیدا کنند، توان عبوری از شبکه فشار ضعیف، افزایش قابل‌توجهی پیدا خواهد کرد.

ران با خودش فکر کرد چگونه شرکت AnyTown Energy بخش های تحت فشار شبکه فشار ضعیف را شناسایی خواهد کرد. (به دلیل تزریق جریان ناشی از نصب مولدهای تولید پراکنده و اضافه بار ناشی از برقی شدن خودروها). در شرایطی که داده‌های شبکه فشار ضعیف در واحدهای مختلف شرکت پراکنده شده، بخش مهمی از اطلاعات در نقشه‌های دیجیتالی شرکت وارد نشده و هنوز هم برخی اطلاعات، فقط در ذهن افراد باتجربه نقش بسته است، پیاده‌سازی شبکه هوشمند بیشتر به یک رویا شبیه است. فرانک و همکارانش در زمان دیجیتالی کردن نقشه‌های شرکت بنا به دلایلی از شبکه فشار ضعیف صرف‌نظر کرده بودند. ران می‌دانست که دیگر نمی‌توان از شبکه فشار ضعیف چشم‌پوشی کرد.

فصل نهم

تجهیزات نگه‌دارنده، از پایه تا منهول

تجهیزات نگه‌دارنده، از پایه تا منهول

ران ابتدا از اینکه می‌دید این حجم از تجهیزات شرکت AnyTown Energy در نقشه‌های واحد نقشه‌برداری وجود ندارد، بسیار نگران شده بود، اما بعد تصمیم جدی گرفت که نقص‌های احتمالی را در سیستم GIS برطرف کند. قبل از اینکه او بخواهد درخواست خود مبنی بر بازنگری در چارچوب پروژه GIS و توسعه آن را با مدیران ارشد سازمان مطرح کند، باید دقیقا کمبودهای موجود را شناسایی می‌کرد. او باید با بررسی بیشتر، اجزایی از شبکه توزیع که در سیستم نقشه‌برداری شرکت مدل نشده بودند را مشخص می‌کرد و همچنین تعیین می‌کرد که آیا تجهیزات از قلم افتاده، در جای دیگری از شرکت به صورت دیجیتالی نگهداری می‌شوند و یا خیر. او این بار به خود قول داده بود که شتاب‌زده واکنش نشان ندهد. بعد از این اتفاقات عجیب و غریب او دیگر آمادگی هر پیشامدی را داشت.

ران متوجه شده بود که اطلاعات مربوط به شبکه فشار ضعیف شامل فیدرها و خطوط کابل سرویس به‌صورت دیجیتالی در هیچ جای شرکت وجود ندارد. او فهمیده بود که اطلاعات مربوط به پست‌های توزیع مرکز شهر تنها در اختیار واحد بهره‌برداری است. و او به چشم خود دیده بود که اطلاعات مربوط به پست‌های فوق توزیع به‌صورت نقشه‌های کاغذی و یا فایل‌های اتوکد در واحد طراحی پست نگهداری می‌شود.

ران باید تحقیقاتش را کامل می‌کرد، بنابراین با فرانک تماس گرفت تا نظر او را درباره عوارض جامانده از نقشه‌های شرکت بداند.

ران به او گفت: "مأموریت اصلی ما در پروژه GIS، ایجاد سیستمی است که همه دارایی‌های شبکه توزیع را تحت پوشش قرار دهد." فرانک از او پرسید که منظورش از همه دارایی‌های شبکه توزیع چیست. ران با قاطعیت پاسخ داد: "خیلی شفاف است. همه دارایی‌های شبکه توزیع، از تجهیزات الکتریکی گرفته تا یراق‌آلات و تجهیزات نگه‌دارنده."

فرانک پرسید: "اما چرا؟ من تصور می‌کردم که تو تنها به دنبال تجهیزات الکتریکی شبکه توزیع باشی و سایر عوارض مثل منهول، لوله و کانال برای تو مهم نباشد. منظور من این است که اطلاعات غیرضروری مثل کانال حفر کابل، چه اهمیتی می‌تواند داشته باشد؟"

تجهیزات مهم از قلم افتاده

تصویر کلی وضعیت داده‌های شرکت کم‌کم داشت برای ران شفاف می‌شد. تجهیزات نگه‌دارنده محدودی در نقشه‌های دیجیتالی شرکت AnyTown Energy ثبت شده بودند. تنها پایه‌هایی که از روی آن‌ها شبکه فشار متوسط عبور کرده بود، در نقشه‌های شرکت وجود داشتند. نقشه‌های دیجیتالی مربوط به تجهیزات نگه‌دارنده بخش مرکزی شهر در هیچ کجای شرکت وجود نداشت و تنها نقشه‌های کاغذی و رنگ و رو رفته آن در واحد طراحی نگهداری می‌شد.

هنوز ران باید اطلاعات بیشتری از فرانک کسب می‌کرد. به نظر می‌رسید که هیچ‌کس از واحد نقشه‌برداری انتظار نداشته است که یک نقشه جامع از کلیه دارایی‌های شرکت ایجاد کند. ران از فرانک پرسید: "احتمالا شما هر آنچه برایتان مقدور بوده است در نقشه‌های شرکت آورده‌اید؟" فرانک پاسخ داد: "تقریبا همین‌طور است. اولویت اول ما این بود که شبکه فشار متوسط را بر روی نقشه پیاده کنیم. شرکت ما تا پیش از دیجیتالی کردن اطلاعات واحد نقشه‌برداری، مشکلات زیادی برای به‌روز نگه داشتن داده‌های شبکه فشار متوسط داشت. اطلاعات شبکه فشار متوسط برای طراحان و برنامه ریزان بسیار حائز اهمیت است و ما توانستیم با انجام این پروژه، فرآیند به‌روزرسانی نقشه‌ها را با نیروی انسانی کمتر و در زمان کوتاه‌تر انجام دهیم."

ران با خودش فکر کرد که چگونه طراحان و برنامه‌ریزان از این نقشه‌ها استفاده می‌کنند؟ چگونه می‌توان از این نقشه‌ها برای کاربردهای مختلف مثل طراحی، مدیریت بحران، ارزیابی مالیات و یا مدیریت دارایی استفاده کرد، وقتی‌که حدود نیمی از اطلاعات مورد نیاز در قفسه کمدها و یا توسط واحدهای خاص نگهداری می‌شود و حتی برخی داده‌ها اصلا مرجعی برای نگهداری ندارد.

ران در حال فکر کردن به این موضوع بود که فرانک مجددا تأکید کرد: "با دیجیتالی کردن سیستم نقشه‌برداری شرکت، مشکل به‌روزرسانی فیدرهای فشار متوسط کاملا مرتفع شده است."

قطعا سیستم موجود در زمان خودش کاربردی و مفید بوده است. اما برای داشتن یک سیستم اطلاعاتی جامع که قابلیت تحلیل شبکه و ره‌گیری تجهیزات را داشته باشد، لازم است GIS به کلیه اطلاعات دقیق از همه اجزای شبکه توزیع دسترسی داشته باشد. اجزای شبکه توزیع شامل نقشه پایه، تجهیزات الکتریکی، تجهیزات نگه‌دارنده و مشترکین می‌شود. برای تحلیل مناسب شبکه توزیع، همه این اجزاء باید کامل باشند. گردآوری اطلاعات الکتریکی و غیر الکتریکی مورد نیاز GIS دشوارتر از تصور اولیه ران شده بود.

ران قبلا هم با چنین تجربه‌ای مواجه شده بود. بسیاری تصور می‌کنند که GIS یک ماشین تولید نقشه است و به آن به چشم یک سیستم مدیریت اطلاعات مکانی که تسهیل کننده فرآیندهای کلیدی سازمان است نگاه نمی‌کنند. بنابراین یکی از توجیهاتی که او می‌توانست برای توسعه شرح خدمات پروژه GIS بیاورد، تأکید بر روی این نکته بود که رسالت یک شرکت خدماتی، تولید نقشه‌های جذاب و رنگی نیست، بلکه استفاده از نقشه به‌عنوان سرویس در فرآیندهای مکان محور سازمان است.

اطلاعات جامانده از نقشه

ران ناامید نبود. هنوز سه هفته از شروع به کارش در شرکت AnyTown Energy می‌گذشت و او اکنون در جایگاه مناسبی قرار داشت. او در دو حوزه پیشرفت بسیار زیادی کرده بود: (۱) اطلاعات بسیار مناسبی در خصوص کسب‌وکار، فرآیندهای کاری و تجهیزات شرکت کسب کرده بود. (۲) ارزیابی جامعی در خصوص اینکه چه مقدار از اطلاعات مورد نیاز سیستم GIS به‌صورت دیجیتالی نگهداری می‌شود، انجام داده بود. در مورد دوم، او باید تعیین می‌کرد که این اطلاعات دیجیتال در سیستم نقشه‌برداری شرکت نگهداری می‌شود و یا در بخش‌های دیگر. حتی می‌توان برخی داده‌های رقومی مورد نیاز را به‌صورت

سرویس و از خارج از سازمان دریافت کرد.
ران اطلاعات مناسبی در زمینه تجهیزات الکتریکی کسب کرده و با نحوه اتصال این تجهیزات به یکدیگر آشنا شده بود. اکنون زمان آن رسیده بود که او تمرکزش را بر روی تجهیزات نگه‌دارنده می‌گذاشت. او متوجه شد که بخش‌های مختلفی در شرکت AnyTown Energy در مدیریت این اطلاعات نقش دارند. بسیاری از تجهیزات نگه‌دارنده در بخش لیست مصالح نرم‌افزار مدیریت پروژه ثبت شده بودند، اما موقعیت مکانی احداث تجهیزات نگه‌دارنده در این سیستم مشخص نبود. اطلاعات تجهیزات نگه‌دارنده در پایگاه داده‌های مختلف و پراکنده‌ای نگهداری می‌شد. اطلاعات مربوط به پایه‌ها در جداول اکسل ذخیره شده بود؛ یک سیستم برای بازدید منهول‌ها و لوله‌ها وجود داشت؛ برای بازرسی پست‌های پدمانتد سیستم دیگری وجود داشت؛ داده‌های پایه‌های روشنایی معابر در یک پایگاه داده مستقل ثبت شده بود و اطلاعات مربوط به کانال‌ها و مسیرهای کابلی هم به‌صورت نقشه‌های کاغذی نگهداری می‌شد. ران با خودش فکر کرد که کاش اطلاعات این نقشه‌های کاغذی نیز تابه‌حال به‌صورت دیجیتالی درآمده بودند.
هرچند وضعیت نگهداری از داده‌های مربوط به تجهیزات نگه‌دارنده در حد انتظار ران نبود اما بازهم جای شکرش باقی بود که حداقل منابع اطلاعاتی لازم وجود داشت. برخلاف فرانک، ران ابزاری در اختیار داشت که می‌توانست به کمک آن و با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی به مدیران شرکت نشان دهد که با توسعه پروژه GIS و برداشت کلیه اجزای شبکه، در مدت کوتاهی سرمایه‌گذاری صورت گرفته جبران خواهد شد. ران تصمیم گرفته بود که کلیه اطلاعات مکان محور شرکت را در یک سیستم جامع با کاربری آسان یکپارچه‌سازی کند.
برای ایجاد یک مدل داده فراگیر که شامل تجهیزات نگه‌دارنده نیز باشد، او باید نحوه ارتباط تجهیزات الکتریکی با تجهیزات نگه‌دارنده را شناسایی می‌کرد. او بارها سیم‌های برق آویخته شده از پایه‌های چوبی را دیده بود. او متوجه شده بود که چراغ‌ها معمولاً بر روی پایه‌های روشنایی معابر نصب می‌شوند. از پنجره اتاق پذیرایی، او می‌توانست نحوه اتصال تجهیزات الکتریکی و تجهیزات نگه‌دارنده را مشاهده کند. همه این ارتباطات باید در سیستم GIS مدل‌سازی می‌شد. اما قبل از شروع مدل‌سازی، او باید اطلاعات کاملی در خصوص نحوه کارکرد تجهیزات نگه‌دارنده کسب می‌کرد، بنابراین تمرکز اصلی اکنون بر روی این تجهیزات بود.

سه دسته تجهیزات نگه‌دارنده

شرکت‌های برق برای نگهداری از تجهیزات الکتریکی مثل سیم و کابل از سازه‌های مختلفی استفاده می‌کنند. نصب تجهیزاتِ الکتریکی بر روی پایه یک شیوه بسیار متداول است. اما چرا پایه؟ ساموئل مورس، مخترع تلگراف، احتمالا اولین کسی بوده که از پایه برای انتقال و نگاه داشتن سیم استفاده کرده است. زمانی که او قرارداد احداث چند خط تلگرام بین شهر بالتیمور و واشنگتن را امضا کرد، اول تصمیم گرفت طبق عرف آن زمان، خط را از زیرزمین عبور دهد. اما به دلیل مشکلات فراوان بهره‌برداری از خط زمینی، او درنهایت تصمیم گرفت که از پایه‌های چوبی برای انتقال خطوط تلگرام استفاده کند. او با استفاده از مقره، سیم‌ها را به پایه متصل کرد. ران با خودش فکر کرد که اگر مورس توانسته بود خطوط تلگرام را به‌صورت زمینی احداث کند، شاید هرگز استفاده از خطوط هوایی برای انتقال انرژی الکتریسیته این‌قدر متداول نمی‌شد.
ران بر اساس مطالعاتش آموخت که تجهیزات نگه‌دارنده عوارض الکتریکی به سه دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند:

- **هوایی:** تجهیزات نگه‌دارنده شبکه هوایی. مثل انواع پایه‌ها

• **سطحی:** سازه‌های نگه‌دارنده و محافظت‌کننده از تجهیزات الکتریکی سطحی. تابلوی پدمانتد یک نمونه از تجهیزات نگه‌دارنده سطحی است.

• **زیرزمینی:** سازه‌های طراحی شده جهت نگهداری و محافظت از تجهیزات الکتریکی زیرزمینی. منهول و پست زیرزمینی دو نمونه از این سازه‌ها هستند.

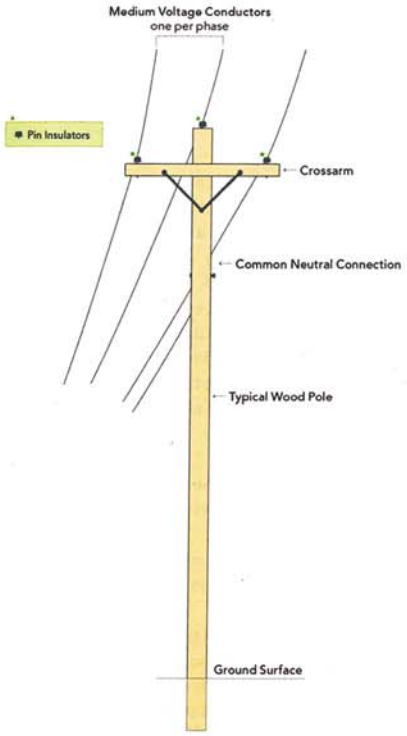
اتاق‌های برق ساخته شده در مجتمع‌ها و آپارتمان‌ها نوع دیگری از تجهیزات نگه‌دارنده هستند. در طبقات زیرین برخی مجتمع‌های تجاری و اداری هم اتاق برق احداث شده است. به این اتاق‌های برق، پست زیرزمینی نیز گفته می‌شود. کابل‌های دفن شده در زیر خاک به پست‌های زیرزمینی منتهی می‌شوند. این پست‌ها، نگه‌دارنده تجهیزات الکتریکی خطوط زمینی هستند. تجهیزات الکتریکی مختلف مثل ترانسفورماتورها و انواع کلیدها در داخل پست زیرزمینی نگهداری می‌شوند. خطوط کابلی از طریق لوله، کانال و ترانشه به پست زیرزمینی متصل می‌شوند. از سینی کابل برای اتصال کابل به دیواره پست زیرزمینی استفاده می‌شود. از دیدگاه GIS، اتاق برق‌های احداث شده در زیرزمین مجتمع‌ها با پست‌های زیرزمینی احداث شده در زیر پیاده‌روها و منهول‌ها کارکرد یکسانی دارند.

شرکت‌های برق، بسته به شرایط، از انواع مختلف تجهیزات نگه‌دارنده استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال، ممکن است بخشی از یک فیدر فشار متوسط به‌صورت هوایی و از روی پایه‌ها عبور کرده باشد، برخی از تجهیزات این فیدر به‌صورت سطحی احداث شده باشد و بخشی از فیدر از زیرزمین و از داخل منهول و پست زیرزمینی انتقال داده شده باشد. به‌عنوان نمونه، یک پست هوایی MV/LV نصب شده بر روی پایه در شکل ۹-۱ آورده شده است.

شکل ۹-۱- یک پست هوایی MV/LV نصب شده بر روی پایه (منبع: شرکت توزیع CEZ)

ساختار هوایی

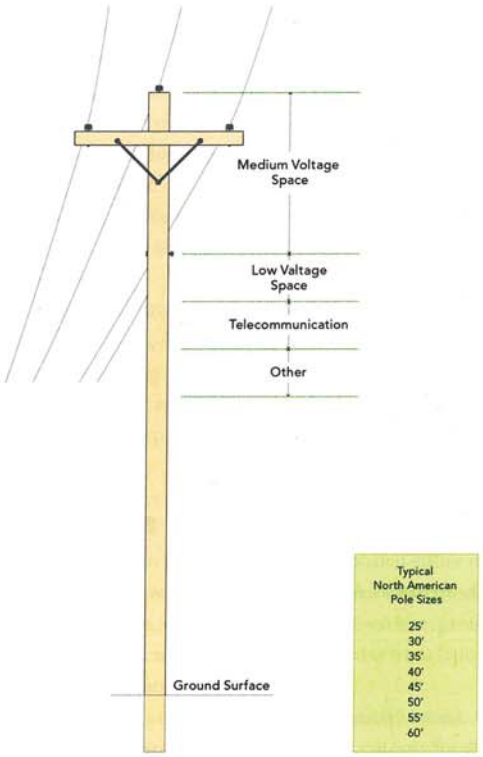
برای خطوط هوایی از انواع پایه‌ها به‌عنوان تجهیز نگه‌دارنده استفاده می‌شود (به یادداشت‌های ران در خصوص انواع پایه‌های برق مراجعه کنید). برای ساخت پایه از مواد مختلف مثل بتن و فلز استفاده می‌شود. عمومی‌ترین نوع پایه، پایه‌های چوبی هستند (شکل ۹-۲)، درست مثل همان‌هایی که مورس برای انتقال خطوط تلگراف از آن استفاده کرد.



شکل ۹-۲- ساختار یک نمونه پایه چوبی (منبع: Esri)

پایه‌های احداث شده در یک خط ممتد صحنه‌ای است که همه ما با آن مواجه شده‌ایم. این طرح قدیمی اما متداول، شامل یک سری پایه می‌شود که عمدتاً بین ۹ تا ۱۲ متر ارتفاع دارند و فاصله بین پایه‌ها به‌طور متوسط در حدود ۴۵ متر است. فاصله بین پایه‌ها و همچنین ارتفاع پایه‌ها ممکن است بسته به شرایط متفاوت باشد، اما هنوز یادآور خاطره اولین خط هوایی احداث شده توسط ساموئل مورس است. در زمان احداث شبکه، قسمتی از طول پایه در زیرزمین قرار می‌گیرد تا پایه بتواند کشش‌های وارد شده از سمت تجهیزات منصوبه را تحمل کند. معمولا شبکه فشار متوسط از رأس پایه و شبکه فشار ضعیف از چند متر پایین‌تر و از کناره پایه عبور داده می‌شود. سیم‌های هوایی از طریق مقره به پایه متصل می‌شوند.

فاصله بین شبکه فشار متوسط و شبکه فشار ضعیف بر روی پایه متغیر است و بستگی مستقیم به سطوح ولتاژی مورد استفاده دارد. بر اساس یک قاعده کلی، شبکه فشار متوسط از بخش بالایی پایه عبور می‌کند. در پله بعدی و از ارتفاع پایین‌تر، شبکه فشار ضعیف عبور داده می‌شود و درنهایت و از پایین شبکه فشار ضعیف، سایر خطوط مثل خط تلفن انتقال داده می‌شود (شکل ۹-۳).



شکل ۹-۳- بخش‌های مختلف عبور خط هوایی بر روی یک پایه چوبی (منبع: Esri)

فضای اطراف سیم‌های برق که به‌اصطلاح به آن حریم شبکه می‌گویند، بسیار خطرناک است. بنابراین هر کس که بخواهد بر روی پایه کار کند (مثل کارگر شرکت مخابرات) نباید به هیچ عنوان در حالت برق‌داری شبکه به حریم خطوط نزدیک شود.

برخی مواقع، شرکت‌های برق از پایه‌های انتقال برای عبور شبکه فشار متوسط استفاده می‌کنند. در این حالت، از آرایش عمودی برای انتقال خط فشار متوسط استفاده می‌شود و سیم‌های شبکه از طریق کراس آرم و مقره به کناره پایه متصل می‌شوند.

کراس آرم‌ها بر روی بخش بالایی پایه نصب می‌شوند و یک فضای مناسب را جهت نصب سایر تجهیزات مثل مقره‌ها و انواع کلیدها فراهم می‌کنند. سال‌های متمادی است که شرکت‌های برق برای اتصال خطوط هوایی فشار متوسط به پایه از کراس آرم استفاده می‌کنند. متداول‌ترین حالت، از یک کراس آرم تکی تشکیل شده که در نزدیکی رأس پایه نصب شده است. در این آرایش، دو مقره به نزدیکی نقاط انتهایی کراس آرم متصل می‌شود و یک مقره نیز در رأس پایه قرار می‌گیرد. فاز وسط شبکه فشار متوسط سه فاز از مقره نصب شده در رأس پایه و دو فاز کناری از روی مقره‌های نصب شده بر روی کراس آرم عبور داده می‌شود.

یادداشت‌های آقای ران

انواع پایه‌های برق

بسیاری از پایه‌ها از جنس چوب ساخته شده‌اند. در فرآیند ساخت پایه‌های چوبی معمولاً از مواد مخصوص برای اشباع تحت فشار پایه استفاده می‌کنند تا طول عمر آن‌ها افزایش پیدا کند. برای ساخت پایه‌های چوبی از درختان مختلف مثل کاج، سرو، صنوبر، راش و افرا استفاده می‌شود. کلاس و ارتفاع، مهم‌ترین مشخصات فنی پایه‌های چوبی هستند. قطر پایه‌های چوبی در بخش بالایی و زیرین، بر اساس کلاس و ارتفاع تعیین می‌شود. موسسه استاندارد ملی آمریکا (ANSI) ده کلاس مختلف برای پایه در نظر گرفته است. هرچه کلاس پایه بالاتر می‌رود، قطر آن کمتر می‌شود. قطورترین پایه، کلاس یک را به خود اختصاص داده است. کلاس دو متداول‌ترین پایه چوبی مورد استفاده در شبکه برق است. کلاس و ارتفاع پایه را می‌توان به‌عنوان یک قلم توصیفی در سیستم GIS در نظر گرفت. بنابراین در تهیه مدل داده GIS باید به این نکات توجه کرد. ممکن است مقادیر مجاز مربوط به ارتفاع و کلاس پایه از طریق یک سیستم دیگر مثل لیست مصالح در سیستم GIS بارگذاری شود.

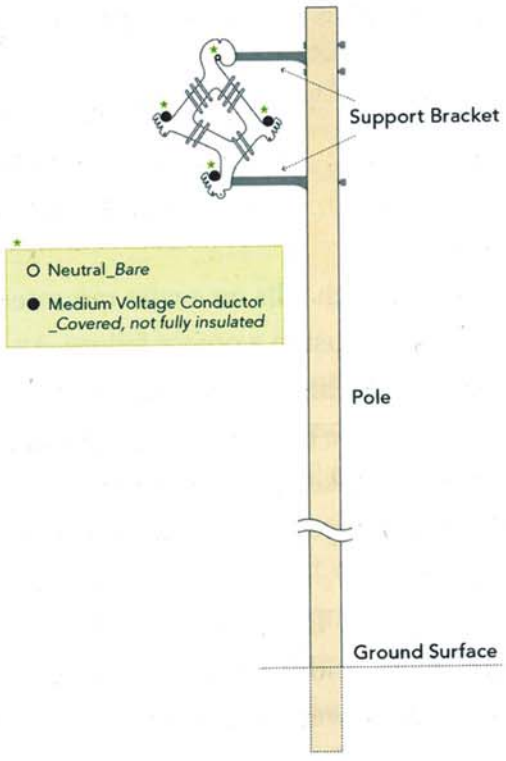
عمر پایه‌های برق به‌ندرت از ۵۰ سال عبور می‌کند. بیشتر شرکت‌های برق برای شناسایی پایه‌ها آن‌ها را شماره‌گذاری می‌کنند. بعلاوه، سازندگان نیز مشخصات مهم پایه مثل قدرت کشش، سال ساخت و ارتفاع پایه را بر روی آن حک می‌کنند. این اطلاعات که اصطلاحاً به برند تجهیز معروف است، در ارتفاعی از پایه حک می‌شود که پس از نصب با چشم به‌راحتی قابل مشاهده باشد. معمولاً ۱.۵ متر از یک پایه ۹ متری در زمان نصب در داخل زمین قرار می‌گیرد.

پایه‌ها در انواع مختلفی ساخته می‌شوند. به‌عنوان مثال، در کشور استرالیا از نوعی پایه فلزی استفاده می‌شود که در بخش‌هایی از آن از قالب بتنی استفاده شده است. پایه‌های بتنی و فلزی در سرتاسر جهان کاربرد دارند اما پایه‌های چوبی به دلیل سبکی و راحتی نصب و همین‌طور هزینه‌های پایین‌تر سرمایه‌گذاری و نگهداری، متداول‌تر هستند. ساموئل مورس می‌تواند به دلیل ابتکارش به خود افتخار کند.

آرایش کراس آرم‌ها بر روی پایه بسته به ابعاد و وزن تجهیزات منصوبه می‌تواند متفاوت باشد (شکل ۹-۴). در محل‌هایی که به استحکام مکانیکی بیشتری احتیاج باشد، معمولا از دو کراس آرم نصب شده به‌موازات یکدیگر که هرکدام در یک طرف تیر نصب شده و به یکدیگر پیچ شده‌اند، استفاده می‌شود. بسته به تجهیزات شبکه هوایی نصب شده بر روی پایه ممکن است به تعداد بیشتری کراس آرم احتیاج باشد.

شکل ۹-۴- آرایش‌های مختلف کراس آرم بر روی پایه (منبع: Esri، عکاس: بیل میهان)

ران بر اساس مطالعاتش دریافت که برخی شرکت‌های برق از یک تجهیز نگه‌دارنده خاص برای اتصال خط هوایی به پایه استفاده می‌کنند (شکل ۹-۵). خطوط هوایی که به‌صورت کابل‌های فاصله‌دار اجرا شده‌اند، از طریق اسپسر (spacer) به پایه متصل می‌شوند. ران در دفترچه یادداشتش به‌عنوان تذکر نوشت که بعدا از استنلی سؤال کند، آیا این نوع شبکه در شرکت AnyTown Energy اجرا شده است؟ در این آرایش خاص، سه فاز و سیم نول به‌صورت خطوط باندل در کنار هم قرار می‌گیرند و از طریق تجهیز نگه‌دارنده اسپیسر به پایه متصل می‌شوند. اسپیسر از طریق براکت (bracket) به یک سمت پایه متصل می‌شود. از این آرایش بیشتر در مناطق پردرخت استفاده می‌شود. در آرایش‌های متداول، زمانی که یک شاخه درخت در اثر طوفان و یا شرایط بد جوی بر روی شبکه هوایی می‌افتد معمولا به دلیل برخورد فازها و یا پارگی سیم، اتصالی رخ می‌دهد و فیوز و یا کلید بالادست عمل می‌کند. حتی اگر سیم پاره نشود، قرار گرفتن شاخه درخت بین شبکه و زمین می‌تواند منجر به خطای اتصال کوتاه تک فاز شود. شبکه‌های هوایی اجرا شده به‌صورت کابل‌های فاصله‌دار، به دلیل روکش‌دار بودن سیم‌ها و همچنین حفظ شدن مناسب‌تر فاصله بین سیم‌ها، کمتر دچار خرابی می‌شوند. از دیدگاه فنی، اسپیسر یک تجهیز نگه‌دارنده است و کابل‌های فاصله‌دار، زیرمجموعه خط فشار متوسط هوایی محسوب می‌شوند.



شکل ۹-۵- کابل‌های فاصله دار از طریق اسپیسر به پایه متصل می‌شوند. (منبع: Esri)

شرکت‌های برق ابتدا پایه‌ها را نصب می‌کنند و سپس تجهیزات الکتریکی مختلف مثل ترانسفورماتور، کلید، برقگیر، اتوبوستر، تابلوی کنترل و تجهیزات شبکه هوشمند را با استفاده از تجهیزات نگه‌دارنده مثل تسمه، سکو و کراس آرم به پایه متصل می‌کنند. با توجه به وزن تجهیزات منصوبه بر روی پایه و نیروهای کششی وارد بر آن، باید از پایه با مشخصات فنی مناسب استفاده کرد و پیش‌بینی لازم را در زمان تهیه

طرح انجام داد. هر پایه باید بتواند نیروهای وزن وارد شده بر آن و نیروهای کششی وارد شده از طرف سیم‌های متصل به پایه را تحمل کند. در زمان وقوع تندباد و یا بارش شدید برف، پایه‌ها باید بتوانند نیروهای اضافی وارد شده را نیز تحمل کنند.

شرکت‌های توزیع با انجام محاسبات مکانیکی از استحکام مناسب شبکه مطمئن می‌شوند. به‌منظور افزایش استحکام پایه از تجهیزات مختلفی مثل سیم مهار و پایه مهار استفاده می‌شود. سیم مهار مثل یک نقطه اتکایی عمل می‌کند و به بالای بخش میانی پایه متصل می‌شود. بخشی از دستگاه مهار در زیرزمین قرار می‌گیرد و این بخش در سمتی از پایه ایجاد می‌شود که با اتصال سیم مهار بتوان نیرویی که در جهت عکس به پایه وارد می‌شود را جبران کرد. نقطه اتصال سیم مهار به پایه، پایین‌تر از محل نصب سیم‌های برق در نظر گرفته شده است. برخی مواقع از پایه مهار برای افزایش استحکام پایه اصلی استفاده می‌شود. مشابه سیم مهار، پایه مهار نیز در سمتی از پایه نصب می‌شود که بتواند برآیند نیروهای وارد شده بر پایه را جبران کند و مانع از سقوط و یا کج شدن پایه شود.

به چه دلیلی لازم است این تجهیزات در سیستم GIS مدل‌سازی شود؟ ران داشت به وضعیت نامناسب شاخص‌های قابلیت اطمینان شرکت AnyTown Energy و جایگاه بسیار پایین این شرکت در مقایسه با سایر شرکت‌های برق فکر می‌کرد. افزایش استحکام پایه‌ها در نحوه مواجهه شبکه برق با شرایط بد آب و هوایی و کاهش خاموشی‌ها بسیار مؤثر است و شرکت‌های توزیع باید اطلاعات لازم را در خصوص موقعیت و وضعیت تجهیزات مهار داشته باشند. اطلاعات بیش از نیمی از پایه‌ها در سیستم نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy وجود نداشت و به‌صورت متفرقه و در بخش‌های مختلف سازمان نگهداری می‌شد. با این شرایط، تعجبی هم نداشت که قبل از وقوع طوفان، شرکت هیچ ابزاری برای ارزیابی مناسب مناطق پرخطر نداشت.

ساختار سطحی

در ساختار سطحی کابل‌ها یا به‌صورت مستقیم در زیر خاک دفن می‌شوند و یا از داخل لوله عبور می‌کنند. در این ساختار، کابل‌ها داخل زمین قرار می‌گیرند و سایر تجهیزات مثل ترانسفورماتور، کلید و باس بار در سطح زمین و در داخل تجهیزات نگه‌دارنده مثل تابلو نصب می‌شوند. نقاط انتهایی کابل‌ها برای اتصال به تجهیزات الکتریکی از زیر زمین بالا آمده و داخل محفظه نگه‌دارنده می‌شوند.

ساختار سطحی بیشتر در مناطق نوساز استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، یک ترانسفورماتور تک فاز فشار متوسط به فشار ضعیف را در نظر بگیرید که در داخل یک تابلو از جنس فایبرگلاس نصب شده است. کابل فشار متوسط از زیرزمین به داخل تابلو وارد می‌شود و از طریق فیوز به ترمینال فشار متوسط ترانسفورماتور متصل می‌شود. این مجموعه تجهیزات، یک پست پدمانتد فشار متوسط به فشار ضعیف را تشکیل می‌دهند. احتمالا بیشتر ما یک تابلوی عمدتا سبز رنگ که بر روی آن نوشته شده "خطر برق‌گرفتگی" را در کنار خیابان‌ها مشاهده کرده‌ایم. این محفظه که قفلی نیز بر روی در آن نصب شده، نمونه‌ای است از تجهیزات نگه‌دارنده در ساختار سطحی.

در کشور آمریکا به این ساختار، شبکه توزیع خانگی زیرزمینی یا URD گفته می‌شود. با این حال، این ساختار عمومیت دارد و در مجتمع‌های تجاری و مناطق صنعتی سبک نیز استفاده می‌شود. در شکل ۹-۶ یک نمونه پست پد مانتد نمایش داده شده است.

کابل‌های متصل شده به تجهیزات الکتریکی ساختار سطحی به‌صورت مستقیم در زیر خاک دفن می‌شوند و یا از داخل لوله عبور می‌کنند. شرکت‌هایی که از شیوه دفن مستقیم کابل در زیر خاک استفاده می‌کنند، ابتدا ترانشه را حفر کرده و سپس کابل را داخل آن قرار می‌دهند. پس از نصب کابل و اتصال آن به

تجهیزاتِ الکتریکی، ترانشه با مواد مناسب پر می‌شود. شرکت‌هایی که کابل را از داخل لوله عبور می‌دهند، معمولا از لوله‌هایی با جنس پلی وینیل کلراید (PVC) استفاده می‌کنند. آن‌ها می‌توانند زمانی که خیابان در حال احداث است، لوله‌ها را داخل زمین نصب کنند و هر زمان که نیاز شد کابل را از داخل لوله عبور دهند.

شکل ۹-۶- یک نمونه پست پدمانتد (منبع: شرکت برق S&C)

از دیدگاه مدل‌سازی در سیستم GIS، ران تابلوها را به ایستگاه مترو تشبیه کرد که همه خطوط به آن منتهی می‌شود و لوله‌ها را به تونل مترو که از یک تابلو شروع شده و به تابلو بعدی ختم می‌شود. ساختار سطحی شامل تابلوها و لوله‌ها مشابه یک ساختار شبکه‌ای است و لازم است به نحوی در سیستم GIS مدل‌سازی شود که کاربران بتوانند از امکانات مسیریابی و ره‌گیری استفاده کنند.

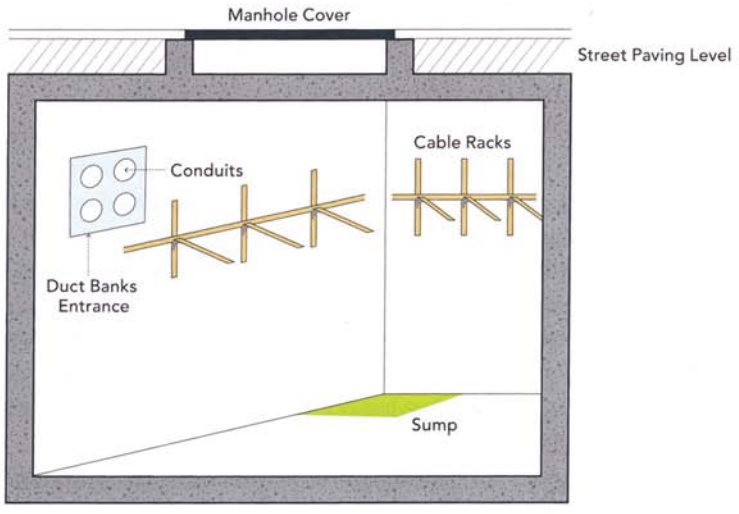
در ساختار سطحی، استفاده از روش عبور کابل از داخل لوله به نسبت دفن مستقیم کابل گران‌قیمت‌تر است، اما این روش اجرا، بهره‌برداری و نگهداری به‌مراتب ساده‌تری دارد. دسترسی به کابل‌هایی که از داخل لوله عبور کرده‌اند، بسیار راحت‌تر است و این موضوع تعمیر کابل را آسان‌تر می‌کند. اگر کابل معیوب شود، کارگران شرکت به‌راحتی می‌توانند بخش آسیب دیده را از داخل لوله بیرون بکشند و آن را با یک کابل جدید جایگزین کنند. اما در حالتی که کابل به‌صورت مستقیم در زمین دفن شده است، کارگران ناچار هستند که ابتدا محل خرابی را پیدا کنند و سپس یک گودال در نزدیکی محل خرابی حفر کنند تا بتوانند به کابل دسترسی داشته باشند. سوراخ کردن پیاده‌رو، خیابان و یا محوطه مقابل منازل مسکونی مستلزم بازسازی تخریب‌های صورت گرفته و درنهایت آسیب زدن به مبلمان شهری است. کابل‌هایی که به‌صورت مستقیم در زیر زمین دفن شده‌اند، بیشتر مستعد خرابی هستند و حساسیت بیشتری نسبت به جابه‌جایی زمین، رطوبت و خوردگی خاک دارند.

در هر دو شیوه اجرای ساختار سطحی، تجهیزات نگه‌دارنده نصب شده در سطح زمین یکسان هستند. در صورت استفاده از لوله برای عبور کابل، می‌توان از قابلیت مسیریابی GIS به منظور عبور خطوط زمینی استفاده کرد. شرکت AnyTown Energy در سال‌های گذشته نسبت به مستندسازی دقیق اطلاعات شبکه کابلی کوتاهی کرده بود. درنتیجه، زمانی که کابلی معیوب می‌شد، شرکت ناچار بود زمان قابل توجهی را صرف یافتن محل خرابی و حفر گودال کند. این روند باعث می‌شد که زمان خاموشی افزایش پیدا کند. با این شرایط، جای تعجب نداشت که چرا شاخص‌های قابلیت اطمینان شرکت نامطلوب است. جالب بود، زمانی که مدیران ارشد سازمان سخت به دنبال آن بودند که چگونه می‌توان شاخص‌های قابلیت اطمینان را بهبود بخشید به فکر هیچ‌کس هم نمی‌رسید که شاید اطلاعات ناقص، پراکنده و غیرقابل اعتماد ریشه اصلی مشکلات باشد. ران با خودش فکر کرد که قطعا با پیاده‌سازی دقیق سیستم GIS شرایط بسیار بهتر خواهد شد.

ساختار زیرزمینی

ساختار زیرزمینی بیشتر در مناطق پرجمعیت مثل مراکز شهرهای بزرگ استفاده می‌شود.
ساختار زیرزمینی تفاوت‌های عمده‌ای با ساختار سطحی دارد:

- در ساختار زیرزمینی، محفظه نگه‌دارنده در زیر زمین و یا طبقات زیرین مجتمع‌ها قرار دارد و معمولاً به نسبت ساختار سطحی فضای بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد. سازه‌های نگه‌دارنده در ساختار زیرزمینی شامل منهول، هندهول (handhole)، پست زیرزمینی، جعبه، اتاق کابل و اتاق برق می‌شود (شکل ۹-۷). همه این تجهیزات فضایی را برای ورود و خروج کابل و نصب تجهیزات الکتریکی مثل ترانسفورماتور، کلید و ابزارهای کنترلی فراهم می‌کنند.
- بسیاری از سازه‌های نگه‌دارنده ساختار زیرزمینی به تجهیزات مختلف مثل نردبان، تلمبه تخلیه، سیستم روشنایی، تجهیزات نگه‌دارنده کابل، سینی کابل، سیستم اطفاء حریق و سایر تجهیزات پشتیبانی مجهز هستند
- تجهیزات الکتریکی نصب شده در ساختار زیرزمینی در شرایط اضطراری قابلیت بهره‌برداری در زیر آب را دارند.
- در این ساختار، کابل‌ها یا از داخل لوله عبور می‌کنند و یا از داخل کانال.
- لوله‌ها به‌ندرت به‌صورت تکی در داخل زمین دفن می‌شوند. در این ساختار، لوله‌ها به‌صورت گروهی و به‌موازات یکدیگر در داخل خاک نصب می‌شوند. به گروه لوله‌های موازی جاگذاری شده در یک قالب بتنی به‌اصطلاح داکت بانک (duct bank) می‌گویند. داکت بانک‌ها بین محفظه‌های نگه‌دارنده احداث می‌شوند. داکت بانک‌ها ساختاری مشابه سیستم دفع آب‌های سطحی دارند.
- در سازه‌های نگه‌دارنده ساختار زیرزمینی امکان فعالیت افراد وجود دارد. در این محفظه‌ها کارگران تجهیزات الکتریکی را نصب می‌کنند، تجهیزات را تعمیر می‌کنند، فضای محفظه را تمیز می‌کنند، تجهیزات جانبی مثل سیستم اطفاء حریق را بازرسی می‌کنند و حتی ممکن است سوییچ زنی دستی انجام دهند. این فضا می‌تواند برای فعالیت کارگران بسیار خطرناک باشد. به همین دلیل است که دسترسی به اطلاعات دقیق ساختار زیرزمینی تا این حد برای شرکت‌های برق اهمیت دارد.



شکل ۹-۷- نمای داخلی یک منهول (منبع: Esri)

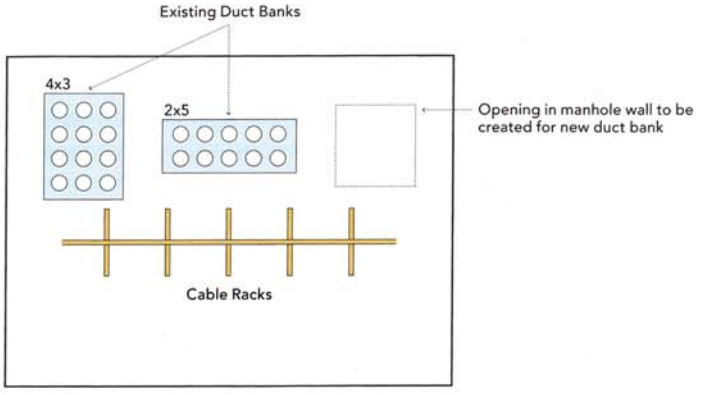
ساختار زیرزمینی مشابه یک شبکه حمل‌ونقل پیشرفته است که زیرساخت لازم جهت انتقال خطوط فشار متوسط و فشار ضعیف زمینی را فراهم می‌کند.
ران دوباره به ذهنش خطور کرد که ساختار زیرزمینی مشابه سیستم متروی شهر نیویورک است. چندین خط موازی که از یک ایستگاه مترو تا ایستگاه دیگر امتداد پیدا کرده است، درست مثل داکت بانک‌ها (به یادداشت‌های ران در خصوص داکت بانک مراجعه کنید). هر محفظه نگه‌دارنده نیز مشابه یک ایستگاه مترو است که چندین مسیر و لوله به آن ختم شده است.

یادداشت‌های آقای ران

داکت بانک

داکت بانک تشکیل شده از یک گروه لوله موازی که در یک قالب بتنی نصب شده‌اند. لوله‌های داخل داکت بانک معمولاً از جنس فیبر، مقوا و یا پلاستیک ساخته می‌شوند. شیوه احداث داکت بانک به این شکل است که ابتدا ترانشه محل دفن لوله‌ها احداث می‌شود. سپس لوله‌ها با فاصله‌گذاری مناسب در کنار هم قرار داده می‌شوند و درنهایت بتن به داخل قالب از پیش آماده شده تزریق می‌شود و اطراف لوله‌ها را پر می‌کند. داکت بانک‌ها از دیواره یک منهول، پست زیرزمینی و یا اتاق برق طبقه زیرین یک مجتمع آغاز می‌شوند و تا محفظه نگه‌دارنده زیرزمینی دیگر امتداد پیدا می‌کنند. قطر و تعداد لوله‌ها، دو مشخصه اصلی داکت بانک‌ها هستند. همه لوله‌های داخل داکت بانک از یک جنس و یک سایز هستند. تعداد لوله‌های داخل داکت بانک‌ها می‌تواند متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، یک داکت بانک ۶x۲ از دو ردیف لوله که در هر ردیف، شش لوله قرار دارد، تشکیل شده است. ممکن است داکت بانک‌ها در عمق‌های مختلف و در زمان‌های متفاوت ساخته شده باشند.

احداث یک داکت بانک جدید بین دو منهول موجود، کار غیرمتعارفی نیست. برای اتصال داکت بانک به منهول باید دیواره منهول باز شود تا امکان دسترسی به لوله‌های عبور کابل فراهم گردد. با توجه به ابعاد منهول که ممکن است سه متر ارتفاع و سه متر طول و عرض داشته باشد، داکت بانک‌ها می‌توانند از نقاط مختلف و با ارتفاع‌های متفاوت به دیواره منهول متصل شوند (شکل ۹-۸).
هنگام وقوع طوفان در شهرهای ساحلی (مثل بوستون)، ممکن است لوله‌ها و محفظه‌های نگه‌دارنده ساختار زیرزمینی پر از آب شوند. به همین دلیل است که برای این محفظه‌ها تلمبه تخلیه در نظر گرفته شده است و به همین دلیل است که تجهیزات الکتریکی ساختار زیرزمینی قابلیت بهره‌برداری در زیر آب را دارند.



شکل ۹-۸- نحوه اتصال داکت بانک به دیواره منهول. (منبع: Esri)

ران با خودش فکر کرد که مدل‌سازی این تجهیزات در سیستم GIS کار پیچیده‌ای است، البته نه آن‌قدر که فرانک تصور می‌کرد. آنچه در حال حاضر شرکت AnyTown Energy از آن اطلاع کافی ندارد، درک ارتباط مکانی تجهیزات نگه‌دارنده و تجهیزات الکتریکی است. به‌عنوان مثال، اگر در اثر حفاری شرکت پیمانکار، بخشی از یک داکت بانک آسیب ببیند، شرکت AnyTown Energy هیچ ابزاری برای اینکه بفهمد چه کابل‌هایی در معرض خطر هستند، ندارد. با مدل‌سازی کامل و دقیق تجهیزات ساختار زیرزمینی در سیستم GIS، شرکت‌های توزیع می‌توانند نقاط ابتدا و انتهای کابل و همچنین لوله‌ای که کابل از داخل آن عبور کرده است را مشخص کنند. همچنین شرکت‌های توزیع می‌توانند برای احداث کابل یک مشترک جدید، کوتاه‌ترین مسیر را بر اساس لوله‌های خالی موجود تعیین کنند. بدون سیستم GIS، این فرآیند هفته‌ها به طول خواهد انجامید و به دلیل عدم وجود اطلاعات دقیق، ممکن است با خطا انجام شود.

با پیاده‌سازی شبکه هوشمند، نیاز شرکت AnyTown Energy به توسعه شبکه مخابراتی ازجمله فیبر نوری بیشتر خواهد شد. در مناطق شهری، یافتن مسیر مناسب برای احداث کابل فیبر نوری یک چالش بزرگ برای شرکت‌های خدماتی محسوب می‌شود. خوشبختانه شرکت AnyTown Energy می‌تواند از لوله‌های خالی خود برای عبور کابل فیبر نوری استفاده کند. البته باید توجه داشت که انتقال شبکه مخابراتی و الکتریکی در کنار یکدیگر می‌تواند در شرایط اتصال کوتاه و آتش‌سوزی کابل‌های برق برای تجهیزات مخابراتی آسیب‌زا باشد. این موضوع اهمیت مستندسازی دقیق اطلاعات و آگاهی داشتن از این مطلب که از داخل هر لوله چه کابلی (کابل برق یا کابل مخابرات) عبور کرده است را دوچندان می‌کند.

در نحوه نصب داکت بانک‌ها چند حالت خاص نیز ممکن است اتفاق بیفتد که این شرایط ویژه باید در مدل داده در نظر گرفته شود. در برخی داکت بانک‌ها امکان دارد ترکیب لوله‌ها در نقاط ابتدا و انتها متفاوت باشد و در بین مسیر، چیدمان لوله‌ها دچار چرخش شده باشد. به‌عنوان مثال، امکان دارد یک داکت بانک ۳*۴ در انتهای مسیر به یک داکت بانک ۴*۳ تبدیل شود. این شرایط به‌ندرت پیش می‌آید، ولی به هر حال لازم است پیش‌بینی لازم در مدل‌سازی صورت گیرد.

زمانی که یک کارگر در داخل یک منهول تنگ و تاریک ایستاده است، برای او امکان‌پذیر نیست که تشخیص دهد هر کابل اختصاص به کدام مسیر دارد. بهترین راه‌حل این است که یک مستند دقیق در اختیار داشته باشیم که در آن تعیین شده باشد داخل هر لوله داکت بانک چه کابلی قرار دارد. شرکت AnyTown Energy چنین مستندی در اختیار نداشت، بنابراین بهره‌برداری، تعمیرات و توسعه ساختار زیرزمینی در این شرکت با زحمت و هزینه فراوان صورت می‌گرفت.

از دیگر تجهیزات نگه‌دارنده می‌توان به پایه‌های روشنایی معابر خیابان‌ها (شکل ۹-۹) و یا پایه‌های روشنایی مجاور خطوط راه‌آهن اشاره کرد. در این تجهیزات که معمولا از جنس بتن و یا فلز هستند، کابل از داخل بدنه توخالی پایه عبور کرده و با اتصال به چراغ، توان مورد نیاز برای روشنایی معابر را فراهم می‌کند.

شکل ۹-۹- شبکه روشنایی معابر تغذیه شده توسط کابل‌های زمینی (منبع: Esri، عکاس: بیل میهان)

سایر ساختارهای مورد استفاده

علاوه بر سه دسته اصلی تجهیزات نگه‌دارنده که به آن‌ها اشاره شد، سایر موارد، مثل حالت‌های ترکیبی نیز وجود دارد. در پست‌های فوق توزیع، دژنکتورهای فشار متوسط به‌صورت ردیفی و در داخل تابلوهای فلزی قرار گرفته‌اند. معمولا در سمت خروجی دژنکتورهای فشار متوسط یک کانال حفر شده و کابل‌های خروجی از طریق کانال وارد شبکه زمینی می‌شوند. اگر فیدر به‌صورت هوایی باشد، کابل از زیر زمین بر روی پایه رایزر منتقل می‌شود. لوله متصل به پایه رایزر که کابل از داخل آن بالا برده شده و به شبکه هوایی متصل می‌شود، نوعی تجهیز نگه‌دارنده محسوب می‌شود.

برخی مواقع بخشی از شبکه هوایی به‌صورت زمینی اجرا می‌شود. به‌عنوان مثل، زمانی که قرار باشد شبکه هوایی از روی خط راه‌آهن و یا رودخانه عبور کند ممکن است بسته به شرایط، شرکت تصمیم بگیرد بخشی از شبکه را به‌صورت زمینی اجرا کند.

ران بر اساس مطالعاتش دریافت که تجهیزات نگه‌دارنده دیگری نیز در نقاط مختلف جهان استفاده می‌شود. به‌عنوان مثال، در برخی مناطق از تونل برای عبور کابل استفاده می‌شود. می‌توان کابل‌ها را به دیواره تونل آویزان کرد و یا از داکت بانک برای عبور کابل در داخل تونل استفاده کرد. از تونل مترو نیز می‌توان برای عبور کابل‌های برق استفاده کرد.

گاهی اوقات ترانشه را نیز به‌عنوان یک تجهیز نگه‌دارنده در نظر می‌گیرند. هرچند که در واقعیت، یک سازه محسوب نمی‌شود. ترانشه را می‌توان یک کانال محسوب کرد که کابل در داخل آن قرار گرفته و سپس پر شده است. ران متوجه شد که عدم اطمینان در خصوص موقعیت مکانی مسیر کابل‌ها مشکل مشترک بیشتر شرکت‌های برق ازجمله شرکت AnyTown Energy است. بنابراین اگر مسیر ترانشه‌ها به‌عنوان یک تجهیز نگه‌دارنده در سیستم GIS ثبت شود، در این صورت کمک بزرگی برای شرکت‌های برق خواهد بود تا بتوانند موقعیت کابل‌های دفن شده در زیر خاک را مشخص کنند.

مدل داده تجهیزات نگه‌دارنده

چنانچه تجهیزات نگه‌دارنده به‌خوبی شناسایی شوند، ایجاد مدل داده آن‌ها در سیستم GIS کار دشواری نخواهد بود. ران به یاد تجربیاتش در مدل‌سازی تأسیسات شهری در دولت محلی افتاد. به اعتقاد ران، تهیه مدل داده تجهیزات نگه‌دارنده ساختار زیرزمینی مشابه مدل‌سازی سایر تأسیسات زیرزمینی مثل سیستم آب‌رسانی است.

ران تجهیزات نگه‌دارنده را به شش دسته عارضه (کلاس عارضه) تقسیم‌بندی کرد:

- **پایه:** پایه تکی یا مجموعه پایه (دوتایی و یا سه‌تایی)
- **مهار:** تجهیزاتی که برای نگاه داشتن پایه استفاده می‌شوند.
- **سکو:** تجهیزی که بر روی پایه قرار می‌گیرد و سایر تجهیزات بر روی آن سوار می‌شود.
- **اتاق برق:** محلی که تجهیزات الکتریکی در آن نصب می‌شود.
- **لوله:** عارضه‌ای خطی که کابل از داخل آن عبور می‌کند.
- **تجهیزات خطی:** تجهیزاتی شامل چندین عارضه خطی مثل داکت بانک

ران اعتقاد داشت که برای استفاده از اطلاعات توصیفی در سیستم GIS، لازم نیست که حتماً همه اقلام توصیفی به‌صورت مستقیم در این سیستم ذخیره و مدیریت شوند. در شرکت AnyTown Energy خیلی از تجهیزات نگه‌دارنده مستقیما در محل ساخته می‌شوند، بنابراین امکان خریداری این تجهیزات به‌صورت مستقل و آماده وجود ندارد. با توجه به شرایط تجهیزات نگه‌دارنده، احتمال دارد که غیر از سیستم GIS محل دیگری برای نگهداری از این اطلاعات وجود نداشته باشد. یک داکت بانک که از نقطه A تا نقطه B کشیده شده است درواقع یک دارایی برای شرکت محسوب می‌شود، اما احتمال دارد به‌عنوان یک تجهیز مستقل در هیچ سیستمی حتی سیستم مدیریت پروژه و سیستم مدیریت دارایی شناخته نشود. به اعتقاد ران، GIS می‌تواند میزبان مناسبی برای این دسته از اطلاعات باشد.

جداول مرتبط با عوارض و توصیفات آن‌ها

ران جدولی شامل بسیاری از مشخصات مشترک تجهیزات نگه‌دارنده و مکان ذخیره و نگهداری این اطلاعات آماده کرد (جدول ۹-۱). در جدول ۹-۲ مدل داده تجهیزات نگه‌دارنده آورده شده است.

جدول ۹-۱- توصیفات مورد استفاده در GIS

دسته‌بندی داده	اطلاعات توصیفی	محل نگهداری داده	توضیحات
مشخصات ظاهری	• ابعاد • کلاس • ارتفاع • جنس مواد تشکیل دهنده • مدل • پیکربندی	بیشتر تجهیزات نگه‌دارنده در محل ساخته می‌شوند. برخی از تجهیزات نگه‌دارنده توسط سیستم مدیریت پروژه و یا سیستم مدیریت دارایی نگهداری می‌شوند. بسیاری از مشخصات فیزیکی تنها در سیستم GIS نگهداری خواهد شد.	این مشخصات، توصیف کننده وضعیت ظاهری تجهیزات نگه‌دارنده هستند، مثل قدرت کشش پایه و یا عمق یک منهول
تعمیرات و نگهداری	• تاریخ آخرین بازدید تجهیز • شرایط تجهیز در آخرین بازدید	اطلاعات مربوط به بازدید در سیستم تعمیرات و یا سیستم مدیریت پروژه نگهداری می‌شود. GIS از این اطلاعات برای ارزیابی ریسک استفاده می‌کند.	با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS می‌توان اطلاعات بازدید تجهیزات را در محل ثبت کرد.
اطلاعات دوره عمر تجهیزات	• عمر تجهیز • تاریخ سرویس تجهیز • پیش‌بینی نرخ خرابی	سیستم مدیریت اموال و ارزیابی دارایی. جهت برآورد نرخ خرابی تجهیزات کاربرد دارد.	اطلاعاتی در مورد بازه کاری و عمر مفید تجهیز
مالی	• هزینه خرید تجهیز • هزینه نصب تجهیز • هزینه نگهداری تجهیز • هزینه تعویض تجهیز • اطلاعات مالیاتی دارایی‌ها	این اطلاعات در سیستم حسابداری تأسیسات مدیریت می‌شود. می‌توان از این داده‌ها در GIS برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها استفاده کرد.	اطلاعات مالی مثل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات، کد حسابداری تجهیزات و تجهیزات وابسته به یکدیگر بیشتر در زمان تهیه طرح مبتنی بر GIS کاربرد دارد.

جدول ۹-۲- مدل داده تجهیزات نگه‌دارنده

نام عارضه	کلاس عارضه	نحوه نمایش در GIS	عملکرد تجهیز
ساختار هوایی			
پایه	پایه	نقطه	کارکردی مشابه آنچه ساموئل مورس با استفاده از پایه‌های چوبی انجام داد.
سیم مهار	تجهیزات مهار	نقطه	سیمی که برای پشتیبانی از پایه در برابر نیروهای کششی به آن متصل می‌شود.
پایه مهار	تجهیزات مهار	نقطه	پایه‌ای که برای پشتیبانی از پایه اصلی در برابر نیروهای کششی به کار می‌رود.
سکو	سکو	نقطه	در ساختار هوایی، برای نصب تجهیزات الکتریکی بر روی آن استفاده می‌شود مثل ترانسفورماتور
مسیر	تجهیزات خطی	خط	مسیر یا حریمی که خطوط هوایی در آن قرار گرفته‌اند.
ساختار سطحی			
تابلو یا پست پدمانتد	اتاق برق	پلی گون	به‌منظور نگهداری و محافظت از تجهیزات الکتریکی کاربرد دارد و در سطح زمین نصب می‌شود.
لوله	لوله	خط	لوله احداث شده بین تابلوهای پدمانتد که جهت عبور کابل مورد استفاده قرار می‌گیرد.
هندهول	اتاق برق	پلی گون	جعبه انشعاب دفن شده در زیر زمین که خط تغذیه انشعاب مشترک از آن برقرار می‌شود و قابلیت دسترسی توسط دست کارگر را دارد.
رایزر	لوله	خط	لوله نصب شده در کنار پایه رایزر که کابل از داخل آن بالا می‌رود و به شبکه هوایی متصل می‌شود.
ساختار زیرزمینی			
منهول	اتاق برق	پلی گون	سازه نگه‌دارنده احداث شده در زیرزمین که تجهیزات الکتریکی در داخل آن نصب می‌شوند.
پست زیرزمینی	اتاق برق	پلی گون	کارکرد مشابه منهول دارد با این تفاوت که ابعاد آن بزرگ‌تر است و تجهیزات الکتریکی بزرگ‌تر داخل آن نصب می‌شود. این سازه می‌تواند در زیر زمین و یا طبقات زیرین ساختمان‌ها احداث شود.
داکت بانک	تجهیزات خطی	پلی گون	مجموعه لوله‌های موازی که در داخل یک قالب بتنی قرار گرفته اند و مابین دو سازه نگه‌دارنده زیرزمینی احداث می‌شود.
تونل	تجهیزات خطی	پلی گون	سازه‌ای که برای عبور کابل‌های برق استفاده می‌شود.
هندهول	اتاق برق	پلی گون	جعبه انشعاب دفن شده در زیر زمین که خط تغذیه انشعاب مشترک از آن برقرار می‌شود و قابلیت دسترسی توسط دست کارگر را دارد.
ترانشه	تجهیزات خطی	پلی گون	کانالی که برای عبور کابل حفر شده و سپس پر شده است. مسیر احداث کابل را نشان می‌دهد.

مستندسازی تجهیزات از قلم افتاده

خبر خوب برای ران این بود که او دیگر مجبور به اصلاح داده‌های مربوط به تجهیزات نگه‌دارنده در نقشه‌های شرکت AnyTown Energy نبود. خبر بد این بود که اصلا هیچ تجهیز نگه‌دارنده‌ای به‌جز پایه‌های فشار متوسط در نقشه‌های شرکت وجود نداشت و ران مجبور بود اطلاعات مورد نیاز را از منابع مختلف جمع‌آوری کند.

ران متوجه شد که به‌صورت روزانه فعالیت‌های مختلفی بر روی تجهیزات نگه‌دارنده که جزو دارایی‌های شرکت محسوب می‌شوند، انجام می‌شود. اقداماتی مانند بازدید و تعویض پایه‌ها، نصب لوله جدید، نظافت منهول‌ها و تعمیر داکت بانک‌ها نمونه‌ای از این فعالیت‌هاست. اگر بخواهیم روال طراحی و تهیه دستورکار را مکانیزه کنیم، لازم است کلیه اطلاعات مورد نیاز ازجمله تجهیزات نگه‌دارنده در سیستم GIS مدل‌سازی شود.

برای ران جای سؤال بود که وقتی شرکت AnyTown Energy موقعیت مکانی تجهیزات نگه‌دارنده موجود را در نقشه‌های شرکت ثبت نکرده است، چگونه برای احداث تجهیزات نگه‌دارنده جدید طرح تهیه می‌کند. برای یافتن جواب این سؤال، ران تصمیم گرفتِ به واحد متولی تعیین موقعیت مکانی تأسیسات زیرزمینی شرکت سری بزند. نام این گروه اصطلاحا "تماس بگیر قبل از اینکه حفاری کنی" بود. زمانی که پیمانکاران و حتی مردم عادی بخواهند در محدوده شرکت AnyTown Energy حفاری کنند، ابتدا با شرکت تماس می‌گیرند و سپس گروه مربوطه به محل مراجعه کرده و موقعیت مکانی تأسیسات زیرزمینی را بر روی زمین علامت‌گذاری می‌کند. کار این گروه بسیار سنگین است، زیرا آن‌ها مجبور هستند اطلاعات مورد نیاز را از منابع مختلف و پراکنده جمع‌آوری کنند. حساسیت کار این گروه نیز بسیار بالا است، زیرا چنانچه موقعیت تأسیسات زیرزمینی را به‌دقت مشخص نکنند، ممکن است یک کابل برق‌دار آسیب ببیند و یا یک لوله عبور کابل تخریب شود. تبعات یک تصمیم اشتباه این گروه می‌تواند بسیار فاجعه‌بار باشد و به قیمت جان انسان‌ها تمام شود.

ران تصمیم داشت کل دارایی‌های شرکت ازجمله تجهیزات نگه‌دارنده را در سیستم GIS مدل‌سازی کند. یکپارچه‌سازی داده‌های مکانی شرکت در یک سیستم، می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه و زمان شود و حتی از جان افراد محافظت کند.

Modeling Electric Distribution with GIS

فصل دهم

سرویس‌های مکانی، نقشه‌های پایه و سایر داده‌ها

سرویس‌های مکانی، نقشه‌های پایه و سایر داده‌ها

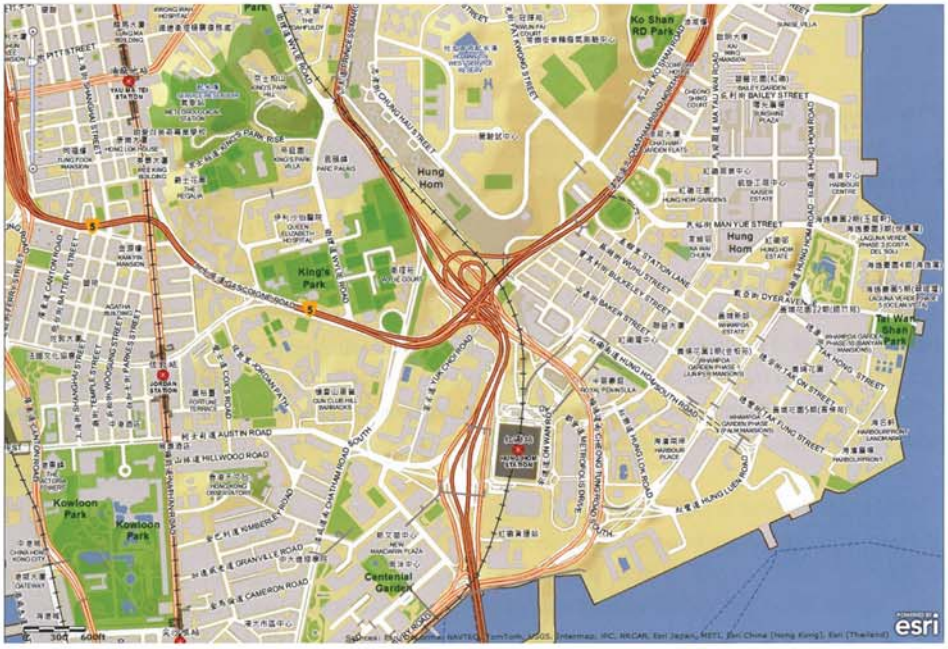
نقشه‌های پایه مانند تجهیزات الکتریکی، تجهیزات نگهدارنده و مشترکین یکی از اجزای کلیدی سیستم GIS شبکه توزیع برق محسوب می‌شود. در ساده‌ترین شکل، این نقشه‌ها موقعیت ساختمان‌ها و معابر محدوده تحت پوشش شرکت را مشخص می‌کنند و موقعیت تجهیزات شبکه برق را در کنار عوارض جغرافیایی و شهری نمایش می‌دهند. به نقشه‌های پایه در شرکت AnyTown Energy، نقشه معابر نیز گفته می‌شود.

در ابتدا، کیفیت نامناسب نقشه‌های پایه مورد استفاده در سیستم نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy ران را غافلگیر کرده بود. در یکی از جلسات، فرانک به او گفته بود که آن‌ها شیت‌های کاغذی نقشه شامل املاک، خیابان‌ها، پل‌ها و رودخانه‌ها را به فرمت دیجیتالی تبدیل کرده‌اند. از سال‌ها پیش، هر شیت نقشه نمایشگر بخشی از شبکه شرکت AnyTown Energy بوده است. بر اساس گفته فرانک، مرجع واقعی شیت‌های نقشه مشخص نبود و احتمالاً از منابع مختلف جمع‌آوری شده بودند. علی‌رغم نواقص فراوان، نقشه‌های شیت‌بندی شده در بسیاری از فرآیندهای شرکت استفاده می‌شدند، به‌طوری که حتی زیرساخت سیستم مالی جدید شرکت نیز بر اساس همین نقشه‌ها تعریف شده بود.

تبادل اطلاعات

ران در شغل سابقش در دولت محلی، سیستم GIS جامعی را پیاده‌سازی کرده بود و اطمینان داشت که بسیاری از اطلاعات مورد نیاز شرکت AnyTown Energy از این سیستم قابل استخراج است. دولت محلی نیز به‌نوبه خود به اطلاعات شبکه برق احتیاج داشت. بخش آب دولت محلی برای نگهداری و توسعه شبکه آب نیاز مبرمی به اطلاعات مکانی تجهیزات الکتریکی داشت. اما عدم انطباق نقشه‌های شبکه برق شرکت AnyTown Energy با سیستم GIS دولت محلی، مشکلات زیادی را برای آنها به وجود آورده بود. اکثر تجهیزات الکتریکی بر روی مکان درستی در نقشه‌های GIS دولت محلی قرار نمی‌گرفتند. حتی شیت‌های مختلف نقشه با یکدیگر هماهنگ نبودند. بنابراین هر زمان که دولت محلی به داده‌های شرکت برق احتیاج داشت، ناچار بود که از کپی نقشه‌های فکس شده توسط واحد نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy استفاده کند و برای اطمینان از صحت اطلاعات، کارگران را به محل اعزام کند.

همچنین در شرکت AnyTown Energy، هر زمان که واحد مهندسی به اطلاعات شبکه معابر مثل خیابان‌های جدید و یا لوله‌های آب احتیاج داشت، تکنسینی از طرف شرکت به ساختمان دولت محلی مراجعه می‌کرد تا پرینتی از نقشه GIS که شامل نقشه پایه بسیار دقیقی بود (ران این زیرساخت را راه‌اندازی کرده بود)، دریافت کند. سپس این نسخه‌های چاپی، به دفتر مهندسی شرکت AnyTown Energy ارسال می‌شد تا اطلاعات موجود در نقشه‌ها با آنچه قبلا در قالب طرح به شرکت ارائه شده بود، مقایسه شود. برخی مواقع این فرآیند هفته‌ها به طول می‌انجامید. ران در ذهن خود سیستمی را تجسم می‌کرد که در آن، دولت محلی و تمامی شرکت‌های خدماتی از قبیل برق، آب، مخابرات و گاز بتوانند از طریق یک وب سرویس ایمن به آخرین اطلاعات یکدیگر دسترسی داشته باشند. حتی این امکان وجود داشته باشد تا تمامی اطلاعات مورد نیاز در بستر رایانش ابری ذخیره‌سازی شود. ران اطمینان داشت که اگر شرکت AnyTown Energy و سایر سازمان‌ها از یک نقشه پایه استاندارد استفاده کنند، در آن صورت زیرساخت لازم جهت به اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی فراهم خواهد شد. امروزه حتی می‌توان از طریق اینترنت به انواع مختلف نقشه‌های پایه دسترسی داشت (شکل ۱۰-۱ و ۱۰-۲).



شکل ۱۰-۱- یک نمونه نقشه پایه در ArcGIS Online (منبع: شرکت Starnet Technology)

به‌روزرسانی داده‌ها

ران تا قبل از صحبت تلفنی با رئیس بخش مهندسی، تردیدی در مورد درستی ایده خود مبنی بر به اشتراک‌گذاری اطلاعات در قالب سرویس‌های مکانی نداشت. بخش مهندسی متولی تهیه طرح برق‌رسانی به مجتمع‌های جدید مسکونی، تجاری و اداری است.

خانم ماریا (رئیس بخش مهندسی) با صراحت به ران گفت: "فکر می‌کنم شما به‌اندازه کافی با فرآیندهای بخش ما آشنا نیستید. ایده شما عملیاتی نیست. شاید سیستم GIS دولت محلی (همان سیستمی که ران پایه‌گذاری کرده بود) جوابگوی نیازهای سازمان سابق شما باشد، اما چون به‌روز نیست، به درد ما

نمی‌خورد.“ ”به‌روز نیست؟“ ران با خودش فکر کرد، وقتی بسته شدن دستورکارها در شرکت AnyTown Energy، پس از اتمام عملیات اجرایی، به‌طور متوسط ۶۰ روز زمان می‌برد، چگونه می‌توان تصور کرد که سیستم GIS دولت محلی به‌روز نباشد.

شکل ۱۰-۲- تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده در محیط وب (منبع: Esri)

خانم ماریا توضیح داد:

”زمانی که یک سرمایه‌گذار برای دریافت انشعاب برق یک ساختمان جدید مراجعه می‌کند، ما نقشه‌های طراحی ساختمان را ماه‌ها قبل از اینکه در سیستم GIS دولت محلی ثبت شود، دریافت می‌کنیم. سپس فایل دیجیتالی این نقشه‌ها در سیستم نقشه‌برداری شرکت وارد می‌شود و بر اساس این نقشه‌ها است که طرح برق‌رسانی به ساختمان تهیه می‌شود. نقشه‌های مربوط به ساختمان‌های جدید تا زمانی که کار احداث ساختمان به پایان نرسد و مجوزهای لازم دریافت نشود، در سیستم GIS دولت محلی وارد نمی‌شود. تا آن زمان، برق‌رسانی به مشترک به اتمام رسیده و دیگر نقشه‌های GIS دولت محلی برای ما کاربردی ندارد. ما نمی‌توانیم صبر کنیم تا کار احداث ساختمان به پایان برسد و نقشه ساختمان، بعد از برداشت اطلاعات و ثبت آن در سیستم GIS دولت محلی به دست ما برسد.“

به نظر می‌رسید خانم ماریا و همکارانش در بخش مهندسی قبلا بررسی‌های لازم را در خصوص استفاده از نقشه‌های GIS دولت محلی انجام داده‌اند و درنهایت به این نتیجه رسیده‌اند که این نقشه‌ها برای آن‌ها کاربردی ندارد. علاوه بر این، نقشه‌های دولت محلی با نقشه‌های شرکت AnyTown Energy انطباق نداشت و به‌درستی بر روی هم قرار نمی‌گرفت. از طرف دیگر، شیت‌بندی تعریف شده در شرکت AnyTown Energy برای سیستم GIS دولت محلی قابل شناسایی نبود. آخرین جمله خانم ماریا این بود، ”بحث درباره این موضوع کافی است. حرف آخر من این است که نقشه‌های دولت محلی به درد ما نمی‌خورد و ما باید نقشه‌های خودمان را داشته باشیم.“

اما ران حاضر نبود تسلیم شود. او می‌دانست که همیشه در برابر تغییرات، مقاومت زیادی وجود دارد و او باید به راه خود ادامه دهد.

خانم ماریا به نکته مهمی اشاره کرد. نقشه پایه موجود در سیستم GIS دولت محلی، مراحل پیشرفت کار ساخت‌وسازهای جدید را نمایش نمی‌داد، درصورتی‌که شرکت AnyTown Energy به این اطلاعات نیاز داشت. به‌عنوان مثال، مراکز نوساز تجاری و مسکونی که در مرحله ساخت هستند، در سیستم GIS دولت محلی ثبت نمی‌شوند. فرآیند اجرایی در دولت محلی به این صورت است که پس از به اتمام رسیدن عملیات ساخت‌وساز پروژه، فایل دیجیتالی نهایی توسط سازنده به واحد برنامه‌ریزی دولت محلی تحویل داده می‌شود. پس از اینکه تمام اطلاعات ازبیلت پروژه دریافت شد و به تأیید واحد برنامه‌ریزی رسید، فایل مربوطه در سیستم GIS دولت محلی بارگذاری می‌شود.

آن‌طور که ران از صحبت‌های ماریا متوجه شده بود، دو مشکل عمده برای استفاده از نقشه‌های دولت محلی وجود داشت. اولین مسئله این بود که نقشه‌های پایه دولت محلی نمایشگر طرح‌های پیشنهادی ساخت‌وساز نبود و نمی‌توانست انتظارات بخش مهندسی شرکت AnyTown Energy را برآورده سازد. مسئله دوم که قطعاً چالش بزرگ‌تری نیز محسوب می‌شد، این بود که نقشه‌های GIS دولت محلی با نقشه‌های شیت بندی شده شرکت AnyTown Energy انطباق نداشت. ران اعتقادی به نقشه‌های پایه موجود شرکت نداشت و به دنبال این بود که آن‌ها را با نقشه‌های استاندارد جایگزین کند.

با توجه به مسائل مطرح شده، شرکت AnyTown Energy تصمیم گرفته بود که راه خود را برود و از نقشه‌های موجود در شرکت (که مرجع دقیق آن نامشخص بود) استفاده کند. در طول زمان، طرح‌های مربوط به توسعه و نوسازی خیابان‌ها و معابر شهری به فرمت دیجیتالی تبدیل شده و به سیستم نقشه‌برداری شرکت اضافه شده بود. دقت نقشه‌های موجود در شرکت AnyTown Energy در مناطق مختلف شهر متفاوت بود. از این بدتر، موقعیت مکانی تجهیزات الکتریکی بر روی نقشه‌ها از دقت کافی برخوردار نبود. قبلا واحد نقشه‌برداری شرکت، استفاده از نقاط برداشت شده با GPS را بررسی کرده بود و متأسفانه به این نتیجه رسیده بود که این کار امکان‌پذیر نیست. ران دلیل واقعی این مشکلات را می‌دانست. نقشه‌های پایه شرکت AnyTown Energy ناقص بود و قابلیت انطباق با نقشه‌های پایه استاندارد را نداشت. ران قصد داشت که برای پیاده‌سازی سیستم GIS از نقشه‌های پایه استاندارد برون‌سازمانی استفاده کند و موقعیت تجهیزات شبکه توزیع را بر اساس این نقشه‌ها جانمایی کند. به اعتقاد ران، هزینه کردن برای اصلاح و به‌روزرسانی نقشه‌های موجود شرکت اتلاف وقت و سرمایه است و لازم است هر چه زودتر متوقف شود.

ران موارد مطرح شده توسط خانم ماریا را مجدداً در ذهنش مرور کرد و به این نتیجه رسید که دو اقدام اساسی باید صورت گیرد: در قدم اول، لازم است امکان دسترسی به نقشه‌های پایه استاندارد دولت محلی از طریق وب سرویس مکانی فراهم شود. استفاده از فرمت رستری برای ایجاد سرویس نقشه می‌تواند باعث افزایش سرعت بارگذاری نقشه‌های پایه در سیستم GIS شرکت AnyTown Energy شود. قطعاً اطلاعات مربوط به طرح‌های عمرانی را نمی‌توان در این سرویس نقشه نمایش داد. بنابراین ران تصمیم گرفت داده‌های مربوط به طرح‌های پیشنهادی و پروژه‌های در حال ساخت را در لایه‌های موقت مجزا نمایش دهد. بدین ترتیب، واحد مهندسی و سایر بخش‌های شرکت می‌توانند از این لایه‌ها برای تهیه طرح‌های برق‌رسانی و برنامه‌ریزی بهتر استفاده کنند. پس از اتمام پروژه‌های توسعه شهری و اضافه شدن آن به نقشه‌های پایه دولت محلی، شرکت AnyTown Energy می‌تواند لایه‌های موقت مربوط به طرح‌های اتمام یافته را از سیستم GIS خود حذف و به‌جای آن از سرویس نقشه به‌روز شده استفاده کند.

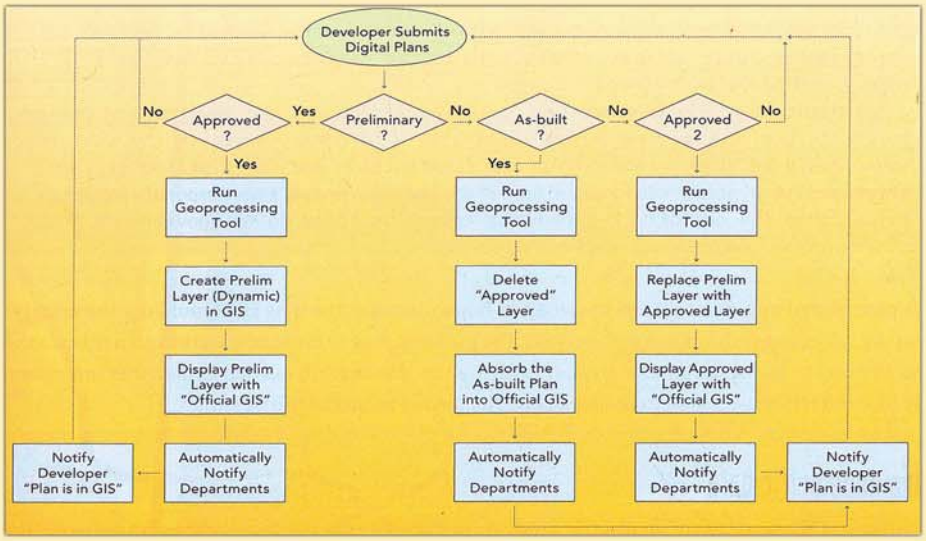
ران مخالف ذخیره کردن لایه‌های سایت پلان در سیستم GIS شرکت AnyTown Energy بود و قصد داشت که از سرویس نقشه پایه دولت محلی استفاده کند. با ایجاد لایه‌های موقت برای طرح‌های توسعه، او به‌راحتی می‌توانست این لایه‌ها را بعد از ازبیلت اطلاعات پروژه در سیستم GIS دولت محلی

از نقشه حذف کند. این ابتکار باعث بهبود قابل‌توجه فرآیند موجود می‌شد. در روال فعلی، شرکت AnyTown energy صرفا به اطلاعات دیجیتالی شده نقشه‌های طراحی دسترسی داشت و اگر در زمان اجرای پروژه، تغییراتی در طرح پیشنهادی صورت می‌گرفت دیگر اثری از آن در سیستم نقشه‌برداری شرکت وجود نداشت. درواقع، سیستم نقشه‌برداری شرکت، تنها شامل طرح‌های اولیه پروژه‌های عمرانی بود و طرح‌های نهایی تأیید شده در بخش دولت محلی را نمایش نمی‌داد، بنابراین اگر در طی مراحل ساخت‌وساز تغییری در طرح اولیه اتفاق می‌افتاد، دیگر پرسنل شرکت به اطلاعات صحیح دسترسی نداشتند. همچنین رویه‌ای برای باخبر شدن از تغییرات احتمالی و ثبت آن در نقشه‌های شرکت وجود نداشت (به یادداشت‌های ران در خصوص نقشه‌های پایه دولت محلی مراجعه کنید).

یادداشت‌های آقای ران

نقشه‌های پایه دولتی

شرکت‌های خدماتی معمولاً از ایده استفاده از نقشه‌های پایه تولید شده توسط دولت و یا شهرداری‌ها استقبال می‌کنند. بااین‌حال، در اکثر موارد، اطلاعات مربوط به معابر و املاک این نقشه‌ها به اندازه کافی به‌روز نیستند. معمولاً طرح‌های توسعه شهری خیلی زودتر از اینکه در نقشه‌های شهرداری ثبت شوند، در اختیار شرکت‌های توزیع قرار می‌گیرند. اطلاعات مربوط به املاک و معابر جدید تا زمانی که پروژه به‌صورت کامل به اتمام نرسد و روال اجرا و تأیید آن طی نشود، در نقشه‌های شهری ثبت نمی‌شود. این بدان معناست که شهرداری صبر می‌کند تا کلیه تغییرات احتمالی زمان اجرای پروژه نهایی شود و سپس اطلاعات معابر جدید را در نقشه‌های شهری به‌روز می‌کند (شکل ۱۰-۳). تغییرات می‌تواند بسیار اندک باشد، مثل تغییر مسیر جدول‌های خیابان در اثر برخورد به یک مانع و یا بسیار زیاد باشد مثل تعریض یک خیابان اصلی.



شکل ۱۰-۳- فرآیند به‌روزرسانی طرح‌های عمرانی در سیستم GIS دولت محلی (منبع: Esri)

تغییرات مربوط به املاک و پارسل‌های ساختمانی نقشه‌های پایه عمده‌ترین مواردی هستند که شرکت‌های برق با آن‌ها سروکار دارند. نقشه‌ای که تغییرات زمان اجرای طرح در آن ثبت شده است، تحت عنوان "نقشه ازبیلت" شناخته می‌شود. این نقشه نمایشگر اطلاعات واقعی اجرا شده در محل است. در شرکت‌های توزیع نیز فرآیند مشابهی وجود دارد. ابتدا طرح اولیه نوسازی و یا بهینه‌سازی که می‌تواند شامل نصب تجهیزات الکتریکی جدید باشد تهیه می‌شود، اما در زمان اجرای پروژه امکان دارد تغییراتی نسبت به طرح اولیه ایجاد شود. بهترین کار این است که تغییرات زمان اجرای

پروژه امکان دارد تغییراتی نسبت به طرح اولیه ایجاد شود. بهترین کار این است که تغییرات زمان اجرای پروژه به نحو مناسبی مستندسازی شود (استفاده از تکنولوژی موبایل GIS در این موارد بسیار راهگشا است). در هر صورت، ثبت و به‌روزرسانی اطلاعات پروژه‌های خاتمه یافته در سیستم GIS، زمان‌بر خواهد بود.

برای پیمانکاران عمرانی نیز وضعیت مشابه است. آن‌ها موظف هستند که پس از اجرای پروژه، نقشه ازبیلت را به شهرداری تحویل دهند. در ادامه و پس از طی روال اداری تعیین شده، اطلاعات در سیستم GIS شهرداری به‌روزرسانی می‌شود. این روند ممکن است چندین ماه به طول بیانجامد. به همین دلیل است که برخی شرکت‌های برق مثل شرکت AnyTown Energy ترجیح می‌دهند که از نقشه‌های پایه خودشان استفاده کنند. چون این نقشه‌ها هم شامل نقشه‌های پایه موجود است و هم ساختمان‌ها و معابر پیشنهادی را شامل می‌شود.

درست است که نقشه‌های داخلی شرکت AnyTown Energy برای تهیه طرح برق‌رسانی به مناطق نوساز کاربرد دارد اما مشکلاتی را نیز به دنبال خواهد داشت. در این نقشه‌ها اطلاعات مربوط به طرح‌های پیشنهادی مبنا قرار داده شده است، درحالی که امکان دارد در زمان اجرای پروژه تغییراتی در محل اتفاق افتاده باشد. به‌عنوان مثال، یک مسیر دسترسی جدید احداث شده باشد و یا یک مسیر پیشنهادی حذف و یا ویرایش شده باشد.

بنابراین بهتر است شرکت‌های خدماتی، نقشه‌های استاندارد تولید شده توسط دولت و یا شهرداری را مبنا قرار دهند و اطلاعات مربوط به طرح‌های عمرانی را (شامل املاک، خیابان‌ها و معابر جدید) به‌صورت لایه‌های موقت در سیستم GIS نگهداری کنند. از این لایه‌های موقت می‌توان در فرآیندهای طراحی و برنامه‌ریزی استفاده کرد. با ثبت اطلاعات مربوط به طرح‌های ازبیلت شده عمرانی در سیستم GIS دولت محلی و یا شهرداری، می‌توان این لایه‌های موقت را از روی نقشه حذف کرد.

ران قصد نداشت که اطلاعات مربوط به نقشه‌های پایه را به‌صورت مستقیم در سیستم GIS ذخیره‌سازی و نگهداری کند. در عوض، او به دنبال آن بود که از نقشه‌های پایه استاندارد دولت محلی به‌صورت وب سرویس مکانی استفاده کند. او باید خانم ماریا و همکارانش را با خود همراه می‌کرد. البته ران باید اول مشخص می‌کرد که چه داده‌هایی قرار است به‌صورت مستقیم در سیستم GIS نگهداری شود و چه داده‌هایی قرار است از سایر منابع تأمین شود. او باید مدل داده استفاده از اطلاعات برون‌سازمانی را تهیه می‌کرد.

مدل‌سازی اطلاعات غیر الکتریکی

بخشی از کسب‌وکارهای موجود در شرکت‌های توزیع به‌صورت مستقیم با تأسیسات شبکه درگیر نیستند. واحدهای املاک، حقوقی، حراست، روابط عمومی و مدیریت مصرف نمونه‌ای از این کسب‌وکارها هستند که به اطلاعاتی فراتر از داده‌های شبکه توزیع نیاز دارند.

به‌عنوان مثال، چند سال پیش، یکی از جرثقیل‌های شرکت AnyTown Energy که برای انجام تعمیرات به یکی از نقاط دوردست شرکت اعزام شده بود، از محدوده یک تالاب محافظت‌شده عبور کرد. یک شهروند وظیفه‌شناس، این موضوع را به سازمان حفاظت محیط‌زیست گزارش کرد. شرکتAnyTown Energy به خاطر این تخلف جریمه شد و اخبار مربوط به این اتفاق به تیتر یک نشریات محلی تبدیل شد. همه‌جا صحبت بر سر این بود که شرکت AnyTown Energy به محیط‌زیست خسارت زده است. هرچند مبلغ جریمه پایین بود اما مدیرعامل و هیئت‌مدیره شرکت به خاطر این اتفاق بسیار شرمسار بودند و می‌خواستند بدانند که چرا پرسنل شرکت نسبت به این مسئله توجه لازم را نداشته‌اند. بعد از یک تحقیق جامع مشخص شد که پرسنل بخش تعمیرات دسترسی به اطلاعات کافی جهت عدم ورود به منطقه حفاظت شده را نداشته‌اند. یک سری نقشه‌های قدیمی مربوط به مناطق حفاظت شده در واحد محیط‌زیست شرکت وجود داشت اما سایر بخش‌ها مثل واحد طراحی، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری به این اطلاعات دسترسی نداشتند. حتی اگر این اطلاعات در دسترس آن‌ها بود، به دلیل قدیمی بودن چندان نمی‌توانست مبنا قرار گیرد. از

طرف دیگر، چنانچه شرکت به داده‌های زیست‌محیطی به‌روز نیز دسترسی داشت، به دلیل استانداردِ نبودن نقشه‌های پایه موجود در سازمان، امکان کنار هم قرار دادن دقیق اطلاعات وجود نداشت. قطعا سیستم جدید GIS ران می‌توانست اطلاعات شبکه توزیع را در کنار اطلاعات زیست‌محیطی بر روی نقشه‌های پایه استاندارد نمایش دهد (شکل ۱۰-۴) (به یادداشت‌های ران در خصوص مناطق حفاظت‌شده مراجعه کنید).

شکل ۱۰-۴- نمایش مناطق حساس زیست‌محیطی بر روی نقشه‌های GIS
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

یادداشت‌های آقای ران

مناطق حافظت‌شده

شرکت‌های برق به‌طورِ دائم نیازمند آگاهی و شناخت از مناطق حساس زیست‌محیطی هستند. محدوده تحت پوشش شرکت‌هایِ برق معمولا بسیار وسیع است و آن‌ها وظیفه دارند که برق مشترکین را تا دورترین مناطق شرکت تأمین کنند. معمولا واحد محیط‌زیست شرکت‌های برق ارتباط نزدیکی با سایر بخش‌ها مثل مهندسی، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری ندارد و بیشتر پیگیر دعاوی حقوقی مرتبط با مسائل زیست‌محیطی شرکت است.

تالاب‌ها و آبراهه‌ها دو نوع از رایج‌ترین محدوده‌های زیست‌محیطی هستند که شرکت‌های توزیع باید شناخت دقیقی نسبت به آن‌ها داشته باشند. این محدوده‌ها جزء منابع طبیعی هستند و تحت نظارت گروه‌های مختلف حفاظت محیط‌زیست محلی و همچنین سازمان‌های نظارتی ملی قرار دارند. نظارت بر این مناطق برای حفاظت از منابع آب بسیار ضروری است و نیازمند نیروهای آموزش‌دیده و ماهر است. تالاب‌ها و آبراهه‌ها ممکن است که در بخشی از سال کاملا خشک باشند، بطوری که خودروهای سنگین براحتی بتوانند از روی آنها عبور کنند. رانندگی در این مناطق می‌تواند آسیب جدی به آنها وارد کند تا حدی که برای رسیدن به حالت قبل، ممکن است نیاز به بازسازی و صرف هزینه باشد.

محدوده یک تالاب بوسیله یکِ گیاه‌شناس آموزش دیده که آشنایی کاملی با پوشش گیاهی منطقه دارد، مشخص می‌شود. سازمان محیط زیست معمولا محدوده تالاب‌ها را به‌عنوان یک لایه در سیستم GIS مشخص می‌کند. این محدوده ممکن است در طول زمان تغییر کند و کوچک‌تر و یا بزرگ‌تر شود. نقشه‌های زیست‌محیطی موجود در شرکت‌های برق معمولا قدیمی هستند. از طرف دیگر، این شرکت‌ها راهکاری برای اینکه از تغییرات احتمالی در لایه‌های زیست‌محیطی مطلع شوند، ندارند. لذا برای جلوگیری از ورود اشتباهی به محدوده‌های حفاظت‌شده، شرکت‌های برق نیازمند دسترسی به اطلاعات به‌روز زیست‌محیطی هستند.

آبراهه‌ها، مثل رودها و رودخانه‌ها، دسته دیگر منابع طبیعی حفاظت شده هستند که شرکت‌های برق زیاد با آن‌ها سروکار دارند. اطلاعات مربوط به محدوده منابع آبی در سیستم اطلاعات مکانی سازمان‌های مختلف نظارتی نگهداری می‌شود. دسترسی به اطلاعات زیست‌محیطی در کنار آگاهی از مقررات سازمان‌های مختلف نظارتی، به شرکت‌های برق کمک می‌کند تا از مشکلات احتمالی پیشگیری کنند.

ران می‌دانست که پایش تغییرات صورت گرفته در مناطق حفاظت شده برای شرکت AnyTown Energy غیرممکن است، چه برسد به اینکه بتوان تمامی این تغییرات را به‌طور مستقیم و از طریق ارتباط با کارگرانی که در این محدوده‌ها فعالیت می‌کنند، ثبت کرد. به جای این روش، او در نظر داشت از طریق وب سرویس‌های مکانی امکان دسترسی و مشاهده لایه‌های زیست‌محیطی را در شرکت AnyTown Energy فراهم کند.

برخی فعالیت‌ها، نظیر قطع درختان در مناطق تاریخی، ممکن است نیاز به مجوزهای خاصی داشته باشد. اماکن مقدس و گورستان‌های قدیمی نیز جزو مناطق تاریخی محسوب می‌شوند. ران دریافت که دسترسی به اطلاعات مناطق حساس زیست‌محیطی و محدوده‌های تاریخی برای شرکت‌های توزیع حیاتی است و چنانچه بتوان این اطلاعات را از طریق مراجع معتبر و به‌صورت وب سرویس‌های مکانی در سیستم GIS شرکت AnyTown Energy نمایش داد، بهبود قابل توجهی در کسب‌وکارهای سازمان به وجود خواهد آمد. زمانی که یک ماشین بالابر یا ماشین حفار یا گروه شاخه زنی به یک منطقه حفاظت‌شده نزدیک می‌شود، باید بتوان به کمک GIS هشدارهای لازم را صادر کرد.

گروه‌های بهره‌برداری به اطلاعات زیست‌محیطی احتیاج دارند. اگر GIS بخواهد نقش واقعی خود را ایفا کند، باید توانایی دسترسی به اطلاعات مورد نیاز درون‌سازمانی و برون‌سازمانی را داشته باشد. ران اعتقاد داشت که سیستم GIS باید به نحوی پیاده‌سازی شود که با یکپارچه‌سازی داده‌ها، بستر مورد نیاز جهت تحلیل‌های مکانی را فراهم کند. زمانی که قرار است یک طرح در بخش مهندسی تهیه شود، برای کارشناسان شرکت بسیار سودمند است که بدانند محدوده طرح در حریم یک رودخانه فصلی قرار دارد. بااین‌حال، صرف زمان و هزینه برای نگهداری و به‌روزرسانی داده‌های زیست‌محیطی توسط شرکت‌های توزیع نادرست است. در عوض، شرکت‌های توزیع باید قابلیت دسترسی به اطلاعات به‌روز را از منابع معتبر داشته باشند و بتوانند از این اطلاعات در فرآیندها و مدل‌سازی‌های خود استفاده کنند.

ران بر اساس مطالعاتش دریافت که شرکت‌های توزیع باید انواع مختلف داده‌های غیر الکتریکی را در مدل داده خود در نظر بگیرند:

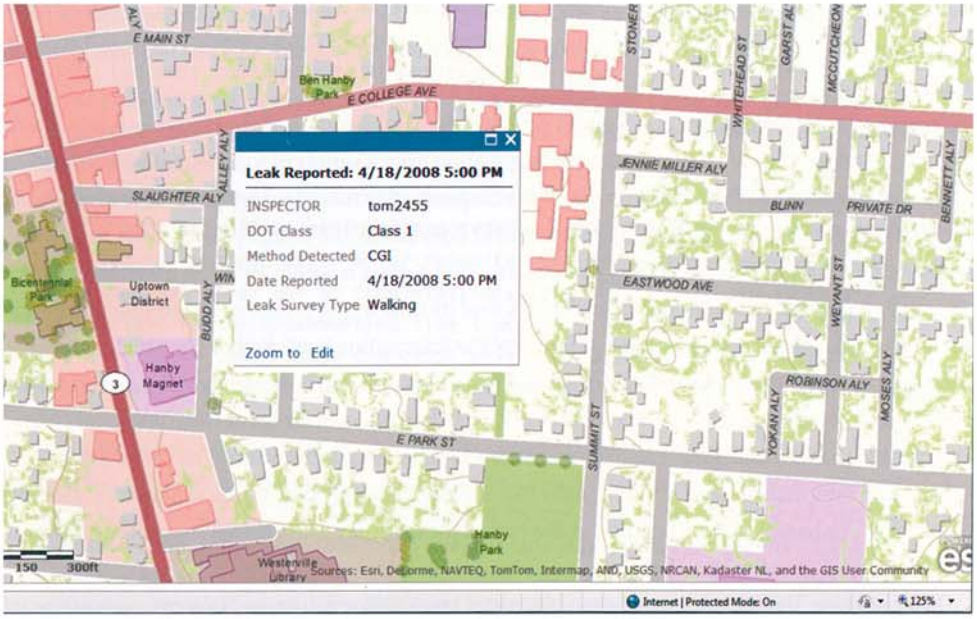
اطلاعات نقشه پایه: این اطلاعات توسط سازمان‌های دولتی و شهرداری‌ها مدیریت و کنترل می‌شود. اطلاعات نقشه پایه زیرساخت و پس‌زمینه کارکردهای روزانه سیستم GIS است. در شرکت‌های خدماتی به این داده‌ها، نقشه معابر نیز گفته می‌شود.

اطلاعات سایر شرکت‌های خدماتی: این داده‌ها شامل اطلاعات شبکه آب، گاز، مخابرات، فاضلاب، حمل‌ونقل و زیرساخت‌های ارتباطی می‌شود. این داده‌ها به‌وسیله سایر سازمان‌ها مدیریت می‌شود (شکل ۱۰-۵). در صورتی می‌توان از این داده‌ها به صورت مناسب استفاده کرد که نقشه پایه همه سازمان‌ها بر اساس یک سیستم مختصات استاندارد تهیه شده باشد.

داده‌های غیر الکتریکی تحت مدیریت شرکت برق: این اطلاعات تحت اختیار و کنترل شرکت‌های توزیع است. هرچند ممکن است از این داده‌ها در سیستم GIS به‌صورت متداول و روزانه استفاده نشود اما دسترسی به آن‌ها برای برخی کسب‌وکارهای شرکت بسیار ضروری است. اطلاعات مربوط به املاک و مستغلات شرکت، مسیرهای دسترسی اختصاصی، انبارها و تعمیرگاه‌ها در این دسته طبقه‌بندی می‌شوند.

داده‌های برون‌سازمانی: این داده‌ها شامل تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، فایل‌های اتوکد و هر اطلاعات دیگری است که شرکت برق در خصوص دارایی‌ها، کارمندان و مشترکین خود به آن‌ها نیاز دارد. این اطلاعات که از خارج از سازمان قابل دستیابی هستند، برای بهبود کسب‌وکار شرکت ضرورت دارند. داده‌های مربوط به مسیر سیلاب‌ها، مناطق مستعد آتش‌سوزی، پناهگاه‌های اضطراری، مناطق صاعقه خیز، مناطق بادخیز، اطلاعات زیست‌محیطی و داده‌های مربوط به آب‌وهوا در این دسته طبقه‌بندی می‌شوند.

اطلاعات مربوط به حوادث و رویدادها (اطلاعات دینامیک): می‌توان موقعیت مکانی این داده‌ها را بر روی نقشه‌های GIS نمایش داد. اطلاعات مربوط به حوادث و رویدادها را می‌توان از منابع درون سازمانی مثل اسکادا، سیستم مدیریت خاموشی، سیستم مدیریت توزیع و سیستم مدیریت خودروها دریافت کرد و یا از طریق منابع برون‌سازمانی مثل سازمان هواشناسی و یا مدیریت ترافیک به آن‌ها دسترسی داشت.



شکل ۱۰-۵- نمایش اطلاعات مربوط به نشتی‌های گاز بر روی نقشه‌های GIS
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

اطلاعات نقشه پایه

ران با خودش فکر کرد که غیر از اضافه کردن اطلاعات مربوط به طرح‌های عمرانی به نقشه‌های پایه، دلیل دیگری برای ویرایش این نقشه‌ها وجود ندارد. چنانچه بخواهیم یک آدرس مشخص را بر روی نقشه پیدا کنیم، می‌توانیم به‌جای جستجو بر روی لایه‌های نقشه پایه از سرویس ژئوکدینگ (geocoding) استفاده کنیم (به یادداشت‌های ران در خصوص ژئوکدینگ مراجعه کنید).

ران به خاطر آورد که خانم لوییس از واحد خدمات مشترکین، برای برقراری ارتباط بین ترانسفورماتور و مشترکین تغذیه شونده توسط آن از نقشه معابر استفاده می‌کند. او به اطلاعات به‌روز نقشه‌های پایه احتیاج دارد و تصاویر رستری جوابگوی نیاز او نیست. پیاده‌سازی طرح‌های عمرانی پیشنهادی به‌صورت لایه‌های موقت در سیستم GIS، می‌تواند مشکل او را حل کند.

یادداشت‌های آقای ران

ژئوکدینگ (Geocoding)

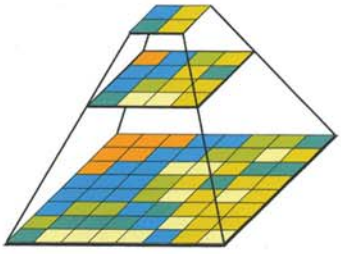
ژئوکدینگ، سرویس یا فرآیندی است که اطلاعات توصیفی مربوط به آدرس را دریافت کرده و موقعیت آن را به صورت مختصات جغرافیایی بازمی‌گرداند. با استفاده از سرویس ژئوکدینگ می‌توان بدون آنکه نیاز به مراجعه به ابزار خاصی در GIS باشد، اطلاعات معابر را به‌صورت گرافیکی و در مقیاس‌های مختلف نمایش داد. بنابراین اطلاعات نقشه پایه را می‌توان به مجموعه‌ای از تصاویر رستری یا عکس تبدیل کرد و برای یافتن موقعیت آدرس‌ها از سرویس ژئوکدینگ استفاده کرد. در این روش، برای جستجوی موقعیت آدرس‌ها به لایه‌های نقشه پایه مراجعه نمی‌شود بلکه جستجو از طریق سرویسی که به یک پایگاه داده بسیار جامع (شامل موقعیت‌ها، آدرس‌ها و مختصات آن‌ها) اتصال دارد، انجام می‌گیرد. این سرویس، آدرس مورد نظر را جستجو و مختصات را برمی‌گرداند. با استفاده از مختصات، می‌توان موقعیت آدرس جستجو شده را بر روی نقشه‌های GIS نمایش داد.

روش دوم برای تعیین موقعیت آدرس‌ها، مدل‌سازی عارضه خیابان در مدل داده شبکه توزیع است. اطلاعات مکانی خیابان‌ها باید به اطلاعات توصیفی آن‌ها مانند یک‌طرفه یا دوطرفه بودن، عرض معبر، نوع پیاده‌رو و نام خیابان متصل شوند. در اکثر مواقع، شرکت‌های توزیع تنها به اطلاعات محدودی از خیابان‌ها نیاز دارند. این اطلاعات را می‌توان از طریق سرویس ژئوکدینگ تولید کرد که به‌تمامی داده‌های مورد نیاز از منابع مختلف، دسترسی دارد.

برای یافتن موقعیت مکانی آدرس‌ها بر روی نقشه، تنها کافی است که سیستم جدید GIS شرکت AnyTown Energy، به سرویس ژئوکدینگ دسترسی داشته باشد. همچنین می‌توان در کنار سرویس ژئوکدینگ از سرویس مسیریابی استفاده کرد. این سرویس، بهترین مسیرهای پیشنهادی را میان دو نقطه مبدأ و مقصد تعیین می‌کند. سرویس مسیریابی، موقعیت و مسیر حرکت بین دو نقطه را بر روی تصاویر رستری نقشه‌های پایه نمایش می‌دهد.

بسیاری از شرکت‌های توزیع حجم قابل توجهی از اطلاعات مربوط به نقشه‌های پایه را در سیستم نقشه‌برداری خود نگهداری می‌کنند. این اطلاعات می‌تواند شامل داده‌های مربوط به معابر، ساختمان‌ها، پیاده‌روها و جداول خیابان‌ها باشد. هرچند این اطلاعات برای شرکت‌های توزیع بسیار سودمند است، اما می‌توان به شیوه‌ای بسیار کارآمدتر و از طریق منابع برون‌سازمانی به این داده‌ها دسترسی داشت.

به اعتقاد ران، نقشه پایه مناسب و کاربردی برای یک شرکت برق، مجموعه‌ای از لایه‌های رستری است که هرکدام از آن‌ها برای نمایش در یک مقیاس خاص در نظر گرفته شده‌اند. این مفهوم در شکل ۱۰-۶ نمایش داده شده است. به‌عنوان مثال، زمانی که مقیاس نقشه به نحوی تنظیم می‌شود که کل محدوده شرکت قابل نمایش است، دیگر خیابان‌های فرعی و کوچه‌ها قابل نمایش نخواهد بود. درواقع، سیستم بر اساس مقیاس انتخابی، جزئیات مناسب از لایه‌های مختلف را نمایش می‌دهد. در نمای دور و مقیاس‌های کوچک، کلیات نقشه نمایش داده می‌شود. برای مثال، رودخانه‌ها به‌صورت خطوط ساده دیده می‌شوند و ساختمان‌ها قابل روئیت نیستند. با بزرگ‌تر شدن مقیاس نقشه، جزئیات بیشتری از لایه‌های مختلف قابل نمایش خواهد بود.



شکل ۱۰-۶- می‌توان در مقیاس‌های مختلف نقشه‌های پایه، جزئیات متفاوتی را نمایش داد.

ران مواردی که به ذهنش می‌رسید را به سرعت یادداشت می‌کرد. اطلاعات نقشه پایه به دو دسته کلی زیر طبقه‌بندی می‌شود:

- **عوارض قابل‌مشاهده بر روی زمین**
- خیابان‌ها، جاده‌ها و بزرگراه‌ها
- خطوط راه‌آهن
- منابع آبی مانند رودخانه‌ها، نهرها، دریاچه‌ها، اقیانوس‌ها
- سنگفرش خیابان‌ها
- پیاده‌روها
- پارک‌ها، فضاهای سبز
- پستی و بلندی‌ها (نقاط ارتفاعی)
- **اطلاعاتی که به‌صورت یک عارضه زمینی مستقل قابل مشاهده نیستند، اما مورد نیاز می‌باشند.**
- آدرس‌ها
- پارسل‌ها (قطعات ملکی)
- اسامی (نام خیابان‌ها، شماره پارسل‌ها)
- محدوده و مرزهای سیاسی
- مسیرهای دسترسی اختصاصی، محدوده حریم شبکه

امروزه شرکت‌های توزیع برق از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به‌عنوان پس‌زمینه نقشه پایه استفاده می‌کنند. استفاده از این تصاویر، دید مکانی بهتری به کاربر منتقل می‌کند و باعث غنای بیشتر سیستم GIS می‌شود. نمونه‌های دیگر داده‌های رستری مثل فناوری سنجش از دور لیدار (Lidar) نیز می‌تواند بسیار مفید باشد. این نوع داده‌های رستری می‌توانند تصاویر را به‌صورت سه‌بعدی ارائه کنند. به‌عنوان مثال، با استفاده از فناوری Lidar می‌توان فاصله شبکه برق تا شاخه‌های درختان را تعیین کرد (به یادداشت‌های ران در خصوص فناوری سنجش از راه دور Lidar مراجعه کنید).

یادداشت‌های آقای ران

فناوری سنجش از راه دور (Lidar)

بسیاری از شرکت‌های برق، از فناوری سنجش از راه دور lidar[1] ، برای صحت‌سنجی و تعیین موقعیت دقیق تأسیسات خود استفاده می‌کنند. رایج‌ترین کاربرد فناوری lidar در شرکت‌های برق، به حوزه انتقال مربوط می‌شود، اگرچه این فناوری در شبکه‌های فوق توزیع و توزیع نیز استفاده می‌شود. در این فناوری، اطلاعات مکانی مجموعه‌ای از نقاط از طریق پرتاب امواج لیزر به سمت هدفی مشخص و اندازه‌گیری مسافت طی شده توسط موج به دست می‌آید.

روش متداول برای جمع‌آوری اطلاعات این مجموعه از نقاط، ارسال موج لیزر از طریق یک هواپیمای در حال پرواز در ارتفاع پایین است. پس از جمع‌آوری تعداد کافی از نقاط هدف و تجزیه و تحلیل آن‌ها، اشکال استخراج‌شده، قابل نمایش خواهند بود. به‌عنوان مثال، اگر یک شرکت توزیع بخواهد اطلاعات بیشتری نسبت به یک فیدر فشار متوسط هوایی کسب کند، با هواپیما بر روی شبکه پرواز کرده و اطلاعات صدها تا هزاران نقطه را نمونه‌برداری می‌کند. با تجزیه‌وتحلیل نمونه‌های گردآوری‌شده می‌توان مدل سه‌بعدی فیدر را تهیه کرد. از روی این تصویر سه‌بعدی می‌توان موقعیت عوارض خطی، پایه‌های مسیر فیدر و عوارض مکانی مجاور فیدر مثل درختان را تعیین کرد.

سپس می‌توان اطلاعات توصیفی مربوط به عوارض مکانی مثل نوع درخت، ارتفاع پایه برق یا قطر سیم را به آن‌ها نسبت داد.

۱- Light Ditection and Ranging

هنگامی که این عوارض شناسایی‌شده، توسط رنگ‌های مختلف نمایش داده می‌شوند، تصویر قابل‌فهم‌تری از واقعیت محل نمایش داده می‌شود. با ترکیب اطلاعات به‌دست آمده از فناوری lidar و سیستم GIS، شرکت برق می‌تواند موقعیت دقیق تجهیزات خود را تعیین کند. این فناوری کاربردهای دیگری نیز برای شرکت‌های برق دارد. به‌عنوان مثال، می‌توان معایب شبکه مثل پایه‌های کج شده را شناسایی کرد، محل‌هایی که حریم شبکه رعایت نشده است را تعیین کرد و فرآیند بازدید و بازرسی تجهیزات را بهبود داد.

همانند داده‌های رستری نقشه پایه، داده‌های حاصل از عکس‌های هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای نیز شامل یک تصویر واحد نمی‌شوند، بلکه از مجموعه‌ای از تصاویر با درجه‌های مختلف دقت و کیفیت تشکیل شده‌اند. بنابراین در مقیاس‌های بسیار کوچک، ممکن است تصاویر تنها قادر به نمایش تغییرات ارتفاعی عوارض در سطح زمین باشند. هنگامی که کاربر بر روی یک منطقه بزرگ‌نمایی می‌کند، تصاویر قبلی با تصاویر جدیدی که دقت و کیفیت بالاتری دارند، جایگزین می‌شوند، اما هنوز برای دیدن تمامی جزئیات کافی نیستند. هر زمان که کاربر بزرگ‌نمایی تصویر را افزایش دهد، مجددا این تصاویر با تصاویر جدید با وضوح بیشتر و کیفیت بالاتر جایگزین می‌شوند. هر چه وسعت محدوده نمایش داده شده بیشتر باشد، دقت و کیفیت تصاویر پایین‌تر خواهد آمد. نهایتا در همه مقیاس‌ها، تعداد پیکسل‌های تصاویر همواره ثابت باقی خواهد ماند. تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی شامل حجم زیادی از اطلاعات هستند. بنابراین انتخاب مقیاس مناسب برای نمایش تصاویر مختلف از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. موضوع مهم دیگر در خصوص تصاویر ماهواره‌ای آن است که این تصاویر به‌سرعت قدیمی می‌شوند، بنابراین باید فرآیندی برای به‌روزرسانی تصاویر در نظر گرفت. با پیاده‌سازی این فرآیند اطلاعات دقیق‌تری در اختیار کاربر قرار خواهد گرفت. چنانچه شرکت‌های برق بتوانند پس از وقوع بحران در یک منطقه، از محدوده مورد نظر تصویر هوایی جدید تهیه کنند، برای آن‌ها بسیار کاربردی است، زیرا می‌توانند وضعیت منطقه را با مقایسه تصویر قبل و بعد از بحران، بهتر ارزیابی کنند.

به‌طور کلی نقشه پایه شامل لایه‌های زیر است:

- نمایش خیابان‌ها و عوارضی که بر روی زمین قابل مشاهده هستند مثل معبر و بلوک.
- اطلاعات مربوط به اسامی و مالکیت‌ها - این اطلاعات بر روی سطح زمین قابل مشاهده نیستند، اما برای شرکت برق اهمیت فراوانی دارند. اطلاعاتی همچون اسامی معابر، مرز پارسل‌ها، مرزهای مربوط به املاک و قطعات در این دسته قرار می‌گیرند.
- تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی

ران می‌دانست که مسیریابی خودروها اهمیت ویژه‌ای برای شرکت‌های توزیع دارد. سؤال اینجاست که چگونه شرکت توزیع می‌تواند از تصاویر رستری نقشه پایه برای مسیریابی خودروها استفاده کند؟ در جواب این سؤال باید گفت که برای انجام مسیریابی به‌صورت مستقیم از تصاویر رستری استفاده نمی‌شود، بلکه نتایج حاصل از مسیریابی، بر روی این تصاویر به‌صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود. برای مسیریابی از آنالیز شبکه راه‌ها استفاده می‌شود. پس از تعیین مبدأ و مقصد خودرو، آنالیز شبکه راه‌ها در پشت‌صحنه اجرا می‌شود و نتایج به‌صورت گرافیکی بر روی نقشه به نمایش درمی‌آید. موتورهای مسیریابی بسیار پیچیده و پیشرفته هستند، به‌نحوی که بر اساس مقیاس انتخاب شده توسط کاربر از روش‌های مختلف مسیریابی استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، مسیریابی در سطح یک شهر با سطح یک ایالت و یا کشور کاملا متفاوت است.

اطلاعات سایر شرکت‌های خدماتی

شرکت‌های توزیع به اطلاعات سایر شرکت‌های خدماتی در محدوده تحت پوشش خود نیاز دارند. این موضوع به‌ویژه در مورد تأسیسات زیرزمینی از اهمیت بیشتری برخوردار است. زمانی که شرکت توزیع می‌خواهد برای

عبور کابل از یک خیابان، زمین را حفاری کند، باید اطلاع داشته باشد که آیا لوله آب و یا گازی نیز در آن خیابان وجود دارد. مشکل اینجاست که شرکت‌های خدماتی اطلاع‌رسانی کافی را به یکدیگر انجام نمی‌دهند. ممکن است زمانی که شرکت گاز می‌خواهد یک خط لوله اصلی را احداث کند، از شرکت برق در خصوص تأسیسات زیرزمینی استعلام کند و طرح اولیه خط لوله را به شرکت توزیع تحویل دهد. اما شرکت برق هیچ‌گاه خبردار نمی‌شود که آیا اجرای خط لوله طبق طرح اولیه صورت گرفته و یا تغییراتی در زمان اجرای پروژه به وجود آمده است. همچنین اگر شرکت برق بخواهد کابل خود را از خیابانی عبور دهد که شرکت گاز در آن خیابان تأسیساتی ندارد، در آن صورت، شرکت گاز هرگز اطلاعی از کابل برق احداث‌شده نخواهد داشت.

این امکان نیز وجود دارد که شرکت‌های توزیع، نیازمند دسترسی به اطلاعاتی در مورد شبکه گاز باشند که کمتر قابل مشاهده است. به‌عنوان مثال، آگاهی از وضعیت و موقعیت نشتی‌های گاز می‌تواند برای شرکت‌های توزیع بسیار مفید باشد (شکل ۱۰-۷). شرکت‌های برق مثل شرکت AnyTown Energy، دارای فضاهای بسته‌ای مثل منهول‌ها و پست‌های زیرزمینی هستند. اگر نیروهای عملیاتی شرکت از وضعیت نشت گاز در مجاورت این فضاهای بسته مطلع باشند با ایمنی بسیار بیشتری کار خود را انجام خواهند داد. درصورتی‌که گاز به داخل منهول‌ها و پست‌های زیرزمینی نشت پیدا کند، با کوچک‌ترین جرقه‌ای (در اثر عملکرد ناگهانی یک کلید اتوماسیون و یا روشن شدن خودکار یک پمپ تخلیه) انفجار رخ خواهد داد و علاوه بر آسیب جدی به تجهیزات شبکه می‌تواند منجر به کشته شدن پرسنل شرکت شود. تصور کنید، با یک تحلیل مکانی ساده در سیستم GIS می‌توان موقعیت منهول‌هایی را تعیین کرد که در فاصله ۳۰ متری نقاط نشت گاز هستند.

شکل ۱۰-۷- به کمک GIS، می‌توان منهول‌هایی را که در نزدیکی آن‌ها نشتی گاز وجود دارد، شناسایی کرد. (منبع: Esri)

متداول‌ترین اطلاعاتی که شرکت‌های توزیع باید در مورد سایر شرکت‌های خدماتی فعال در محدوده تحت پوشش خود داشته باشند، موقعیت مکانی و نوع تجهیزات سایر سازمان‌هاست. به اعتقاد ران، بهترین حالت این است که همه شرکت‌های خدماتی، سرویس‌های نقشه خود را بر روی یک بستر مشترک ارائه کنند. سپس هر شرکتی می‌تواند سرویس سایر سازمان‌ها را در سیستم GIS خود نمایش دهد. دسترسی به این سرویس‌ها می‌تواند بر اساس نیاز کاربر تعریف شود. عمده‌ترین کاربران سرویس‌های نقشه سایر شرکت‌های خدماتی، کارشناسان بخش طراحی و برنامه‌ریزی هستند. یک سرویس مجزا برای نشتی‌های آب و گاز می‌تواند برای پرسنل بخش بهره‌برداری شرکت‌های توزیع بسیار سودمند باشد.

همانند اطلاعات نقشه پایه، شرکت‌های توزیع نباید اطلاعات سایر سازمان‌ها را ویرایش کنند، چون هیچ کنترلی بر روی آن‌ها ندارند. می‌توان اطلاعات سایر شرکت‌های خدماتی را مشابه نقشه‌های پایه، به‌صورت تصاویر رستری در سیستم GIS نمایش داد. بسته به پیچیدگی و حجم داده‌ها، می‌توان لایه‌های اطلاعاتی را بر اساس دسته‌بندی‌هایی مختلفی از میزان جزئیات، نمایش داد. در صورت نیاز، سیستم GIS قادر به نمایش هر عارضه خاص در بزرگ‌ترین مقیاس (زوم کامل) تعریف شده است.

بنابراین کاری که شرکت توزیع باید انجام دهد این است که شرکت‌های خدماتی دیگر را برای پیاده‌سازی سیستم GIS سازمانی متقاعد کند، تا از این طریق، امکان به اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی فراهم شود. تحت هیچ شرایطی، شرکت‌های خدماتی نباید اطلاعات سایر سازمان‌ها را برداشت و در سیستم GIS خود نگهداری کنند. اگر زیرساخت لازم جهت به اشتراک‌گذاری داده‌ها وجود ندارد، شرکت توزیع می‌تواند یک کپی از نقشه‌های سایر سازمان‌ها تهیه کند و پس از اسکن کردن این نقشه‌ها، آن‌ها را به‌صورت یک تصویر در سیستم GIS نمایش دهد.

داده‌های مربوط به سایر شرکت‌های خدماتی مانند شرکت آب و فاضلاب، شرکت قطار شهری (مترو)، شرکت مخابرات، شرکت گاز، اداره راه، سازمان آتش‌نشانی، شرکت مخابرات و شهرداری ازجمله اطلاعات مکان محوری هستند که سیستم GIS می‌تواند از آن‌ها استفاده کند.

داده‌های غیر الکتریکی تحت مدیریت شرکت توزیع

بخشی از اطلاعات مکانی تحت مدیریت شرکت‌های توزیع مستقیماً با تجهیزات الکتریکی ارتباط ندارند. هرچند استفاده از این داده‌ها عمومیت ندارد ولی برای برخی کسب‌وکارهای موجود در سازمان ضروری هستند. این اطلاعات به چند دسته اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند:

زیرساخت مخابراتی شرکت توزیع. شرکت‌های توزیع، طیف وسیعی از تجهیزات و زیرساخت‌های مخابراتی را مدیریت می‌کنند. این شرکت‌ها برای بهره‌برداری از سامانه‌های SCADA و DMS خود از سیستم‌های مخابراتی نظیر ارتباط رادیویی، فیبر نوری، ماکروویو و انتقال امواج از طریق خطوط انتقال نیرو استفاده می‌کنند. بستر مخابراتی مورد نیاز با نصب تجهیزات شبکه مخابراتی بر روی پایه‌های برق و عبور کابل‌های فیبر نوری از داخل لوله‌های دفن شده در زیر خاک تأمین می‌شود. بنابراین می‌توان گفت که شبکه توزیع الکتریکی از دو سیستم یکپارچه‌شده برق و مخابرات تشکیل شده است.

ران با خودش فکر کرد که پیاده‌سازی کامل زیرساخت مخابراتی در سیستم GIS کار پیچیده و زمان‌گیری است و بهتر است در این مرحله، تنها تجهیزات کلیدی در نظر گرفته شود. به‌عنوان مثال، شرکت برق باید از موقعیت مکانی دکل‌های رادیویی و تجهیزات سیستم ماکروویو و همچنین نحوه تغذیه آن‌ها آگاه باشد. اطلاع داشتن از موقعیت و مسیر کابل‌های فیبر نوری برای شرکت‌های توزیع بسیار حائز اهمیت است (شکل ۱۰-۸). همچنین این شرکت‌ها باید قابلیت تحلیل شرایط شبکه در مواقع اضطراری را داشته باشند. پاسخ پرسش‌هایی از این قبیل که اگر در یکی از منهول‌های شبکه، آتش‌سوزی رخ دهد، چه تأثیری بر کل فعالیت‌های شرکت خواهد داشت؟

تجهیزات حساس. شرکت‌های توزیع نیازمند شناسایی تجهیزاتی هستند که در شرایط بحرانی مانند حملات سایبری یا فیزیکی، مهم و حیاتی تلقی می‌شوند. برخی از این تجهیزات مانند سرورها، روترها و RTU ها غیر الکتریکی هستند. آگاهی از موقعیت این تجهیزات برای بالا بردن امنیت سیستم در مواجهه با خطرات احتمالی بسیار ضروری است.

سیستم‌های امنیتی. امروزه شرکت‌های توزیع نگران تهدیداتی مانند سرقت، خرابکاری و اقدامات تروریستی هستند و لازم است فهم درستی از میزان آسیب‌پذیری خود داشته باشند. بسیاری از این

شرکت‌ها، اقدام به نصب حس‌گرها، دوربین‌ها و سیستم‌های دسترسی به درب‌ها کرده‌اند. ران با خودش فکر کرد که آگاهی از موقعیت نصب این تجهیزات برای شرکت‌های توزیع بسیار مهم است. زمانی که شرکت هشداری مبنی بر باز شدن بدون اجازه یک گیت یا درب دریافت می‌کند، باید بتواند به‌سرعت موقعیت مکانی گیت را پیدا کرده و با دوربین نصب‌شده در محل، محدوده مورد نظر را مشاهده کند.

به‌طور معمول، تجهیزات امنیتی مانند حس‌گرها، دوربین‌ها و گیت‌های ورودی توسط سیستم‌های اختصاصی مدیریت می‌شوند، اما سیستم GIS می‌تواند موقعیت مکانی تجهیزات مربوطه را بر روی نقشه نمایش دهد. پس از وقوع یک حادثه، نه‌تنها پرسنل بخش حراست می‌توانند با استفاده از دوربین‌های امنیتی وضعیت حادثه را ارزیابی کنند، بلکه می‌توان تاثیر حادثه بر تجهیزات شبکه توزیع را بررسی کرد و از این طریق، برآورد دقیق‌تری از خطرات امنیتی احتمالی داشت. سیستم GIS می‌تواند به‌عنوان زیرساخت یکپارچه کننده اطلاعات تجهیزات امنیتی عمل کند.

املاک و مستغلات، راه‌های اختصاصی و مجوزها. ران با خودش فکر کرد که مدیریت مسائل حقوقی سازمان مانند مسائل حقوقی مربوط به املاک و اراضی، فعالیت تجاری مهمی برای شرکت‌های توزیع محسوب می‌شود. این اطلاعات مکان محور باید به روشی مؤثر و کارآمد ذخیره‌سازی شود. در بسیاری از کشورهای دنیا، شرکت‌های توزیع باید برای نصب تجهیزاتشان در مکان‌های عمومی مجوز بگیرند. برخی مواقع، شرکت‌های توزیع برای دسترسی مناسب‌تر به تجهیزات خود مجوز احداث مسیر اختصاصی درخواست می‌کنند.

شکل ۱۰-۸- نمایش همزمان فیبرهای نوری (خطوط نارنجی) و شبکه برق (خطوط قهوه‌ای) در سیستم GIS
(منبع: شرکت برق Fort Pierce)

واحد حقوقی و املاک شرکت متولی نظارت و رسیدگی به این‌گونه فعالیت‌ها است. چنانچه شرکت‌های توزیع بتوانند بین اطلاعات مربوط به اسناد حقوقی املاک و دارایی‌های شرکت و موقعیت مکانی این املاک در سیستم GIS ارتباط برقرار کنند، پیشرفت چشمگیری در عملکرد بخش حقوقی شرکت به وجود خواهد آمد (شکل ۱۰-۹). در دعاوی حقوقی مربوط به املاک، چنانچه اطلاعات جامع و کاملی در اختیار شرکت نباشد، هزینه‌های زیادی به سازمان تحمیل خواهد شد.

تمامی شرکت‌های توزیع متولی دریافت مجوز، اجاره و واگذاری قطعات ملکی مورد نیاز در محدوده سرویس‌دهی خود هستند. آن‌ها همچنین در معاملات خرید و فروش زمین جهت احداث تأسیسات جدید، مثل ساختمان پست‌های برق، شرکت می‌کنند. یکپارچه‌سازی اطلاعات املاک، دارایی‌ها و مجوزهای حقوقی اخذ شده با سیستم GIS می‌تواند موجب ساده‌سازی دسترسی پرسنل واحدهای برنامه‌ریزی، مهندسی و بهره‌برداری به اطلاعات مورد نیاز شود. به کمک این اطلاعات، زمانی که واحد برنامه‌ریزی شرکت قصد دارد طرح احداث یک پست جدید را در یک منطقه پربار تهیه کند، به‌خوبی اطلاع خواهد داشت که در آن محدوده چه زمین‌هایی وجود دارد که در تملک شرکت است.

زمین‌های با ارزش زیست‌محیطی. شرکت‌های توزیع باید نسبت به شناسایی زمین‌هایی که تحت مالکیتشان هستند و ازلحاظ زیست‌محیطی اهمیت دارند، اقدام کنند. چنانچه در طول زمان و طی عملیات اجرایی واحدهای مختلف شرکت، این زمین‌ها آلوده شوند، شرکت‌های برق باید طی یک برنامه مشخص آن‌ها را پاک‌سازی و نتایج را به سازمان‌های نظارتی گزارش کنند. آگاهی از موقعیت منابع آبی و برنامه‌های توسعه در نزدیکی این زمین‌ها می‌تواند در حفظ محیط‌زیست بسیار حائز اهمیت باشد. بعلاوه، در صورت وقوع یک حادثه در نزدیکی زمین‌های آلوده، پرسنل بهره‌برداری شرکت باید اطلاعات کافی را در اختیار داشته باشند.

شکل ۱۰-۹ مشخص کردن املاک شرکت (پارسل‌هایی که محیط آنها با خطوط آبی رنگ مشخص شده است) بر روی نقشه‌های GIS (منبع: Esri)

همچنین انبارهای شرکت که در نزدیکی مناطق حساس زیست‌محیطی قرار دارند، باید شناسایی شوند. همه این اطلاعات را می‌توان با استفاده از سیستم GIS ثبت کرد و در معرض دید کلیه کاربران سازمان قرار داد.

داده‌های برون‌سازمانی

شرکت‌های توزیع محدوده جغرافیایی گسترده‌ای را تحت پوشش دارند. بنابراین برای آن‌ها بسیار مهم است که به کلیه اطلاعاتی که بر عملکرد آن‌ها تأثیرگذار است، دسترسی داشته باشند. اخباری مانند مسیر عبور سیل، جاده‌های مسدود، موقعیت و شدت آتش‌سوزی‌ها، محل اعتراضات خیابانی و حتی برنامه بازدید رئیس جمهور ازجمله مواردی هستند که می‌توانند بر برنامه کاری شرکت‌های توزیع تأثیرگذار باشند و داشتن اطلاعات کافی و به‌موقع از آن‌ها لازم است. چنانچه شرکت‌های توزیع، مراجع متولی این داده‌های مکانی را شناسایی کنند، می‌توانند به اطلاعات مورد نیاز در زمان مناسب دسترسی داشته باشند. پیگیری دریافت اطلاعات مربوط به مسیر سیلاب، زمانی که تجهیزات داخل پست کاملا زیر آب رفته، بسیار دیر است. زمانی که جرثقیل شرکت وارد یک محوطه تاریخی می‌شود و یا ماشین حفاری شرکت یک گودال بزرگ در زیست‌گاه بومی جانوران نادر ایجاد می‌کند و یا شاخه‌های یک درخت چند هزار ساله توسط شرکت قطع می‌شود، باید هم منتظر فشار منفی مطبوعات و سازمان نظارتی بود.

زمانی که شرکت توزیع با یک بحران بزرگ مانند زلزله، طوفان و یا سیل مواجه می‌شود، دیگر فرصت کافی برای یافتن مراجع داده‌های مورد نیاز وجود ندارد. ران با خودش فکر کرد که در این شرایط، شرکت برق می‌تواند با استفاده از وب سرویس‌های مکانی، اطلاعات ضروری را از سازمان‌های مالک داده دریافت کند. به‌عنوان مثال، می‌توان سرویس مکانی مربوط به محدودیت وزنی پل‌ها برای عبور وسایل نقلیه و یا برنامه آسفالت کردن خیابان‌ها را از شهرداری دریافت کرد. همه ما با خیابان‌هایی که چند روز پس از آسفالت یا مرمت، دوباره حفاری می‌شوند، برخورد داشته‌ایم. این نوع اطلاعات نباید به‌صورت مستقیم در سیستم GIS شرکت توزیع ذخیره‌سازی شود، بلکه باید به‌صورت سرویس از سازمان‌هایی که متولی داده هستند، دریافت شود. تصور کنید، یک ماشین بالابر که برای انجام یک مأموریت اضطراری به محل اعزام شده است با پلی مواجه می‌شود که به دلیل وزن بالا، امکان عبور از روی آن را ندارد. اگر شرکت توزیع به اطلاعات مورد نیاز دسترسی داشت، می‌توانست به کمک GIS، مناسب‌ترین مسیر را با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و قیود ترافیکی تعیین کند.

شرکت‌های توزیع برای مواجهه با شرایط بحرانی می‌توانند از GIS به‌عنوان یک پایگاه داده مکانی استفاده کنند. از این پایگاه داده می‌توان برای نمایش موقعیت مکانی پناهگاه‌ها، جاده‌های مسدود، بیمارستان‌ها و ایستگاه‌های آتش‌نشانی در کنار تجهیزات الکتریکی استفاده کرد. البته یکپارچه‌سازی پایگاه داده GIS با داده‌های مکانی برون‌سازمانی یک شرط بزرگ دارد و آن‌هم این است که نقشه پایه مورد استفاده استاندارد باشد تا زیرساخت مناسب جهت برهم‌نهی اطلاعات فراهم گردد. این موضوعی بود که ران هم بر روی آن اصرار داشت و به دنبال آن بود که برای سیستم جدید GIS شرکت AnyTown Energy از نقشه‌های استاندارد دولت محلی استفاده کند.

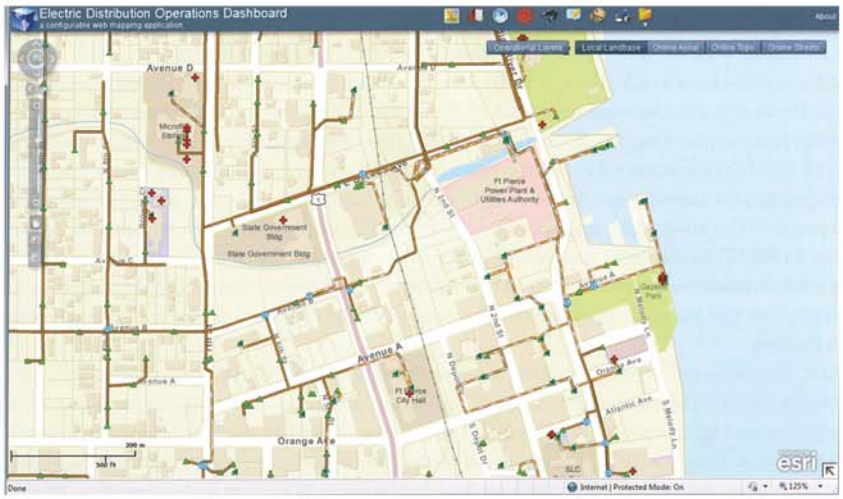
اطلاعات مربوط به حوادث و رویدادها (اطلاعات دینامیک)

اطلاعات مربوط به حوادث و رویدادها از سیستم‌های بلادرنگ و یا نزدیک به بلادرنگ[۱] مثل SCADA، OMS و DMS به دست می‌آیند. این سیستم‌ها برای اندازه‌گیری داده‌های پیوسته و در برخی موارد تصمیم‌گیری و ارسال فرمان‌های کنترلی طراحی شده‌اند. ارسال فرمان بسته شدن یک کلید قدرت و یا بی‌برق شدن بخشی از یک فیدر، مثال‌هایی از این فرمان‌های کنترلی هستند. ران می‌دانست که GIS جزو این دسته از سیستم‌ها طبقه‌بندی نمی‌شود اما می‌تواند به‌عنوان یک پشتیبان برای آن‌ها عمل کند. با استفاده از GIS می‌توان به‌سادگی موقعیت مکانی رویدادها، مثل بار بیش از حد مجاز یک فیدر،

۱- Real time

را بر روی نقشه نمایش داد. همچنین سیستم GIS توانایی نمایش و دسترسی به دوربین‌های نصب‌شده در سطح شبکه را داراست. این سیستم، داده‌هایی که مبنای جغرافیایی دارند را به‌راحتی دریافت کرده و آن‌ها را بر روی نقشه نمایش می‌دهد (شکل ۱۰-۱۰).

در برخی موارد، داده‌ها از یک موقعیت استاتیک در شبکه مانند یک نقطه از سیستم SCADA دریافت می‌شوند. در موارد دیگر، سیستم GIS می‌تواند اطلاعات مربوط به موقعیت GPS ای خودروهای در حال حرکت را از سیستم AVL دریافت کرده و بر روی نقشه‌های جغرافیایی نمایش دهد (شکل ۱۰-۱۱). با استفاده از GIS می‌توان موقعیت مکانی اطلاعات دینامیکی را بر روی نقشه نمایش داد. بنابراین با یکپارچه‌سازی سیستم‌های AVL، SCADA و DMS با سیستم GIS می‌توان موقعیت مکانی شرایط غیرعادی را نمایش داد و تصمیمات دقیق‌تر و سریع‌تری اتخاذ کرد.



شکل ۱۰-۱۰- نمایش حوادث و رویدادهای مکان محور بر روی نقشه‌های GIS
(منبع: شرکت برق Fort Pierce)

مدل داده مربوط به نقشه‌های پایه

مدل داده نقشه‌های پایه اساساً توسط سازمانی که متولی داده است، تهیه می‌شود. با توجه به اینکه قرار نیست شرکت AnyTown Energy اطلاعات نقشه‌های پایه را ویرایش کند، لذا ران نیازی نمی‌دید که برای لایه‌های موجود در نقشه پایه، کلاس عارضه جدید در مدل داده GIS تعریف کند. در عوض، او تصمیم گرفت که توان خود را بر روی شناسایی نقشه‌های پایه باکیفیت و تنظیم نحوه نمایش اطلاعات در مقیاس‌های مختلف، متمرکز کند.

دسترسی به سرویس ژئوکدینگ و مسیریابی دیگر قابلیت‌هایی بود که ران قصد داشت در سیستم GIS امکان استفاده از آن‌ها را فراهم کند. با این حساب، تنها اطلاعات مربوط به خیابان‌ها و ساختمان‌های پیشنهادی در طرح‌های عمرانی باقی می‌ماند که باید در سیستم GIS مدل‌سازی می‌شد.

ران برنامه‌ریزی کرده بود که از استراتژی مشابهی برای داده‌های که تحت کنترل شرکت AnyTown Energy نیستند، استفاده کند. او باید فهرست اطلاعات مکانی برون‌سازمانی مورد نیاز شرکت AnyTown Energy را تهیه می‌کرد. به‌عنوان مثال، او باید با شرکت گاز مذاکره می‌کرد و اطلاعات مربوط به شبکه گاز و نشتی‌ها را به‌صورت وب سرویس از این سازمان دریافت می‌کرد. در عوض، او می‌توانست سرویس شبکه برق را در اختیار شرکت گاز بگذارد.

شکل ۱۰-۱۱- نمایش موقعیت خودروها بر روی نقشه‌های GIS (شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

همچنین او قصد داشت با سازمان محیط‌زیست و سازمان مدیریت بحران وارد مذاکره شود و اطلاعات مکانی مورد نیاز شرکت را به‌صورت وب سرویس مکانی از آن‌ها دریافت کند. او می‌دانست که بسیاری از سازمان‌های دولتی، اطلاعات مکانی ارزشمندی دارند که به‌سادگی می‌توان آن‌ها را در سیستم GIS شرکت AnyTown energy نمایش داد. بااین‌حال، حتی اگر سیستم نقشه‌برداری قدیمی شرکت بتواند این سرویس‌ها را نمایش دهد (که نمی‌تواند)، به دلیل استاندارد نبودن نقشه‌های پایه موجود، داده‌ها در مکان صحیح نمایش داده نخواهند شد. به کمک GIS می‌توان از این مشکلات اجتناب کرد و سرویس‌های مکانی را بر روی نقشه‌های پایه استاندارد نمایش داد.

جداول مربوط به عوارض مرجع

ران جدولی برای مدل داده نقشه‌های پایه تهیه کرد (جدول ۱۰-۱). علاوه بر این، او باید مدل داده ساده‌ای از تمامی اطلاعات مورد نیاز شرکت از سایر سازمان‌های خدماتی (جدول ۱۰-۲) و اطلاعات غیر الکتریکی تحت کنترل شرکت AnyTown Energy تهیه می‌کرد (جدول ۱۰-۳).

جدول ۱۰-۱- مدل داده مربوط به نقشه پایه

نام	کلاس عارضه	شکل هندسی	توضیحات
نقشه معابر و ساختمان‌های پیشنهادی			
قطعه ملک پیشنهادی	پارسل	پلی گون	یک مجموعه قطعه ملک پیشنهادی که در کنار یکدیگر موقعیت معابر و خیابان‌ها را مشخص می‌کنند.

همانند نقشه‌های پایه، ران نیازی به ایجاد یک مدل داده مستقل برای داده‌های سایر شرکت‌های خدماتی ندید.

جدول ۱۰-۲- مدل داده مربوط به سایر سازمان‌های خدماتی

نام	کلاس عارضه	شکل هندسی	توضیحات
سایر سازمان‌های خدماتی			
نشتی آب	نشتی	نقطه‌ای	تنها نیاز به شناسایی موقعیت نشتی است.
نشتی گاز	نشتی	نقطه‌ای	تنها نیاز به شناسایی موقعیت نشتی است.

برای جمع‌بندی داده‌های غیر الکتریکی تحت کنترل شرکت برق و اطلاعات دینامیکی، ران تصمیم گرفت که از واحدهایی که با این اطلاعات سروکار دارند، بازدید کند. واحدهایی که برخلاف بخش‌های بهره‌برداری، مهندسی و مشترکین کمتر اسمشان به گوش ما رسیده است. او قصد داشت با واحد محیط‌زیست و واحد املاک شرکت جلسه‌ای را برگزار و نیازمندی‌های آن‌ها را شناسایی کند. پس از نیازسنجی، او می‌توانست کلاس عارضه‌های شناسایی‌شده را در مدل داده ایجاد کند. با توجه به نیازهای جدیدی که ممکن بود برای این واحدها در آینده پیش بیاید، او می‌بایست پیش‌بینی لازم را جهت اضافه کردن کلاس عارضه‌های جدید به پایگاه داده انجام می‌داد. ران به فکرش رسید که می‌توان برای داده‌های هر بخش، یک سامانه GIS مجزا راه‌اندازی کرد و بعد از طریق یک سرویس داخلی، اطلاعات را در کل سازمان به اشتراک گذاشت. برای به اشتراک‌گذاری سرویس‌ها می‌توان از زیرساخت رایانش ابری استفاده کرد. البته باید توجه داشت که در کلیه بخش‌ها باید از یک نقشه پایه یکسان و استاندارد استفاده شود.

داده‌های مربوط به اطلاعات دینامیکی، داده‌های نقطه‌ای هستند که موقعیت هر رویداد را نشان می‌دهند. این داده‌ها به‌طور مستقیم از سیستم‌هایی نظیر SCADA یا DMS دریافت شده و موقعیت مکانی آن‌ها در سیستم GIS نمایش داده می‌شود. در سیستم GIS تنها موقعیت نقطه‌ای رویداد مورد نظر نگهداری می‌شود.

جدول ۱۰-۳- مدل داده مربوط به اطلاعات غیر الکتریکی تحت کنترل شرکت برق

نام	کلاس عارضه	شکل هندسی	توضیحات
داده‌های غیر الکتریکی تحت کنترل شرکت برق			
تجهیزات مخابراتی	متنوع	متنوع	مدل داده مربوط به سیستم مخابراتی از بحث این کتاب خارج است. در اولویت اول باید موقعیت مکانی تجهیزات مهم مخابراتی تعیین شود.
تجهیزات حساس	متنوع	متنوع	مدل داده مربوط به تجهیزات حساس از بحث این کتاب خارج است. موقعیت دقیق تمامی تجهیزات حساس باید تعیین شود.
سیستم‌های امنیتی	متنوع	متنوع	مدل داده مربوط به سیستم‌های امنیتی از بحث این کتاب خارج است. موقعیت دقیق تمامی تجهیزات امنیتی باید تعیین شود.
املاک، دارایی‌ها و مجوزهای حقوقی			
املاک، دارایی‌ها، مجوزهای حقوقی و راه‌های اختصاصی متعلق به شرکت برق	قطعه ملکی	پلیگون	این اطلاعات را می‌توان از واحد املاک و حقوقی شرکت دریافت کرد.
زمین‌های با ارزش زیست‌محیطی	قطعه ملکی	پلیگون	این اطلاعات را می‌توان از بخش محیط‌زیست و املاک شرکت دریافت کرد.

هویت مکانی تجهیزات

هویت مکانی تجهیزات الکتریکی شبکه توزیع، بر اساس نقشه پایه موجود در سیستم GIS مشخص می‌شود. ران اطمینان داشت که دسترسی به داده‌های برون‌سازمانی، کاربردهای سیستم GIS را افزایش خواهد داد. هنگامی‌که حادثه‌ای در محدوده شرکت رخ می‌دهد، بسیار مهم است که اطلاعات مورد نیاز جهت انجام تحلیل‌های گوناگون در سیستم GIS وجود داشته باشد.

خانم ماریا حاضر نبود از نقشه‌های پایه استاندارد دولت محلی استفاده کند و به ران اصرار کرده بود که فرآیند مدیریت و به‌روزرسانی نقشه‌های پایه باید در داخل شرکت ایجاد شود. این موضوع ابتدا دردسرهایی را برای ران ایجاد کرد، اما حالا او با شناخت وضعیت موجود، استراتژی مناسبی برای پیشبرد کارش داشت. به اعتقاد ران، حل این مشکل به‌اندازه تغییر فرهنگ سازمانی پرسنل شرکت AnyTown Energy سخت نیست.

موضوعی که ران را هیجان‌زده می‌کرد این بود که با دسترسی به داده‌های برون‌سازمانی، پایگاه داده GIS غنی‌تر می‌شود و درنتیجه، عملکرد کلی شرکت بهبود می‌یابد. او می‌توانست اطلاعات مورد نیاز از سایر سازمان‌ها مثل، شرکت‌های خدماتی، شهرداری، سازمان محیط‌زیست و ارگان‌های دولتی را از طریق وب سرویس‌های مکانی دریافت کند. از این طریق، نقشه‌های پایه استاندارد در اختیار شرکت AnyTown Energy قرار می‌گیرد و دیگر نیازی به ایجاد فرآیند داخلی و صرف هزینه برای مدیریت و به‌روزرسانی این نقشه‌ها نیست.

ران اکنون به تصویر کاملی از آنچه سیستم جدید GIS می‌بایست باشد، رسیده بود. شرکت AnyTown Energy باید بر روی داده‌هایی که تحت کنترل خود داشت، مثل پست‌ها، شبکه فشار متوسط، شبکه فشار ضعیف و مشترکین متمرکز می‌شد و نقشه‌های پایه و اطلاعات برون‌سازمانی را از مراجع ذی‌صلاح دریافت می‌کرد. در شرایط بحرانی، شرکت می‌بایست به تمامی اطلاعات مورد نیاز خود مانند وضعیت انسداد پل‌ها، محدوده‌های زیر آب رفته و مناطقی که دچار حریق شده‌اند، دسترسی کامل داشته باشد. یک سیستم GIS کارآمد می‌تواند با استفاده از داده‌های برون‌سازمانی یک مدل ارزیابی ریسک ایجاد کند تا پرسنل شرکت بتوانند حتی قبل از وقوع شرایط اضطراری، نقاط ضعف احتمالی سیستم را شناسایی کنند.

به اعتقاد ران، این کمبود اطلاعات نبود که باعث می‌شد شرکت AnyTown Energy جریمه شود و یا مشکلی برای آن پیش بیاید. ریشه اصلی مشکلات، یکپارچه و هماهنگ نبودن داده‌ها بود که جلوی تحلیل صحیح اطلاعات را می‌گرفت. نقشه‌های کاغذی قدیمی، فرآیندهای غیر یکپارچه و دوباره‌کاری در گردش کارها، مانع پیشرفت شرکتِ AnyTown Energy شده بود. گفتگو با خانم ماریا کمی ذهن ران را آشفته کرده بود. اما اکنون او کاملا آماده بود تا بر اساس مأموریتش یک سیستم GIS جامع و فراگیر ایجاد کند.

Modeling Electric Distribution with GIS

فصل یازدهم

شبکه هوشمند، تجهیزات اندازه‌گیری و مشترکین

شبکه هوشمند، تجهیزات اندازه‌گیری و مشترکین

بعد از گفتگوی سردی که ران با خانم ماریا در مورد نقشه‌های پایه داشت، به دنبال فرصتی بود که بتواند نظر مثبت او را جلب کند. خانم ماریا پافشاری زیادی روی ادامه روال‌های جاری شرکت داشت، ولی ران می‌دانست که بهبود شرایط موجود نیاز به رویکردهای جدید دارد. واحد مهندسی شرکت متولی پروژه هوشمند سازی بود و ران می‌دانست که اگر بتواند به خانم ماریا در انجام این پروژه کمک کند، احتمال دارد او نظرش را نسبت به نحوه مدیریت نقشه‌های پایه تغییر دهد. درواقع، اگر ران می‌توانست کاربردهای سیستم GIS را در پیاده‌سازی شبکه هوشمند نشان دهد، هم اعتماد خانم ماریا جلب می‌شد و هم به توسعه پروژه GIS در سطح شرکت کمک می‌کرد.

ران قبل از مطرح کردن پیشنهادش، باید اطلاعات بیشتری نسبت به شبکه هوشمند کسب می‌کرد. او بر اساس مطالعاتش دریافت که پیاده‌سازی شبکه هوشمند به یک زیرساخت اطلاعاتی جامع و کامل مثل GIS احتیاج دارد که در آن نحوه ارتباط اجزای مختلف شبکه با یکدیگر مشخص باشد. اگر شبکه هوشمند از دو سیستم الکتریکی و مخابراتی تشکیل شده است، چه زیرساختی به غیر از GIS می‌تواند نحوه ارتباط مکانی این دو سیستم را نمایش دهد. هرچند ران یک دید کلی نسبت به مفاهیم شبکه هوشمند پیدا کرده بود، اما هنوز ابهامات زیادی داشت. اگر کسی بتواند در شرکت AnyTown Energy او را راهنمایی کند، قطعاً آن فرد کسی نیست جز خانم ماریا. بنابراین ران یک جلسه ملاقات با خانم ماریا ترتیب داد. قرار بود در این جلسه در مورد شبکه هوشمند و GIS صحبت شود. با توجه به حساسیت‌های احتمالی، ران قصد نداشت که در این جلسه موضوع نقشه پایه را مطرح کند.

شبکه هوشمند

ران جلسه را با این سؤال آغاز کرد: "شبکه هوشمند دقیقاً به چه معناست؟" خانم ماریا در پاسخ به این سؤال موضوعات بسیار متنوعی را مطرح کرد مثل، انرژی‌های تجدید پذیر، خودروهای برقی، سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی، قابلیت خودترمیمی، ریزشبکه‌ها، مدیریت مصرف، کنتورهای هوشمند و چند مورد دیگر که چیز زیادی دستگیر ران نشد. به اعتقاد ران، موارد مطرح شده توسط خانم ماریا فعالیت‌های نه چندان مرتبطی بودند که دردی از شرکت AnyTown Energy دوا نمی‌کردند. همان‌طور که ران به صحبت‌های ماریا گوش می‌داد، بیشتر مطمئن می‌شد که او درک جامعی از مفهوم شبکه هوشمند ندارد. به نظر می‌رسید، او نمی‌داند که در برابر پولی که برای پیاده‌سازی شبکه هوشمند خرج می‌شود، باید هزینه‌های شرکت کاهش یافته و سطح خدمات افزایش یابد. مشکل شرکت AnyTown Energy این بود که در برابر خدماتی که ارائه می‌کرد، هزینه اداره بسیار بالایی داشت. با توجه به وضعیت موجود شرکت، قطعاً پیاده‌سازی شبکه هوشمند نمی‌توانست کمک چندانی به رفع مشکلات جاری کند.

بااین‌حال، نکته مثبتی که صحبت‌های ماریا برای ران داشت، این بود که همه مواردی که او درباره آن توضیح داد به نحوی با عامل مکان سروکار داشتند، بنابراین سیستم GIS می‌تواند نقشی کلیدی در پیاده‌سازی شبکه هوشمند داشته باشد. اهمیت اطلاعات مکانی در شبکه هوشمند، اعتقاد قلبی ران در خصوص لزوم استفاده از نقشه‌های پایه استاندارد را تقویت می‌کرد. با توجه به کیفیت پایین نقشه‌های موجود شرکت، او امیدوار بود که پروژه شبکه هوشمند بر بستر این نقشه‌ها اجرا نشود.

پروژه پایلوت

در طول جلسه، ران پیشنهاد داد که اطلاعات مورد نیاز پروژه شبکه هوشمند توسط سیستم GIS فراهم شود و از ماریا درخواست کرد که الزامات داده‌ای این پروژه را برای او تشریح کند. ماریا از این پیشنهاد استقبال کرد و چارچوب کلی پروژه پایلوت هوشمند سازی را برای ران توضیح داد. او با افتخار اعلام کرد که واحد مهندسی و به‌ویژه شخص او، متولی اصلی این پروژه هستند.

بر اساس صحبت‌های ماریا، پروژه پایلوت هوشمند سازی شامل سه بخش می‌شود: در مرحله اول قرار است ۱۰۰۰۰هزار کنتور هوشمند در مناطق حومه شهر نصب شود. در مرحله دوم قرار است بر روی فیدرهایی که کنتور هوشمند نصب شده، پنج نشانگرخطا با قابلیت ارسال پیام و دو کلید اتوماسیون جدید نصبِ شود. همچنین قرار است دو ریکلوزر موجود بر روی این فیدرها به قابلیت اتوماسیون مجهز شوند. نهایتا در مرحله سوم قرار است سیستم مدیریت خاموشی (OMS) شرکت ارتقاء پیدا کند و با سیستم مدیریت توزیع (DMS) ترکیب شود.

خیلی از موضوعاتی که خانم ماریا درباره آن‌ها صحبت می‌کرد، درواقع چشم‌انداز آینده شبکه هوشمند بودند. آنچه شرکت AnyTown Energy در حال حاضر می‌خواست انجام دهد، مکانیزه کردن برخی فعالیت‌هایی بود که به‌صورت دستی انجام می‌شد. حرکت از مرحله دستی به سمت اتوماسیون، مقدمه بحث هوشمندسازی است. عبارت هوشمند سازی به معنای یک مجموع اقدامات ابتکاری است که باعث خودکارتر شدن و هوشمندتر شدن مدیریت شبکه توزیع و انتقال می‌شود. با توجه به اینکه پیاده‌سازی اتوماسیون، نیازمند درک جامع و دقیق از تجهیزات شبکه و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر است، لذا فناوری پیشرفته GIS می‌تواند نقشی محوری در این خصوص داشته باشد. GIS زیرساخت لازم جهت یکپارچه کردن کلیه داده‌های مکان محور سازمان را فراهم می‌کند. با استفاده از GIS می‌توان ارتباط الکتریکی و مکانی تجهیزات را ذخیره‌سازی کرد. گروه‌های اجرایی با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS می‌توانند به آخرین اطلاعات شرکت دسترسی داشته باشند. به فکر ران رسید که بدون یک پایگاه داده جامع، دقیق و مکان محور مانند GIS، شبکه هوشمند از هوشمندی کافی برخوردار نخواهد بود (شکل ۱۱-۱).

ارتباط گم شده

بعد از جلسه، ذهن ران درگیر این موضوع بود که آیا با توجه به نیازمندی‌های شبکه هوشمند - حداقل در چارچوب پروژه پایلوت - مورد مهمی در چشم‌انداز فعلی GIS از قلم نیفتاده است که لازم باشد در مدل‌سازی در نظر گرفته شود. با تعمق بیشتر، جواب سؤال پیدا شد: ارتباط GIS با مشترکین و کنتورهای برق. اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی مشترکین در سیستم نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy وجود نداشت. مشترکین تنها از طریق سیستم TCR و آن‌هم به‌صورت توصیفی با شبکه برق ارتباط داشتند. با این‌حال، اطلاعات مربوط به مختصات مکانی مشترکین در سیستم TCR نگهداری نمی‌شد.

شکل ۱۱-۱- شبکه هوشمند از دو بخش شبکه الکتریکی (تصویر بالا) و شبکه مخابراتی (تصویر پایین) تشکیل شده است. (منبع: Esri)

مشخص شد ماریا تنها فردی نیست که درک درستی از شبکه هوشمند و کاربردهای آن ندارد. زیرساخت‌های لازم برای پیاده‌سازی شبکه هوشمند در شرکت AnyTown Energy فراهم نبود و مدیران شرکت به این موضوع توجه لازم را نکرده بودند. بررسی سایر شرکت‌های توزیع نشان می‌دهد که بیشترین اقدامات صورت گرفته در زمینه هوشمند سازی به نصب کنتورهای هوشمند، اتوماسیون شبکه و بهبود کنترل شبکه اختصاص دارد. درست است که شبکه هوشمند با چالش‌هایی مثل نحوه شارژ خودروهای برقی، متغیر بودن برق تولید شده توسط انرژی‌های نو و نحوه کنترل شبکه در حضور منابع تولید پراکنده مواجه است، اما نه از همان ابتدای پیاده‌سازی.

یکی از حوزه‌هایی که در پروژه پایلوت هوشمندسازی به آن اشاره‌ای نشده بود، مولدهای تولید پراکنده و مقیاس کوچک بودند که امروزه کاربرد آن‌ها بسیار وسیع شده است. این مولدها علی‌رغم مزایای فراوان، مشکلات مختلف بهره‌برداری را برای شرکت‌های توزیع ایجاد کرده‌اند. ران به یاد بحث‌های اولیه‌اش با خانم فلو افتاد و با خودش گفت: "من یک سیستم GIS جامع ایجاد خواهم کرد که هم دربردارنده کنتورهای هوشمند باشد و هم مولدهای تولید پراکنده."

با توجه به سیاست دولت مبنی بر افزایش سهم تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، ران می‌دانست که به‌تدریج تعداد بیشتری نیروگاه بادی و خورشیدی به شبکه توزیع متصل خواهند شد. تعدادی از این نیروگاه‌ها توسط شرکت‌های برق و درصد عمده‌ای توسط بخش خصوصی راه‌اندازی می‌شوند. ران می‌دانست که سیستم GIS باید بتواند اطلاعات مربوط به نیروگاه‌های تولید پراکنده را مدیریت کند، بنابراین نکاتی را در این خصوص در دفترچه‌اش یادداشت کرد (به یادداشت‌های ران در خصوص مولدهای تولید پراکنده مراجعه کنید).

یادداشت‌های آقای ران

مولدهای تولید پراکنده

گرایش مشترکین و شرکت‌های برق به استفاده از مولدهای تولید پراکنده دلایل زیادی دارد. برخی شرکت‌ها، انواع مختلف مولدهای تولید پراکنده را در محدوده تحت پوششان نصب کرده‌اند. جدیدترین اخبار به مولدهای خورشیدی و بادی اختصاص دارد، اما هنوز مدل‌های قدیمی‌تر مثل گازی و دیزلی نیز استفاده می‌شود. با افزایش تعداد این نوع نیروگاه‌ها، مدیریت آن‌ها به چالش بزرگی برای شرکت‌های توزیع تبدیل شده است.

برای سال‌های متمادی، شرکت‌های برق گرایش داشتند که نیروگاه‌های بزرگ و متمرکز احداث کنند. برق تولیدی توسط این نیروگاه‌ها مستقیما به شبکه فشار قوی تحویل داده می‌شود. هرچند این روند هنوز ادامه دارد اما امروزه، تعداد نیروگاه‌های مقیاس کوچک بسیار افزایش پیدا کرده است. این نیروگاه‌ها معمولا برق تولیدی را به شبکه توزیع تحویل می‌دهند. تولید برق به‌صورت محلی، باعث آزاد شدن ظرفیت خطوط انتقال و کاهش تلفات انرژی می‌شود. اما این نیروگاه‌ها مشکلاتی را نیز ممکن است به همراه داشته باشند، مثل تزریق جریان بیش از حد مجاز به خطوط توزیع و یا مشکلات ایمنی. با باز شدن کلید ابتدای فیدر در پست فوق توزیع، فیدر کامل بی‌برق می‌شود. اگر کنترل مناسبی بر روی شبکه وجود نداشته باشد، امکان دارد مولدهای تولید پراکنده، مجددا فیدری که تصور می‌شود بی‌برق است را برق‌دار کنند. این موضوع خطرات زیادی را برای مردم و کارکنان شرکت به همراه خواهد داشت.

هرچه ران بیشتر مطالعه می‌کرد، به اهمیت سیستم GIS در پیاده‌سازی موفق شبکه هوشمند بیشتر پی می‌برد. بسیاری از شرکت‌های توزیع، با توجه به تغییرات و چالش‌هایی که با آن مواجه هستند، پیاده‌سازی جنبه‌های مختلف شبکه هوشمند را در برنامه دارند. در برخی کشورها، شرکت‌های توزیع ملزم هستند که بخش‌هایی از شبکه هوشمند را عملیاتی سازی کنند، به‌خصوص در زمینه نصب کنتورهای هوشمند. در سال ۲۰۰۷، قانون توسعه انرژی (EISA) در کنگره آمریکا به تصویب رسید. بند ۱۳ این قانون ایالتی در مورد شبکه هوشمند است. شرکت‌های توزیع در حال حرکت به سمت مدرن کردن شبکه هستند. در حال حاضر هم بسیاری از شرکت‌های توزیع برای مدیریت و نمایش موقعیت مکانی کنتورهای هوشمند از سیستم GIS استفاده می‌کنند. ران توانست یک عکس مناسب را در این خصوص پیدا کند (شکل ۱۱-۲).

تعجبی نداشت که چرا خیلی از همکاران ران تعریف درستی از شبکه هوشمند نداشتند. شبکه هوشمند یک قطعه سخت‌افزاری و یا یک برنامه کامپیوتری نیست، بلکه یک مفهوم است که کارکرد آن در نامش نهفته است. همین مفهومی بودن شبکه هوشمند است که باعث پیچیده شدن درک آن می‌شود. شبکه هوشمند، سیستم برق‌رسانی پیشرفته‌ای است که به‌طور مستقیم و دوسویه با مشترکین ارتباط برقرار می‌کند (ارتباط بین مشترکین و شبکه از طریق زیرساخت مخابراتی فراهم می‌شود) و به نیازشان پاسخ می‌دهد. ران حین صحبت با همکارانش متوجه موضوعی شد که برایش بسیار تعجب‌آور بود. او به صورت تصادفی از استنلی شنید که شرکت‌های برق خیلی مواقع از وجود خاموشی در شبکه بی‌اطلاع هستند. استنلی در کمال خونسردی گفته بود: "ما صبر می‌کنیم تا مشترکین وقوع خاموشی را به ما اطلاع بدهند. اگر تعداد تماس‌ها به حد مشخصی رسید، ما متوجه می‌شویم که خطایی در شبکه اتفاق افتاده است."

شکل ۱۱-۲- نمایش موقعیت کنتورهای هوشمند با توجه به میزان مصرف بر روی نقشه‌های Web GIS
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

مواجهه با چالش‌های حال و آینده

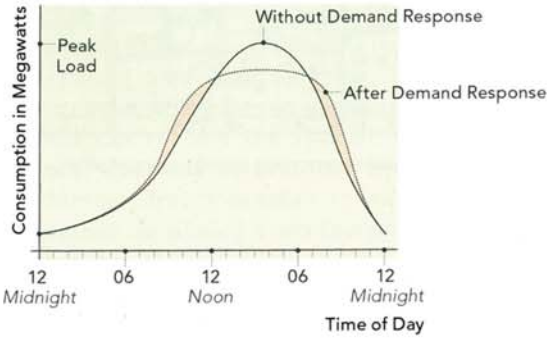
ران معتقد بود که شبکه هوشمند، ایده زیرکانه‌ای است. شبکه هوشمند به شرکت‌های برق در افزایش ظرفیت، بهبود کارایی و کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند. شبکه هوشمند با مدیریت میزان بار مصرفی، این امکان را برای شرکت‌های برق فراهم می‌کند تا از نیروگاه‌های با راندمان بالاتر و هزینه کمتر استفاده کنند و درنتیجه، میزان مصرف سوخت و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند.

به کمک شبکه هوشند، شرکت‌های توزیع از میزان واقعی مصرف مشترکین در زمان‌های مختلف مطلع خواهند شد. همچنین شرکت‌های توزیع می‌توانند درباره بهای برق مصرفی و برنامه‌های مدیریت مصرف به مشترکین اطلاع‌رسانی کنند. به‌عنوان مثال، مشترکین می‌توانند ارزیابی کنند که در صورت خاموش کردن سیستم‌های تهویه هوا چقدر در هزینه‌های برق مصرفی آن‌ها صرفه‌جویی خواهد شد. با استفاده از شبکه هوشمند و با مقایسه توان تحویلی و مصرفی، می‌توان مناطقی که در آن برق‌دزدی وجود دارد را شناسایی و برق‌های غیرمجاز را قطع کرد.

با اجرای شبکه هوشمند، سیستم الکتریکی بدون مداخله انسانی و به‌صورت خودکار، خود را با شرایط جدید سازگار خواهد کرد. اگر جریان یک فیدر به سقف مجاز نزدیک شود، شبکه هوشمند می‌تواند برای تعدیل شرایط اضافه‌بار، به‌صورت خودکار سیستم را بازآرایی کند. همچنین شبکه هوشمند با توجه به ویژگی خودترمیمی، می‌تواند محدوده خطا را تشخیص داده و با باز و بست کلیدهای متعدد، به‌صورت خودکار بخش‌های سالم را مجددا برق‌دار کند.

با توجه به اینکه پیک مصرف برق معمولا در گرم‌ترین ساعات روز و در گرم‌ترین روزهای سال اتفاق می‌افتد، شرکت‌های برق ناچار هستند که ظرفیت رزرو قابل‌توجهی را پیش‌بینی کنند. البته امکان دارد در مناطق

سردسیر شرایط متفاوت باشد. شبکه هوشمند با اصلاح منحنی بار، به استفاده بهینه از منابع و تجهیزات موجود کمک می‌کند (شکل ۱۱-۳). با کاهش اوج مصرف و انتقال آن به ساعات کم‌باری، نه تنها راندمان تجهیزات نیروگاهی افزایش پیدا می‌کند، بلکه از خطوط و تجهیزات شبکه توزیع نیز مؤثرتر استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۳- منحنی بار قبل و بعد از مدیریت مصرف (منبع: Esri)

ران با خودش فکر کرد، اگر استنلی می‌دانست که شبکه هوشمند در شرایط اضطراری نقش پیشگیرانه دارد، قطعا پیگیری بیشتری برای پیاده سازی آن انجام می داد. دلیل این موضوع آن است که هزاران حسگر، چگونگی عملکرد سیستم را تحت نظر دارند. به کمک شبکه هوشمند، بهره‌برداران قبل از وقوع خرابی می‌توانند آن را پیش‌بینی کنند و بازیابی شبکه بعد از خرابی به‌صورت خودکار انجام خواهد شد. در حال حاضر و با وجود استفاده از سیستم‌های SCADA و DMS پیشرفته، هنوز کارشناسان مرکز کنترل بیشتر کلیدزنی‌ها را بر اساس تجربه شخصی خود انجام می‌دهند. ران بر اساس مطالعاتش دریافت که شرکت‌های برق به پنج دلیل عمده به سمت هوشمندسازی حرکت می‌کنند (به یادداشت‌های ران در خصوص اهداف پیاده‌سازی شبکه هوشمند مراجعه کنید).

یادداشت‌های آقای ران

پنج هدف عمده پیاده‌سازی شبکه هوشمند

کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: *در واکنش به نگرانی‌ها در خصوص تغییرات آب و هوایی، فناوری شبکه هوشمند به شرکت‌های برق کمک می‌کند که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند. به کمک این فناوری، پیک مصرف کاهش پیدا می‌کند و شرکت‌های برق می‌توانند میزان استفاده از نیروگاه‌های با راندمان پایین و آلوده‌کننده محیط زیست را که صرفا برای تأمین بار پیک وارد مدار می‌شدند، کاهش دهند. شبکه هوشمند با برقراری ارتباط دوسویه با مشترکین به یکنواخت شدن منحنی بار کمک می‌کند.*

مدیریت مصرف: *یکی از اهداف شبکه هوشمند، اطلاع‌رسانی به مشترکین در خصوص قیمت برق مصرفی و میزان تولید کربن در طول شبانه‌روز است. اطلاع‌رسانی مناسب به مشترکین می‌تواند بر الگوی مصرف آن‌ها تأثیرگذار باشد و باعث یکنواخت‌تر شدن منحنی بار شود. شبکه هوشمند با برقراری ارتباط تعاملی با مشترکین و اطلاع‌رسانی به‌هنگام در خصوص قیمت و تأثیرات زیست‌محیطی انرژی مصرفی، فرهنگ مدیریت مصرف را بهبود می‌دهد. بدون شک، قبض برقی که به‌صورت ماهیانه صادر می‌شود، نمی‌تواند تأثیرات اطلاع‌رسانی لحظه‌ای را داشته باشد.*

مدیریت منابع انرژی تجدید پذیر: انرژی خورشیدی و بادی دو نوع از منابع معمول انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. هر دو این منابع در طول روز متغیر هستند و معمولاً به نسبت مولدهای مرسوم، پراکندگی مکانی نصب بیشتری دارند. بنابراین برای مدیریت این مولدهای پیشرفته که هر روز استفاده از آن‌ها بیشتر می‌شود، باید شبکه به‌مراتب هوشمندتری داشت.
کاهش خاموشی و بهبود قابلیت اطمینان: با اعمال اتوماسیون بیشتر و بهبود مدیریت بازیابی شبکه پس از وقوع خطا، می‌توان میزان خاموشی‌ها را کاهش داد و از این طریق به بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان کمک کرد.
حرکت به سمت فناوری‌های نوین: شبکه هوشمند، انواع فناوری‌های نوین مثل خودروهای الکتریکی، ریزشبکه‌ها و تجهیزات ذخیره‌ساز انرژی را مدیریت و کنترل خواهد کرد. یکپارچه کردن این فناوری‌ها با شبکه الکتریکی از مهم‌ترین مزایای شبکه‌های هوشمند است.

کنتورهای هوشمند

نکته کلیدی درباره شبکه هوشمند، نصب کنتورهای هوشمند برای تمامی مشترکین به‌منظور ثبت و نمایش نوع رفتار مصرفی آن‌ها است. از نظر ران، شاید به همین دلیل بود که شرکت AnyTown Energy پیاده‌سازی شبکه هوشمند را از خریداری و نصب کنتورهای هوشمند آغاز کرده بود. کنتور هوشمند یک ابزار سنجش الکترونیکی است که میزان مصرف انرژی الکتریکی را در بازه‌های زمانی کوتاه (در حد چند ثانیه، اما رایج‌ترین شیوه، انتخاب بازه زمانی ۱۵ دقیقه است) اندازه‌گیری و داده‌ها را ذخیره می‌کند. سپس از طریق زیرساخت مخابراتی، داده‌های ذخیره شده برای شرکت برق ارسال می‌شود. زیرساخت مخابراتی ممکن است در مالکیت شرکت برق باشد و یا از طریق شرکت‌های دیگر تأمین شود.
کنتورهای هوشمند همچنین می‌توانند میزان انرژی مصرفی را به مشترکین اطلاع‌رسانی کنند. این کنتورها می‌توانند در شرایط اضطراری، به‌منظور جلوگیری از افزایش بیش‌ازحد بار خطوط و شبکه، به صورت خودکار جریان مشترکین را قطع کنند. زمانی که یک مشترک، ساختمان خود را تخلیه می‌کند، می‌توان برق مشترک را به‌وسیله کنتور هوشمند موقتا قطع کرد و زمانی که مشترک جدید در ساختمان ساکن می‌شود، می‌توان بدون مراجعه به محل، برق را وصل کرد. امروزه شرکت‌های برق ناچار هستند برای قطع و وصل برق مشترکین، کارمند خود را به محل اعزام کنند که این روند مستلزم صرف هزینه و زمان است.
برای مدیریت الگوی بار مشترکین، باید بین وسایل برقی داخل منزل و کنتور هوشمند و همچنین کنتور هوشمند و شرکت برق، ارتباط مناسبی برقرار کرد. امروزه در داخل وسایل برقی تجهیزاتی نصب می‌شود تا بتوانند با کنتورهای هوشمند ارتباط برقرار کنند. کنتورهای هوشمند از طریق ارتباط برقرار شده می‌توانند وسایل برقی را در داخل منزل و یا محل کار کنترل کنند. زمانی که برق مشترک قطع می‌شود، کنتور هوشمند می‌تواند هشدار لازم را برای شرکت برق ارسال کند. در شرایط بحرانی و پیک مصرف، شرکت‌های برق از طریق کنتورهای هوشمند می‌توانند برخی از بارهای مصرفی (مثل سیستم تهویه) که قبلا با مشترک توافق شده است را از مدار خارج کنند. کنتورهای هوشمند می‌توانند کیفیت برق تحویلی به مشترک مثل دامنه ولتاژ و یا قطعی‌های لحظه‌ای را ثبت کنند. با توجه به اینکه دامنه استفاده از کنتورهای هوشمند به اندازه‌گیری انرژی الکتریسیته محدود نمی‌شود، می‌توان از این کنتورها در شرکت‌های آب و گاز نیز استفاده کرد.
بیشتر برنامه‌های مدیریت خاموشی (OMS) برای تعیین موقعیت بی‌برقی به تماس‌های مشترکین متکی هستند. یک سیستم OMS که با سیستم اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) یکپارچه شده است می‌تواند موقعیت دقیق محل خاموشی را بدون نیاز به تماس مشترکین تعیین کند. سیستم AMI می‌تواند کنتورهای

هوشمند و داده‌های ثبت شده توسط آن‌ها را مدیریت کند. این سیستم مجهز به یک نرم‌افزار است که امکان تحلیل اطلاعات ثبت شده توسط کنتورها و ارسال اطلاعات مورد نیاز به سیستم بیلینگ را فراهم می‌کند. ران با خودش فکر کرد که این سیستم می‌تواند برای خانم لوییس بسیار چاره‌ساز باشد.

شرکت‌های برق از داده‌های حاصل از کنتورهای هوشمند برای شناسایی محل خطا و بازیابی اتوماتیک شبکه، جابه‌جایی بار و تنظیم صورت‌حساب مشترکین استفاده می‌کنند. مغز متفکر سیستم AMI که تحت عنوان سیستم مدیریت داده‌های کنتور (MDM) شناخته می‌شود، داده‌های آنی ثبت شده و همچنین اطلاعات قبلی کنتورهای هوشمند را ذخیره می‌کند و تحلیل‌های مورد نیاز را بر روی آن‌ها انجام می‌دهد.

سیستم اندازه‌گیری پیشرفته

سیستم AMI ترکیبی از کنتورهای هوشمند، سیستم مدیریت داده‌ها، شبکه مخابراتی و نرم‌افزارهای کاربردی تخصصی است. AMI، نقش کلیدی در فناوری شبکه هوشمند دارد و بسیاری از شرکت‌های برق مثل شرکت AnyTown Energy، پیاده‌سازی شبکه هوشمند را از سیستم AMI شروع کرده‌اند. اما ران شنیده بود که اصطلاح "قرائت مکانیزه کنتورها (AMR)" نیز برای شبکه هوشمند به کار می‌رود. آیا این دو عبارت معنی یکسانی دارند؟ این موضوع حس کنجکاوی ران را برانگیخته بود.

ران متوجه شد که مشابه مفهوم شبکه هوشمند، کسی در شرکت AnyTown Energy تفاوت واقعی سیستم AMI و AMR را نمی‌داند. سیستم AMI قابلیت AMR را نیز دارد. سیستم AMR جایگزین روش‌های سنتی قرائت کنتور مشترکین شده است که در آن، مأمور کنتور خوان به‌صورت ماهیانه به درب کلیه منازل و ساختمان‌ها مراجعه و میزان مصرف را در داخل دفترچه‌اش یادداشت می‌کرد. بعدها با نصب یک تجهیز ارتباطی ساده در داخل کنتور، قرائتِ کنتورها توسط گیرنده‌های دستی انجام می‌شد. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط گیرنده‌های دستی بعدا در محل شرکت بر روی کامپیوتر تخلیه می‌شد. در ادامه، شرکت‌های برق سیستمی را ایجاد کردند که با عبور خودروی مأمور کنتورخوان از نزدیکی منازل مشترکین، به‌صورت اتوماتیک و از طریق ارتباط بی‌سیم، اطلاعات مورد نیاز کنتورهای برق دریافت و ذخیره‌سازی می‌شد. سیستم AMR نیز ماحصل مسیر تکاملی طی شده است. با پیشرفت تکنولوژی‌های مخابراتی، شرکت‌های برق برای جمع‌آوری اطلاعات کنتورها، تجهیزات ثابت رادیویی نصب کردند. این تجهیزات در سرتاسر منطقه تحت پوشش شرکت نصب می‌شدند و اطلاعات کنتورهای مجاورشان را به صورت ماهیانه دریافت می‌کردند. داده‌های جمع‌آوری شده به‌صورت خودکار برای شرکت برق ارسال می‌شد. بعضی از این سیستم‌ها، در صورت نقص فنی کنتور، به‌صورت خودکار هشدار می‌دادند. این سیستم‌های ثابت انتقال داده، نسخه اولیه سیستم AMI محسوب می‌شوند.

سیستم‌های AMR در صورت داشتن چه قابلیت‌هایی به سیستم AMI تبدیل می‌شوند؟ این قابلیت‌ها شامل ارتباط دوسویه بین شرکت برق و کنتور مشترکین، امکان قرائت کنتورها در بازه‌های زمانی کوتاه (چند ثانیه و یا دقیقه به‌جای یک‌بار در ماه)، توانایی برقراری ارتباط با حسگرهای داخل شبکه و کنترل وسایل برقی داخل ساختمان‌ها است. شرکت AnyTown Energy سیستم AMR جدیدی داشت که بسیار به آن افتخار می‌کرد. این سیستم به‌خوبی کارش را انجام می‌داد. اطلاعات کنتورها توسط این سیستم به صورت ماهیانه جمع‌آوری می‌شد که با توجه به ارسال ماهیانه قبض مصرفی، برای شرکت مناسب بود (به یادداشت‌های ران در خصوص قرائت کنتورهای هوشمند مراجعه کنید). کمیسیون نظارت بر تأسیسات عمومی (PUD) اجازه ارسال صورتحساب‌ها را تنها به‌صورت ماهیانه داده بود و شرکت AnyTown Energy بر همین اساس، نرخ‌های خود را تنظیم می‌کرد. اما این شرکت امکان برقراری ارتباط دوسویه با مشترکین را نداشت و نمی‌توانست از سیستم AMR موجود خود، برای شناسایی بی‌برقی مشترکین استفاده کند.

یادداشت‌های آقای ران

قرائت کنتورهای هوشمند

شرکت‌های برق در عمل، حتی با کمک سیستم AMI، از میزان مصرف مشترکین خود به‌صورت لحظه‌ای بی‌اطلاع هستند. از نظر تئوری این امکان وجود دارد اما جمع آوری و پردازش داده‌های موردنیاز برای این منظور، کاری طاقت‌فرسا خواهد بود. شرکت‌های برق میزان مصرف انرژی را مشابه همان روشی که در گذشته استفاده می کردند، محاسبه می کنند. کنتور برق میزان انرژی مصرفی را فارغ از اینکه روند مصرف به چه شکلی بوده است، به‌صورت تجمعی نشان می‌دهد. در کنتورهای هوشمند، میزان توان مصرفی در بازه‌های زمانی مشخص، مثلاً ۱۵ دقیقه یک‌بار، اندازه گیری و ثبت می‌شود. به همراه توان مصرفی، ساعت و تاریخ اندازه گیری نیز ذخیره می‌شود. برخی کنتورهای هوشمند این ظرفیت را دارند که تا یکسال، داده‌های قرائت شده در بازه‌های زمانی ۱۵ دقیقه یک‌بار را ذخیره کنند.

شرکت‌های برق می‌توانند این داده‌های ذخیره‌سازی شده را از طریق بستر مخابراتی انتقال دهند. این داده‌ها می‌تواند مانند سابق به‌صورت یک‌بار در ماه منتقل شود و یا اینکه در طول روز و در بازه‌های زمانی مشخص دریافت شود. مستقل از اینکه داده‌ها چند بار در ماه دریافت شود، هزینه برق مصرفی بر اساس مابه‌التفاوت انرژی مصرف شده در انتهای ماه گذشته و ماه جاری محاسبه می‌شود. داده‌های قرائت شده در میانه ماه بر قبض مصرفی مشترک تأثیر گذار نیست، مگر اینکه نوع قرارداد متفاوت باشد. به‌عنوان مثال، در قرارداد برخی مشترکین مشخص شده که نرخ برق مصرفی بر اساس زمان مصرف تعیین می‌شود. معمولا در این نوع قراردادها، میزان بهای انرژی در ساعات اوج مصرف بیشتر است تا از این طریق، مشترک تشویق شود که مصرف خود را به ساعت‌های غیر پیک منتقل کند. همچنین شرکت‌های برق می‌توانند کیفیت برق تحویلی به مشترکین را با استفاده از کنتورهای هوشمند ارزیابی کنند. با ذخیره‌سازی ولتاژ مشترک، می‌توان زمان‌هایی که دامنه ولتاژ از محدوده فنی مجاز خارج شده است را شناسایی کرد.

گزارش قطعی‌های برق

کنتورهای هوشمند این قابلیت را دارند که بی‌برقی مشترک را تشخیص دهند. شرکت AnyTown Energy یک سیستم OMS قدیمی داشت. وقتی یک مشترک گزارش خاموشی تک منزلی می‌داد، این سیستم با تجزیه وتحلیل تماس‌های تلفنی، مشخص می کرد که آیا مشترکین دیگری در همان منطقه برای گزارش خاموشی تماس داشته‌اند یا خیر. اگر سیستم تشخیص می‌داد که تماس اخیر با تماس‌های دیگر ارتباط دارد، آن‌ها را به یک حادثه مرتبط می کرد.

ران به یاد خانم لوییس، متولی سیستم TCR افتاد. او وظیفه نگهداری از پایگاه داده‌ای را بر عهده دارد که در آن، ارتباط بین ترانسفورماتورها و مشترکین تغذیه شونده توسط آن‌ها ذخیره می‌شود. سیستم OMS برای مرتبط کردن اطلاعات تماس مشترکین از این پایگاه داده استفاده می کند. اگر چند مشترک تغذیه شونده توسط یک ترانسفورماتور برای گزارش خاموشی تماس بگیرند، سیستم OMS تشخیص می‌دهد که احتمالا خروجی ترانسفورماتور بی‌برق است. اگر تحلیل‌ها نشان دهد که ترانسفورماتور مجاور نیز از مدار خارج شده است، سیستم OMS تشخیص می‌دهد که احتمالا خطا در شبکه بالادست اتفاق افتاده است.

مشکل اینجا است که اگر خاموشی در نیمه‌شب رخ دهد و کسی برای گزارش بی‌برقی تماس نگیرد، ممکن است خاموشی چندین ساعت باقی بماند و کسی هم از آن مطلع نشود. معمولا صبح زود که مردم از خواب بیدار می‌شوند، شرکت با حجم زیادی از تماس‌های تلفنی مواجه می‌شود. بنابراین سیستم مدیریت خاموشی کاملا وابسته به تماس‌های مشترکین است. تنها راه اطلاع شرکت برق از وقوع یک خاموشی، برقراری اولین تماس تلفنی است؛ مگر اینکه خاموشی در اثر عملکرد کلیدهای با قابلیت مانیتورینگ، مثل دژنکتور ابتدای فیدر فشار متوسط در پست فوق توزیع، ایجاد شود.

تمام کنتورهای هوشمند در زمان قطع برق مشترک، آن را گزارش می‌دهند. کنتورهای هوشمند حتی در زمان بی‌برقی، انرژی ذخیره کافی برای ارسال گزارش خاموشی از طریق بستر مخابراتی را دارند. این کنتورها، برق‌دار شدن مجدد مشترک را نیز اطلاع رسانی می‌کنند. از این طریق، شرکت از محدوده دقیق خاموشی باخبر می شود و می‌تواند گروه‌های اجرایی را در اسرع وقت به محل خاموشی اعزام کند. با افزایش سرعت عمل شرکت، زمان خاموشی‌ها کاهش و درنتیجه قابلیت اطمینان کلی سیستم بهبود خواهد یافت. کنتورهای هوشمند مانع از بروز خطا نمی‌شوند، اما به تشخیص سریع‌تر آن کمک می‌کنند. بعد از رفع خطا و بازیابی شبکه، شرکت‌های برق از طریق ارتباط با کنتورهای هوشمند می‌توانند مطمئن شوند که احتمالا تعدادی از مشترکین هنوز بی‌برق نباشند.

با وجود کنتورهای هوشمند، هنوز هم شرکت‌های برق برای تشخیص ابعاد دقیق خاموشی‌ها به اطلاعات آرایش شبکه الکتریکی نیاز دارند. بدون شک، این اطلاعات را می‌توان از سیستم GIS استخراج کرد (شکل ۱۱-۴). ران می‌دانست که شرکت AnyTown Energy مثل بسیاری از شرکت‌های دیگر، اطلاعات مربوط به شبکه فشار ضعیف و مشترکین را در سیستم نقشه‌برداری خود مدل نکرده است. در عوض، شرکت برای برقراری ارتباط مشترکین با شبکه، از سیستم TCR خانم لوییس و همکارانش استفاده می‌کند. با توجه به اینکه ارتباط بین ترانسفورماتور و مشترکین تغذیه شونده توسط آن به‌صورت توصیفی در سیستم TCR نگهداری می‌شود، به‌روزرسانی اطلاعات این پایگاه داده بسیار طاقت‌فرسا است. به اعتقاد ران، اطلاعات سیستم TCR باید به‌صورت خودکار از سیستم GIS استخراج شود و نگهداری از این پایگاه‌داده به‌صورت یک سیستم مجزا و مستقل کاری غلط است.

به اعتقاد ران، یکی از ویژگی‌های شاخص شبکه هوشمند و کنتورهای هوشمند استفاده هم‌زمان از شبکه‌های برق و مخابرات است. با توجه به شناختی که او از شبکه هوشمند و نیازهای آن پیدا کرده بود، حالا درک بهتری از کاربردهای GIS در شبکه هوشمند داشت. ران نتیجه‌گیری کرد که GIS می‌تواند زیرساخت اطلاعاتی لازم جهت پیاده‌سازی شبکه هوشمند را فراهم کند و با امکانات و ابزارهای مختلف مکانی و گرافیکی، پشتیبانی مناسبی را از کارکردهای شبکه هوشمند به عمل آورد.

شکل ۱۱-۴- از طریق GIS می توان بین اطلاعات کنتورها و شبکه توزیع ارتباط برقرار کرد.
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

شبکه خودترمیم

دومین بخش از پروژه پایلوت هوشمندسازی شرکت AnyTown Energy، افزودن تجهیزاتی به شبکه توزیع برق برای بالا بردن قابلیت اتوماسیون آن بود. بازیابی خودکار شبکه پس از وقوع خطا، به منظور حداقل کردن خاموشی مشترکین، ازجمله ویژگی‌های شبکه هوشمند است که تحت عنوان خودترمیمی شناخته می‌شود. برای درک بهتر مفهوم خودترمیمی، ران تصمیم گرفت مطالبی که در خصوص نحوه مدیریت خاموشی‌ها در شبکه توزیع یاد گرفته بود را با خود مرور کند. او به دنبال آن بود که بفهمد GIS چه کمک‌های می‌تواند به بهتر شدن فرآیند اتوماسیون شبکه کند.

فیدرهای فشار متوسط از پست‌های فوق توزیع شروع شده و در کل محدوده شرکت گسترده شده‌اند. از فیدرهای فشار متوسط انشعابات زیادی برای مناطق مختلف گرفته می‌شود و درنهایت، تغذیه شبکه فشار ضعیف از طریق این فیدرها تأمین می‌شود. شرکت‌های توزیع در نقاط مختلفی از فیدر فشار متوسط کلید نصب می‌کنند. آن‌ها از این کلیدها برای مانور کردن و ایزوله کردن بخش آسیب‌دیده شبکه استفاده می‌کنند. برخی از کلیدها قابلیت اتوماسیون دارند و می‌توان آن‌ها را از طریق مرکز دیسپاچینگ و از راه دور باز و بست کرد.

یک فیدر فشار متوسط از مجموعه‌ای از سکشن‌ها تشکیل شده است که توسط قطع کننده‌ها از یکدیگر جداشده‌اند. یک سکشن یا برق‌دار است و یا بدون برق. امکان ندارد بخشی از یک سکشن برق‌دار باشد و بخش دیگر آن بدون برق، مگر اینکه گروه‌های عملیاتی با بریدن سیم‌های شبکه و نصب جمپر، سکشن را به دو بخش مجزا تقسیم کنند. از دیدگاه بهره‌برداری، سکشن‌ها می‌توانند توسط فیدر تغذیه‌کننده اصلی و یا فیدرهای مجاور که با فیدر اصلی نقطه مانور دارند، برق‌دار شوند. وظیفه کنترل شبکه فشار متوسط بر عهده مرکز دیسپاچینگ است و فرمان‌های باز و بست قطع کننده‌ها توسط این مرکز صادر می‌شود. با توجه به اینکه مدیریت شبکه به‌صورت متمرکز و از راه دور انجام می‌شود، می‌توان گفت که تا حدی مفهوم اتوماسیون پیاده شده است اما در عمل، این پرسنل مرکز دیسپاچینگ نیستند که کلیدها را باز و بست می‌کنند.

بین کلیدهای با قابلیت فرمان از راه دور، تعداد زیادی کلید دستی قرار دارد که مجهز به اتوماسیون نیستند. برخی از این کلیدها را تنها در زمانی که شبکه بی‌برق است می‌توان تغییر وضعیت داد. بنابراین، پرسنل مرکز دیسپاچینگ ناچار هستند که از طریق بیسیم و یا تلفن، فرمان باز و بست کلیدها را به گروه‌های عملیاتی ابلاغ کنند.

زمانی که یک خودرو با پایه برق تصادف می‌کند و پایه بر روی زمین می‌افتد، در اثر پاره شدن و برخورد سیم‌ها با یکدیگر، خطای اتصال کوتاه رخ می‌دهد. دژنکتور ابتدای فیدر برای برطرف کردن خطا به‌صورت اتوماتیک عمل می‌کند و فیدر بی‌برق می‌شود. عملکرد کلید ابتدای فیدر فشار متوسط، مشابه کلید مینیاتوری داخل منزل است که در زمان اتصالی وسایل برقی به‌صورت خودکار برق خانه را قطع می‌کند. در این لحظه، صدها و یا هزاران مشترک بی‌برق می‌شوند. این بدان معناست که تنها سکشن آسیب‌دیده بدون برق نیست، بلکه سکشن‌های زیادی بی‌برق هستند. بنابراین، زمانی که مرکز دیسپاچینگ موقعیت مکانی خطا را پیدا کرد، وظیفه دارد سکشن آسیب‌دیده را از بقیه بخش‌های شبکه جدا کرده و بخش‌های سالم را از طریق فیدرهای مجاور برق‌دار کند. در ادامه، گروه تعمیرات به محل اعزام می‌شود و بعد از اصلاح خرابی، کل شبکه برق‌دار می‌شود.

زمانی که خطایی در شبکه اتفاق می‌افتد، این مراحل طی می‌شود: بر اساس تماس‌های تلفنی دریافت شده، سیستم OMS موقعیت خطا را مشخص و هشدار لازم را به اتاق کنترل مخابره می‌کند. اپراتور مرکز دیسپاچینگ با باز کردن کلیدهای اتوماسیون، بخش آسیب‌دیده را از بقیه بخش‌های شبکه جدا می‌کند.

سپس، بخش‌های سالم از طریق فیدرهای مجاور برق‌دار می‌شوند اما هنوز بخش آسیب‌دیده بدون برق است. در ادامه گروه‌های عملیاتی برای تعمیر بخش آسیب‌دیده به محل اعزام می‌شوند. در برخی موارد، با هدایت مرکز کنترل، نیروهای سیمبان با باز کردن کلیدهای دستی تا حد ممکن بخش جداسازی شده را کوچک‌تر می‌کنند تا مشترکین کمتری تحت تأثیر قرار بگیرند. بعد از اینکه کار تعمیر بخش آسیب‌دیده به پایان رسید، مرکز دیسپاچینگ شبکه را به حالت قبل بازمی‌گرداند و کل شبکه برق‌دار می‌شود.

در شبکه زمینی نیز فرآیند بازیابی به‌صورت مشابه شبکه هوایی انجام می‌شود با این تفاوت که یافتن خطا در شبکه زمینی به‌مراتب سخت‌تر است. فرآیند بدین شکل است که ابتدا موقعیت عیب شناسایی می‌شود، سپس بخش آسیب‌دیده ایزوله شده و مشترکین بخش‌های سالم در اسرع وقت برق‌دار می‌شوند. در نهایت، با تعمیر بخش آسیب دیده کل شبکه برقدار می‌شود. طبق بررسی ران، در بیشتر شرکت‌های توزیع فرآیند بازیابی شبکه به‌صورت دستی و سنتی انجام می‌شود.

ران برای روشن‌تر شدن موضوع تصمیم گرفت یک مثال عملی بزند. تصور کنید در اثر وقوع یک خرابی در شبکه، ۱۰۰۰ مشترک بی‌برق شده‌اند. فرض کنید اپراتور مرکز دیسپاچینگ در عرض پنج دقیقه بتواند موقعیت خطا را مشخص کند. سپس او باید با بررسی نقشه، نزدیک‌ترین کلیدهای اتوماسیون که می‌توانند بخش آسیب‌دیده را ایزوله کنند، پیدا کند. فرض کنید این کار نیز ۱۵ دقیقه زمان ببرد. در ادامه، اپراتور با نزدیک‌ترین گروه تعمیرات تماس می‌گیرد و آن ها را به محل حادثه راهنمایی می‌کند. این کار پنج دقیقه زمان می‌برد. در مرحله بعد، بخش‌های سالم توسط فیدرهای مجاور برق‌دار می‌شوند. این عملیات هم ۱۰ الی ۱۵ دقیقه زمان می‌برد. تا این جای کار ۹۰۰ مشترک از ۱۰۰۰ مشترک برق‌دار شده‌اند. بنابراین در این فرآیند غیر خودکار، ۹۰۰ مشترک در حدود نیم ساعت بدون برق بوده‌اند و ۱۰۰ مشترک باقی‌مانده مجبورند صبر کنند تا کار تعمیر بخش آسیب‌دیده به پایان برسد.

بااین‌حال، توجه داشته باشید که ۹۰۰ مشترک به دلیل زیرساخت‌ها و فرآیندهای موجود در سازمان در حدود نیم ساعت بدون برق بوده‌اند. اگر شرکت توزیع می‌توانست محل خطا را به‌صورت اتوماتیک شناسایی کند و بر اساس اطلاعات دریافت شده از حسگرها و کنتورهای هوشمند، شبکه را به‌صورت اتوماتیک بازآرایی کند، در آن صورت، زمانی خاموشی ۹۰۰ مشترک از نیم ساعت به چند ثانیه کاهش پیدا می‌کرد. اگر این اتفاق برای همه خاموشی‌ها در طی سال رخ می‌داد، شاخص‌های قابلیت اطمینان به نحو چشمگیری بهبود پیدا می‌کرد (به یادداشت‌های ران در خصوص شاخص‌های قابلیت اطمینان مراجعه کنید).

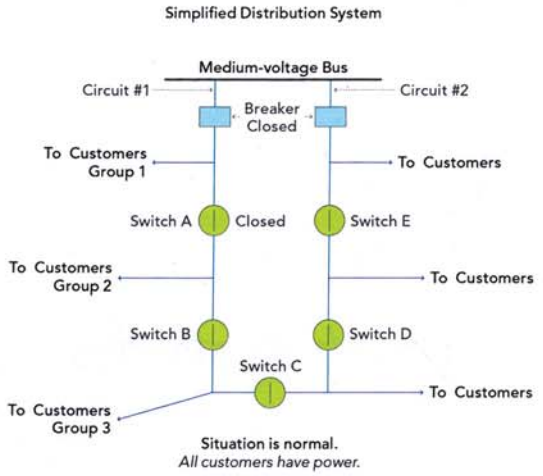
یادداشت‌های آقای ران

شاخص‌های قابلیت اطمینان

شرکت‌های توزیع ملزم به اندازه‌گیری و گزارش شاخص‌های مختلف قابلیت اطمینان هستند. شاخص متوسط زمان خاموشی سیستم یا SAIDI، عمده‌ترین شاخص مورد استفاده در شرکت‌های توزیع است. این شاخص از مجموع زمان خاموشی مشترکین تقسیم بر تعداد کل مشترکین به دست می آید. به‌عنوان مثال، اگر ۱۰۰۰ مشترک به‌طور متوسط یک ساعت خاموشی را طی سال تجربه کرده باشند، شاخص SAIDI برابر ۶۰ دقیقه خواهد بود (شاخص SAIDI بر حسب دقیقه محاسبه می‌شود). برای بیشتر شرکت‌های توزیع، محاسبه شاخص‌های قابلیت اطمینان کار دشواری است. پیگیری این شاخص‌ها بر عهده مدیران ارشد سازمان و به‌ویژه معاونت بهره‌برداری است. با توجه به اینکه مدت‌زمان خاموشی ثبت شده برای مشترکین، از زمان مطلع شدن شرکت توزیع از وقوع بی‌برقی محاسبه می‌شود، لذا عدد محاسبه شده برای شاخص SAIDI از دقت صد در صد برخوردار نیست. برخی از خاموشی‌ها ساعت‌ها قبل از تماس مشترک برقرار بوده است، اما با توجه به زیرساخت‌های موجود، نحوه محاسبه فعلی شاخص SAIDI بین شرکت‌های توزیع پذیرفته شده است.

شاخص متوسط تعداد خاموشی‌های سیستم یا SAIFI دیگر شاخص مهم قابلیت اطمینان در شرکت‌های توزیع است. این شاخص، متوسط تعداد قطعی‌ها به ازای هر مشترک را نشان می‌دهد. این شاخص از مجموع تعداد کل قطعی‌های سیستم تقسیم بر تعداد کل مشترکین در یک بازه زمانی مشخص مثل یکسال به دست می آید.

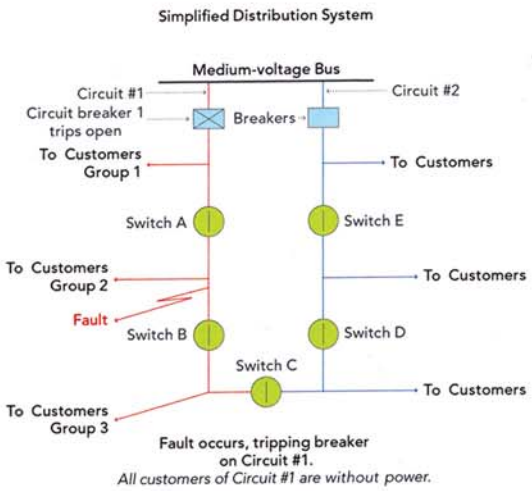
علاوه بر اتوماتیک کردن فرآیند بازیابی شبکه، اگر شرکت توزیع کلیدهای اتوماسیون بیشتری در طول شبکه نصب کند، می‌تواند بخش ایزوله شده را کوچک‌تر کند و از این طریق، تعداد مشترکینی که قرار است تا تعمیر بخش آسیب‌دیده منتظر بمانند را کاهش دهد. در این مثال، اگر در میانه سکشن آسیب‌دیده یک کلید دیگر داشتیم، می‌توانستیم تعداد مشترکینی که قرار است تا تعمیر خرابی صبر کنند را به ۵۰ عدد کاهش دهیم. ران تصمیم گرفت برای درک بهتر مفهوم خود ترمیمی، یک شبکه ساده فشار متوسط ترسیم و مراحل بازیابی شبکه را بر روی آن مرور کند.



شکل ۱۱-۵-الف- دیاگرام تک خطی شبکه فشار متوسط با دو فیدر نمونه (وضعیت قبل از خطا) (منبع: Esri)

شکل ۱۱-۵-الف تصویر شبکه نمونه را قبل از وقوع خطا نمایش می‌دهد. این شبکه از دو فیدر تشکیل شده است که توسط دژنگتورهای واقع در پست فوق توزیع محافظت می‌شوند. ران این فیدرها را به اسم فیدر ۱ و فیدر ۲ نام‌گذاری کرد. بر روی فیدر ۱ دو کلید به نام‌های کلید A و کلید B قرار دارد. کلید A و B در وضعیت بسته هستند به این معنا که توان الکتریکی از داخل آن‌ها عبور می‌کند. سه گروه مشترک از طریق فیدر ۱ تغذیه می‌شوند. ران اسامی گروه ۱، گروه ۲ و گروه ۳ را برای این مشترکین انتخاب کرد. فیدر ۱ از طریق کلید C با فیدر ۲ ارتباط دارد. کلید C در حالت عادی باز است، به این معنا که در شرایط عادی، توانی از داخل آن عبور نمی‌کند. می‌توان گفت، فیدر ۱ و فیدر ۲ به‌عنوان پشتیبان یکدیگر عمل می‌کنند.
همه‌چیز عادی است تا زمانی که یک خودرو با پایه برق تصادف می‌کند. در اثر سقوط پایه و برخورد فازهای شبکه، خطای اتصال کوتاه به وجود می‌آید. این خطا بین کلیدهای A و B رخ می‌دهد. دژنگتور ابتدای فیدر ۱ عمل کرده و درنتیجه کلیه مشترکین تغذیه شونده توسط این فیدر بی‌برق می‌شوند. این وضعیت در شکل ۱۱-۵-ب نمایش داده شده است.
با توجه به خاصیت خودترمیمی شبکه هوشمند، کلیه مشترکین بی‌برق شده، از طریق کنتور هوشمند، هشدار لازم را به شرکت برق ارسال می‌کنند. در ضمن، همه کلیدها مجهز به حسگر هستند و خطای اتصال

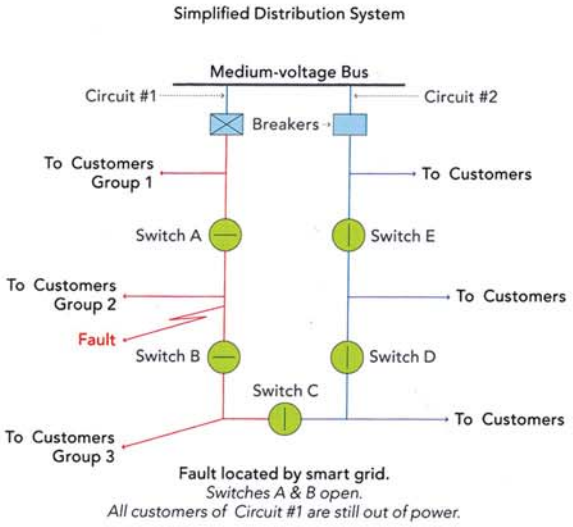
کوتاه را تشخیص می‌دهند. دژنگتور ابتدای فیدر ۱ خطای اتصال کوتاه را تشخیص می‌دهد و مدار را بی‌برق می‌کند. کلید A نیز خطای اتصال کوتاه را تشخیص می‌دهد. بااین‌حال، کلید B خطای اتصال کوتاه را نمی‌بیند، چون در پایین‌دست نقطه خطا قرار دارد و جریان اتصال کوتاه از داخل آن عبور نمی‌کند.
سیستم خودترمیم تشخیص می‌دهد که خطا بین سکشن واقع بین کلید A و کلید B اتفاق افتاده است. بنابراین به‌صورت اتوماتیک، هر دو کلید را باز می‌کند تا بخش آسیب‌دیده از سایر بخش‌ها جدا شود. این مجموعه اقدامات متوالی در شکل ۱۱-۵-ج نمایش داده شده است. تا این جای کار، هنوز همه مشترکین موجود بر روی فیدر ۱ بی‌برق هستند.



شکل ۱۱-۵-ب- خطا در سکشن بین کلید A و کلید B اتفاق افتاده است. (منبع: Esri)

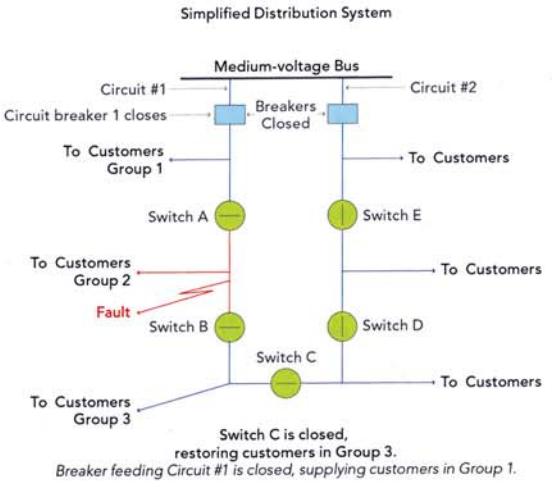
حالا دژنگتور ابتدای فیدر ۱ بسته می‌شود. با این کار، مشترکین گروه ۱ برق‌دار می‌شوند. در ادامه، کلید مانوری C بسته می‌شود و مشترکین گروه ۳ از طریق فیدر ۲ برق‌دار می‌شوند. نتایج اقدامات انجام شده در این مرحله در شکل ۱۱-۵-د نمایش داده شده است.
مشترکین گروه ۲ هنوز بی‌برق هستند و باید تا تعمیر بخش آسیب‌دیده صبر کنند. به‌محض اینکه خط تعمیر شد، گروه عملیات موضوع را به مرکز دیسپاچینگ اطلاع می‌دهد و اپراتور مرکز کنترل، فرمان وصل کلید اتوماسیون A را از راه دور صادر می‌کند. اکنون همه مشترکین برق‌دار شده‌اند اما وضعیت مدار در حالت برنامه‌ریزی شده و اولیه خود نیست، به این دلیل که بخشی از مشترکین فیدر ۱ در حال حاضر از طریق فیدر ۲ تغذیه می‌شوند. اپراتور مرکز کنترل، کلید C را باز کرده و بلافاصله کلید B را می‌بندد و از این طریق، مدار را به حالت اولیه نشان داده شده در شکل ۱۱-۵-الف باز می‌گرداند.
با توجه به ویژگی خودترمیمی شبکه هوشمند، خاموشی‌ها با انجام تحلیل‌های لازم و از طریق یکسری کلیدزنی‌های متوالی به حداقل می‌رسد. به همین دلیل است که مشترکین گروه ۱ و گروه ۳ تنها یک خاموشی موقت کوتاه‌مدت را تجربه می‌کنند. طی فرآیند اتوماسیون و با استفاده از تحلیل‌های شبکه‌ای و مکانی، موقعیت وقوع خطا به‌سرعت تشخیص داده می‌شود. سپس مرکز دیسپاچینگ می‌تواند گروه تعمیرات را به محل دقیق حادثه اعزام کند. بدون ویژگی خودترمیمی، مشترکین گروه ۱ و گروه ۳ مجبور بودند صبر کنند تا گروه عملیات به محل اعزام شده و محل خرابی را پیدا کند.

با توجه به ویژگی خودترمیمی شبکه هوشمند، به‌جای اینکه مرکز دیسپاچینگ و گروه‌های عملیاتی موقعیت خطا را تعیین کنند، حسگرها با تشخیص جریان اتصالی این کار را انجام خواهند داد. به‌جای اینکه شرکت برق منتظر مشترکین باشد تا بی‌برقی را گزارش کنند، کنتورهای هوشمند به‌صورت اتوماتیک این کار را انجام خواهند داد. به‌جای اینکه اپراتورهای مرکز کنترل، کلیدهای مجزا کننده بخش آسیب‌دیده را با بررسی نقشه پیدا کنند، با امکانات سیستم GIS این کار به‌صورت اتوماتیک انجام خواهد شد. سیستم خودترمیم همچنین می‌تواند قبل از ارسال فرمان باز و بست به یک کلید، بررسی کند که آیا بخش‌های دیگر شبکه دچار اضافه‌بار نمی‌شوند.



شکل ۱۱-۵-ج- کلیدهای A و B به‌صورت اتوماتیک باز می‌شوند و بخش اسیب دیده را ایزوله می‌کنند. (منبع: Esri)

این سطح از اتوماسیون شبکه می‌تواند به نحو چشمگیری قابلیت اطمینان را بهبود دهد. مجموعه عملیاتی که تا پیش‌ازاین به‌صورت دستی توسط مرکز دیسپاچینگ مدیریت می‌شد و معمولا چندین دقیقه زمان می‌برد حالا در عرض چند ثانیه انجام می‌شود. همچنین با توجه به محدودیت نیروی انسانی مرکز دیسپاچینگ، اپراتورها در یک زمان مشخص تنها می‌توانند توجه خود را بر روی یک عملیات بازیابی متمرکز کنند. بنابراین در روزهای شلوغ کاری، امکان دارد زمان بازیابی شبکه بسیار طولانی‌تر شود. مفهوم خودترمیمی تنها در صورتی واقعا عملی می‌شود که داده‌های شبکه توزیع کاملا دقیق و به‌روز باشد. بدون داشتن یک سیستم اطلاعات مکانی جامع و دقیق، مزایای سیستم خودترمیم به حداقل می‌رسد. حتی امکان دارد به دلیل تحلیل ناقص شبکه، فرمان غلطی صادر شود و شرایط را بدتر کند. برای عملیاتی کردن مفهوم خود ترمیمی به یک سیستم اطلاعاتی جامع و به‌روز که امکانات نمایشی نیز داشته باشد، نیاز داریم. تنها GIS است که می‌تواند از عهده این مأموریت، موفق بیرون بیاید. ران تازه متوجه شد که چرا به یک فرآیند مکانیزه طراحی مبتنی بر GIS نیاز دارد، زیرا به‌محض اینکه کلید و یا حسگری در شبکه نصب می‌شود، باید به پایگاه داده GIS نیز اضافه شود. اطلاعات شبکه هوشمند از پایگاه داده GIS استخراج می‌شود و به همین دلیل باید همیشه اطلاعات به‌روز باشد.



شکل ۱۱-۵-د- کلیدهای A و B به‌صورت اتوماتیک باز می‌شوند و بخش آسیب دیده را ایزوله می‌کنند. (منبع: Esri)

نقش کلیدی سیستم GIS سازمانی

ران قصد داشت پیشنهاد توسعه شرح خدمات پروژه GIS را به مدیران شرکت ارائه کند. به اعتقاد او، باید اطلاعات مشترکین به پایگاه داده GIS اضافه می‌شد. ران تصمیم گرفت در درخواستش به نقش سیستم GIS در پیاده‌سازی موفق شبکه هوشمند نیز اشاره کند. بنابراین کاربردهای سیستم GIS در عملیاتی سازی شبکه هوشمند را به شرح زیر در ذهنش مرور کرد:

GIS به‌عنوان یک پایگاه داده توانمند به‌منظور مدیریت اطلاعات شبکه‌های توزیع، انتقال و مخابرات شناخته می‌شود. چنانچه مدل داده به‌خوبی طراحی شده باشد، GIS یک پایگاه داده جامع از کلیه اطلاعات مکانی و توصیفی دارایی‌های شبکه توزیع را تشکیل می‌دهد. با توجه به نقش زیرساخت مخابراتی در شبکه هوشمند، GIS به‌خوبی می‌تواند اطلاعات تجهیزات مخابراتی را در کنار اطلاعات شبکه برق نمایش دهد.

با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات مربوط به وضعیت تجهیزات را مدیریت کرد. زمانی که بخشی از شبکه برای انجام تعمیرات از مدار خارج می‌شود، شرکت‌های توزیع باید بتوانند با دسترسی به اطلاعات استاتیکی و دینامیکی، شبکه را به نحو بهینه مدیریت کنند. اطلاعات مربوط به وضعیت تجهیزات، از سیستم اتوماسیون و سیستم تعمیرات و نگهداری به دست می‌آید. امروزه شرکت‌های توزیع به‌سرعت در حال حرکت به سمت تکنولوژی موبایل GIS برای انجام فرآیند بازرسی و بازدید از تجهیزات هستند و می‌توانند به کمک این فناوری، اطلاعات را در محل ثبت کرده و بلافاصله برای شرکت ارسال کنند.

سیستم GIS به شرکت‌های توزیع کمک می‌کند که روابط بین تجهیزات را شناسایی کنند. با توجه به اینکه شبکه هوشمند از دو بخش الکتریکی و مخابراتی تشکیل شده است، شرکت‌های توزیع باید درک درستی از روابط فیزیکی و مکانی تجهیزات داشته باشند. این اطلاعات، زیرساخت لازم جهت برخی تصمیم‌گیری‌های شبکه هوشمند را فراهم می‌کند. GIS ابزارها و امکانات لازم جهت مدل‌سازی شبکه و شناخت ارتباط بین تجهیزات را فراهم می‌کند.

همچنین به کمک GIS می‌توان ارتباط بین تجهیزات و محیط پیرامونشان را شناسایی کرد. این قابلیت برای بازیابی شبکه، مواجهه با بلایای طبیعی و تحلیل‌های امنیتی بسیار ضروری است.

شرکت‌های برق می‌توانند از GIS برای تعیین موقعیت بهینه تجهیزات مختلف شبکه هوشمند استفاده کنند. در جریان پیاده‌سازی شبکه هوشمند، شرکت‌های برق برای تعیین موقعیت مناسب نصب حسگرها و پنل‌های مخابراتی و همچنین مسیریابی بهینه فیبر نوری، نیاز به ابزارهای تحلیلی دارند. ازآنجاکه یافتن موقعیت بهینه تجهیزات وابستگی زیادی به اطلاعات شبکه موجود دارد، لذا GIS می‌تواند کمک شایانی به پیاده‌سازی شبکه هوشمند کند.

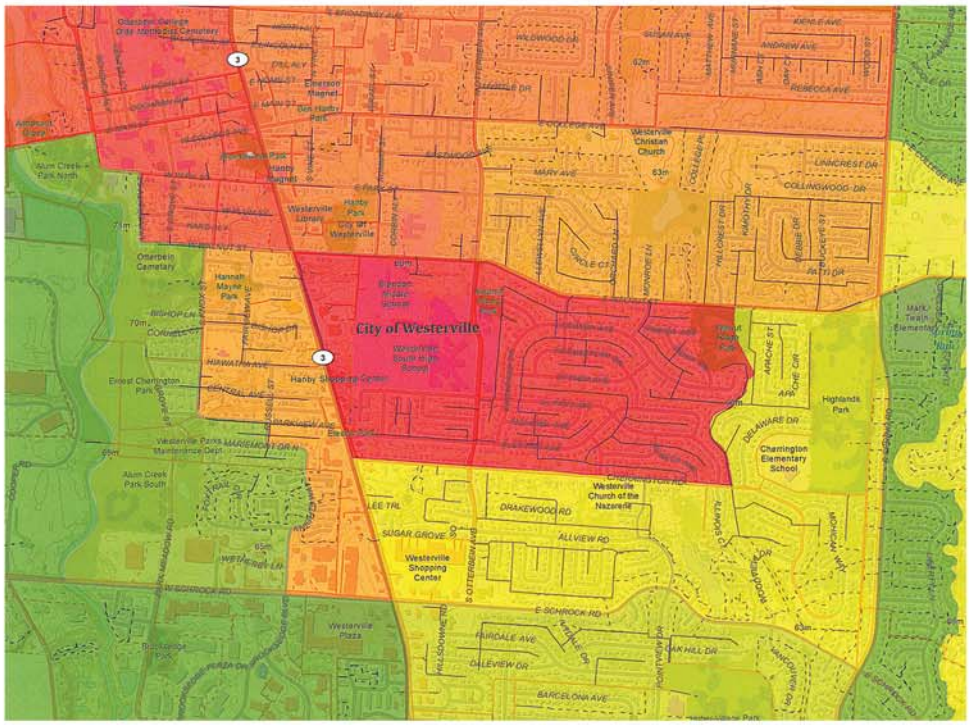
ران با خود اندیشید که GIS می‌تواند زیرساخت مکانی لازم را برای تحلیل و ارزیابی عملکرد شبکه هوشمند فراهم کند. GIS می‌تواند روندها و الگوها را شناسایی کند و در صورت نیاز بر روی نقشه نمایش دهد. به‌عنوان مثال، وقتی که ما توقع داریم با اجرای برنامه‌های مدیریت مصرف، میزان تقاضا در ساعات اوج بار کاهش پیدا کند، آیا واقعا در عمل هم چنین اتفاقی می‌افتد؟ از آنجا که انتظار می‌رود شبکه هوشمند به‌صورت هوشمندانه عمل کند و تصمیم بگیرد، لذا باید قادر به انجام تحلیل‌های پیشرفته در مورد کارایی شبکه باشد؛ یعنی بتواند الگوهای موجود در عملکرد تجهیزات و رفتار مشترکین را شناسایی و شاخص‌های کلیدی بهره‌برداری را اندازه‌گیری کند. به زبان ساده‌تر، شبکه هوشمند باید اثرگذاری روش‌های هوشمند به کار گرفته‌شده را در عمل کنترل کند تا در صورت لزوم، آن‌ها را بهبود داده یا تغییر دهد.

تجزیه‌وتحلیل‌های پیشرفته

سومین بخش از پروژه پایلوت هوشمندسازی شرکت AnyTown Energy، مطالعه در خصوص جایگزینی سیستم OMS شرکت با سیستم DMS بود. مشابه سیستم OMS، سیستم DMS نیز به اطلاعات مربوط به آرایش شبکه احتیاج دارد که از طریق GIS تأمین خواهد شد. تفاوت سیستم DMS با سیستم OMS آن است که سیستم DMS به‌جای تکیه بر اطلاعات تماس مشترکین، داده‌های مورد نیاز را از حسگرهای نصب شده در سرتاسر شبکه دریافت کرده و با تحلیل اطلاعات درلحظه، زمینه بهره‌برداری بهینه از شبکه را فراهم می‌کند. یکی از حوزه‌های مهم جهت بهینه‌سازی شبکه، مدیریت تلفات شبکه است.

تلفات در شبکه توزیع از تلفات الکتریکی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید انرژی برق تشکیل می‌شود. اگر شرکت برق بتواند تلفات را کاهش دهد، نیاز به تولید برق کمتری خواهد داشت. بنابراین میزان انتشار گازهای مخرب محیط‌زیست و هزینه تأمین برق کاهش خواهد یافت. سیستم DMS می‌تواند سطوح مختلف ولتاژی را ارزیابی کند و بازدهی کلی آن‌ها را بهبود بخشد. آنچه سیستم DMS به آن نیاز دارد، دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌روز تأسیسات و امکان نمایش گرافیکی شبکه است که هر دوی این قابلیت‌ها در سیستم GIS وجود دارد.

با استفاده از GIS می‌توان نشان داد که در چه بخش‌هایی از شبکه تلفات بالاتر است. ران به اینترنت وصل شد و یک تصویر از سیستم GIS پیدا کرد (شکل ۱۱-۶) که در آن، مناطق مختلف بر اساس میزان مصرف رنگ‌بندی شده بودند (مناطق پرمصرف با رنگ قرمز مشخص شده است).



شکل ۱۱-۶- نمایش چگالی بار مناطق مختلف بر روی نقشه GIS (منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

اهمیت به‌روزرسانی دقیق اطلاعات

ران با خود اندیشید که تصور پیاده‌سازی موفق شبکه هوشمند بدون دسترسی به اطلاعات جامع و کامل شبکه در سیستم GIS دشوار است. شرکت‌های توزیع برای اطمینان از اجرای مؤثر شبکه هوشمند با چالش‌های مختلفی روبرو هستند. به اعتقاد ران، یکی از این چالش‌ها، کیفیت داده‌های موجود در سیستم GIS است. وجود برخی خطاهای محدود در داده‌های سیستم GIS که ورودی سیستم OMS است، اگرچه مطلوب نیست، اما قابل‌تحمل است. اما وجود داده‌های نادرست در سیستمی که قرار است شبکه توزیع را به‌صورت خودکار کنترل کند، به‌هیچ‌وجه قابل‌قبول نیست. این خطاها می‌تواند منجر به افزایش زمان خاموشی و یا بدتر از آن، موجب بروز حادثه شود. به‌عنوان مثال، برق‌دار کردن خودکار فیدری که گروه‌های تعمیراتی در حال فعالیت بر روی آن هستند، می‌تواند به قیمت جان کارگران تمام شود. شرکت‌های توزیع برای اطمینان از کیفیت داده‌های خود، باید فرآیندهای به‌روزرسانی اطلاعات و روش‌های تائید کیفیت آن‌ها را به‌دقت تحت نظر داشته باشند.

ران به یاد آورد که پس از نصب تجهیزات در شرکت AnyTown Energy، در حدود ۶۰ روز زمان می‌برد تا اطلاعات در سیستم نقشه‌برداری ثبت شود. ران درباره نقشه‌های کاغذی به‌روز نشده‌ای که برای بیش از یکسال بر روی‌هم انباشته شده بودند چیزهایی شنیده بود، همچنین دستورکارهای اتمام یافته‌ای که با وجود گذشت زمان زیاد از بهره‌برداری آن‌ها، هنوز به‌روزرسانی نشده بودند.

ران در طی بازدیدهای خود از بخش‌های مختلف شرکت AnyTown Energy، انبوهی از پرونده‌های به‌روز نشده را دیده بود که بر روی‌هم جمع شده بودند (شکل ۱۱-۷).

شکل ۱۱-۷- حجم بالای پرونده‌های به‌روز نشده، چالش بزرگی برای پیاده‌سازی موفق شبکه هوشمند محسوب می‌شود. (عکاس: Brent Jones، منبع: Esri)

وضعیت سایر شرکت‌های توزیع نیز عموماً بهتر از شرکت AnyTown Energy نیست. در همه شرکت‌ها حجم قابل‌توجه ای از دستورکارهای بسته نشده و نقشه‌های کاغذی مربوط به ثبت مغایرت‌ها بر روی‌هم جمع شده‌اند که در صف به‌روزرسانی در سیستم GIS قرار دارند. اگر شرکت‌های توزیع بتوانند فاصله زمانی بین ایجاد تغییر در شبکه تا ثبت تغییر موردنظر در سیستم GIS را اندازه‌گیری کنند، کار بسیار مفیدی انجام داده‌اند. برای عملیاتی سازی موفق شبکه هوشمند، باید تأخیر زمانی ثبت تغییرات تا حد ممکن کوتاه باشد. به‌عنوان مثال، اگر شرکت توزیع یک نشانگرخطا در شبکه نصب و راه‌اندازی کند، باید اطلاعات آن به‌سرعت در سیستم GIS ثبت شود وگرنه تأثیر آن در الگوریتم‌های بهینه‌سازی شبکه هوشمند دیده نمی‌شود و درنتیجه، خروجی‌های این الگوریتم‌ها از دقت لازم برخوردار نخواهد بود. همین‌طور که تأخیر به‌روزرسانی تغییرات از چند ثانیه به چند دقیقه، چند روز و چند هفته می‌رسد، به همین نسبت هم، ریسک خروجی غلط الگوریتم‌های شبکه هوشمند افزایش پیدا می‌کند.

کیفیت نقشه پایه

ران اطلاع داشت که شرکت‌های زیادی با استفاده از نقشه پایه استاندارد توانسته‌اند سیستم GIS خود را عملیاتی سازی کنند. برای برخی شرکت‌ها که از ۲۰ سال قبل از GIS استفاده می‌کرده‌اند، این موضوع به پیش از پیدایش سیستم GPS برمی‌گردد. شرکت AnyTown Energy هنوز هم برای تعیین موقعیت مکانی تجهیزات از نقشه‌های شیت بندی شده قدیمی خود استفاده می‌کرد. به اعتقاد ران، تا زمانی که این شرکت، نقشه پایه و دقت مکانی تجهیزاتش را اصلاح نکند، نمی‌تواند در پیاده‌سازی سیستم GIS موفق باشد. ران می‌دانست که ابزارهای پیشرفته‌ای برای کمک به فرآیند اصلاح نقشه‌ها وجود دارند، اما استفاده از آن‌ها بسیار زمان‌گیر و هزینه‌بر است. او تردیدی نداشت که شرکت‌هایی که هنوز اقدام به پیاده‌سازی سیستم GIS نکرده‌اند، در قدم اول باید یک نقشه پایه استاندارد و سازگار با سیستم GPS تهیه کنند. شرکت AnyTown Energy اصرار زیادی بر استفاده از نقشه‌های پایه قدیمی موجود در شرکت داشت.

ران به خاطر آورد که قدمت نقشه‌های پایه موجود در شرکت AnyTown Energy به اواخر سال ۱۹۳۰ میلادی بازمی‌گردد و منابع این نقشه‌ها نیز دقیقاً مشخص نیست. او برای بررسی دقت مکانی این نقشه‌ها، مختصات چند تجهیز را با دستگاه GPS برداشت کرد. زمانی که او موقعیت این تجهیزات بر روی نقشه‌های شرکت را با مختصات واقعی آن‌ها مقایسه کرد، متوجه شد که در برخی موارد تا حدود ۶۰ متر اختلاف مکانی وجود دارد. ران نتیجه‌گیری کرد که اگر شرکت AnyTown Energy قصد دارد از سیستم GIS به عنوان زیرساخت عملیاتی سازی شبکه هوشمند استفاده کند، باید نقشه‌های پایه قدیمی و شیت بندی‌های قراردادی خود را کنار بگذارد.

ران می‌دانست که عدم وجود مدل دیجیتالی کامل از شبکه برق می‌تواند اثربخشی شبکه هوشمند را محدود کند. برخی شرکت‌های توزیع به‌صورت تدریجی و گام‌به‌گام در حال پیاده‌سازی سیستم GIS هستند. به‌عنوان مثال، اطلاعات بخش‌هایی از شرکت در سیستم GIS ثبت شده است، بخش‌هایی به صورت نقشه‌های دیجیتالی اتوکد نگهداری می‌شود و بخش‌هایی نیز به‌صورت کاغذی بایگانی شده است. برخی شرکت‌ها مثل شرکت AnyTown Energy تنها اطلاعات شبکه فشار متوسط را به‌صورت دیجیتالی تبدیل کرده‌اند. در برخی شرکت‌ها اطلاعات شبکه زمینی بخش‌های مرکزی شهر در سیستم نقشه‌برداری وارد نشده است. پیاده‌سازی ناقص سیستم GIS مانع اجرای کامل شبکه هوشمند می‌شود. نصب کنتورهای هوشمند در مناطقی که شبکه آن در سیستم GIS مدل نشده است، شرکت‌های توزیع را از خیلی از مزایای شبکه هوشمند محروم می‌کند. در این مورد خاص، تنها می‌توان از کنتورهای هوشمند برای صدور قبض استفاده کرد و عملا سرمایه‌گذاری صورت گرفته، بلااستفاده خواهد ماند.

تعیین موقعیت مکانی مشترکین

اطلاعات دقیق مربوط به آدرس مشترکین، در بهترین حالت، به‌صورت یک در میان در شرکت AnyTown Energy وجود داشت. بقیه شرکت‌های توزیع هم اوضاع بهتری ندارند. حتی در کشورهایی که همه ساختمان‌ها دارای یک آدرس فیزیکی هستند، شرکت‌های توزیع برای به‌روز نگه‌داشتن داده‌های موقعیت مکانی مشترکین، کار دشواری در پیش‌رو دارند. در برخی شرکت‌های توزیع، فرآیند مناسبی برای اضافه کردن اطلاعات مشترکین جدید به سیستم GIS وجود ندارد. اگر GIS نتواند ارتباط مناسبی بین موقعیت مکانی مشترک و شبکه توزیع برقرار کند، قابلیت خودترمیمی شبکه هوشمند به‌صورت کامل پیاده نخواهد شد. در مناطقی که اطلاعات آدرس مشترکین وجود ندارد، شرکت‌های برق برای شناسایی موقعیت مکانی مشترکین در شبکه، ناچار هستند سیستم کدینگ تعریف کنند. پس از پیاده‌سازی سیستم GIS، شرکت‌های توزیع باید فرآیند دقیقی برای به‌روزرسانی اطلاعات مشترکین جدید داشته باشند، به‌نحوی که با اضافه شدن یک مشترک جدید به شرکت، هم موقعیت مکانی مشترک در سیستم GIS ثبت شود و هم ارتباط آن با شبکه برقرار شود.

هرچند سیستم اطلاعات مشترکین (CIS) شرکت AnyTown Energy کامل بود اما ارتباطی بین سیستم CIS و سیستم نقشه‌برداری وجود نداشت. فرآیند اضافه کردن اطلاعات مربوط به مشترکین جدید در سیستم TCR با کندی فراوان و به‌صورت دستی انجام می‌شد. به همین دلیل بود که خانم لوییس هیچ‌گاه احساس خوبی نسبت به این سیستم نداشت.

برای ران روشن بود که اگر شرکت AnyTown Energy قصد عملیاتی سازی موفق شبکه هوشمند را دارد، باید یک سیستم GIS جامع، یکپارچه و به‌روز داشته باشد. ران تردیدی نداشت که شرکت‌های توزیع با مکانیزه کردن گردش کاری ورود اطلاعات، فرآیند محور کردن روال ثبت و به‌روزرسانی تغییرات و نظارت دقیق بر کیفیت اطلاعات، می‌توانند امیدوار به داشتن شبکه هوشمند کارآمد بر بستر GIS باشند.

ارتباط با مشترکین

کنتورهای برق چه معمولی باشند و یا هوشمند، باید در سیستم GIS مدل شوند. کنتور حلقه ارتباطی اطلاعات مشترکین و شبکه توزیع است. تنها ارتباط بین مشترکین و شبکه برق در شرکت AnyTown Energy از طریق سیستم TCR خانم لوییس بود. یکی از مشکلات سیستم TCR این بود که ارتباط از طریق آدرس مشترکین با ترانسفورماتور برقرار می‌شد. استفاده از آدرس، راهکار جامع و دقیقی برای برقراری ارتباط نیست. آدرس‌ها ممکن است تغییر پیدا کنند. می‌توان برای یک ساختمان از چند طرف آدرس تعریف کرد. همچنین نحوه نوشتن آدرس بر اساس سلیقه افراد می‌تواند متفاوت باشد.

ساده‌ترین روش مدل‌سازی این است که کنتور مشترک به‌صورت یک عارضه نقطه‌ای در داخل واحد مسکونی، ساختمان تجاری و یا مجتمع صنعتی مشخص شود. این نقطه، یک موقعیت مکانی منحصربه‌فرد را در نقشه GIS نمایش می‌دهد. یک روش ساده برای شناسایی ساختمان‌ها، استفاده از کد پلاک است. کد پلاک با تغییر آدرس یا جابه‌جایی مشترک تغییر نمی‌کند. بیرون از محیط GIS، می‌توان در کنار اطلاعات مربوط به کنتور و مشترک از قلم توصیفی کد پلاک استفاده کرد. با توجه به واحد بودن کد پلاک، استفاده از این فیلد مطمئن‌ترین راه برای برقراری ارتباط با اطلاعات مشترک است. نقطه مکانی کنتور که در داخل پلاک مشترک قرار دارد، از طریق کابل سرویس به شبکه توزیع متصل می‌شود.

چنانچه از قلم توصیفی کد پلاک در پایگاه داده CIS و پایگاه داده مدیریت اطلاعات کنتورها (MDM) استفاده کنیم، به‌راحتی ارتباط بین سیستم‌های GIS، CIS و MDM برقرار می‌شود. آخرین کاری که شرکت توزیع باید انجام دهد، برقراری ارتباط بین این سیستم‌ها از طریق وب‌سرویس است تا با تغییر اطلاعات در یک سیستم، اطلاعات متناظر در سایر سیستم‌ها نیز تغییر پیدا کند.

بنابراین، زمانی که مشترک جدیدی به شرکت اضافه می‌شود، باید قلم توصیفی مربوط به کد پلاک در هر سه سیستم ثبت شود. خیلی از مواقع، یک پلاک ساختمانی چند کنتور برق دارد. این مشکل از طریق ارتباط یک به چند قابل‌حل است. در برخی کشورها، ساختمان‌ها آدرس توضیحی ندارند و از طریق کد تعیین آدرس می‌شوند. در این حالت، شرکت‌های برق از طریق کد آدرس می‌توانند مشکلشان را حل کنند.

معمولا سؤال می‌شود که اطلاعات مشترکین و کنتورها را باید در کجا ذخیره‌سازی کرد. در پاسخ این سؤال باید گفت که داده‌ها در هر سیستمی که مدیریت می‌شوند، باید در همان سیستم ذخیره و ویرایش شوند. در شرکت AnyTown Energy اطلاعات کنتورها در سیستم مدیریت لوازم اندازه‌گیری و اطلاعات مشترکین در سیستم مدیریت اطلاعات مشترکین نگهداری می‌شد.

اگر دسترسی به این سیستم‌ها از طریق ارتباط با وب‌سرویس یا سایر روش‌های ارتباطی دشوار باشد و یا به دلیل زیرساخت ارتباطی ضعیف، دریافت اطلاعات بسیار زمان‌گیر باشد، می‌توان به‌صورت منظم از این پایگاه داده‌ها خروجی گرفت و داده‌های مورد نیاز را در سیستم GIS بارگذاری کرد. البته باید توجه داشت که به‌هیچ‌وجه نباید این داده‌ها را در سیستم GIS ویرایش کرد.

مدل داده

زمانی که ران داشت بر روی یکی از آخرین بخش‌های مدل داده (اطلاعات مشترکین) کار می‌کرد به ذهنش رسید که بهتر است نیازمندی‌های شبکه هوشمند را نیز در مدل داده در نظر بگیرد. از این طریق، او می‌توانست برای توسعه پروژه GIS دلایل توجیهی بیشتری ارائه کند. مسئله‌ای که شرکت‌های برق، مدت‌ها به بحث در خصوص آن پرداخته‌اند، چگونگی پیاده‌سازی سیستم ارتباطی با کنتورهای هوشمند است. بعضی از شرکت‌های توزیع به دنبال ایجاد شبکه مخابراتی اختصاصی خود هستند و برای انجام این کار

از روش‌های مختلفی استفاده می‌کنند. مرسوم‌ترین روش، استفاده از فناوری بی‌سیم برای ارتباط دوطرفه با کنتورهای هوشمند و نصبِ تجهیزات جمع کننده در نقاط مختلف شبکه است. نقاط جمع کننده ممکن است از طریق سیمِ (معمولا فیبر) متصل شوند و یا از طریق ارتباط بی‌سیم، اطلاعات را به یک جمع کننده بزرگ‌تر که معمولا در پست نصب می‌شود، ارسال کنند. برقراری ارتباط مخابراتی با جمع کننده داخل پست می‌تواند به روش‌های مختلف انجام شود. گزینه دوم برای شرکت‌های توزیع این است که با یک ارائه‌دهنده سرویس‌های مخابراتی قرارداد ببندند و از شبکه بیرونی استفاده کنند. گزینه سوم که کمتر مرسوم است، استفاده از خطوط برق برای انتقال داده‌های مخابراتی است که معمولا برای انتقال اطلاعات کنتورهای هوشمند به تجهیزات جمع کننده به کار می‌رود. برخی شرکت‌های توزیع از شبکه مخابراتی اختصاصی به‌عنوان زیرساخت اصلی و از شبکه سرویس‌دهنده‌های تجاری به‌عنوان زیرساخت پشتیبان استفاده می‌کنند. روش انتخابی توسط شرکت AnyTown Energy احتمالا ترکیبی از سیستم‌های مختلف خواهد بود.

ران در پیشنهاد خود برای توسعه پروژه GIS، اشاره کرد که اطلاعات شبکه مخابراتی مورد استفاده باید از طریق GIS قابل‌دسترسی باشد. حتی اگر شرکت توزیع از شبکه سرویس‌دهنده‌های تجاری استفاده می‌کند، باید این امکان را داشته باشد که وضعیت و موقعیت تجهیزات حساس مخابراتی را از طریق سیستم GIS رؤیت کند.

جدول عوارض و توصیفات

ران دو جدول برای پیاده‌سازی در مدل داده آماده کرد. در جدول ۱۱-۱ ماهیت توصیفی عوارض مختلفی که در جدول ۱۱-۲ آمده، طبقه‌بندی شده است. اطلاعات توصیفی عوارض را می‌توان به پنج دسته اصلی زیر تقسیم‌بندی کرد:

- **مشخصات ظاهری:** مشخصات فنی تجهیزات مثل نوع حسگر و یا سازنده کنتور
- **تعمیرات و نگهداری:** تاریخچه تعمیرات تجهیزات که برای ارزیابی کنتورها و حسگرهایی که عملکرد صحیحی ندارند، کاربرد دارد.
- **اطلاعات دوره عمر تجهیزات:** عمر تجهیز یا نسخه نرم‌افزاری نصب شده بر روی یک تجهیز
- **مالی:** هزینه‌های مربوط به نصب و جایگزینی را در برمی‌گیرد.
- **اطلاعات مشترک:** اطلاعات مربوط به مشترک برق که از طریق ارتباط با سیستم‌های مرجع دریافت می‌شود.

این اطلاعات لزوما در سیستم GIS ذخیره نخواهند شد، اما کاربران سیستم GIS برای انجام تحلیل‌های مختلف به این اطلاعات دسترسی خواهند داشت.

در جدول ۱۱-۲ فهرستی از اجزا و عوارض مهم شبکه هوشمند که باید موقعیت و ارتباطاتشان در سیستم GIS ذخیره شود، آمده است.

GIS موجب هوشمندی شبکه هوشمند می‌شود

سرانجام ران دریافت که شبکه هوشمند درواقع یک فناوری خاص نیست بلکه یک ایده و مفهوم است. بر اساس این مفهوم، بسیاری از کارهایی که امروزه به‌صورت دستی انجام می‌شوند، می‌توانند به‌صورت خودکار صورت گیرند، مانند قرائت کنتور، بازیابی شبکه بعد از وقوع خاموشی، جابه‌جایی بار و کاهش تلفات. جنبه‌های خلاقانه و ابتکاری ایده شبکه‌های هوشمند، می‌تواند شامل مدیریت ایستگاه‌های شارژ وسایل نقلیه برقی و حتی مدیریت فرآیند استفاده از وسایل نقلیه برقی برای تأمین انرژی باشد. هر چه منابع متغیر انرژی، مثل مولدهای بادی و خورشیدی، بیشتر به شبکه برق اضافه شوند، کنترل شبکه نیز باید هوشمندتر شود تا کارکرد بهینه شبکه حفظ شود.

جدول ۱۱-۱- توصیفات مورد استفاده در GIS

دسته‌بندی داده	اطلاعات توصیفی	محل نگهداری داده	توضیحات
مشخصات ظاهری	• ابعاد • تیپ • سازنده • نوع	اطلاعات مربوط به کنتورها توسط سیستم MDM مدیریت می‌شود. اطلاعات مربوط به مشترکین توسط سیستم CIS و CRM مدیریت می‌شود.	این مشخصات، توصیف‌کننده وضعیت ظاهری کنتورها هستند.
تعمیرات و نگهداری	• تاریخ آخرین بازدید تجهیز • شرایط تجهیز در آخرین بازدید	اطلاعات مربوط به بازدید در سیستم تعمیرات و یا سیستم مدیریت پروژه نگهداری می‌شود. GIS از این اطلاعات برای ارزیابی ریسک استفاده می‌کند.	با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS می‌توان اطلاعات بازدید تجهیزات را در محل ثبت کرد.
اطلاعات دوره عمر تجهیزات	• عمر تجهیز • تاریخ سرویس تجهیز • پیش‌بینی نرخ خرابی	سیستم مدیریت اموال و ارزیابی دارایی. جهت برآورد نرخ خرابی تجهیزات کاربرد دارد.	اطلاعاتی در مورد بازه کاری و عمر مفید تجهیز
مالی	• هزینه خرید تجهیز • هزینه نصب تجهیز • هزینه نگهداری تجهیز • هزینه تعویض تجهیز • اطلاعات مالیاتی دارایی‌ها	این اطلاعات در سیستم حسابداری تأسیسات مدیریت می‌شود. می‌توان از این داده‌ها در GIS برای برنامه‌ریزی پروژه‌ها استفاده کرد.	اطلاعات مالی مثل هزینه‌های خرید و نصب تجهیزات، کد حسابداری تجهیزات و تجهیزات وابسته به یکدیگر بیشتر در زمان تهیه طرح مبتنی بر GIS کاربرد دارد.
اطلاعات مشترک	• میزان مصرف • وضعیت • سوابق • ضریب قدرت • اطلاعات دینامیک	CIS یا MDM	این اطلاعات در سیستم GIS نگهداری نمی‌شود بلکه به‌صورت سرویس دریافت می‌شود.

ران فهمید که درک اولیه‌اش از شبکه هوشمند درست بوده است. تقریباً همه بخش‌های شبکه هوشمند به نحوی با عامل مکان سروکار دارند. موقعیت تجهیزات موجود، مکان‌یابی تجهیزات جدید و ارتباط فیزیکی و مکانی تجهیزات شبکه هوشمند با سایر تجهیزات شبکه برق و محیط پیرامون، برخی جنبه‌های مکانی شبکه هوشمند هستند. برای اجرایی کردن بخش‌های مختلف شبکه هوشمند، لازم است پیش‌نیازهایی فراهم شود. یکی از مهم‌ترین پیش‌نیازهای شبکه هوشمند، استقرار یک سیستم اطلاعاتی یکپارچه و جامع مانند GIS است. در سیستم نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy تنها اطلاعات شبکه فشار متوسط وجود داشت و ارتباطی بین کنتورهای برق و شبکه توزیع برقرار نشده بود. طبیعتاً این سیستم نمی‌توانست کمک زیادی به استقرار شبکه هوشمند کند. اما سیستم جدید GIS به‌خوبی از عهده این کار برمی‌آمد. در پیشنهاد توسعه آماده شده توسط ران، به استقرار شبکه هوشمند نیز اشاره شده بود. البته، او قصد نداشت تنها بر روی این مطلب تکیه کند که GIS بسترساز شبکه هوشمند است. جمع‌بندی ران این بود که اگر بخواهد پیشنهادش به تصویب برسد، باید بیشتر بر روی این موضوع تأکید کند که GIS می‌تواند زیرساختی

برای یکپارچه‌سازی کلیه فناوری‌های نوین باشد. به‌عبارت‌دیگر، GIS زیرساخت یکپارچه‌ای را فراهم می‌کند که در بستر آن، شرکت‌های برق می‌توانند چالش‌های بزرگی که با آن روبرو هستند را بهتر درک کنند.

جدول ۱۱-۲- مدل داده مشترک، کنتور و شبکه هوشمند

نام عارضه	کلاس عارضه	نحوه نمایش در GIS	عملکرد تجهیز
زیرساخت مخابراتی شبکه هوشمند	متنوع	متنوع	به نوع سیستم مخابراتی مورد استفاده بستگی دارد.
پلاک ساختمانی	ساختمان	نقطه	هر ساختمان به‌صورت یک عارضه نقطه‌ای در داخل پلاک مشخص می‌شود. اطلاعات مربوط به مشترک و کنتور از طریق کد پلاک به GIS متصل می‌شود.
نشانگرخطا	حسگر	نقطه	نشانگرخطا جریان خطا را تشخیص می‌دهد و بر روی شبکه نصب می‌شود.
مولدهای تولید پراکنده	مولد	نقطه	مولدهای مقیاس کوچک که به شبکه متصل می‌شوند.
کنتور	حسگر	نقطه	کنتور (هوشمند و یا عادی) از طریق کابل سرویس به شبکه توزیع متصل می‌شود. این عارضه به نقطه مکانی پلاک منتسب می‌شود.

با افزایش سطح اتوماسیون شبکه و پیاده‌سازی سیستم‌های جدید مدیریت شبکه، مثل سیستم DMS، اهمیت دسترسی به یک مدل جامع و دقیق از شبکه توزیع بیشتر می‌شود. برای رسیدن به قابلیت خودترمیمی شبکه هوشمند، باید اطلاعات تأسیسات کاملا دقیق و به‌روز باشد. به‌روز نبودن اطلاعات در شرکت AnyTown Energy چالش بزرگی بود. حتی خانم لوییس نیز برای به‌روز نگاه‌داشتن سیستم TCR مشکلات زیادی داشت. ران قصد داشت مجددا با خانم لوییس ملاقات کند تا ببیند GIS چه کمکی می‌تواند به بهبود فرآیند کاری او کند. مشترکین آخرین بخش شبکه توزیع بودند که مدل داده آن‌ها توسط ران تهیه شد. ران دیگر قصد نداشت خانم ماریا را متقاعد کند که فرآیند به‌روزرسانی نقشه پایه را تغییر دهد. چون می‌دانست این کار اتلاف وقت و انرژی است. در عوض، او تصمیم داشت به خانم ماریا نشان دهد که GIS چگونه می‌تواند به پیاده‌سازی شبکه هوشمند کمک کند. اضافه شدن نیازمندی‌های شبکه هوشمند به پیشنهاد توسعه پروژه GIS می‌توانست شانس تصویب آن را بیشتر کند. از همه این‌ها گذشته، تصور پیاده‌سازی موفق شبکه هوشمند بدون دسترسی به یک زیرساخت اطلاعاتی جامع و یکپارچه مثل GIS امکان‌پذیر نیست.

حالا که ران با مفهوم شبکه هوشمند آشنا شده بود، یک استراتژی مناسب برای حرکت به سمت آینده داشت. همه آنچه او باید انجام می‌داد، پیاده‌سازی یک سیستم GIS جامع و کامل بود. او باید بین سیستم GIS و سیستم مدیریت اطلاعات مشترکین ارتباط برقرار می‌کرد. همچنین او باید فرآیندهای به‌روزرسانی اطلاعات را ارتقاء می‌داد. بعد از این کارها، سیستم GIS شرکت AnyTown Energy آماده پذیرایی از شبکه هوشمند می‌شد.

Modeling Electric Distribution with GIS

فصل دوازدهم

ساده‌سازی و بهبود فرآیندهای کاری با استفاده از GIS

سادەسازی و بهبود فرآیندهای کاری با استفاده از GIS

بعد از یک ماه فعالیت در شرکت AnyTown Energy، ران اطلاعات کافی برای مدل‌سازی داده‌ها در سیستم GIS را به دست آورده بود. او پیشنهاد خود مبنی بر توسعه شرح خدمات پروژه GIS و مدل‌سازی کلیه تجهیزات را به کمیته راهبری GIS شرکت ارائه کرده بود. اعضای کمیته با یک شرط با پیشنهاد ران موافقت کرده بودند. آن‌ها از او خواسته بودند که گزارش مزایای سیستم GIS در بهبود فرآیندهای کاری شرکت را در قالب چند نمونه واقعی آماده کند تا بتوانند آن را به مدیران ارشد سازمان ارائه کنند.

ران با همکاری اعضای تیم پروژه GIS به بررسی بخش‌هایی پرداخت که GIS می‌توانست مؤثرتر باشد. کمیته راهبری GIS این امکان را فراهم کرده بود که اعضای تیم پروژه GIS بخشی از زمان کاری خود را به همکاری با ران اختصاص دهند تا او بتواند گزارش کامل‌تری آماده کند. ران از این فرصت استفاده کرد تا ارزیابی دقیق‌تری از قابلیت‌های سیستم GIS در بهبود فرآیندهای کلیدی سازمان داشته باشد.

به‌صورت کلی سه دسته گِردش کاری در شرکت وجود داشت که می‌شد آن‌ها را به کمک GIS ارتقاء داد:

- **مدیریت دارایی:** اساسا، این همان چیزی بود که ران برای آن استخدام شده بود. از نقشه‌های موجود شرکت در برخی فرآیندِهای کاری استفاده می‌شد، اما این نقشه‌ها ناقص و غیرقابل اعتماد بودند. فرآیندهایی که مستقیما با تجهیزات شبکه در ارتباط هستند، مثل واگذاری انشعاب و پیش‌بینی بار، به داده‌های دقیق و جامع نیاز دارند. آنچه توجه ران را به خود جلب کرد آن بود که خروجی این دسته از گردش‌های کاری سازمان مستقیما با نقشه و اطلاعات تأسیسات شبکه مثل پست‌های فوق توزیع، شبکه فشار متوسط، شبکه فشار ضعیف و مشترکین در ارتباط است.
- **مدیریت کسب‌وکار:** در برخی فرآیندهای کاری سازمان مثل روابط عمومی، تدارکات و مالی تمرکز اصلی بر روی تأسیسات شبکه نیست. در این فرآیندها، هرکجا که چالش مکانی مطرح است، GIS می‌تواند راهگشا باشد. با استفاده از برنامه‌های کاربردی تهیه شده در محیط GIS می‌توان به ساده‌سازی این فرآیندهای کاری کمک کرد. ران به دنبال آن بود که دسترسی به این نوع برنامه‌ها را از طریق محیط وب فراهم کند، تا کارکنان شرکت هرکجا که باشند بتوانند از طریق کامپیوتر اداری، موبایل و یا تبلت خود از آن استفاده کنند.
- **مدیریت بهره‌برداری:** ران حالا با افرادی که در مرکز کنترل کار می‌کردند، کاملاً آشنا بود و می‌دانست که آن‌ها از برنامه‌های تخصصی خود مانند DMS، SCADA و OMS چگونه استفاده می‌کنند. او به این نتیجه رسیده بود که داده‌های مورد نیاز این برنامه‌های تخصصی را می‌توان از طریق GIS تأمین کرد. همچنین GIS به بهبود برنامه‌های SCADA و DMS کمک می‌کند و می‌تواند اطلاعات دینامیک حاصل از این سیستم‌ها را بر روی نقشه‌های جغرافیایی نمایش دهد و امکان تحلیل مکانی داده‌های دینامیکی را فراهم کند.

ران با هدف مدل‌سازی دقیق شبکه توزیع در سیستم GIS، با همکارانش در واحدهای مختلف شرکت AnyTown Energy ملاقات کرده بود و همین‌طور که آن‌ها در مورد فرآیند کاری بخش خود توضیح می‌دادند، از صحبت‌های آن‌ها یادداشت‌برداری کرده بود. او نمونه‌های زیادی را در فرآیندهای کلیدی سازمان شناسایی کرده بود که GIS می‌توانست باعث بهبود آن‌ها شود.

مدیریت دارایی

ران بر اساس مطالعاتش دریافت که اصلاح فرآیند واگذاری انشعاب یکی از اولویت‌های کاری او پس از پیاده‌سازی سیستم GIS است. در گزارش شرکت مشاور هم به این موضوع اشاره شده بود. این فرآیند کاری وابستگی شدیدی به داده‌های مکانی دارد و بهبود آن می‌تواند توانمندی‌های سیستم GIS را اثبات کند.
ران متوجه شد که در شرکت‌های توزیع هر فعالیتی از طریق ایجاد دستورکار شروع می‌شود، مثل دستورکار نوسازی. زمانی که دستورکاری مصوب می‌شود به آن یک شماره اختصاص پیدا می‌کند. به نظر ران رسید که همه فعالیت‌های شرکت بر محور شماره دستورکار می‌گردد (برخی مواقع شماره شیت نقشه هم در کنار شماره دستورکار قرار می‌گیرد). درواقع، با تعریف یک دستورکار، یک گردش کاری به جریان می‌افتد. دستورکار زمانی بسته می‌شود که همه مراحل آن تکمیل شود، هزینه‌ها پرداخت شود و حسابداری تأسیسات فعالیت‌های صورت گرفته، انجام شود.
ران متوجه شد که بخش‌های مختلفی متولی تعریف دستورکار هستند. مراجع تعریف دستورکار شامل موارد زیر می‌شوند:

- صدور دستورکار نصب انشعاب جدید بر اساس درخواست متقاضی و یا نماینده متقاضی (مثل پیمانکار برق)
- صدور دستورکار توسط واحد برنامه‌ریزی به‌منظور اضافه کردن تأسیسات جدید برای پاسخگویی مناسب به رشد بار، بهبود قابلیت اطمینان و یا به‌کارگیری فناوری‌های جدید مثل شبکه هوشمند
- صدور دستورکار توسط واحد مدیریت دارایی به‌منظور تعویض و یا تعمیر یک تجهیز با در نظر گرفتن هزینه به فایده نگهداری تجهیز
- صدور دستورکار توسط واحد بهره‌برداری به‌منظور انجام عملیات بازرسی و یا تعمیرات تجهیزات معیوب شبکه
- صدور دستورکار بر اساس درخواست سایر ارگان‌ها، مثل، جابه‌جایی تأسیسات شبکه برق به‌منظور تعریض یک خیابان و یا علامت‌گذاری کابل‌های زیرزمینی بر روی معبری که قرار است از آن لوله گاز عبور کند.

جاری یا سرمایه‌ای؟

پرونده دستورکار، شامل مستندات کلیه مراحل تعریف و اجرای پروژه است. پروژه‌ها در شرکت‌های توزیع به دو دسته جاری و سرمایه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند. در پروژه‌های سرمایه‌ای به ارزش دارایی‌های شرکت اضافه می‌شود، درحالی‌که پروژه‌های جاری فاقد این ویژگی هستند. نصب انشعاب جدید و تعویض پایه، نمونه‌هایی از پروژه‌های سرمایه‌ای هستند. تعمیر قفل درب تابلو و یا محکم کردن یک اتصال سست، نمونه‌هایی از پروژه‌های جاری هستند.
همان‌طور که گفته شد در پروژه‌های سرمایه‌ای به ارزش تجمعی دارایی‌های شرکت افزوده می‌شود. نصب پایه، شبکه، ترانسفورماتور و تعویض تجهیزات قدیمی و فرسوده با تجهیزات نو نمونه‌هایی از دستورکارهای سرمایه‌ای هستند. سازمان‌های نظارتی نرخ خدمات شرکت‌های توزیع را بر اساس میزان سرمایه‌گذاری در تجهیزات منصوبه تعیین می‌کنند. با نصب تجهیزات جدید، ارزش دارایی‌های شرکت توزیع افزایش پیدا

می‌کند. بنابراین بسیار مهم است که فرآیند حسابداری تأسیسات با دقت و سرعت مناسب انجام شود. هرچه دستورکارها سریع‌تر بسته شوند، صورت‌های مالی شرکت شفاف‌تر می‌شود. ران اطمینان داشت که GIS به افزایش سرعت بسته شدن دستورکارها کمک خواهد کرد.

دستورکارهای جاری مربوط به فعالیت‌هایی می‌شوند که ارزش دارایی‌های شرکت را افزایش نمی‌دهند. از پروژه‌های جاری می‌توان به بازدید و نظافت تجهیزات شبکه که در طی آن امکان دارد برخی اجزای کوچک، مثل فیلتر و یا روغن تعویض شود، اشاره کرد. هزینه‌های مربوط به تعویض اجناس مصرفی مثل لامپ، باطری، کانکتور و براکت نیز در بخش جاری دسته‌بندی می‌شود. پس از وقوع طوفان، هزینه کارگرانی که شبکه را به وضعیت عادی بازمی‌گردانند در سرفصل جاری محاسبه می‌شود. بااین‌حال، اگر شرکت توزیع پایه‌ای که در اثر طوفان شکسته است را با یک پایه نو تعویض کند، هزینه آن در بخش سرمایه‌ای ثبت می‌شود. شرکت‌های توزیع پول‌های صرف شده برای تعمیرات را به‌عنوان هزینه‌های ضروری به سازمان‌های نظارتی اعلام می‌کنند، بنابراین این هزینه‌ها به‌صورت مستقیم بر سود خالص شرکت تأثیر دارند. ران با خود اندیشید که اگر GIS بتواند باعث ساده‌سازی فرآیند تعمیرات و نگهداری و درنتیجه کاهش هزینه‌های این بخش شود، می‌تواند درآمد شرکت را افزایش دهد.

استفاده از آحاد پروژه

ران کلمه آحاد پروژه (CU) را زیاد از کارکنان شرکت شنیده بود. او معنی این اصطلاح را در اینترنت جستجو کرد اما چیزی دستگیرش نشد. بنابراین برای گرفتن مشورت با خانم فلو تماس گرفت. او برای ران توضیح داد که کاربرد آحاد پروژه به سیستم‌های اولیه مدیریت دستورکار برمی‌گردد. با استفاده از آحاد پروژه، شرکت‌های توزیع می‌توانند یکسری فعالیت‌های پرتکرار و هزینه‌های اجرای آن‌ها را استانداردسازی کنند (به‌جای آنکه هر بار برای انجام فعالیت مشابه برآورد هزینه صورت گیرد). شرکت‌های توزیع پس از اتمام دستورکارها و ارزیابی دقیق هزینه تمام شده می‌توانند در آحاد پروژه تعریف شده بازنگری داشته باشند. به این ترتیب همواره یک بازخورد کنترلی وجود دارد که به برآورد دقیق‌تر هزینه هر نوع کار کمک می‌کند. هر آحاد پروژه شامل کلیه تجهیزات مورد نیاز و هزینه تأمین و نصب آن‌ها می‌شود.

آحاد پروژه درواقع یک واحد کاری است که می‌تواند در یک نقطه مشخص و یا یک منطقه مشخص انجام شود. به‌عنوان مثال، آحاد پروژه نصب یک پایه چوبی ۱۲متری کلاس دو، شامل هزینه خرید پایه، حمل پایه، حفر گود، نصب پایه، پر کردن گودال، صاف کردن زمین اطراف گود و هر هزینه دیگر مربوط به این واحد کاری می‌شود. اطلاعات مورد نیاز سیستم حسابداری تاسیسات و کد اجناس در آحاد پروژه تعریف شده است. با توجه به اینکه هر پروژه شامل یکسری فعالیت‌های مشخص و متمایز است، آحاد پروژه کاربردهای زیادی در شرکت‌های توزیع دارد. از آحاد پروژه برای فعالیت‌های موردی مثل طراحی و احداث پست فوق توزیع استفاده نمی‌شود. چون این دست پروژه‌ها بسیار کم تکرار هستند و در عین حال، از پیچیدگی زیادی برخوردارند. از آحاد پروژه بیشتر برای پروژه‌های متداول و پرتکرار مثل فعالیت بر روی شبکه‌های فشار متوسط و فشار ضعیف استفاده می‌شود.

اتصال با GIS

کارشناس طراحی می‌تواند به یک نقطه و یا یک محدوده بر روی نقشه، لیستی از آحاد پروژه اختصاص دهد. در ادامه، لیست مصالح پروژه، نفر ساعت مورد نیاز جهت انجام پروژه، هزینه اجرای پروژه و کد حسابداری تاسیسات اجناس مصرفی بر اساس آحاد پروژه اختصاص داده شده، استخراج می‌شوند. با در نظر گرفتن قیمت تجهیزات در سیستم لیست مصالح و دستمزد نیروی کار، می‌توان هزینه‌های کلی دستورکار را برآورد کرد.

شرکت توزیع می‌تواند با استفاده از آحاد پروژه، هزینه نصب انشعاب جدید را برآورد کند و قبل از انجام کار، پول آن را از متقاضی بگیرد.
پس از اتمام عملیات اجرایی پروژه، تجهیزات مصرف شده و همچنین زمان انجام کار توسط پیمانکار گزارش می‌شود. ناظر پروژه وظیفه دارد فعالیت‌های پیش‌بینی شده بر اساس آحاد پروژه را با اقدامات واقعی صورت گرفته در محل مقایسه و گزارش آن را تهیه کند. سپس، بعد از یک یا دو سال، هر آحاد پروژه‌ای را که با میزان واقعی کار انجام شده مغایرت داشته باشد، می‌توان اصلاح کرد. برای بستن یک دستورکار باید هزینه‌های واقعی اجرای پروژه تعیین شود و نتیجه آن در سیستم حسابداری تأسیسات ثبت گردد.
هر آحاد پروژه معمولاً شامل یک دستورالعمل اجرا نیز می‌شود که در آن لیست تجهیزات مورد نیاز، نقشه اجرای کار و جزئیات آموزشی نحوه انجام کار آمده است (ران با دیدن دستورالعمل‌های اجرا به یاد دستورالعمل نصب و راه‌اندازی دوچرخه برادر زاده‌اش افتاد). بنابراین آحاد پروژه شامل کلیه مصالح مورد نیاز برای انجام کار، نیروی انسانی مورد نیاز برای اجرای کار (شامل نفر ساعت مورد نیاز برای اجرای کار و حتی سطح تخصصی مورد نیاز برای کارگران مثل سیمبان درجه دو)، اطلاعات حسابداری تأسیسات و دستورالعمل اجرا می‌شود. برای تهیه طرح هر دستورکار می‌توان از یکسری آحاد پروژه استفاده کرد. بنابراین کار طراح این است که ابتدا نقطه و یا محدوده تهیه طرح را مشخص و سپس آحاد پروژه مورد نیاز را انتخاب کند. با توجه به اینکه آحاد پروژه به یک نقطه مکانی اختصاص پیدا می‌کند، به نظر ران رسید که اینجا نقطه اتصال با GIS است. طراح باید این امکان را داشته باشد که محدوده مکانی طرح را بر روی نقشه‌های سیستم GIS تعیین کند.

فرآیند فعلی واگذاری انشعاب

با وجود اینکه شرکت AnyTown Energy از آحاد پروژه در سیستم مدیریت دستورکار استفاده می‌کرد، اما مراحل کاری این سیستم پیچیده و ناهماهنگ بود. ران تصمیم گرفت برای آشنایی بیشتر با فرآیند واگذاری انشعاب، بازدیدی از مرکز تماس واحد خدمات مشترکین داشته باشد.
در این مرکز، درخواست انشعاب متقاضیان به‌صورت تلفنی ثبت و پیگیری می‌شد. ران از نزدیک شاهد بود که اپراتور مرکز تماس چگونه اطلاعات مربوط به متقاضی مثل آدرس محل تقاضا و شماره مجوز پیمانکار برقی را دریافت می‌کند. یک پرده بزرگ نیز بر روی دیوار مرکز تماس نصب شده بود که بر روی آن نوشته بود: "هیچ دستورکاری بدون شماره مجوز پیمانکار برقی در سیستم ثبت نشود."
ران پشت کامپیوتر نشست و وارد سیستم مدیریت پروژه شد تا با گردش کاری دستورکارهای واگذاری انشعاب بیشتر آشنا شود. یکی از مواردی که توجه ران را به خود جلب کرد، دستورکار شماره ۵۷۸۷۶۵۲۳۱ بود. متقاضی انشعاب، موسسه مالی AnyTown Saving and Loan و پیمانکار برقی پروژه، شرکت Union Electrical بود. در این پروژه قرار بود به دستگاه خودپرداز جدید بانک برق‌رسانی شود. دستگاه خودپرداز در مقابل درب ورودی پارکینگ موسسه نصب شده بود. این پروژه به نظر ساده و سرراست می‌رسید. اپراتور مرکز تماس، اطلاعات مربوط به درخواست انشعاب شامل آدرس پروژه، شماره مجوز پیمانکار برقی و توضیحاتی در خصوص نحوه انجام کار را در سیستم مدیریت پروژه ثبت کرده بود. طبق تاریخ ثبت شده در سیستم، هنوز شش هفته از مهلت انجام پروژه توسط شرکت باقی مانده بود. اپراتور مرکز تماس در بخش توضیحات این دستورکار ثبت کرده بود که پیمانکار از بازه زمانی تعیین شده توسط شرکت ناراضی است و قصد دارد یک شکوائیه برای مدیرعامل بنویسد. ران بعدها متوجه شد که سایر پیمانکاران نیز دل خوشی از فرآیند واگذاری انشعاب شرکت AnyTown Energy ندارند.

شاخص مدت زمان واگذاری انشعاب که توسط مدیران ارشد سازمان تصویب شده بود، از لحظه تصویب دستورکار محاسبه می‌شد و نه از زمان درخواست متقاضی. هیچ‌کس در سیستم مدیریت پروژه تاریخ مطلوب متقاضی برای برق‌رسانی را ثبت نمی‌کرد. به اعتقاد خانم ماریا، "انتظارات مردم از شرکت برق غیرواقع‌بینانه است". او همیشه شکایت داشت، "متقاضیان برای درخواست انشعاب برق در آخرین دقایق با ما تماس می‌گیرند". او به دنبال برگزاری یک سمینار توجیهی برای پیمانکاران برقی بود تا آن‌ها را با مشکلات موجود در مسیر اجرای پروژه‌ها بیشتر آشنا کند. ران به یاد اولین جلسه توجیهی با مدیران میانی شرکت افتاد. در آن جلسه، کاهش مدت زمان واگذاری انشعاب از ۹۰ روز به ۶۰ روز جزو افتخارات سازمان مطرح شده بود. آن زمان این موضوع برای او قدری عجیب بود، اما حالا با توجه به شناختی که از فرآیند واگذاری انشعاب پیدا کرده بود، اطمینان داشت که می‌توان روال موجود را بهبود داد.

درواقع، منظور خانم ماریا از "دقیقه آخر"، دو هفته قبل از زمانی بود که متقاضی به برق احتیاج داشت. به اعتقاد ران، مهلت دوهفته‌ای برای واگذاری یک انشعاب ساده زمان کمی نیست. بااین‌حال، عملکرد شرکت AnyTown Energy در زمینه واگذاری به‌موقع انشعاب متقاضیان مطلوب نبود و پایین‌تر از حد انتظار قرار داشت. نبود شفافیت کافی در نحوه اجرای این فرآیند، یکی از مشکلات بزرگ شرکت بود. ران تصویری از یک برنامه تحت وب پیدا کرد که در آن موقعیت مکانی هر پروژه به همراه زمان شروع آن بر روی نقشه نمایش داده شده بود (شکل ۱۲-۱). بعدا او می‌توانست یکسری شاخص‌های آماری مثل زمان تأخیر را نیز به این برنامه اضافه کند. بعد از پیاده‌سازی سیستم GIS، او از این نمونه برنامه‌ها زیاد استفاده خواهد کرد.

شکل ۱۲-۱- نمایش وضعیت و موقعیت مکانی دستورکارها در سیستم GIS
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

ران چیزهای دیگری هم در مورد فرآیند واگذاری انشعاب آموخت: پس از ثبت درخواست متقاضی در سیستم مدیریت دستورکار، برای پروژه یک طراح تعیین می‌شود. کارشناس طراح وظیفه دارد آحاد پروژه

مورد نیاز دستورکار را تعیین کند. برای این منظور، طراح ابتدا باید اطلاعات لازم را در خصوص وضعیت شبکه موجود محل تقاضا کسب کند. او نمی‌تواند به سیستم نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy اعتماد کند، چون این نقشه‌ها ناقص هستند و خیلی از جزئیات به همراه اطلاعات شبکه فشار ضعیف و مشترکین در آن‌ها وارد نشده است.

کارشناسان طراحی مجبور هستند که از همه پروژه‌ها به‌صورت میدانی بازدید کنند. آن‌ها برای ارزیابی دقیق کارهایی که باید انجام شود، باید با کاغذ و قلم در محل حاضر شوند و نکات مورد نیاز را یادداشت برداری کنند. ران با خودش فکر کرد که این بازدیدهای میدانی، فارغ از زمانی که به خود اختصاص می‌دهند، به هزینه‌های اجرای هر دستورکار اضافه می‌کنند. بعد از بازدید میدانی، کارشناس طراحی، محدوده تقاضا را از سیستم نقشه‌برداری شرکت پرینت می‌گیرد و طرح را بر روی این نقشه ترسیم می‌کند. در ادامه، نقشه طرح به همراه آحاد پروژه مورد نیاز دستورکار در سیستم ثبت می‌شود. برای دستورکار ۵۷۸۷۶۵۲۳۱، طراح در بخش توضیحات یادداشت کرده بود که او پس از مراجعه به محل، فاصله دستگاه خودپرداز تا نزدیک‌ترین پست توزیع را با استفاده از چرخمتر اندازه‌گیری کرده است. اگر فاصله زیاد باشد، ممکن است نیاز به احداث پست جدید باشد. موضوعی که بدون شک در مذاکرات اولیه با متقاضی مطرح نشده است و می‌تواند هفته‌ها اجرای پروژه را با تأخیر مواجه کند.

ران متوجه شد که جای یک سیستم جامع اطلاعاتی در مدیریت این فرآیند خالی است. این سیستم اطلاعاتی باید شامل کلیه دارایی‌های شرکت باشد. او تصمیم گرفت، سیستم مکانیزه مدیریت دستورکار را در بستر سیستم GIS راه‌اندازی کند. با انجام این کار، صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌های شرکت می‌شود و از طرف دیگر، زمان اجرای پروژه‌ها نیز کاهش می‌یابد.

ران تصمیم گرفت برای برآورد دقیق‌تر این موضوع، یک حساب و کتاب سرانگشتی انجام دهد: در شرکت AnyTown Energy هر سال به‌طور متوسط ۲۰۰۰۰ انشعاب جدید واگذار می‌شود. فرض کنیم طراح برای هر دستورکار تنها یک بار از محل بازدید کند (در واقعیت امکان دارد طراح چندین بار به محل مراجعه کند) و متوسط زمان هر بازدید نیز دو ساعت باشد. بدون در نظر گرفتن هزینه سوخت و استهلاک خودرو، هزینه این بازدیدهای میدانی در طی سال، معادل حقوق سالیانه ۲۰ نفر کارشناس است.

نکته دیگری که ران در مورد سیستم مدیریت دستورکار متوجه شد این بود که هر طراحی به سلیقه خود مستندات مربوطه را تکمیل می‌کند. برخی طرح دستی را بر روی پرینت نقشه محل کشیده‌اند، برخی از ابزارهای ترسیم استفاده کرده‌اند و تعداد کمی هم نقشه را به کمک سیستم اتوکد ترسیم کرده‌اند. فارغ از روش ترسیم طرح، درنهایت برگه‌های کاغذی نقشه طراحی و لیست آحاد پروژه به پرونده دستورکار اضافه می‌شوند.

با استفاده از یک سیستم GIS جامع، می‌توان کلیه اطلاعات توصیفی مورد نیاز پروژه به همراه آدرس و محل اجرای دستورکار را به‌صورت مکانیزه در اختیار پیمانکار قرار داد. حتی می‌توان از طریق بستر وب این اطلاعات را انتقال داد.

ران متوجه شد زمانی که یک انشعاب جدید، مثل دستگاه خودپرداز، به سیستم اضافه می‌شود، میزان بارگذاری ترانسفورماتور تغذیه‌کننده مشترک افزایش می‌یابد. با بررسی گردش کار پروژه ۵۷۸۷۶۵۲۳۱، ران مشاهده کرد که اطلاعات طرح پیشنهادی برای ارزیابی بار ترانسفورماتور تغذیه کننده به واحد TCR ارجاع شده است. خانم لوییس و همکارانش در واحد TCR وظیفه داشتند بررسی کنند که آیا ظرفیت خالی ترانسفورماتور جوابگوی تغذیه بار اضافه شده به سیستم هست یا خیر. مرحله پیشرفت دستورکار در نرم‌افزار مدیریت پروژه به وضعیت "در حال انجام" در آمده بود، اما فیزیک پرونده در کنار حجم عظیمی از پرونده‌های کاغذی در صف انتظار قرار داشت. ران الان بهتر می‌فهمید که چرا خانم لوییس همیشه

غمگین و نگران است. حجم کار خانم لوییس و همکارانش بسیار زیاد بود. درنتیجه، استعلامی که می‌توانست یک روزه پاسخ داده شود، چندین روز زمان می‌برد. با توجه به حجم بالای پرونده‌های بررسی نشده، خانم لوییس نمی‌توانست ارزیابی دقیقی از میزان ظرفیت خالی ترانسفورماتورها داشته باشد، زیرا امکان داشت بارهایی به ترانسفورماتور اضافه شده باشند که هنوز نوبت بررسی پرونده آن‌ها نرسیده باشد. اگر یک دستورکار به مجوز حفاری و یا سایر مجوزها نیاز داشته باشد، زمان دریافت آن به زمان پروژه اضافه می‌شود. به‌عنوان مثال، برای دریافت یک مجوز حفاری، ابتدا نقشه طرح و فرم مجوز حفاری در قالب یک پرونده کاغذی برای واحد برنامه‌ریزی دولت محلی ارسال می‌شود. سپس سه‌شنبه هر هفته، یک نفر از شرکت AnyTown Energy به ساختمان دولت محلی مراجعه می‌کند و مجوزهای حفاری به همراه نقشه کاغذی اطلاعات مربوط به سایر تأسیسات شهری در محدوده تعیین شده را دریافت می‌کند. ران با توجه به تجربیاتی که از کار سابق خود داشت، می‌دانست که دولت محلی زیرساخت لازم جهت صدور الکترونیکی مجوزهای مورد نیاز را دارد.

پرونده قطورتر می‌شود

زمانی که طرح تهیه شد، ترانسفورماتور تغذیه‌کننده مشترک مشخص شد و مجوزهای مورد نیاز آماده شد، پرونده دستورکار برای نظارت بر اجرا به واحد آقای استنلی ارسال می‌شود. چنانچه در زمان اجرای پروژه تغییراتی نسبت به طرح اولیه به وجود بیاید، ناظر پروژه تغییرات احتمالی توصیفی و مکانی را بر روی نقشه علامت‌گذاری می‌کند. درنهایت، نقشه‌های ازبیلت شده به پرونده دستورکار اضافه می‌شود. ران داشت با خودش فکر می‌کرد که قطر پرونده ۵۷۸۷۶۵۲۳۱ تا انتهای کار چقدر خواهد شد.

با این گردش کاری، خانم ماریا حق داشت که بگوید دو هفته برای واگذاری یک انشعاب زمان کمی است. زیرا به غیر از زمان مورد نیاز برای تهیه طرح، دریافت مجوزهای لازم و هماهنگی با بخش TCR زمان قابل‌توجهی را به خود اختصاص می‌داد. اگر واحد TCR اعلام کند که ترانسفورماتور پیشنهادی ظرفیت کافی ندارد، احتمالا موسسه مالی AnyTown Savings and Loan برای همیشه از نصب دستگاه خودپرداز منصرف خواهد شد.

بااین‌حال، حتی پس از عملیات اجرایی دستورکار ۵۷۸۷۶۵۲۳۱ هنوز پروژه خاتمه نیافته است. در این مرحله، پرونده برای به‌روزرسانی به واحد نقشه‌برداری شرکت ارسال می‌شود. البته همان‌طور که قبلا توضیح داده شد، تنها اطلاعات شبکه فشار متوسط در سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت ثبت می‌شود. سپس، پرونده برای واحد حسابداری تأسیسات ارسال می‌شود. در این واحد، اطلاعات مربوط به دارایی‌های شرکت به‌روزرسانی می‌شود. با توجه به اتمام عملیات اجرایی پروژه و همچنین برق‌دار شدن مشترک، دیگر انگیزه کافی برای ثبت دقیق و به‌موقع اطلاعات در سیستم حسابداری تأسیسات شرکت وجود ندارد.

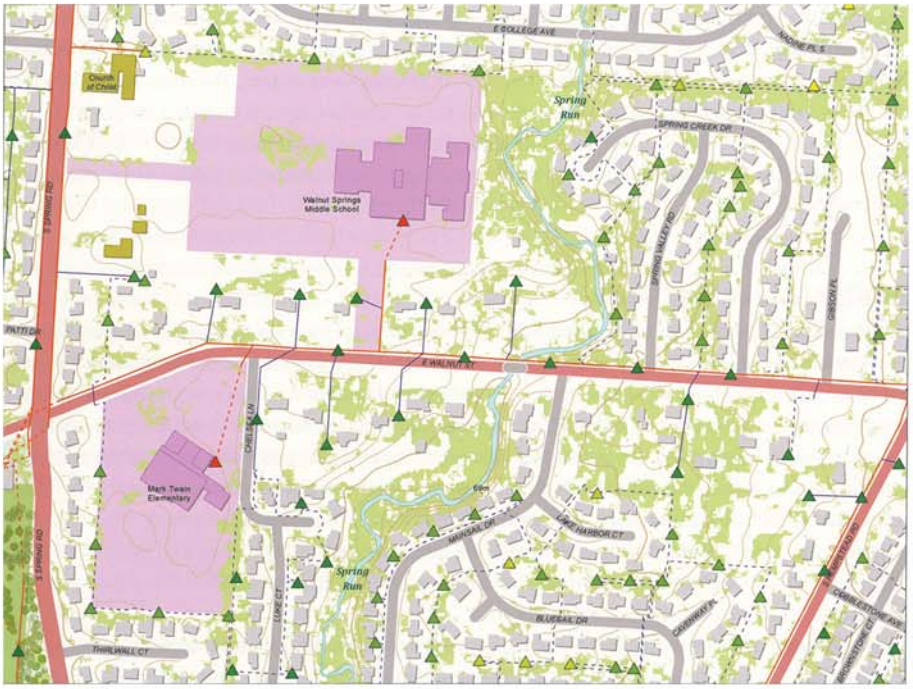
همان‌طور که انتظار می‌رفت، ران در طی بازدیدی که از واحد حسابداری تأسیسات داشت، متوجه حجم انبوهی از پرونده‌های کاغذی شد که بر روی هم انباشته شده بودند. ران حالا دیگر می‌دانست که این پرونده‌ها چه هستند، بنابراین زحمت سؤال کردن را به خود نداد. درنهایت، پرونده دستورکار ۵۷۸۷۶۵۲۳۱ بقیه عمر خود را در این واحد خواهد گذارند، البته نه در آینده نزدیک. ولی روزی خواهد رسید که یک نفر در واحد حسابداری تأسیسات به‌صورت رسمی این دستورکار را خاتمه می‌دهد و بدین ترتیب، گردش کار پروژه به انتها می‌رسد.

گردش کاری پیشنهادی در GIS

ران با خودش فکر کرد که چه فرصت بهبود خوبی. با یکپارچه‌سازی فرآیند واگذاری انشعاب با سیستم GIS،

جدا از صرفه‌جویی در زمان و هزینه، می‌توان میزان رضایتمندی مشترکین را افزایش داد. ران فهرستی از اقداماتی که می‌تواند باعث بهبود فرآیند واگذاری انشعاب شود، تهیه کرد:

- مکانیزه و الکترونیکی کردن ارتباط با سایر سازمان‌های خدماتی مثل شهرداری و دولت محلی
- حذف سیستم TCR
- دریافت اطلاعات آخرین وضعیت بار ترانسفورماتور از طریق وب سرویس (ران برای ارائه بهتر این پیشنهاد، یک نقشه نمونه از طرحی که در ذهن داشت آماده کرد (شکل۱۲-۲).)
- ارائه کلیه اطلاعات توصیفی و مکانی مورد نیاز پیمانکاران از طریق بستر وب
- به‌روزرسانی تغییرات زمان اجرای پروژه‌ها با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS
- اتوماتیک کردن به‌روزرسانی اطلاعات سیستم حسابداری تأسیسات



شکل ۱۲-۲- نمایش وضعیت بار ترانسفورماتورها بر روی نقشه GIS:
مثلث‌های سبز رنگ مربوط به ترانسفورماتورهای با بار عادی و مثلث‌های قرمز رنگ مربوط به ترانسفورماتورهای پربار هستند.
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

ران چگونه می‌توانست از سیستم GIS برای ساده‌سازی فرآیند واگذاری انشعاب استفاده کند؟ سیستم مدیریت پروژه مبتنی بر GIS چگونه باید طراحی می‌شد؟ پس از سال‌ها فعالیت در دولت محلی، ران می‌دانست که کلیه مجوزهای مورد نیاز جهت اجرای پروژه‌ها را می‌توان به‌صورت الکترونیکی صادر کرد و از طریق بستر وب و بدون مراجعه به سایر ارگان‌های خدماتی، پاسخ استعلام را دریافت نمود. با استفاده از خدمات الکترونیکی، ران می‌توانست سرعت گردش کار فرآیند را افزایش دهد. متقاضیان انشعاب برق می‌توانند به سایت شرکت AnyTown Energy مراجعه و درخواست خود را در بخش مربوطه ثبت کنند. به‌جای نوشتن آدرس، متقاضیان می‌توانند محل درخواست برق را بر روی نقشه مشخص کنند. شماره مجوز پیمانکار برقی را نیز می‌توان به‌صورت الکترونیکی ثبت کرد و کارکنان مرکز تماس واحد خدمات مشترکین، می‌توانند پرده نصب شده بر روی دیوار این مرکز را پایین بیاورند.

کلیه اطلاعات مورد نیاز برای دریافت مجوز اعم از موقعیت اجرای پروژه و همچنین نقشه طرح را می‌توان از سیستم GIS دریافت و از طریق بستر وب برای سایر شرکت‌های خدماتی ارسال کرد. کارشناس طراحی می‌تواند اطلاعات شبکه موجود را از سیستم GIS استخراج کند و دیگر نیاز کمتری به مراجعه به محل خواهد داشت. با استفاده از ابزارهای تحلیل شبکه سیستم GIS، می‌توان آخرین وضعیت بارهای تغذیه شونده توسط ترانسفورماتور را گزارش گرفت و به‌صورت مکانیزه امکان برق‌رسانی به متقاضی جدید را تعیین کرد. با این حساب، دیگر نیازی به سیستم TCR نیست و می‌توان این سیستم را حذف کرد. پس از نهایی شدن طرح برق‌رسانی، می‌توان هزینه اجرای پروژه و لیست مصالح مورد نیاز را به‌صورت خودکار تهیه کرد. با اتمام مرحله طراحی، وضعیت دستورکار در سیستم مدیریت پروژه وارد مرحله پرداخت هزینه می‌شود و اطلاع‌رسانی لازم به متقاضی صورت می‌گیرد. سپس، متقاضی می‌تواند به سایت شرکت مراجعه کرده و هزینه اجرای پروژه را به‌صورت الکترونیکی پرداخت کند. در ادامه، مجوزهای مورد نیاز با استفاده از سیستم GIS به‌صورت الکترونیکی صادر و از طریق بستر وب، برای ارگان‌های ذی‌ربط ارسال می‌گردد. از طریق بستر ارتباطی فراهم شده، دریافت مجوزها و موافقت‌نامه‌ها در اسرع وقت انجام خواهد شد.

در مرحله بعد، دستورکار به‌صورت الکترونیکی برای پیمانکار مجری پروژه ارسال می‌شود. همچنین یک نسخه از دستورکار، از طریق سیستم مدیریت پروژه برای همکاران آقای استنلی ارسال می‌شود تا نظارت لازم را بر اجرای بهینه طرح انجام دهند. ناظرین اجرایی می‌توانند از طریق موبایل و یا تبلت به نقشه طرح دسترسی داشته باشند و کلیه تغییرات زمان اجرا را بر روی نقشه ثبت کنند. پس از انجام پروژه و ثبت تغییرات زمان اجرا، اطلاعات سیستم حسابداری تأسیسات از طریق ارتباط با سیستم GIS به‌صورت خودکار به‌روز می‌شود.

قابلیت‌های سیستم GIS در بهبود فرآیند مدیریت دستورکار

با توجه به جامع بودن سیستم GIS، این سیستم می‌تواند گردش‌های کاری مختلف را یکپارچه کند و از این طریق باعث ساده‌سازی فرآیندها شود. با استفاده از سیستم GIS، سرعت بسته شدن دستورکارها بیشتر می‌شود. علاوه بر این، در هزینه‌های نیروی انسانی، خودرو و دریافت مجوز، صرفه‌جویی قابل‌توجهی به وجود خواهد آمد. شاید نتوان همه دستورکارها را به‌سادگی مثالی که مطرح شد پیش برد اما بدون شک، استفاده از سیستم GIS کمک شایانی به بهبود سیستم مدیریت دستورکار خواهد کرد. ران اطمینان داشت با عملیاتی سازی موفق سیستم مدیریت دستورکار مبتنی بر GIS می‌توان از این تجربه در سایر گردش کاری‌های سازمان نیز استفاده کرد.

ران نمونه‌هایی از قابلیت‌های شاخص سیستم GIS در بهبود گردش کار مدیریت دستورکارها را به شرح زیر فهرست کرد:

- امکان دسترسی به اطلاعات سیستم GIS برای کاربران داخل سازمان و همچنین بیرون از سازمان
- امکان مشاهده پیشرفت مراحل کاری دستورکارها به‌صورت مکانی و بر روی نقشه‌های سیستم GIS
- استفاده از سیستم GIS برای مکانیزه کردن تهیه طرح و مستندات مورد نیاز
- یکپارچه‌سازی سیستم مدیریت پروژه، سیستم لیست مصالح و سیستم حسابداری تأسیسات با استفاده از سیستم GIS
- اتوماتیک کردن برخی فعالیت‌ها با استفاده از پردازش‌های مکانی (geoprocessing)
- افزایش سرعت اجرای فرآیند از طریق مکانیزه کردن فعالیت‌ها
- استفاده از تکنولوژی موبایل GIS برای ثبت تغییرات زمان اجرا و همچنین انتقال اطلاعات مربوط به وضعیت شبکه

ساده‌سازی سایر فرآیندها

دستورکارهای سرمایه‌ای به نصب انشعاب جدید خلاصه نمی‌شود. ممکن است واحد برنامه‌ریزی یک دستورکار توسعه ظرفیت موجود شبکه به‌منظور پیش‌بینی افزایش بار مصرفی و یا یک پروژه بهبود قابلیت اطمینان تهیه کند. برخی از دستورکارها بر اساس نیاز سایر شرکت‌های خدماتی ایجاد می‌شود، مثل درخواست جابه‌جایی شبکه برق برای تعریض یک خیابان. برخی از پروژه‌های سرمایه‌ای برای توسعه شبکه هوشمند تصویب می‌شود، مثل نصب تجهیزات مخابراتی جدید. قطعا فرآیند تعمیرات و نگهداری تجهیزات را نیز می‌توان با دسترسی به داده‌های به‌روز و دقیق ارتقاء داد. با استفاده از تکنولوژی موبایل GIS می‌توان نتایج بازدیدها را در محل ثبت کرد و اطلاعات مربوط به آخرین وضعیت شبکه را در اختیار کلیه واحدها قرار داد. به اعتقاد ران، فارغ از اینکه دستورکار توسط چه واحدی صادر شود، دسترسی به اطلاعات جامع، کامل و به‌روز در همه‌جا و در هر زمان و با ابزارهای مختلف (دسکتاپ، وب و موبایل) می‌تواند به ساده‌سازی فرآیندها و گردش‌های کاری در شرکت AnyTown Energy کمک کند.

تعمیرات و نگهداری

واحد تحت مدیریت آقای استنلی بیشتر وقت خود را صرف بازدید از شبکه، گزارش معایب و تعمیر بخش‌های آسیب‌دیده می‌کند. استنلی دل خوشی از پروژه‌های تعریف شده توسط دفتر برنامه‌ریزی نداشت. به اعتقاد او، این پروژه‌ها به نسبت مشکلاتی که او در شبکه می‌بیند از اولویت پایینی برخوردار است. از طرف دیگر، پروژه‌های تهیه شده در واحد برنامه‌ریزی با فعالیت‌های بخش او هماهنگ نیست. در طول سالیان متمادی، توان کاری بخش او به دلیل کمبود بودجه و بازنشسته شدن پرسنل باتجربه، تحلیل رفته است. از طرف دیگر، هزینه‌های اضافه‌کاری پرسنل افزایش قابل‌توجهی پیدا کرده است. البته زمانی که دست شما خالی باشد تنها راه مواجهه با افزایش حجم کاری، زیاد کردن ساعت اضافه‌کاری پرسنل است. همچنین او کاملا درک کرده بود که عمر شبکه مانند سن او در حال افزایش است.

استنلی به ران گفت که اگر او از پروژه‌های در دست اقدام واحد برنامه‌ریزی اطلاع داشت، دیگر وقت گروه خود را برای تعمیر تجهیزی که قرار است تا چند روز دیگر دستورکار تعویض آن صادر شود، تلف نمی‌کرد. پیش آمده که گروه او یک روز کامل را صرف تعمیر یک سکسیونر ساده هوایی کرده است. دو هفته بعد، دستورکاری به دست استنلی رسیده که طبق آن باید سکسیونر هوایی با یک سکسیونر گازی موتوردار تعویض شود. زمانی که استنلی داشت این تجربه ناخوشایند را برای ران تعریف می‌کرد، شانه‌های خود را به پایین انداخت و از ته دل آه بلندی کشید.

ران می‌دانست که واحد برنامه‌ریزی از نقشه‌های موجود شرکت در حد پرینت گرفتن استفاده می‌کند. به کمک سیستم GIS می‌توان زبان مشترکی بین واحدهای مختلف ایجاد کرد. او به استنلی گفت که با استقرار سیستم GIS، پرسنل او می‌توانند نتایج بازدیدها را در محل و بر روی نقشه ثبت کنند. بنابراین به محض اینکه مشکلی در شبکه مشاهده شود، می‌توان به واحدهای ذی‌ربط اطلاع‌رسانی کرد. استنلی با هیجان زیادی پرسید: "یعنی فرم‌های کاغذی بازدید را کنار بگذاریم؟"

ران یک تبلت به دست استنلی داد و گفت: "به‌جای فرم‌های کاغذی می‌توانید از این وسیله استفاده کنید. این دستگاه به‌صورت مستقیم به سیستم GIS وصل می‌شود و اطلاعات ثبت شده توسط همکاران تو به صورت آنلاین در اختیار سایر بخش‌ها ازجمله دفتر برنامه‌ریزی قرار می‌گیرد." استنلی تأیید کرد که یکپارچه‌سازی کلیه داده‌های مکانی در یک بستر امن و مطمئن می‌تواند تحول بزرگی در فعالیت‌های شرکت ایجاد کند.

ران توضیح داد: "بهبود کارایی سازمان زمانی اتفاق می‌افتد که واحدهای مختلف شرکت از اقدامات یکدیگر

باخبر باشند. GIS این محیط تعاملی را فراهم خواهد کرد.“

بهبود ارتباطات از طریق تکنولوژی موبایل GIS

بسیاری از کارکنان شرکت توزیع در خارج از محیط اداری مشغول به فعالیت هستند. به‌طور سنتی، نیروهای عملیاتی از دو روش، مشاهدات و اطلاعات خود را انتقال می‌دهند: از طریق کاغذ و یا زبان. اگر یک کارگر عملیاتی عیبی را در شبکه مشاهده کند، برای گزارش موضوع، با دفتر بهره‌برداری تماس می‌گیرد. اپراتور دریافت‌کننده تماس، به دلیل اینکه دید کاملی از وضعیت شبکه ندارد، مجبور است صحبت‌های کارگر عملیاتی را بر اساس تجربیات شخصی خود تفسیر کند و آنچه را می‌فهمد بر روی کاغذ بیاورد و یا در سیستم ثبت کند. این شیوه برقراری ارتباط بسیار ناقص و مستعد خطاست. فرآیند ثبت اطلاعات دستورکارها در سیستم نقشه‌برداری شرکت AnyTown Energy به‌طور متوسط ۶۰ روز زمان می‌برد. این بدان معناست که اگر اپراتور به‌روزرسان پرونده ابهامی در خصوص تغییرات یادداشت شده بر روی نقشه داشته باشد، مجبور است با ناظر اجرایی پروژه تماس بگیرد و سؤالات خود را از او بپرسد. به نظر شما، ناظر پروژه پس از ۶۰ روز از اتمام کار، چقدر می‌تواند اتفاقات روی داده در زمان اجرای پروژه را به خاطر داشته باشد؟ به نظر ران، بهترین راه انتقال اطلاعات میدانی به بخش‌های دفتری استفاده از تکنولوژی موبایل GIS است (شکل ۱۲-۳).

شکل ۱۲-۳- برنامه بازدید مبتنی بر GIS (منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

تکنولوژی موبایل GIS، مسیر حرکت اطلاعات از داخل شبکه به بخش‌های دفتری را بسیار کوتاه‌تر می‌کند. همچنین با استفاده از این فناوری می‌توان اطلاعات مهم را به‌سرعت از بخش‌های دفتری به گروه‌های عملیاتی انتقال داد. امکان تبادل اطلاعات و مشاهدات بین گروه‌های مختلف اجرایی از دیگر مزایای این فناوری است. ران به ذهنش رسید که با استفاده از این ابزار ارتباطی، اگر یکی از کارگران استنلی ایراد پرخطری را در شبکه مشاهده و آن را بر روی تبلت خود ثبت کند، بقیه کارگران به‌موقع از آن مطلع می‌شوند و از یک حادثه احتمالی جلوگیری خواهد شد. حادثه معمولا زمانی اتفاق می‌افتد که در خصوص خطر، اطلاع‌رسانی لازم و به‌موقع انجام نشود. یکی از عمومی‌ترین حوادث در محیط‌های کاری، لیز خوردن افراد بر روی یک سطح خیس است. زمانی که فردی با این صحنه مواجه می‌شود معمولا به‌جای اطلاع‌رسانی،

به دنبال یافتن یک حوله یا دستمال می‌رود تا سطح خیس را خشک کند. در همین حین، یکی از راه می‌رسد و بر روی سطح خیس سر می‌خورد. در شبکه برق هم شرایط مشابه است. زمانی که گروه‌های عملیاتی با نقاط مخاطره‌آمیز در شبکه مواجه می‌شوند، ممکن است گزارش آن را به صورت کاغذی تهیه کنند و یا از طریق بیسیم و یا به‌صورت تلفنی به واحد بهره‌برداری اطلاع دهند. اما در هر صورت، این اطلاعات حیاتی در اختیار همه بخش‌ها قرار نمی‌گیرد. ثبت داده‌های مکانی نقاط مخاطره‌آمیز بر روی نقشه‌های GIS بستری را فراهم می‌کند که کلیه واحدهای عملیاتی از طریق موبایل و یا تبلت خود بتوانند از این اطلاعات مهم مطلع شوند.

تکنولوژی موبایل GIS این امکان را فراهم می‌کند که کلیه بخش‌های شرکت از یک پنجره واحد به شبکه نگاه کنند و به آن‌ها این اجازه را می‌دهد که به اطلاعات یکسان در زمان واحد دسترسی داشته باشند. با استفاده از این فناوری می‌توان داده‌های مورد نیاز بازدیدهای دوره‌ای و یا مدیریت بحران را تهیه کرد. کاربران موبایل GIS علاوه بر مشاهده اطلاعات، می‌توانند از شبکه عکس و یا فیلم بگیرند و به تجهیز مربوطه منتسب کنند. همچنین می‌توان از GPS گوشی موبایل و یا تبلت جهت رسیدن به موقعیت مورد نظر بر روی نقشه استفاده کرد.

ران قصد داشت برنامه‌ای را برای شرکت AnyTown Energy تهیه کند که با استفاده از آن بتوان تجهیزاتی را که بازدید نشده‌اند، شناسایی کرد. به کمک این برنامه و از طریق دستگاه GPS نصب شده بر روی خودرو، می‌توان تجهیزاتی که در فاصله ۱۵متری خودرو قرار دارند و از زمان بازدید آن‌ها گذشته است را شناسایی کرد. این برنامه از طریق تحلیل‌های مکانی GIS، تجهیزات مجاور خودرو را کنترل کرده و قلم توصیفی تاریخ بازدید آن‌ها را جستجو می‌کند. اگر تجهیزاتی شناسایی شوند که از تاریخ بازدید آن‌ها گذشته باشد، کارگران خودرو را نگه می‌دارند و پس از بازدید، نتایج آن را بر روی تجهیزات موبایل ثبت می‌کنند. در همین حین، در داخل دفتر، مدیران می‌توانند پیشرفت برنامه بازدید را به‌صورت در لحظه بر روی نقشه مشاهده و گزارش‌های لازم را استخراج کنند.

حجم قابل‌توجهی از بودجه شرکت AnyTown Energy صرف فعالیت‌های میدانی می‌شود. یکی از کارهای متداول در عملیات میدانی، انتقال نیروی انسانی از یک محل به محل دیگر است. در یک شرکت توزیع، در حدود یک‌سوم وقت نیروهای عملیاتی صرف حرکت از محل یک مأموریت به محل مأموریت بعدی می‌شود. هزینه جابه‌جایی نیروی انسانی بخش قابل‌توجهی از هزینه‌های بهره‌برداری از شبکه را به خود اختصاص می‌دهد. ران می‌دانست که با استفاده از قابلیت‌های مسیریابی سیستم GIS می‌توان بین ۵ تا ۱۵ درصد در هزینه‌های حمل‌ونقل شرکت‌های خدماتی صرفه‌جویی کرد. این مبلغ کمی نیست. ران با خودش گفت: "چه کارهای بزرگی می‌توان با استفاده از GIS انجام داد."

شرکت‌های توزیع معمولا با این چالش مواجه هستند که از تکنولوژی موبایل GIS در وضعیت متصل (برخط) و یا منفصل (غیر برخط) استفاده کنند. در حالت متصل، بیشتر پردازش‌ها در سمت سرور انجام می‌شود و نتایج حاصل از تحلیل بر روی تجهیزات موبایل نمایش داده می‌شود. در حالت منفصل، همه داده‌ها و تحلیل‌ها بر روی تجهیزات موبایل قرار دارد و هر زمان که لازم باشد، اطلاعات با پایگاه داده اصلی شرکت همگام‌سازی می‌شود.

امروزه بیشتر برنامه‌های مبتنی بر موبایل GIS در وضعیت "گاهی متصل" پیاده‌سازی می‌شوند. در این حالت، برنامه در شرایط عادی در وضعیت متصل قرار دارد، درست مثل استفاده از برنامه پست الکترونیکی بر روی گوشی‌های هوشمند. هر زمان که پوشش شبکه مخابراتی خوب نباشد، برنامه در وضعیت منفصل قرار می‌گیرد. در این وضعیت، برنامه تنها به داده‌های ذخیره شده قبلی دسترسی دارد. با مطلوب شدن مجدد شبکه مخابراتی، تجهیز موبایل با سرور همگام‌سازی می‌شود و شرایط به حالت عادی بازمی‌گردد.

همه اطلاعاتی که در وضعیت منفصل ثبت شده اند، با مهیا شدن بستر مخابراتی، بر روی سرور بارگذاری می‌شوند.

به ساده‌ترین شکل ممکن، برنامه‌های موبایلی می‌توانند از وضعیت "گاهی متصل" استفاده کنند. بااین‌حال، در برنامه‌هایی که پردازش‌های سنگین محاسباتی دارند و یا نیازی به اتصال مداوم به سرورهای شرکت ندارند، بهتر است از برنامه‌های موبایلی تهیه شده در حالت منفصل استفاده کرد. با توجه به حجم پردازش‌ها می‌توان از تجهیزات سخت‌افزاری قدرتمندتر مثل لب تاپ استفاده کرد. نرم‌افزار موبایلی تهیه طرح، یک نمونه از این برنامه‌ها است.

اگر برنامه به‌صورت مداوم به پردازش‌های سنگین مثل پخش بار احتیاج دارد، تکیه کردن به دسترسی دائم به شبکه مخابراتی بی‌سیم غیرواقع‌بینانه است. بنابراین انتخاب بین وضعیت متصل و یا منفصل تنها به پوشش مخابراتی برنمی‌گردد، بلکه نوع فعالیتی که قرار است انجام شود از اهمیت بیشتری برخوردار است.

استفاده از داده‌های برون‌سازمانی

از قدیم، شرکت‌های برق تمایل داشته‌اند که همه کارهایشان را خودشان انجام دهند. بسیاری از شرکت‌های برق شبکه مخابراتی مختص به خود دارند و یا نرم‌افزارهای مورد نیازشان را خودشان تولید می‌کنند. این گرایش در سیستم‌های اطلاعاتی نیز وجود دارد. آن‌ها علاقه دارند همه داده‌های مورد استفاده را خودشان مدیریت و کنترل کنند. البته باید توجه داشت که مدیریت اطلاعات تنها به معنای ذخیره‌سازی و به روزرسانی داده‌ها در داخل شرکت نیست بلکه باید بتوانیم داده‌های قابل اعتماد را از منابع معتبر جمع‌آوری کنیم. به‌عنوان مثال، اگر شرکت AnyTown Energy قصد دارد یک کابل جدید را از محل یک پست زمینی تا یک مجتمع آپارتمانی احداث کند، اطلاع داشتن از سایر تأسیساتی که ممکن است در مسیر عبور کابل باشد، می‌تواند از مشکلات بعدی پیشگیری کند. شرکت توزیع می‌تواند ابتدا مراجع داده‌های مورد نیاز خود را شناسایی کند و سپس از طریق وب سرویس‌های مکانی این اطلاعات را در سیستم GIS نمایش دهد.

به‌عنوان مثال، در فرآیند تعمیرات و نگهداری چراغ‌های روشنایی معابر، ممکن است شرکت AnyTown Energy بخواهد برنامه تعویض چراغ‌ها را بر اساس مناطق جرم خیز اولویت‌بندی کند. شرکت می‌تواند اطلاعات مربوط به محدوده‌های جرم خیز را به‌صورت وب سرویس مکانی از پلیس دریافت کند و آن را در کنار نقشه‌های شبکه برق در سیستم GIS نمایش دهد. با این کار، دیگر نیازی نیست یک نفر برای درخواست نقشه کاغذی مناطق جرم خیز به اداره پلیس مراجعه کند. شرکت برق به‌صورت مستقیم می‌تواند آمار مربوط به جرم و جنایت را از اداره آگاهی دریافت کند و با به‌روز شدن اطلاعات در اداره پلیس، آخرین وضعیت داده‌ها در اختیار شرکت برق نیز قرار می‌گیرد. با پیاده‌سازی سیستم GIS، گروه‌های تعمیرات به‌سادگی می‌توانند چراغ‌های معیوبی را که در مناطق جرم خیز قرار دارند، گزارش گرفته و در اسرع وقت آن‌ها را تعویض کنند.

مدل‌سازی پارامترهای مختلف

ران به یاد نقشه‌های کاغذی قدیمی افتاد که در بخش محیط زیست واحد برنامه‌ریزی نگهداری می‌شد. در حال حاضر روال به این شکل است که پس از تهیه طرح در واحد مهندسی، محدوده آن با نقشه‌های زیست‌محیطی کنترل می‌شود. اگر طرح با محدوده‌های حساس زیست‌محیطی تداخل داشته باشد، نقشه طرح اصلاح می‌شود. ران می‌دانست که با استفاده از امکانات سیستم GIS می‌توان روال را تغییر داد.

به کمک سیستم GIS می‌توان کلیه پارامترهای مکانی مؤثر در تهیه طرح را از همان ابتدا در نظر گرفت تا دیگر نیازی به دوباره‌کاری نباشد. نصب یک تجهیز مملو از روغن در نزدیکی یک منطقه حساس زیست محیطی می‌تواند مشکلات زیادی را ایجاد کند. نقشه‌های کاغذی قدیمی که تنها در اختیار بخش محیط زیست است، جوابگوی نیازهای شرکت نیست. اطلاعات مکانی مربوط به تالاب‌ها و محدوده‌های آبی در طول زمان تغییر می‌کنند. اطلاعات مربوط به مسیر سیلاب‌ها به‌طور منظم بازنگری می‌شوند. چنانچه بتوانیم با استفاده از وب سرویس‌های مکانی و از طریق سازمان محیط زیست و مدیریت منابع طبیعی به این اطلاعات دسترسی داشته باشیم، دیگر دغدغه کمتری بابت تخریب محیط زیست خواهیم داشت. همچنین تجهیزات شرکت در بلایای طبیعی مثل سیل و زلزله کمتر آسیب می‌بینند.

ران می‌دانست که چگونه باید بستر تبادل اطلاعات مکانی را فراهم کند. او قبلا در دولت محلی این کار را کرده بود. او از بستر رایانش ابری برای به اشتراک‌گذاری سرویس‌های مکانی استفاده کرده بود. هر کاربری می‌تواند به اطلاعات مورد نیاز خود دسترسی داشته باشد.

ایده کلی آن است که ابتدا مراجع داده‌های مورد نیاز شناسایی می‌شوند. سپس بستر مناسب جهت به اشتراک‌گذاری داده‌های مکانی فراهم می‌شود. در ادامه، با استفاده از امکانات سیستم GIS و بر اساس نیاز کاربران و فرآیندهای کاری، سفارشی‌سازی‌های لازم صورت می‌گیرد.

استفاده از GIS در سایر کسب‌وکارها

ران با توجه به اتفاقاتی که در شرکت AnyTown Enrgy با آن مواجه شده بود، دیگر هیچ علاقه‌ای به غافلگیر شدن نداشت. بیشتر صحبت‌های مطرح شده بین کارکنان، درباره حوادثی بود که شرکت پیش‌بینی آن را نکرده بود. به‌عنوان مثال، برقگیری که منفجر شده بود و یا ترانسفورماتوری که آتش گرفته بود، تجهیزاتی که به زیر آب رفته بودند و کابل‌هایی که در اثر اضافه‌بار کاملا سوخته بودند. آخرین صحبت‌های رد و بدل شده درباره پست خیابان Barrett Street بود که بار آن از حد مجاز گذشته بود. ران تصمیم گرفت جلسه‌ای را با پرسنل واحد برنامه‌ریزی برگزار کند تا ببیند چرا پیش‌بینی لازم توسط این بخش صورت نگرفته است. آن‌ها هم مثل سایر پرسنل شرکت کاملا غافلگیر شده بودند و از طرف دیگر مسئولیت داشتند که هر چه سریع‌تر مشکل به وجود آمده را مرتفع کنند.

در فرآیند برنامه‌ریزی، یکی از اطلاعات اولیه مورد نیاز، پیش‌بینی رشد بار در سال‌های آینده است. این تحلیل توسط واحد مالی انجام می‌گیرد. این واحد با استفاده از اطلاعات جمعیتی، اقتصادی، سوابق قبلی و برنامه‌های توسعه، میزان رشد بار را برای چند سال آینده پیش‌بینی می‌کند. بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته، میزان رشد بار برای سال جاری ۱.۵ درصد پیش‌بینی شده بود. بر این اساس، پست خیابان Barrett Street نباید تا سه سال آینده دچار اضافه‌بار می‌شد، اما چه اتفاقی افتاده بود که بار این پست از حد مجاز گذشته بود. واحد برنامه‌ریزی به دنبال توسعه این پست و افزایش ظرفیت آن بود. البته هنوز طرح در مراحل اولیه قرار داشت و بودجه آن تأمین نشده بود. هزینه اجرای این پروژه بالا بود و در بودجه‌های سرمایه‌ای سالیانه در نظر گرفته نشده بود. این پروژه خاص باید در جلسه هیئت‌مدیره مطرح می‌شد و همه نگران نحوه واکنش اعضای جلسه بودند.

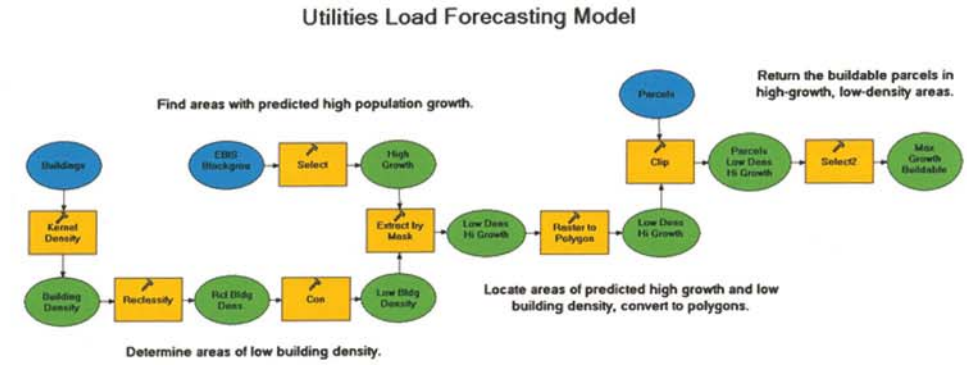
پیش‌بینی بار

ران تصمیم گرفت برای روشن‌تر شدن موضوع چند سؤال از کارشناسان واحد برنامه‌ریزی بپرسد: "شما برای پیش‌بینی رشد بار از چه داده‌های استفاده می‌کنید؟" آن‌ها گفتند که از آمار رشد بار اعلام شده توسط واحد مالی استفاده می‌کنند. ران سؤال دوم را پرسید: "شما برای پیش‌بینی رشد بار پست Barrett Street

از چه اطلاعاتی استفاده کرده‌اید؟" آن‌ها با تعجب به یکدیگر نگاه کردند و بعد اعتراف کردند که هیچ راهکاری که با آن بتوانند الگوی بار مصرفی در یک منطقه کوچک را مطالعه کنند، در اختیار ندارند. مسئله برای ران روشن شد. او با محدوده پست Barrett Street آشنا بود. در چند سال اخیر، دو اتفاق مهم در این منطقه افتاده بود. نخست، دو سال پیش با تصویب شورای شهر، زمین یک کارخانه متروکه برای احداث مجتمع‌های تجاری-مسکونی پلاک بندی شده بود. دوم، این زمین در کنار ایستگاه قطار قرار داشت و چهار سال پیش، اداره شهرسازی تصمیم گرفته بود برای دسترسی بهتر به ایستگاه قطار، یک جاده جدید از محل ایستگاه تا اتوبان اصلی شهر احداث کند. بنابراین اضافه‌بار شدن پست برای ران جای تعجب نبود. احداث مجتمع‌های تجاری-مسکونی، ایستگاه قطار، جاده دسترسی جدید مواردی بودند که در این چند سال در این منطقه اتفاق افتاده بودند، اما از چشم شرکت AnyTown Energy پنهان مانده بودند. ران می‌دانست که به اطلاعات پروژه‌های توسعه شهری و عمرانی می‌توان از طریق وب سرویس‌های مکانی دسترسی داشت. البته نقشه‌های موجود شرکت، به دلیل غیراستاندارد بودن، قابلیت نمایش این اطلاعات را نداشتند، اما بدون شک سیستم جدید GIS این کار را خواهد کرد.

ران با استفاده از ابزارهای پردازش مکانی GIS یک مدل برای پیش‌بینی بار تهیه کرد. این مدل از اطلاعات موجود در شرکت AnyTown Energy و داده‌های مورد نیاز برون‌سازمانی به‌عنوان ورودی استفاده می‌کند (به شکل ۱۲-۴ و یادداشت‌های ران در خصوص مدل‌های مکانی مراجعه کنید).

تهیه طرح توسعه پست خیابان Barrett Street که هزینه‌های زیادی را به شرکت تحمیل می‌کند، به‌اندازه کافی ناخوشایند است، اما اگر سال بعد دوباره بار این پست بیشتر از حد مجاز شود و قرار باشد طرح توسعه جدید تهیه شود، هم برای کارشناسان شرکت خجالت‌آور خواهد بود و هم مشکلات زیادی را برای مشترکین ایجاد می‌کند.



شکل ۱۲-۴- تهیه مدل پیش‌بینی بار با استفاده از GIS (منبع: Esri)

یک مدل را می‌توان بارها اجرا کرد. البته با تغییر ورودی‌ها، نتیجه خروجی مدل هم متفاوت خواهد شد، اما ساختار مدل ثابت باقی خواهد ماند. مدل‌های مکانی می‌توانند از داده‌های ورودی مختلف استفاده و بر روی آن تحلیل‌های مکانی انجام دهند. به عنوان مثل، موقعیت مکانی پست‌هایی که به سقف مجاز بارگذاری نزدیک شده‌اند را گزارش بگیر و یا مناطقی که میزان رشد بار بیش از حد متوسط تعیین شده است را نمایش بده. به این مدل می‌توان پارامترهای مختلف مکانی مثل رشد جمعیت، آمار نفوس، توسعه شهری و سایر شاخص‌های تأثیرگذار را نیز اضافه کرد. درست است که رشد بار کلی شرکت ۱.۵ درصد برآورد شده است، اما هر منطقه می‌تواند رشد بار بیشتر و یا کمتر از این عدد را داشته باشد. ران از خودش پرسید: "آیا تا به حال، واحد برنامه‌ریزی که همیشه در حال تهیه طرح‌های توسعه است، به ثابت بودن و یا کاهش بار برخی پست‌ها نیز توجه کرده است؟"

یادداشت‌های آقای ران

ایجاد یک گردش کاری با استفاده از مدل‌های مکانی

یکی از راه‌های ایجاد گردش کاری در سیستم GIS استفاده از پردازش‌های مکانی (geoprocessing) است. تحلیل‌های مکانی تنوع زیادی دارند، مثل ایجاد بافر مکانی(buffering) و پرس و جوی مکانی (spatial query). برای ایجاد یک گردش کاری باید چند مرحله مختلف که امکان تکرار نیز دارند، طراحی کرد. مدل‌های مکانی از داده‌ها و ابزارهای تحلیل مکانی سیستم GIS استفاده می کنند.

یک گردش کاری ایجاد شده بر اساس مدل مکانی می‌تواند شامل مراحل زیر باشد:

- اطلاعات ورودی مربوط به نقاط برخورد صاعقه را در قالب وب سرویس از سازمان هواشناسی دریافت کن. (موقعیت برخورد صاعقه به صورت یک عارضه نقطه‌ای مشخص می‌شود و شدت صاعقه به عنوان قلم توصیفی این نقطه دریافت می‌شود.)
- یک بافر ۱۰۰ متری در اطراف هر نقطه برخورد صاعقه ترسیم کن. (یک دایره به شعاع ۱۰۰ متر و به مرکزیت نقطه برخورد)
- لایه مربوط به بافر را با لایه‌های شبکه برق بر روی هم نمایش بده.
- اشتراک مکانی لایه‌های شبکه برق و بافرها را انتخاب کن.
- قسمتی از شبکه برق که انتخاب شده است (در داخل بافر است) را با رنگ قرمز نمایش بده.
- درنهایت یک نقشه موضوعی ایجاد کن که در آن تنها اطلاعات مربوط به نقشه پایه، اطلاعات در لحظه هواشناسی و بخش های قرمز رنگ شبکه برق نمایش داده شود.
- این نقشه را در قالب وب سرویس در اختیار کاربران قرار بده

معمولاً شرکت‌های توزیع اطلاعات مربوط به پیش‌بینی رشد بار را به‌صورت کلی در اختیار دارند. آن‌ها مقدار بار فیدرها را می‌دانند و بر اساس آن می‌توانند یک برآورد کلی نسبت به میزان واقعی بار منطقه داشته باشند. بااین‌حال، آن‌ها می‌توانند برآورد خود را بر اساس اطلاعات جامع‌تری انجام دهند. آن‌ها می‌توانند به اطلاعات سایر سازمان‌ها دسترسی داشته باشند. البته، نه با نگهداری و ذخیره‌سازی اطلاعات در پایگاه داده خود، بلکه از طریق وب سرویس‌های مکانی. آن‌ها می‌توانند اطلاعات مربوط به پروانه‌های ساختمانی صادر شده، خانه‌های خالی، برنامه‌های توسعه، الگوهای مهاجرتی و رشد اقتصادی را از مراجع رسمی دریافت کنند. با دسترسی به این داده‌ها، شرکت‌های توزیع می‌توانند پیش‌بینی بار را با دقت بالاتری انجام دهند و ریسک خطا را کمتر کنند. افزایش دقت پیش‌بینی بار باعث صرفه‌جویی در هزینه‌ها خواهد شد و بی‌دلیل افزایش ظرفیت شبکه در منطقه‌ای که رشد بار آن پایین است، انجام نمی‌شود. همچنین در منطقه‌ای که رشد بار بالا است، قبل از اینکه اعتبار شرکت زیر سؤال برود، پیش‌بینی لازم صورت می‌گیرد. ران با خودش فکر کرد که استفاده از مدل‌های پردازش مکانی در فرآیند پیش‌بینی بار به شرکت AnyTown Energy کمک می‌کند که دوباره کاری کمتری داشته باشد.

شرکت‌های توزیع نیازی به تهیه مدل داده برای اطلاعاتی که از سایر سازمان‌ها دریافت می‌کنند، ندارند. می‌توان از طریق وب سرویس‌های مکانی به این نوع داده‌ها دسترسی داشت. شرکت‌های توزیع همچنین می‌توانند به شناسنامه داده‌ها (metadata) دسترسی داشته باشند. از این طریق، آن‌ها می‌توانند جواب سؤالات خود در مورد داده‌ها را پیدا کنند. ایده کلی آن است که بدون ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌های برون‌سازمانی بتوان به نحو مناسب به آن‌ها دسترسی داشت.

زیرساخت یکپارچه‌سازی

به اعتقاد ران، داده‌هایی را که در سازمان دیگری مدیریت می‌شود، باید از همان‌جا دریافت کرد. یک مثال

آشنا در این زمینه دریافت نقشه‌های پایه از شهرداری و یا دولت محلی است. بسیاری از شرکت‌های خدماتی از نقشه پایه خاص خودشان استفاده می‌کنند. حتی در دولت‌های محلی هم گاهی وضعیت به همین شکل است. بعضی مواقع پیش می‌آید که بخش آب، بخش برق و بخش برنامه‌ریزی در دولت محلی هرکدام نقشه پایه متفاوتی دارند. آیا GIS می‌تواند این وضعیت را سروسامان دهد؟ بله، اگر همه بخش‌ها، GIS را به‌عنوان زیرساخت یکپارچه‌سازی و زبان مشترک تبادل داده مکانی قبول کنند. خیر، اگر هر واحد بخواهد برای خودش کار کند و ارتباط درستی با سایر بخش‌ها نداشته باشد. البته باید پذیرفت که استفاده از داده‌های سایر سازمان‌ها در گردش‌های کاری کلیدی شرکت می‌تواند چالش‌هایی را نیز به دنبال داشته باشد. به عنوان مثال، اگر مرجع تولید و مدیریت داده‌ها، نیازهای ما را در نظر نگرفته باشد، آن‌وقت باید چه کار کرد؟ از داده‌های برون‌سازمانی که می‌توانند به بهبود کسب‌وکارهای شرکت توزیع کمک کنند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- محدوده‌های مالیاتی
- محدوده‌های تاریخی
- محدودیت‌های ترافیکی در مناطق مختلف
- شبکه راه‌آهن به‌خصوص در محل‌هایی که با شبکه راه‌ها تقاطع دارد.
- مناطق پرخطر (مسیر سیلاب‌ها، محدوده‌های آتش‌سوزی، مناطق بادخیز)
- مناطق حفاظت‌شده
- برنامه آسفالت معابر (زیاد پیش آمده که بلافاصله پس از آسفالت یک خیابان، عملیات حفاری کابل‌کشی انجام شده است)
- اطلاعات زیست‌محیطی
- پوشش گیاهی
- برنامه شاخه‌بری

هر چه شرکت‌های توزیع به اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تری دسترسی داشته باشند، بدون شک تصمیم‌گیری بهتری خواهند داشت. شرکت‌های توزیع نمی‌توانند کلیه اطلاعات را خودشان ذخیره‌سازی و مدیریت کنند، به دلیل اینکه کنترلی بر روی آن‌ها ندارند. بهترین حالت این است که از طریق وب سرویس‌های مکانی به این داده‌ها دسترسی داشت. بنابراین، هر زمان که شرکت AnyTown Energy بخواهد با اجرای مدل تحلیل سیلاب، تجهیزاتی را که احتمال آب‌گرفتگی آن‌ها وجود دارد، شناسایی کند، به‌سادگی می‌تواند به آخرین وضعیت داده‌های ورودی مورد نیاز دسترسی داشته باشد. با شناسایی تجهیزاتی که در معرض آب‌گرفتگی هستند، شرکت AnyTown Energy می‌تواند از کیسه‌های شنی برای محافظت آن‌ها استفاده کند.

در ادامه، ران چند فعالیت را که دسترسی به داده‌های برون‌سازمانی می‌تواند به بهبود آن‌ها کمک کند، فهرست کرد:

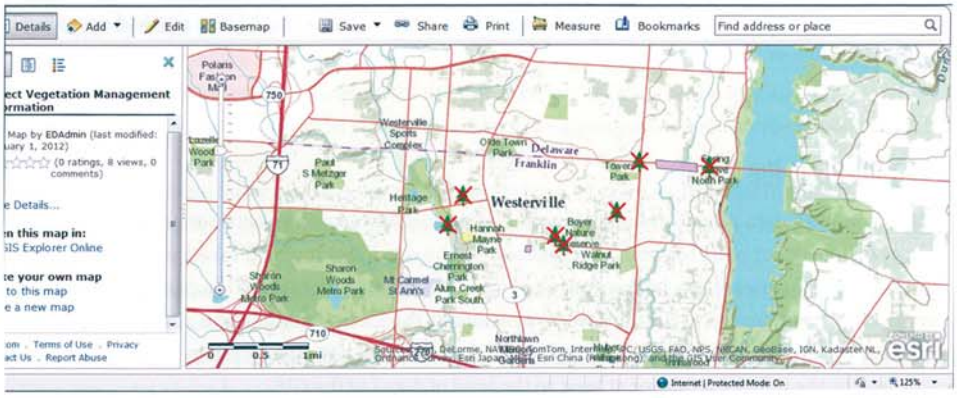
تماس بگیر قبل از اینکه حفاری کنی. امروزه، وقتی فردی تصمیم به حفر گودال در داخل زمین می‌گیرد، اطلاعی ندارد که ممکن است با چه تأسیساتی مواجه شود. برخی مواقع، ممکن است این عملیات اکتشافی مرگبار باشد. برخورد با یک کابل برق و یا لوله گاز می‌تواند خطرات زیادی را به همراه داشته باشد. بنابراین، بیشتر کشورهای جهان برای حفاری در معابر عمومی و حتی مکان‌های خصوصی، قوانین ویژه‌ای دارند.

دولت‌ها معمولا یک سازمان و یا یک واحد را به‌عنوان متولی پاسخگویی به درخواست‌های حفاری در نظر می‌گیرند. این سازمان وظیفه دارد درخواست حفاری را به کلیه شرکت‌های خدماتی ارسال کند تا مطمئن شود که آیا آن‌ها تأسیساتی در محدوده حفاری دارند. اگر پاسخ استعلام مثبت باشد، شرکت خدماتی

مربوطه وظیفه دارد در یک بازه زمانی مشخص به محل حفاری مراجعه کرده و موقعیت تأسیسات زیرزمینی را بر روی زمین علامت‌گذاری کند. درنتیجه، شرکت‌های خدماتی ناچار هستند برای پاسخگویی به استعلام‌ها و همچنین تعیین موقعیت تأسیسات زیرزمینی در محل حفاری، نیروی انسانی لازم را در نظر بگیرند. این روال کاری هزینه‌بر است و تعهدات بسیاری را برای شرکت‌های خدماتی ایجاد خواهد کرد.

با ایجاد یک برنامه کاربردی در محیط GIS می‌توان این فرآیند کاری را ساده‌تر کرد. سازمان‌های متولی پاسخگویی به درخواست‌های حفاری که در برخی کشورها با نام "تماس بگیر قبل از اینکه حفاری کنی" شناخته می‌شوند، با استفاده از این برنامه می‌توانند در کوتاه‌ترین زمان پاسخ لازم را تهیه کنند. روش انجام کار به این صورت است که پس از ارائه درخواست حفاری به سازمان مربوطه، محدوده حفاری توسط این سازمان بر روی نقشه مشخص می‌شود. سپس در قالب یک سرویس نقشه، اطلاعات زیرزمینی شرکت‌های خدماتی در محدوده مورد نظر استعلام می‌شود. به همراه اطلاعات مکانی محدوده حفاری، برخی اطلاعات توصیفی مثل عمق حفاری، مشخصات درخواست‌کننده و دلیل حفاری نیز به‌صورت الکترونیکی ارسال می‌شود. در ادامه، اطلاعات تأسیسات زیرزمینی سازمان‌های مختلف در محدوده مورد نظر به‌صورت خودکار و در قالب یک سرویس مکانی از پایگاه داده GIS آن‌ها دریافت می‌شود. درنهایت، اطلاع‌رسانی لازم به درخواست‌کننده صورت می‌گیرد و موقعیت کلیه تأسیسات زیرزمینی در محل علامت‌گذاری می‌شود.

مدیریت عملیات شاخه‌بری. سخت‌ترین بخش هر کار تحلیلی، جمع‌آوری و پردازش داده‌های مورد نیاز است. اگر داده‌های مورد نیاز فراهم باشد، تحلیل داده‌ها به‌سرعت و به‌سادگی اتفاق می‌افتد. به‌عنوان مثال، یک از عوامل شایع قطع برق، افتادن شاخه درختان بر روی شبکه هوایی است. بنابراین یکی از فرآیندهای کاری مهم در شرکت AnyTown Energy مدیریت پوشش گیاهی موجود در حریم شبکه است. با توجه به این موضوع، ران تصاویر یک نمونه برنامه تهیه شده در محیط GIS را که از آن برای مدیریت پوشش گیاهی استفاده می‌شود، پیدا کرد تا به اعضای تیم پروژه GIS نشان دهد (شکل ۱۲-۵).



شکل ۱۲-۵- گزارش مکان‌هایی که نیاز به شاخه‌بری دارند در محیط GIS
(منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

برای مدیریت عملیات شاخه‌بری به اطلاعات مکانی مختلفی احتیاج داریم مثل، اطلاعات مربوط به نوع پوشش گیاهی، سوابق بارش در سال‌های گذشته، پیش‌بینی میزان بارش در مناطق مختلف برای سال جاری ، محدوده‌هایی که شاخه‌بری در آن‌ها ممنوع است، موقعیت مکانی درختان پرخطر برای شبکه و

موقعیت مکانی شبکه‌های لخت هوایی، کابل خودنگهدار و کابل فاصله‌دار. همه این داده‌ها یا در پایگاه داده سیستم GIS وجود دارند و یا اگر به‌درستی برنامه‌ریزی شده باشد از طریق سیستم GIS قابل دسترسی هستند. با استفاده از این داده‌ها، می‌توان عملیات شاخه‌بری را با حداقل هزینه و با حداکثر راندمان انجام داد. سیستم GIS با تحلیل داده‌های مکانی کمک زیادی به بهبود فرآیند کاری عملیات شاخه‌بری می‌کند.
ران متوجه شد که مشابه قضیه پیش‌بینی بار، عملیات شاخه‌بری در شرکت AnyTown Energy از کیفیت مطلوبی برخوردار نیست.
بسیاری از گردش‌های کاری در شرکت‌های برق بر اساس اطلاعات کلی برنامه‌ریزی می‌شوند و نه بر اساس اطلاعات جزئی و منطقه‌ای. ران متوجه شد که فرآیند شاخه‌بری در شرکت AnyTown Energy بسیار هزینه‌بر است و کاملا توسط پیمانکاران اجرا می‌شود. بدون در نظر گرفتن نیازهای واقعی، عملیات شاخه‌بری به‌صورت دوره‌ای انجام می‌شود. به این معنا که ابتدا فیدر ۱ شاخه‌بری می‌شود و بعد فیدر ۲ و الی آخر. بعد از پنج سال، دوباره این روال تکرار می‌شود. نتیجه این روال آن است که هیچ‌گاه اثربخشی برنامه‌های شاخه‌بری در نظر گرفته نمی‌شود. شاید برخی مناطق اصلا نیازی به عملیات شاخه‌بری نداشته باشد و یا انجام شاخه‌بری هیچ تأثیری بر کاهش میزان خاموشی‌ها نداشته باشد.
ران قصد داشت با تلفیق داده‌های داخل و بیرون از سازمان، تمرکز عملیات شاخه‌بری را بر روی مناطقی قرار دهد که نیاز بیشتری دارند. او برای این کار می‌توانست از داده‌های هواشناسی، پوشش گیاهی و البته اطلاعات مربوط به عوامل خاموشی‌ها که از سیستم OMS به دست می‌آیند، استفاده کند. همچنین او از مطالعاتش در خصوص شبکه فشار متوسط به خاطر داشت که برخی آرایش‌های شبکه هوایی، مثل کابل‌های فاصله‌دار، مقاومت بیشتری در مقابل برخورد شاخه‌های درختان دارند. برنامه شاخه‌بری موجود شرکت هیچ‌گاه به‌روز نمی‌شد و هیچ دیدی نسبت به عوامل مؤثر بر عملیات شاخه‌بری نداشت. شاخص‌های قابلیت اطمینان شرکت AnyTown Energy پایین‌تر از حد متوسط بود، اما این شرکت هیچ تحلیلی در خصوص میزان اثربخشی عملیات شاخه‌بری در کاهش خاموشی‌ها نداشت. مشکل اصلی اینجا بود که شرکت اطمینان نداشت که آیا درختان مناسبی را برای عملیات شاخه‌بری انتخاب کرده است.
در برنامه جدید ران، با استفاده از اطلاعات بهره‌برداری و داده‌های برون سازمانی، تحلیل‌های مکانی لازم صورت خواهد گرفت و مناطقی که نیاز بیشتری به عملیات شاخه‌بری دارند، تعیین خواهد شد.

کاربرد GIS در سایر گردش‌های کاری

ران می‌دانست که ایجاد یک مدل دقیق از شبکه توزیع در سیستم GIS و استفاده از داده‌های مکانی در گردش‌های کاری می‌تواند مزایای فراوانی را برای سازمان به همراه داشته باشد. البته، او این را نیز می‌دانست که اصلاح و تکمیل داده‌های موجود در سیستم GIS یک فعالیت زمان‌بر است. او به دنبال آن بود که نوع نگرش کارکنان سازمان به توانمندی‌های سیستم GIS را اصلاح کند و آن‌ها را توجیه کند که GIS صرفا برای مدیریت اطلاعات دارایی‌های شرکت نیست، بلکه می‌توان از آن در کسب‌وکارهای مختلف استفاده کرد. بسیاری از کسب‌وکارهای موجود در شرکت AnyTown Energy مستقیما وابسته به تأسیسات شرکت نیستند و یا حداقل به جزئیات کاملی که برای هر تجهیز در سیستم GIS وجود دارد، احتیاج ندارند.

ایجاد زیرساخت به اشتراک‌گذاری داده

ران می‌دانست که فقط مدیران نیستند که به اطلاعات تأسیسات شرکت احتیاج دارند، بلکه دسترسی به این اطلاعات، نیاز عمومی بیشتر کارکنان شرکت است. البته به‌جای ایجاد دسترسی مستقیم بر روی پایگاه داده حساس و حیاتی GIS که شامل جزئیات فراوانی است، می‌توان داده‌ها را در قالب سرویس و در حد جزئیات

مورد نیاز انتقال داد.

او همچنین می‌دانست که سایر شرکت‌های خدماتی، سازمان‌های نظارتی و پیمانکاران به اطلاعات تأسیسات شرکت AnyTown Energy احتیاج دارند. بنابراین بهتر است امکان دسترسی به سرویس‌های نقشه از طریق وب فراهم شود. ران قصد داشت سرویس‌های نقشه را به‌صورت سفارشی و بر اساس نیاز کاربران ایجاد کند. همان‌طور که شرکت AnyTown Energy از سرویس نقشه پایه دولت محلی استفاده خواهد کرد، سایر سازمان‌ها نیز می‌توانند از سرویس نقشه شبکه برق استفاده کنند.

ران در ذهنش به دنبال گردش کاری‌های دیگری در شرکت AnyTown Energy گشت که می‌توانند از فناوری GIS سود ببرند. خیلی از این گردش کاری‌ها به یک مدل جامع از شبکه توزیع برق و جزئیات کامل احتیاج ندارند. در ابتدا، موارد زیر به ذهن ران رسید:

- **مدیریت مصرف:** به کمک GIS می‌توان موقعیت مکانی مشترکینی که مشارکت مناسبی در برنامه‌های مدیریت مصرف داشته‌اند را شناسایی کرد. همچنین با استفاده از GIS می‌توان موقعیت مکانی مشترکینی که به شرکت برق اجازه داده‌اند در ساعات اوج مصرف، برخی وسایل الکتریکی آن‌ها را از مدار خارج کند، بر روی نقشه گزارش گرفت.
- **وصول مطالبات:** با استفاده از GIS می‌توان موقعیت مکانی مشترکین بدهکار را بر روی نقشه تعیین کرد و برای دریافت مطالبات برنامه‌ریزی بهتری را انجام داد. به‌عنوان مثال، مشترکینی را گزارش گرفت که در مناطق مرفه زندگی می‌کنند و قبض خود را پرداخت نکرده‌اند. این مشترکین احتمالا به دلیل مشغله کاری موفق به پرداخت مبلغ قبض نشده‌اند.
- **برق‌دزدی:** با استفاده از کنتورهای هوشمند می‌توان برق مصرفی مشترکین را در یک زمان واحد اندازه‌گیری کرد. از طرف دیگر، با استفاده از GIS می‌توان فیدر تغذیه‌کننده مشترکین را شناسایی کرد. درنتیجه، با مقایسه توان ورودی به فیدر و توان مصرفی توسط مشترکین، می‌توان برق‌دزدی‌های احتمالی را تشخیص داد.
- **مدیریت درآمد:** با استفاده از GIS و سرویس‌های برون‌سازمانی می‌توان موقعیت مکانی منازل و ساختمان‌هایی که استفاده‌کنندگان آن‌ها زود به زود جابه‌جا می‌شوند را شناسایی کرد، مثل منازل اطراف دانشگاه‌ها. برای این دسته از مشترکین می‌توان مبلغی را به‌عنوان پیش‌پرداخت برق مصرفی دریافت کرد تا در آینده برای وصول مطالبات دچار مشکل نشود.
- **مدیریت بار ترانسفورماتورها:** با استفاده از GIS می‌توان موقعیت ترانسفورماتورهایی را که به سقف ظرفیتشان نزدیک شده‌اند، شناسایی کرد.
- **مدیریت تجهیزات:** با استفاده از GIS می‌توان برای تجهیزات خاص و کم تعداد موجود در شبکه تعیین کرد که قطعات یدکی مناسب آن‌ها در کدام انبارها نگهداری می‌شوند.
- **استفاده بهینه از منابع سرمایه‌ای:** با استفاده از GIS می‌توان مسیر بهینه عبور کابل از داخل داکت بانک‌ها برای تغذیه یک مجتمع اداری جدید را تعیین کرد.
- **توسعه شبکه برق:** با استفاده از امکانات سیستم GIS می‌توان طرح لازم جهت تغذیه یک محله مسکونی جدید را تهیه کرد، به‌نحوی‌که با درنظر گرفتن شاخص‌های فنی و اقتصادی، طول شبکه حداقل باشد و کابل‌های تغذیه‌کننده، کمترین عبور را از عرض خیابان داشته باشد.
- **مدیریت لایه‌های موقت نقشه پایه:** با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات مکانی مربوط به معابر و بلوک‌های پیشنهادی در پروژه‌های عمرانی را بر روی نقشه GIS به‌صورت یک لایه موقت نمایش داد.
- **ارزیابی عوامل نارضایتی مشترکین:** با استفاده از GIS می‌توان بین رضایت‌مندی مشترکین و عوامل مکانی مختلف مثل تعداد و میزان خاموشی، شاخه‌بری و هزینه برق مصرفی ارتباط برقرار کرد.

قطعاً این لیست همچنان ادامه دارد. ران درحالی‌که لبخند معناداری به لب داشت گفت: "تنها محدودیت استفاده از GIS در جایی است که ما نیازی به اطلاعات دقیق و جامع نداشته باشیم."

کاربرد GIS در بهره‌برداری

یکی از چیزهایی که شرکت AnyTown Energy خیلی به آن احتیاج داشت، یک مدل مناسب از شبکه توزیع برای بهبود برنامه مدیریت خاموشی بود. مشترکین شرکت همیشه از حجم بالای خاموشی‌ها شاکی بودند. پرسنل عملیاتی شرکت از این وضعیت به ستوه آمده بودند. آن‌ها با جدیت کار می‌کردند و تعهد بالایی داشتند که در کوتاه‌ترین زمان ممکن، برق مشترکین را وصل کنند. با این وجود، همیشه در معرض فشار و انتقاد بودند. نیروهای عملیاتی از مرکز دیسپاچینگ بدگویی می‌کردند. مرکز دیسپاچینگ از مرکز تماس انتقاد می‌کرد. مرکز تماس از پرسنل عملیاتی شاکی بود. وضعیت نامناسبی حاکم بود و حتی مدیران ارشد سازمان نیز از حل این مشکل عاجز شده بودند. نقشه‌های شرکت هم کمک چندانی به بهبود وضع موجود نمی‌کرد.

مدیران شرکت امیدوار بودند که پیاده‌سازی سیستم جدید DMS بتواند اوضاع را بهتر کند، اما ران می‌دانست که کیفیت خروجی سیستم DMS به کیفیت داده‌های ورودی برمی‌گردد. با وضعیت فعلی نقشه‌های شرکت، سیستم DMS هم نمی‌توانست کاری از پیش ببرد. همچنین ران می‌دانست که سیستم DMS به دقت بسیار بالایی در داده‌های سیستم GIS احتیاج دارد. GIS ابزارهای تحلیلی بسیار قدرتمندی دارد که می‌توانند به کمک سیستم DMS بیایند. از سیستم GIS می‌توان در مدیریت بحران هم استفاده کرد.

GIS از ابتدایی‌ترین ابزارهای برقراری ارتباط، یعنی نقشه استفاده می‌کند. با استفاده از GIS می‌توان اطلاعات دینامیکی سیستم‌های DMS، SCADA و کنتورهای هوشمند را در کنار شبکه برق بر روی نقشه‌های جغرافیایی نمایش داد. با استفاده از سیستم GIS می‌توان نتایج بازدیدها و مشاهدات گروه‌های اجرایی مثل پرسنل استنلی را بر روی نقشه ثبت کرد. درنهایت، می‌توان با استفاده از GIS آخرین وضعیت شبکه را مشاهده کرد. GIS می‌تواند به‌سادگی، داده‌های تولید شده توسط سایر ارگانها مثل پلیس، آتش‌نشانی، هواشناسی و کنترل ترافیک را در قالب سرویس نقشه نمایش دهد. در زمان وقوع شرایط بحرانی، GIS می‌تواند موقعیت پناهگاه‌ها، پل‌های تخریب شده، خیابان‌های مسدود و وضعیت ترافیکی جاده‌ها را نمایش دهد. در شرایط فعلی، چنانچه بحرانی رخ دهد، ذهن پرسنل استنلی به‌اندازه خانه‌های خاموش مشترکین تیره است.

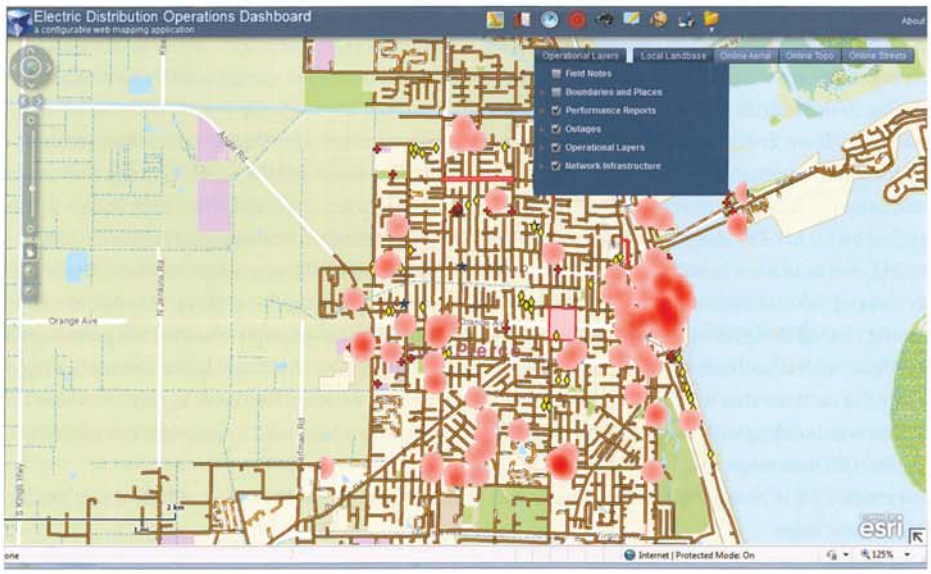
ران قصد داشت اطلاعات پایه سیستم SCADA و DMS را با استفاده از پایگاه داده سیستم GIS تأمین کند، تا از این طریق بتواند به نیروهای عملیاتی که تحت سخت‌ترین شرایط در حال خدمت‌رسانی هستند، کمک کند. او همچنین قصد داشت از GIS برای برقراری ارتباط با مدیران شرکت استفاده کند تا آن‌ها بتوانند وضعیت موجود شبکه را بر روی نقشه مشاهده کنند. آن‌ها می‌توانند مسیر حرکت طوفان و جابه‌جایی گروه‌های عملیاتی را نیز بر روی نقشه مشاهده کنند. بالاتر از همه این‌ها، او می‌تواند این امکان را فراهم کند که همه کارکنان شرکت از یک دریچه واحد به شبکه نگاه کنند.

اطلاع‌رسانی و انتقال اطلاعات

نقشه‌ها به‌سادگی اطلاعات را منتقل می‌کنند، زیرا آن‌ها به ما موقعیت و نوع تجهیزات را نشان می‌دهند. زمانی که ما موقعیت خود را بر روی یک تصویر ماهواره‌ای مشاهده می‌کنیم، به‌راحتی می‌توانیم مسیر مناسب را انتخاب کنیم. بعد از اینکه کار جمع‌آوری و ثبت اطلاعات تجهیزات به پایان رسید، شرکت‌های توزیع نیاز دارند به نحوی داده‌ها را مشاهده کنند که بتوانند از آن برای تحلیل و تصمیم‌گیری استفاده

کنند. بعد از وقوع طوفان و در جریان بازیابی شبکه، اگر گروه‌های اجرایی در مناطقی متمرکز شده باشند که نیاز به رسیدگی کمتری داشته باشد، باید گروه‌ها را به بخش‌های آسیب‌دیده‌تر راهنمایی کرد. اگر پروژه‌های تعریف شده برای افزایش قابلیت اطمینان در مناطقی تعریف شده که به نسبت سایر مناطق، وضعیت بهتری دارد، باید در مکان‌یابی پروژه‌ها بازنگری کرد.

راندمان کاری شرکت AnyTown Energy پایین بود، چون ابزارها و امکانات لازم جهت ارزیابی عملکرد سازمان را در اختیار نداشت. بعد از پیاده‌سازی سیستم GIS، این شرکت می‌تواند وضعیت واقعی سیستم را مشاهده کند (شکل ۱۲-۶). با توجه به مکانی بودن بیشتر فعالیت‌های سازمان، شرکت AnyTown Energy با استفاده از سیستم GIS می‌تواند عملکرد گروه‌های اجرایی خود را بر روی نقشه رصد کند. مشاهده خیابان‌های مسدود بر روی نقشه به گروه‌های عملیاتی کمک می‌کند که مسیر جایگزین را انتخاب کنند.



شکل ۱۲-۶- نمایش محدوده‌های خاموشی بر روی نقشه‌های سیستم GIS
(منبع: شرکت برق Fort Pierce)

با استفاده از GIS می‌توان یک تصویر بزرگ در مقابل چشمان پرسنل شرکت قرار داد. به کمک GIS می‌توان بسته به نیاز بخش‌های مختلف، نقشه‌های موضوعی تهیه کرد. شرکت‌های توزیع قبل از انجام هر فعالیتی برای رفع مشکلات، با استفاده از GIS می‌توانند مشکل را به‌درستی درک و مشاهده کنند.

اگر بزرگ‌ترین مشکل شرکت AnyTown Energy پایین بودن میزان رضایت‌مندی مشترکین باشد، اولین سؤال منطقی که به ذهن می‌رسد این است که شما برای حل این معضل می‌خواهید چه‌کار کنید؟ اگر پاسخ سؤال این است که سخت‌تر کار کنیم و سریع‌تر به تماس‌ها پاسخ بدهیم، سؤال بعدی این است که چقدر مطمئن هستید که این روش‌ها پاسخگو باشد. اولین واکنش باید این باشد که چرایی عدم رضایت مندی مشترکین تعیین شود. آیا نارضایتی به دلیل خاموشی، مبلغ بالای قبض و یا عدم قرائت صحیح کنتور است؟ اگر بتوان موقعیت مشترکین ناراضی را در کنار اطلاعات مکانی سوابق خاموشی‌ها، مبلغ قبوض و منازل درب بسته نمایش داد، بهتر می‌توان دلایل عدم رضایت‌مندی مشترکین را تحلیل کرد. اگر نارضایتی مشترکین به خاموشی‌ها برمی‌گردد باید برنامه‌های مدیریت خاموشی و تعمیرات و نگهداری شبکه را بهبود داد. اگر مشترکین ناراضی در مناطقی هستند که به دلیل وضعیت شغلی

ساکنین، امکان قرائت کنتور مشترکین فراهم نیست و قبض‌ها تخمینی صادر می‌شوند، می‌توان در این محدوده‌ها کنتور هوشمند نصب کرد تا دیگر نیازی به مراجعه به محل نباشد. GIS به شیوه‌ای امکان مشاهده و فهم داده‌ها را فراهم می‌کند که سیستم‌های دیگر قابلیت آن را ندارند.

نقشه‌های کاربردی

با توجه به پیچیدگی‌های شبکه توزیع برق، نمی‌توان کلیه جزئیات را به‌صورت هم‌زمان بر روی نقشه نمایش داد. بنابراین شرکت‌های توزیع برق با استفاده از GIS می‌توانند نقشه‌های سفارشی تولید کنند. درست است که نقشه‌های قدیمی موجود در واحد فرانک به فرمت دیجیتالی تبدیل شده بودند، اما نمی‌شد از آن‌ها به‌عنوان یک سیستم اطلاعاتی استفاده کرد. با استفاده از GIS می‌توان نتایج حاصل از یک پرس‌وجو را به شکل نقشه نمایش داد. به‌عنوان مثال، نقشه شبکه فشار متوسط را در مقیاس ۱ به ۲۰۰۰ نمایش بده به نحوی که کابل‌های زمینی به‌صورت خط‌چین مشکی، شبکه هوایی به‌صورت خط پیوسته قرمز رنگ و ترانسفورماتورها به‌صورت مثلث سبز رنگ نمایش داده شوند. GIS بلافاصله این نقشه را با مشخصات تعیین شده تولید می‌کند. درست است که نقشه‌های فرانک توسط کامپیوتر تولید شده بودند اما این نقشه‌های استاتیک، انعطاف کمی داشتند، درحالی‌که سیستم جدید GIS ران، می‌تواند از نقشه برای حل مشکلات استفاده کند.

ران چند نمونه نقشه کاربردی مورد استفاده در شرکت‌های توزیع که با استفاده از سیستم GIS می‌توان روال تولید آن‌ها را بهینه کرد، به شرح زیر فهرست کرد:

- نقشه کلی شبکه
- نقشه تجهیزات نگه‌دارنده
- نقشه شبکه فشار متوسط
- نقشه شبکه فشار ضعیف
- نقشه مشترکین
- نقشه دیاگرام تک‌خطی فیدرها، نقشه شماتیک (به یادداشت‌های ران در خصوص نقشه‌های شماتیک مراجعه کنید.)
- نقشه لوله‌ها و داکت بانک‌ها
- نقشه منهول‌ها و پست‌های زیرزمینی
- نقشه تأسیسات زیرزمینی
- نقشه دریافت مجوز
- نقشه طرح‌ها
- نقشه ساختمانی
- نقشه حسابداری تأسیسات
- نقشه سایت پلان
- نقشه شبکه روشنایی معابر
- نقشه‌های موضوعی بهره‌برداری
- نقشه مسیر قرائت کنتورخوان‌ها
- نقشه شاخه‌بری و پوشش گیاهی
- نقشه تأسیسات سایر شرکت‌های خدماتی
- نقشه تجهیزات سایر شرکت‌ها که بر روی تأسیسات شبکه برق نصب شده‌اند.

- نقشه درصد بار ترانسفورماتورها
- نقشه‌های زیست‌محیطی و منابع طبیعی
- نقشه تجهیزات کلیدزنی
- نقشه هماهنگی حفاظتی فیوزها
- نقشه بازیابی شبکه
- نقشه مدیریت بحران
- نقشه پست‌های فوق توزیع
- نقشه تک‌خطی کانال‌ها و مسیرهای عبور کابل

جایگزینی عادت‌های قدیمی

به‌جای استفاده از نقشه‌های قدیمی و یا ارتقاء منابع و سخت‌افزارهای سیستم نقشه‌برداری موجود شرکت AnyTown Energy، ران قصد داشت یک سیستم جامع GIS سازمانی ایجاد کند. به اعتقاد او، روال‌های قدیمی ریشهٍ گرفته در تفکرات کارکنان، بزرگ‌ترین چالش شرکت AnyTown Energy هستند. این روال‌های قدیمی اکثرا غیرمکانیزه هستند و حجم زیادی کاغذ مصرف می‌کنند.

یادداشت‌های آقای ران

نقشه‌های شماتیک

یکی از ابزارهای کاربردی نرم‌افزار GIS، تولید خودکار نقشه‌های شماتیک و یا دیاگرام تک‌خطی است. در بسیاری از شرکت‌های توزیع این روند به‌صورت دستی انجام می‌شود. نقشه‌های تک‌خطی کاربردهای زیادی دارند و در سیستمهای مختلف مثل اتوماسیون و اسکادا استفاده می‌شوند. نقشه‌های تک‌خطی معمولا توسط سیستم‌های مختلف و به کمک ابزارهای ترسیمی تولید می‌شوند و اغلب اوقات با داده‌های سیستم GIS ارتباط مستقیمی ندارند. مشکل این روش آن است که نقشه شماتیک و نقشه GIS به‌سرعت هماهنگی با یکدیگر را از دست می‌دهند و به‌ناچار باید دو فرآیند مجزا برای به‌روزرسانی آن‌ها داشت. سیستم GIS مرجع کامل اطلاعات مکانی سازمان است و نقشه شماتیک، شکل ساده‌تر و خلاصه‌تر از اطلاعات موجود در سیستم GIS است.

نقشه شماتیک ارتباط منطقی اجزا را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، در یک فیدر فشار متوسط، نقشه شماتیک آرایش شبکه و ترتیب کلیدها را نشان می‌دهد. ارتباط منطقی تجهیزات در سیستم GIS نیز وجود دارد اما در این سیستم، هر تجهیز در موقعیت جغرافیایی واقعی خود قرار دارد، درحالی‌که در نقشه شماتیک دیگر موقعیت مکانی عوارض اصل نیست. بنابراین کلیه اطلاعات مورد نیاز نقشه شماتیک در سیستم GIS وجود دارد (و خیلی اطلاعات اضافی دیگر). مشابه خروجی‌های دیگر سیستم GIS، نقشه شماتیک خروجی یک تحلیل مکانی برای نمایش ارتباط منطقی اجزا سیستم GIS است که از بخش کوچکی از اطلاعات سیستم GIS استفاده می‌کند. در نقشه شماتیک، اتصالات اجزاء شبکه به شکل بسیار ساده و خلاصه شده نمایش داده می‌شود. درست است که ابزار شماتیک از منطق‌های خاص برای نمایش ارتباط اجزا شبکه استفاده می‌کند، اما داده‌های مورد استفاده در نقشه شماتیک و سیستم GIS اصلی یکسان هستند.

ران توانسته بود تا حدودی ذهنیت همکارانش در شرکت AnyTown Energy را نسبت به گردش‌های کاری تغییر دهد. گردش کارها نباید پیچیده و طولانی باشند. با استفاده از برنامه‌های کاربردی می‌توان گردش کارها را ساده‌تر کرد. با مدل داده جامعی که او طراحی کرده بود، می‌توانست برنامه‌های کاربردی مختلف را به‌سادگی در محیط GIS تولید کند. برخی برنامه‌های کاربردی مورد نیاز شرکت AnyTown Energy را می‌توان با استفاده از مدل‌های مکانی به‌سرعت طراحی کرد.

نکته کلیدی برای ران، درک نیازهای کسب‌وکارهای مختلف شرکت AnyTown Energy بود. با استفاده از GIS می‌توان گردش کارها را ساده‌تر کرد و از این طریق، ضمن صرفه‌جویی در هزینه‌ها، اعتبار شرکت را در نزد مردم و سایر سازمان‌ها بالا برد. برای هفته‌ها، او به نقطه نظرات کارکنان شرکت و نیازهای آن‌ها گوش کرده و اطلاعات خود را افزایش داده بود. او برای آن‌ها توضیح داده بود که GIS چه کمک‌هایی می‌تواند به آن‌ها بکند. او به همه بخش‌های سازمان که با اطلاعات مکانی سروکار دارند، مراجعه کرده و مزایای سیستم GIS را در روال‌های کاری آن‌ها توضیح داده بود. او یافته‌های خود را برای کمیته راهبری GIS و در مرحله بعدی برای مدیران ارشد سازمان تشریح کرده بود و توانسته بود با ارائه درخشان، موافقت آن‌ها را برای توسعه پروژه GIS جلب کند.

طی این زمان، ران همیشه تلاش کرده بود که اسیر روال‌های کاری قدیمی و منسوخ سازمان نشود. او همواره به اصول خود وفادار بود: سیستم GIS باید شامل کلیه داده‌های مکانی سازمان باشد. پست‌های فوق توزیع، شبکه فشار متوسط، شبکه فشار ضعیف و مشترکین همه باید در سیستم GIS مدل‌سازی شوند. نباید بار سیستم GIS را با داده‌های توصیفی که در سایر سیستم‌ها ثبت و مدیریت می‌شوند، سنگین کرد. داده‌هایی که تحت کنترل شرکت نیستند نباید در سیستم GIS ذخیره شوند و باید آن‌ها را به‌صورت سرویس‌های مکانی از سازمان‌های متولی داده دریافت کرد. با رعایت این اصول، سیستم GIS ساده، کاربردی و دقیق باقی خواهد ماند.

با اینکه ران توانست همکاران خود را برای استفاده از سیستم GIS متقاعد کند، اما هنوز چیزهای مقدسی در شرکت AnyTown Energy وجود داشت که ران نتوانسته بود حریف آن‌ها شود. یکی از این موارد، شیت‌های قدیمی نقشه بود که روح برخی فرآیندهای شرکت را تسخیر کرده بود.

به اعتقاد ران، استفاده از پردازش‌ها و مدل‌های مکانی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در ساده‌سازی گردش‌های کاری سازمان داشته باشد. مدل‌های مکانی را می‌توان به‌سادگی طراحی و اجرا کرد. به‌خصوص برای فعالیت‌های مکان محور پرتکرار که از مراحل مختلف تشکیل شده است، به‌کارگیری مدل‌های مکانی بسیار مؤثر و سودمند است.

ران از اینکه می‌توانست با استفاده از سیستم GIS به پیشرفت و مدرن شدن شرکت AnyTown Energy کمک کند به خودش افتخار می‌کرد. سیستم GIS در عین سادگی می‌تواند باعث ایجاد تحول شود و به بهبود کلیه فعالیت‌های مکان محور سازمان کمک کند.

سخن پایانی

Modeling Electric Distribution with GIS

دو سال بعد از اینکه ران شروع به پیاده‌سازی سیستم GIS سازمانی در شرکت AnyTown Energy کرد، زمستان بسیار سختی پیش آمد. برف و کولاک شدید همه بخش‌های خدماتی را زمین‌گیر کرد و شرکت AnyTown Energy مجبور شد وضعیت اضطراری اعلام کند. دمای هوا بسیار پایین آمده بود و برق حدود ۹۰درصد مشترکین قطع شده بود. اما برای اولین بار، عملیات بازیابی شبکه و برق‌دار شدن مشترکین به‌سرعت انجام شد. همیشه شرکت AnyTown Energy آخرین شرکتی بود که در کل منطقه عملیات بازیابی را تمام می‌کرد. اما این بار همه غافلگیر شدند. نه‌تنها عملیات بازیابی با سرعت و کیفیت مطلوب انجام شد، بلکه برقراری ارتباط با مردم، مطبوعات و سایر سازمان‌ها نیز به‌خوبی و به‌موقع انجام گرفت.

مدیریت بحران

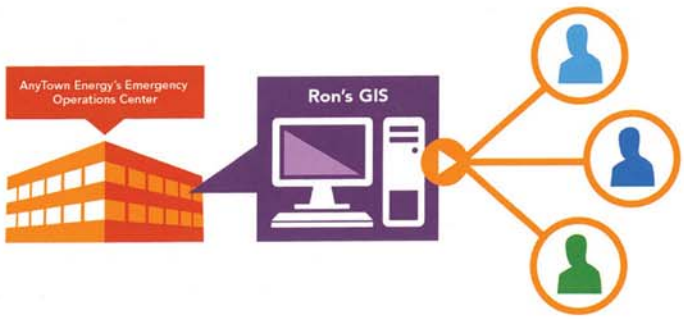
برقراری ارتباط با سیستم مدیریت بحران، آخرین پازل GIS سازمانی بود که توسط ران تکمیل شد. سیستم GIS، زیرساخت اطلاعاتی مرکز مدیریت بحران[1](EOC) جدید شرکت را تشکیل می‌داد. اطلاعات مورد نیاز سیستم مدیریت بحران که GIS می‌تواند نقش بی‌بدیلی در تأمین آن داشته باشد، به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شود:

- **شناسایی نقاط پر ریسک:** شناسایی نقاطی از شبکه که بیشتر در معرض آسیب هستند.
- **آمادگی:** مقاوم سازی نقاطی که در شرایط بحرانی مثل کولاک و طوفان بیشتر در معرض خطر هستند، شناسایی منابع اطلاعاتی لازم، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و پیش‌بینی محل‌های استقرار برای مردم و نیروهای امدادی
- **واکنش سریع:** جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز از بخش‌های آسیب‌دیده و استقرار نیروهای امدادی در محل‌های مناسب
- **بازیابی:** کسب اطلاعات مورد نیاز در خصوص نحوه پیشبرد عملیات بازیابی و بازسازی سریع بخش‌های آسیب‌دیده

۱- Emergency Operating Center

در گذشته هم شرکت AnyTown Energy دستورالعمل جامعی برای مدیریت بحران داشت. در این دستورالعمل دقیقا مشخص شده بود که در زمان بحران، تقسیم وظایف بین بخش‌های مختلف به چه شکل انجام خواهد شد، مراکز مدیریت بحران در چه محل‌هایی ایجاد خواهد شد، نحوه استقرار تیم‌های امدادی چگونه خواهد بود، ترکیب نفرات مستقر شده در مراکز مدیریت بحران به چه ترتیبی خواهد بود و درنهایت چه فرم‌هایی باید توسط هر بخش تکمیل شود. شرکت AnyTown Energy برای هر فعالیتی یک فرم تهیه کرده بود که باید توسط بخش‌های مختلف تکمیل می‌شد. علی‌رغم همه این برنامه‌ریزی‌ها، بازهم مدیریت بحران به‌خوبی در این شرکت انجام نمی‌شد. مشکل اصلی آنجا بود که امکان دسترسی سریع به اطلاعات حیاتی مورد نیاز برای مدیریت بحران وجود نداشت و شرکت نمی‌دانست که در کجا، چه اتفاقی در حال وقوع است. حتی در صورت دسترسی به داده‌های مورد نیاز، شرکت ابزار مناسب جهت تحلیل داده‌های پراکنده و استفاده از آن جهت تصمیم‌گیری مناسب را در اختیار نداشت. قبل از پیاده‌سازی سیستم GIS، شرکت برای ارزیابی خسارات احتمالی ناچار بود گروه‌های عملیاتی را به سطح شرکت اعزام کند و منبع واحدی جهت دسترسی به اطلاعات به‌روز تجهیزات وجود نداشت.

عملکرد مناسب شرکت در بحران اخیر این گفته ران را تأیید کرد که: "GIS تنها یک برنامه کاربردی و ابزار تولید نقشه نیست بلکه یک سیستم جامع اطلاعات مکانی است که امکان دسترسی سریع و آسان به کلیه داده‌های مورد نیاز را در سطح شرکت فراهم می‌کند." این قابلیت سیستم GIS مهمترین نیاز مدیریت بحران است (شکل E۱). با توجه به ماهیت مکانی اکثر داده‌های شرکت‌های خدماتی، GIS با نمایش اطلاعات مکانی بر روی نقشه‌های جغرافیایی، بهترین ابزار ممکن جهت برقراری ارتباط و یکپارچه‌سازی داده‌ها در بخش‌های مختلف سازمان را فراهم می‌کند.



شکل E۱ – سیستم GIS ران در قلب مرکز مدیریت بحران شرکت قرار داشت. (منبع: Esri)

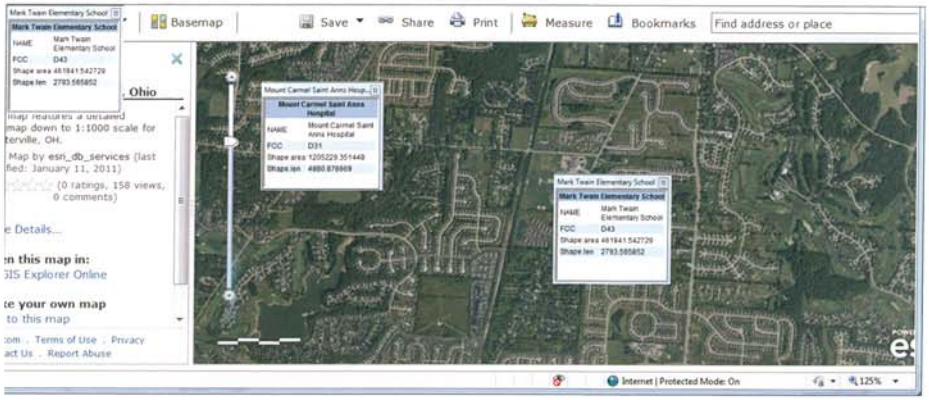
یکی از نیروهای قدیمی شرکت داستان جالبی را برای ران تعریف کرد: "تا پیش از پیاده‌سازی سیستم GIS، مدیریت بحران در سطح شرکت وضعیت مناسبی نداشت. هر اموری تنها به دنبال رفع مشکلات خودش بود و نیروهایش را در اختیار سایر امورها قرار نمی‌داد. درحالی‌که که وضعیت یک منطقه از شهر به حالت عادی بازگشته بود، هنوز مناطقی وجود داشت که حتی خطوط اصلی هم برق‌دار نشده بودند. در کل، مدیریت جامع و هماهنگی وجود نداشت و این موضوع، نارضایتی مردم و فشار منفی مطبوعات را به دنبال داشت."

حالا با اینکه مدت زیادی از استقرار سیستم GIS نگذشته بود، امکان مشاهده اطلاعات بر روی نقشه‌های جغرافیایی برای کلیه بخش‌های سازمان فراهم شده بود. برای مدیران ارشد سازمان جای تعجب بود که چگونه در طی این مدت و بدون دسترسی به کلیه داده‌های حیاتی مورد نیاز، بهره‌برداری از شبکه انجام

می‌شده است. آن‌ها شرایط گذشته را به‌عنوان یک سنت پذیرفته بودند اما حالا با ظهور GIS، نگاه‌ها و انتظارات متفاوت شده بود.

ران لینک ارتباطی لازم جهت تبادل سرویس‌های مکانی با مرکز مدیریت بحران منطقه‌ای را ایجاد کرده بود. حالا شرکت به آخرین اطلاعات برون سازمانی مورد نیاز جهت مدیریت هر چه بهتر شرایط بحرانی دسترسی داشت. با دسترسی به این سرویس، ران می‌توانست بر روی نقشه نشان بدهد که چه محل‌هایی برای اسکان موقت در نظر گرفته شده است (شکل E۲)، در چه مناطقی مردم گیر افتاده‌اند، چه خیابان‌هایی مسدود شده است، چه پل‌هایی غیرقابل استفاده است و در کدام معابر، شاخه درختان سقوط کرده است. تا قبل از پیاده‌سازی سیستم GIS، برخی مواقع ماشین‌های عملیاتی در ترافیک‌های سنگین و خیابان‌های مسدود گیر می‌افتادند اما اکنون با استفاده از امکانات سیستم GIS، بهینه‌ترین مسیر جهت اعزام گروه‌های عملیاتی تعیین می‌شد.

ران سیستمی ایجاد کرده بود که به کمک آن شرکت می‌توانست قبل از وقوع شرایط بحرانی پیش‌بینی‌های لازم را انجام دهد. به کمک تحلیل‌های مکانی سیستم GIS، می‌توان نقاط ضعف شبکه را شناسایی کرد. او برای انجام این کار از اطلاعات شاخه‌بری، سیستم تعمیرات و نگهداری، وب‌سرویس مکانی جنس خاک، وب‌سرویس مکانی مناطق مستعد برخورد صاعقه و مدل ارتفاعی زمین استفاده کرد. برخی از این داده‌ها توسط منابع خارج از سازمان فراهم می‌شدند. به کمک GIS، یک زیرساخت مکانی واحد جهت به اشتراک‌گذاری کلیه داده‌های درون سازمانی و برون سازمان ایجاد شده بود.

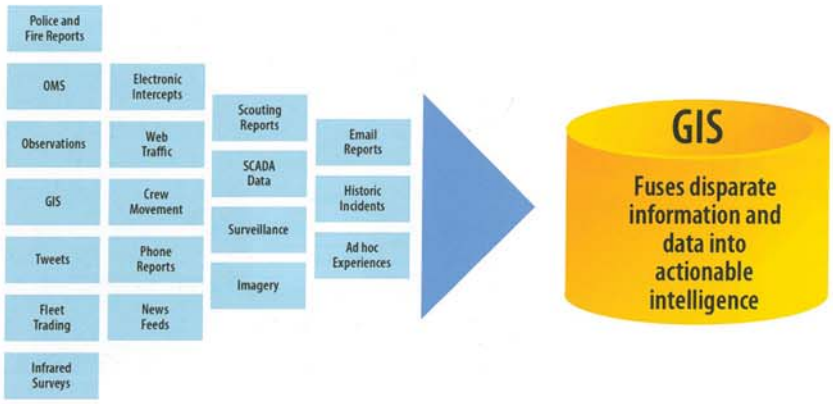


شکل E۲ – با استفاده از GIS می‌توان موقعیت مکانی پناهگاه‌ها را بر روی نقشه نمایش داد.
(منبع: شهرداری شهر Westerville در ایالت Ohio)

حالا همه پرسنل شرکت، از بخش‌های دفتری گرفته تا گروه‌های عملیاتی، از نقشه‌های GIS استفاده می‌کردند. گروه‌های اجرایی به کمک تکنولوژی موبایل GIS، اطلاعات شبکه را در محل مشاهده و نتایج حاصل از بازدید خود را بر روی نقشه ثبت می‌کردند. البته در ابتدای کار مقاومت‌های وجود داشت، اما خیلی زود پرسنل شرکت متوجه شدند که با استفاده از GIS بهتر می‌توانند وظایفشان را انجام دهند. آن‌ها به کمک GIS از نقاط آسیب‌پذیر شبکه مطلع می‌شدند و مهم‌تر از آن، مشاهدات خود در خصوص آخرین وضعیت شبکه را به اشتراک می‌گذاشتند.

ران متوجه شده بود که در گذشته تعداد کمی از پرسنل شرکت از نقشه‌های واحد فرانک استفاده می‌کردند. نقشه‌ها بیش‌ازحد فنی بودند و جزئیات زیادی بر روی آن‌ها ترسیم شده بود. با وجود آنکه نسخه‌های جدید نقشه در اختیار بخش‌های مختلف سازمان قرار می‌گرفت اما کاربری آن آسان نبود و آن‌چنان‌که باید در

فرآیندهای مختلف شرکت جاری‌سازی نشده بود. ران یک وب‌سرویس ساده جهت نمایش اطلاعات مکانی شرکت آماده کرده بود که پرسنل بخش‌های مختلف از طریق کامپیوتر، تبلت و موبایل به آن دسترسی داشتند و می‌توانستند آخرین وضعیت شبکه را بر روی نقشه‌های جغرافیایی مشاهده کنند.
مرکز مدیریت بحران شرکت توانسته بود نظرها را به سمت خود جلب کند. در بحران اخیر، هزاران دلار در هزینه‌های شرکت صرفه‌جویی شده بود. عملکرد خوب این مرکز باعث شده بود اعتبار از دست رفته شرکت دوباره بازگردد. GIS امکان یکپارچه‌سازی کلیه داده‌های مورد نیاز سیستم مدیریت بحران را فراهم کرده بود (شکل E۳). پیش از این، مشترکین شرکت عادت کرده بودند که همیشه دیرتر از مناطق مجاور به وضعیت عادی بازگردند اما حالا در کمال تعجب می‌دیدند که در اسرع وقت منزلشان برق‌دار می‌شود. میزان رضایت مردم و سازمان‌های نظارتی از عملکرد شرکت به بالاترین سطح خود رسیده بود.



شکل E۳ - مدیریت مناسب بحران نیازمند دسترسی به اطلاعات جامع و دقیق است. (منبع: Esri)

GIS زیرساخت یکپارچه‌سازی

یکی از نقاط قوت برجسته GIS، قابلیت یکپارچه‌سازی منابع مختلف اطلاعاتی با استفاده از این سیستم است. به کمک GIS مدیران شرکت بهتر می‌توانند تصمیم بگیرند که در چه محلی، منابع و امکانات را مستقر کنند و در چه مکانی‌هایی بودجه‌ها را هزینه کنند. یکی از ناظران سرسخت و مسن شرکت به نام هنری به ران گفت: "برخی مواقع، طرح‌هایی توسط واحد برنامه‌ریزی شرکت به ما ارجاع می‌شد که من هیچ‌گاه ضرورت آن‌ها را متوجه نمی‌شدم. از ما خواسته می‌شد که بر عملیات بهینه‌سازی بخشی از شبکه نظارت کنیم، درحالی‌که چند سکشن بالاتر، تجهیزاتی وجود داشت که در آستانه خرابی کامل بود و هرلحظه می‌توانست باعث خاموشی شبکه شود. بعدا، زمانی که طوفانی پیش می‌آمد، مطابق انتظار، همین نقاط آسیب‌پذیر به کانون بحران تبدیل می‌شد و مشترکین زیادی بی‌برق می‌شدند."
وقتی‌که هنری نقاط آسیب‌پذیر شبکه را بر روی نقشه‌های جغرافیایی ایجاد شده توسط سیستم GIS مشاهده کرد، به یکی از طرفداران پر و پا قرص ران تبدیل شد. با اینکه او آشنایی چندانی با کامپیوتر نداشت و به‌سختی از آن استفاده می‌کرد اما دیگر GIS به ابزار کار او تبدیل شده بود. ران با استفاده از تحلیل‌های مکانی GIS کاری را که هنری و رئیس تازه بازنشسته شده او استنلی، در ذهن خود انجام می‌دادند، با دقت و کیفیت بالاتر و در زمان کمتر می‌توانست انجام دهد. پرسنل واحد برنامه‌ریزی شرکت هم سپاسگزار ران بودند چون آن‌ها نیز هیچ‌گاه به چنین اطلاعات کامل و دقیقی دسترسی نداشتند.

برای سال‌های متمادی، روحیه پایین پرسنل یک از مشکلات شرکت AnyTown Energy بود. اما حالا روحیه کاری و دلگرمی پرسنل ارتقاء پیدا کرده بود. با استفاده از GIS، اطلاعات دقیق و مناسب در اختیار کلیه پرسنل شرکت قرار داشت و آن‌ها بهتر می‌توانستند وظایفشان را انجام دهند. قطعا هنری هم بسیار دلگرم‌تر شده بود.

اطلاعات گردش مناسبی بین بخش‌های مختلف سازمان داشت و وضعیت شرکت به نحوی شده بود که انگار همه از یک پنجره واحد به تجهیزات شبکه نگاه می‌کردند. GIS زیرساخت لازم جهت یکپارچه‌سازی کلیه داده‌های مکان محور سیستم‌های مختلف سازمان را فراهم کرده بود. کاربران با مشاهده مکانی اطلاعات بر روی نقشه‌های پایه، درک بهتری از وضعیت شرکت پیدا می‌کردند.

خانم لوییس که قبلا متولی سیستم TCR شرکت بود، الان از کنار گذاشته شدن این سیستم اصلاً ناراحت نبود. او قبلا برای ران تعریف کرده بود که از به‌روزرسانی این سیستم ناامید شده است و هرگز نتوانسته انتظارات از این سیستم را محقق کند.

با اضافه شدن اطلاعات شبکه فشار ضعیف و مشترکین به مدل داده و به کمک قابلیت‌های آنالیز شبکه سیستم GIS، ارتباط مشترکین با ترانسفورماتورها به‌صورت خودکار برقرار می‌شد و دیگر نیازی به ثبت و ذخیره‌سازی این ارتباطات در یک پایگاه داده مجزا مثل سیستم TCR نبود. خانم لوییس اکنون به فرآیند کاری جدیدی که با استفاده از سیستم GIS پایه‌گذاری شده بود، افتخار می‌کرد. این مثالی بود که نشان می‌داد دغدغه ران برای توسعه پروژه GIS و برداشت اطلاعات کلیه اجزای شبکه، پیش‌بینی کاملا صحیحی بود.

درنهایت، خانم ماریا، مدیر بخش مهندسی شرکت هم در برابر توانمندی‌های سیستم GIS تسلیم شد. او پذیرفت که از سرویس نقشه‌های پایه استاندارد که در خارج از سازمان تولید می‌شود، استفاده کند. پرسنل بازدید محل دفتر خدمات مشترکین اکنون می‌توانستند راحت‌تر کار خود را انجام دهند. آن‌ها می‌توانستند طرح‌های برق‌رسانی به متقاضیان جدید را به‌صورت لایه‌های مکانی موقت بر روی نقشه‌های پایه مشاهده کنند. مهندسین شرکت با استفاده از این اطلاعات می‌توانستند برنامه‌ریزی بهتری جهت توسعه شبکه و پیش‌بینی تجهیزات مورد نیاز انجام دهند.

پرسنل بخش حقوقی، اکنون برای دریافت مجوزهای قانونی یک فرآیند مکانیزه مبتنی بر GIS داشتند. اطلاعات پایه سیستم حسابداری تأسیسات نیز به‌صورت وب‌سرویس مکانی از GIS دریافت می‌شد و سیستم حسابداری تأسیسات کاملا با GIS منطبق شده بود. و برای اولین بار، از انبوه نقشه‌های به‌روز نشده در واحد نقشه‌برداری تقریباً چیزی باقی نمانده بود.

البته تا اینجای کار، ران در مبارزه برای حذف کردن سیستم قدیمی شیت بندی شبکه بازنده شده بود. شیت‌های قدیمی نقشه هنوز پابرجا بود اما در یک مسیر متفاوت. ران شیت‌های نقشه را به‌صورت یک لایه پلی گون در سیستم GIS مدل‌سازی کرده بود. به دلیل استفاده از نقشه‌های پایه استاندارد، دیگر شیت‌های نقشه به‌صورت مربع‌های یک شکل نبود و مرز شیت‌ها جابه‌جا شده بود. هنوز از شیت‌های نقشه در سیستم‌های مختلف استفاده می‌شد، اما ران مطمئن بود که در آینده نزدیک در این نبرد پیروز خواهد شد. آنچه اکنون او را راضی نگاه می‌داشت، این موضوع بود که کارکرد شبکه توزیع بهتر شده بود، هم برای مشترکین و هم برای شرکت برق.

بازگشت اعتبار شرکت

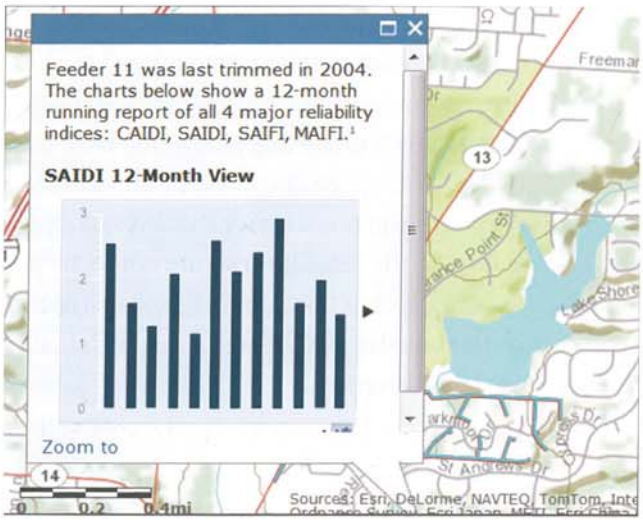
آیا فقط GIS بود که اعتبار از دست رفته شرکت AnyTown Energy را بازگرداند؟ قطعاً GIS به خودی خود این کار را نکرد. GIS در دو بخش باعث بهبود عملکرد شرکت شد: ۱- باعث ساده‌سازی و روان‌تر شدن

گردش‌های کاری سازمان شد. ۲- موانع موجود در مسیر ارتباط مناسب بخش‌های مختلف سازمان را برطرف کرد. نخست اینکه به کمک GIS دوباره‌کاری‌ها و اقدامات اضافی در گردش‌های کاری سازمان حذف شد و این موضوع منجر به بهبود فرآیندهای کاری شرکت شد. دوم اینکه با توجه به فصل مشترک مکان در بیشتر فعالیت‌های شرکت، به کمک GIS امکان برقراری ارتباط مناسب بین بخش‌های مختلف سازمان فراهم شد. با استفاده از GIS روابطی بین فعالیت‌های در ظاهر مستقل شرکت کشف شد که پیش از این از چشم همه مخفی بود.

تا پیش از آمدن GIS هم اطلاعات در بخش‌های مختلف سازمان وجود داشت ولی به دلیل پراکنده و حجیم بودن، استفاده از آن‌ها دشوار بود. به کمک GIS، بستر لازم جهت دسته‌بندی و یکپارچه‌سازی کلیه داده‌های مکان محور شرکت فراهم شد. به‌عنوان مثال، اگر در گذشته تنها دو عامل خاموشی و میزان بار در پایین بودن شاخص‌های قابلیت اطمینان شرکت بررسی می‌شد، حالا با داده‌های دقیق‌تر، پنج و یا شش عامل مورد ارزیابی قرار می‌گرفت.

دسترسی به جزئیات مفید اطلاعات، یکی از تغییرات بزرگی بود که GIS بستر آن را در شرکت AnyTown Energy فراهم کرد. به‌عنوان مثال، شرکت حالا می‌توانست شاخص‌های قابلیت اطمینان را برای یک منطقه کوچک نیز محاسبه کند (شکل E۴). به کمک GIS، موانع موجود بر سر راه ارتباط مناسب بخش‌های مختلف شرکت کنار رفته بود. واحد املاک شرکت به اطلاعاتی دسترسی داشت که در اختیار واحد برنامه‌ریزی نیز بود. کارشناسان واحد تعمیرات شرکت حتی طرح‌های در دست اقدام واحد مهندسی را هم می‌توانستند بر روی نقشه مشاهده کنند. اطلاعات مورد نیاز برون سازمانی از طریق سرویس‌های مکانی با داده‌های شرکت یکپارچه‌سازی می‌شد و یک نمای واحد مکانی را پیشروی پرسنل قرار می‌داد.

یک روز صبح - حدوداً یک سال بعد از شروع پروژه GIS شرکت - خانم فلو به ران گفت: "می‌توانی حدس بزنی که چه اتفاقی افتاده است؟ سیستم GIS راه‌اندازی شده در شرکت، مردم و مطبوعات را ترغیب کرده که موقعیت مکانی عیوب مشاهده شده در شبکه را بر روی نقشه ثبت کنند. بنابراین اطلاع‌رسانی مردم در خصوص کج شدن یک پایه و یا آویزان بودن یک سیم به پرسنل بخش تعمیرات و نگهداری ما کمک می‌کند که اشکالات موجود را در اسرع وقت اصلاح کنند."



شکل E۴ - با استفاده از GIS می‌توان شاخص‌های قابلیت اطمینان را در مناطق کوچک ارزیابی کرد.
(منبع: شهرداری Westerville ایالت Ohio)

تحول در سازمان

شرکت AnyTown Energy دیگر یک شرکت متوسط به‌حساب نمی‌آمد. این شرکت نه‌تنها سیستم نقشه‌برداری قدیمی خود را با یک فناوری پیشرفته جایگزین کرده بود، بلکه پذیرفته بود که کلیه فعالیت‌های شرکت به نحوی با عامل مکان سروکار دارد. بدون شک، مشاهده مکانی اطلاعات منجر به تصمیم‌گیری بهتر خواهد شد.

مدیران ارشد شرکت AnyTown Energy تغییرات مدنظر ران برای توسعه پروژه GIS را تصویب کردند و اکنون یک سیستم جامع اطلاعات مکانی، شامل کلیه تجهیزات مورد نیاز، در سازمان مستقر شده بود. مدیران شرکت، بعد از تلاش‌های فراوان ران، متوجه شدند که باید از اطلاعات مکانی برای ساده‌سازی و بهبود فرآیندهای کلیدی سازمان استفاده کنند. قبلا هم اطلاعات در شرکت وجود داشت، اما به دلیل پراکنده بودن و عدم سازمان‌دهی مناسب، امکان بهره‌برداری کامل از آن فراهم نبود. حالا GIS این مشکلات را برطرف کرده بود.

درنهایت، همه متوجه شدند که GIS تنها ابزاری برای تولید نقشه‌های بهتر و یا راهکاری برای صرفه‌جویی در هزینه‌های تهیه نقشه نیست. در طی دوره پیاده‌سازی سیستم GIS و همچنین بعد از آن، آن‌ها متوجه شدند که GIS سیستمی برای بهبود کارایی شرکت و کشف روابط ناشناخته است. GIS زیرساخت لازم جهت ایجاد تحول در سازمان را فراهم می‌کند. یکی از اشکالات شرکت AnyTown Energy این بود که تبادل اطلاعات بین بخش‌های مختلف سازمان به‌خوبی انجام نمی‌شد. حالا، یک زیرساخت یکپارچه و جامع اطلاعاتی مستقر شده بود. GIS باعث شده بود بخش‌های دفتری و گروه‌های اجرایی با هم هماهنگ شوند و زبان مشترکی پیدا کنند. حتی امکان تبادل مکانیزه اطلاعات با بخش‌های برون سازمانی مثل پلیس، آتش‌نشانی و سازمان‌های نظارتی هم فراهم شده بود. GIS سازمانی درهای شرکت را به روی دنیای اطلاعات مکانی باز کرده بود.

نه تنها شرکت سود مناسبی را نصیب سهامداران خود می‌کرد، بلکه با هزینه پایین‌تر و با سطح خدمات بهتر اداره می‌شد. اعتبار شرکت در نزد مردم و سازمان‌های نظارتی افزایش پیدا کرده بود. ارزش سهام شرکت بالاتر رفته بود و در مقایسه با سایر شرکت‌های خدماتی رکوردشکنی کرده بود. علی‌رغم افزایش قیمت انرژی و میزان مصرف مشترکین و با وجود تعداد بالای پرسنل در آستانه بازنشستگی، شرکت AnyTown Energy با مجهز شدن به سیستم جامع اطلاعات مکانی، آمادگی مناسبی برای مواجهه با این چالش‌ها کسب کرده بود. ایمنی بهبود و حوادث شغلی کاهش پیدا کرده بود. بازدیدها با سرعت بیشتری انجام می‌شد. در زمینه شاخص‌های قابلیت اطمینان که قبلا در نوک پیکان انتقادات قرار داشت، حالا شرکت بهترین عملکرد را در کل منطقه داشت.

در بیشتر شاخص‌های ارزیابی، شرکت AnyTown Energy در جایگاه متوسط به بالا قرار گرفته بود. مدیران شرکت درک کرده بودند که با نگاه به آینده باید در فرآیندهای تجربه شده قدیمی شرکت که زمانی به کار می‌آمده‌اند، بازنگری کنند. قطعا همه این موفقیت‌ها مستقیما به سیستم GIS برنمی‌گشت، اما همه قبول داشتند که GIS زمینه‌ساز این تغییرات بوده است. مدیران شرکت AnyTown Energy به امید بهبود عملکرد شرکت، یک سیستم جامع و یکپارچه اطلاعات مکانی پیاده‌سازی کرده بودند و اکنون آرزوی آن‌ها به واقعیت تبدیل شده بود.

GIS زیرساخت اطلاعاتی لازم جهت اجرای موفقیت‌آمیز پروژه شبکه هوشمند را فراهم کرده بود. اکنون شبکه هوشمند به اطلاعات دقیق و به‌روز شبکه توزیع دسترسی داشت. همه به این نتیجه رسیده بودند که بدون GIS، امکان پیاده‌سازی واقعی شبکه هوشمند وجود ندارد.

به‌صورت خلاصه می‌توان گفت: کلیه پرسنل شرکت AnyTown Energy فهمیده بودند که GIS یک سیستم

نقشه‌برداری نیست که از طریق آن می‌توان به اطلاعات نیز دسترسی داشت، بلکه یک سیستم اطلاعاتی است که در صورت نیاز از نقشه برای انتقال بهتر مفاهیم استفاده می‌کند.

ران به کمک همکارانش در تیم پروژه GIS موفق شد سیستم جامع اطلاعات مکانی را در شرکت مستقر کند. البته او تمرکز خود را بر روی شبکه توزیع گذاشته بود و حالا وقت آن بود تا پروژه استقرار سیستم GIS به سایر بخش‌های شرکت نیز تسری پیدا کند. پرسنل بخش انتقال به‌شدت پیگیر بودند تا آن‌ها هم از مزایای این تکنولوژی جدید بهره‌مند شوند. فرآیندهای مکانیزه کمی در بخش انتقال وجود داشت و آن‌ها حتی سیستم نقشه‌برداری قدیمی فرانک را هم در اختیار نداشتند. نقشه‌های واحد انتقال هنوز به‌صورت کاغذی نگهداری می‌شد. تغییرات در بخش انتقال به‌مراتب کمتر از بخش توزیع است، اما اهمیت دسترسی به اطلاعات کامل و دقیق در شبکه انتقال کمتر از شبکه توزیع نیست. سازمان‌های نظارتی بر روی دقت اطلاعات شبکه انتقال شرکت AnyTown Energy حساس شده بودند و می‌خواستند مطمئن شوند که آیا این شرکت برای افزایش مصرف مشترکین برنامه‌ریزی مناسبی در بخش انتقال انجام داده است.

ران با خودش فکر کرد که پیاده‌سازی سیستم GIS در بخش انتقال قدم بعدی او خواهد بود. خبر خوش این بود که اکنون فرهنگ‌سازی لازم در شرکت اتفاق افتاده بود. قطعا GIS بخش انتقال به کلیه اطلاعات شبکه توزیع دسترسی خواهد داشت. بعد از شبکه انتقال هم نوبت به بخش تولید می‌رسید. کسی چه می‌داند شاید روزی برسد که شرکت AnyTown Energy از دست سیستم شیت بندی قدیمی خلاص شود و این انتظار چندان دور نخواهد بود.

پیوست

مبانی شبکه‌های توزیع برق

Modeling Electric Distribution with GIS

مبانی شبکه‌های توزیع برق

ران با خودش فکر کرد، بازبینی و مرور برخی از مبانی برق و تجهیزات شبکه توزیع به همراه یک تاریخچه مختصر، برای درک بهتر سیستم توزیع و مدل‌سازی آن در GIS، مفید خواهد بود. به‌عنوان فردی که همیشه با نقشه سروکار داشته، او تصمیم گرفت یادداشت‌هایش را با اضافه کردن تصویر و دیاگرام قابل فهم‌تر کند.

یادداشت‌های ران:

معروف‌ترین قاعده در دانش الکتریسیته، قانون اهم است که طبق آن:

$$V=R\times I$$

که در آن:

V ولتاژ با واحد ولت، I جریان الکتریکی با واحد آمپر و R مقاومت با واحد اهم است.

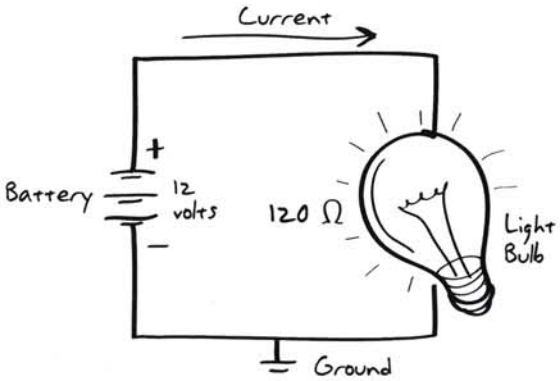
معادله مهم بعدی، توان را تعریف می‌کند:

$$P=V\times I$$

که در آن:

P توان با واحد وات، I جریان با واحد آمپر وV ولتاژ با واحد ولت است.

شکل A۱ یک نمونه مدار ساده الکتریکی را نشان می‌دهد. این مدار ساده تشکیل شده از یک باتری، یک سیم که از قطب مثبت باطری به کنتاکت انتهای لامپ متصل شده و سیم دیگری که قطب منفی باتری را به بدنه فلزی لامپ (سرپیچ) وصل کرده است. رشته داخل لامپ که از جنس تنگستن است دو سر دارد، یک سر آن به کنتاکت انتهای لامپ، و سر دیگر آن به سرپیچ وصل شده است. سرپیچ و کنتاکت انتهای لامپ با عایق الکتریکی از یکدیگر جدا شده‌اند. به عبارت دیگر، به دلیل مقاومت الکتریکی بالای عایق، الکترون‌ها امکان جاری شدن بین سرپیچ و کنتاکت انتهای لامپ را ندارند. زمانی که جریان برق از رشته داخل لامپ عبور می‌کند، نور و حرارت تولید می‌شود. حرارت تولید شده در لامپ به دلیل مقاومت الکتریکی موجود در رشته لامپ است.



شکل A۱ – یک مدار ساده الکتریکی (منبع: Esri)

آنچه اتفاق می‌افتد به این شرح است: در داخل باتری، الکترون‌ها و پروتون‌ها از یکدیگر جدا شده‌اند و به دلیل انرژی پتانسیل ذخیره شده در باتری، در صورت وصل بودن مدار، الکترون‌ها آمادگی ترکیب شدن مجدد با پروتون‌ها را دارند. این وضعیت مشابه حالتی است که شما یک تخته سنگ را با هل دادن به بالای تپه منتقل کنید. در تخته سنگ انرژی پتانسیل ذخیره شده است و آمادگی دارد که از تپه پایین بیاید و این انرژی ذخیره شده را آزاد کند. در یک باتری شارژ شده هم، الکترون‌ها و پروتون‌ها آمادگی ترکیب مجدد و انجام کار را دارند (انجام کار یا تولید انرژی مثل انرژی مصرف شده برای ایجاد روشنایی در لامپ). به پتانسیل الکتریکی ولتاژ هم گفته می‌شود.

زمانی که لامپ به باتری وصل می‌شود، جریان الکترون‌ها در مدار برقرار می‌شود. این فرآیند این‌قدر ادامه پیدا می‌کند تا همه الکترون‌ها با پروتون‌ها ترکیب شوند. در این حالت به‌اصطلاح گفته می‌شود که باتری خالی شده است. با شارژ مجدد، باتری انرژی لازم جهت جدا کردن الکترون‌ها و پروتون‌ها را کسب می‌کند. اگر باتری از نوع ۱۲ ولت باشد و مقامت رشته لامپ ۱۲۰ اهم باشد در آن صورت میزان جریان عبوری از لامپ بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید:

$$۱۲V=۱۲۰\Omega\times I$$

$$I=۰.۱ \text{ amps (A)}$$

برای محاسبه توان موردنیاز لامپ، از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$P=V\times I, \text{ یا } ۱.۲ \text{ watts (W)}$$

در این معادلات، فرض بر این است که سیم‌های اتصال دهنده لامپ به باتری، هیچ مقاومتی ندارند که این فرض، درست نیست. هر سیمی، دارای مقاومت است، اما مقاومت آن نسبت به رشته داخل لامپ، بسیار کمتر است.

توان مصرفی لامپ مربوط به یک لحظه از زمان می‌شود. به‌محض اینکه باتری به لامپ وصل می‌شود، لامپ در هر لحظه از زمان ۱.۲ وات توان مصرف می‌کند.

توان مصرف شده در طول زمان انرژی نام دارد. اگر شما لامپ را یک ساعت به باتری وصل کنید، لامپ ۱.۲ وات ساعت (Wh) انرژی مصرف می‌کند. لامپ را می‌توان مثل یک بار الکتریکی در نظر گرفت که در هر لحظه از زمان به ۱.۲ وات توان نیاز دارد.

مشخصات کلیدی

برخی از اصطلاحات فنی رایج در برق، به شرح زیر است:

ولتاژ یا پتانسیل

باتری و ژنراتور با ایجاد اختلاف پتانسیل امکان برقراری جریان و استفاده از انرژی الکتریسیته را فراهم می‌کنند. در ایالات‌متحده، یک پریز برق خانگی، حاوی ولتاژی معادل ۱۲۰ ولت است. در اروپا، این ولتاژ ۲۲۰ ولت است. قطعا تا زمانی که وسیله‌ای به پریز برق متصل نشود، کاری هم انجام نخواهد شد. ولتاژ بین دو سطح اندازه‌گیری می‌شود. مشابه مثال تخته سنگی که به بالای کوه منتقل شده، اگر پتانسیل سطح زمین صفر در نظر گرفته شود، می‌توان پتانسیل ذخیره شده در تخته سنگ را بر اساس کار انجام شده برای انتقال آن به بالای تپه به دست آورد. اگر تخته سنگ به داخل یک گودال در سطح زمین بیفتد، پتانسیل آن منفی خواهد بود، زیرا برای انتقال مجدد آن به سطح زمین باید کار انجام شود. مشابه همین حالت می‌توان اختلاف پتانسیل را بین یک سطح منفی و یک سطح مثبت محاسبه کرد و همیشه لازم نیست از سطح صفر شروع کرد.

جریان

چنانچه با استفاده از یک سیم، قطب مثبت باتری را به قطب منفی آن وصل کنید، جریان الکتریکی برقرار خواهد شد. جریان تنها زمانی برقرار می‌شود که مسیر کاملی بین دو ترمینال باتری و یا منبع وجود داشته باشد. در شرکت‌های برق به مسیر عبور جریان، اصطلاحا فیدر گفته می‌شود.

مقاومت یا بار

تجهیزی در مدار، مثل لامپ و یا توستر، که انرژی الکتریکی مصرف می‌کند، مقاومت و یا بار نامیده می‌شود.

توان

واحد اندازه‌گیری توان، وات است. به‌عنوان مثال، در یک لامپ ۱۰۰ وات، توان بیانگر میزان تقاضای پیوسته لامپ به‌منظور تولید روشنایی و انجام کار است. بارهای الکتریکی بزرگ‌تر معمولا بر اساس هزار وات و یا کیلووات اندازه‌گیری می‌شوند.

انرژی

انرژی میزان کار انجام شده در طول زمان است. به‌عنوان مثال، با یک لیتر بنزین می‌توان مسافت مشخصی را با اتومبیل پیمود. پس یک لیتر بنزین دارای انرژی مشخصی است. یک بار ۱۰۰۰واتی که به مدت یک ساعت در مدار بوده معادل ۱۰۰۰Wh و یا ۱kWh انرژی مصرف کرده است. یک لامپ ۱۰۰واتی که به مدت ۱۰ ساعت روشن بوده هم ۱kWh انرژی الکتریکی مصرف کرده است. صورتحساب برق بر اساس کیلووات ساعت مصرفی محاسبه می‌شود. متوسط قیمت یک کیلووات ساعت انرژی مصرفی در کشور آمریکا، معادل ۱۵سنت است.

مفهوم انرژی و توان در شبکه توزیع متفاوت است. به‌عنوان مثال، زمانی که گفته می‌شود با کمبود انرژی در شبکه مواجه هستیم به این معناست که سوخت کافی برای تولید نیروگاه‌ها و یا تأمین ناوگان

خودرویی شرکت وجود ندارد. اما زمانی که گفته می‌شود با کمبود نیرو یا توان مواجه هستیم به این معناست که میزان مصرف از ظرفیت تولید پیشی گرفته و توان تولیدی کافی جهت تأمین نیاز همه مشترکین وجود ندارد. ممکن است سوخت به‌اندازه کافی برای نیروگاه‌ها وجود داشته باشد اما ظرفیت تولید نیروگاه‌ها به‌اندازه نیاز نباشد. بنابراین زمانی که شرکت‌های برق هشدار کبود نیرو را در طی دوره گرم سال صادر می‌کنند و از مشترکین درخواست می‌کنند که در مصرف برق صرفه‌جویی کنند به این دلیل نیست که گاز، زغال و یا سوخت کافی ندارند. آنچه آن‌ها ندارند، امکان تولید توان کافی جهت پاسخگویی به نیاز مشترکینی است که همه می‌خواهند از وسایل برقی خود در طی یک دوره زمانی مشابه استفاده کنند. مشکل کمبود نیرو با مشکل کمبود انرژی متفاوت است.

محدودیت ظرفیت عبور توان در خطوط انتقال و توزیع یکی دیگر از مشکلات شرکت‌های برق است. در این حالت، امکان دارد توان تولیدی به مقدار نیاز وجود داشته باشد اما تأمین افزایش تقاضای مشترکین منجر به اضافه بار شدن خطوط منتهی به منطقه مورد نظر شود.

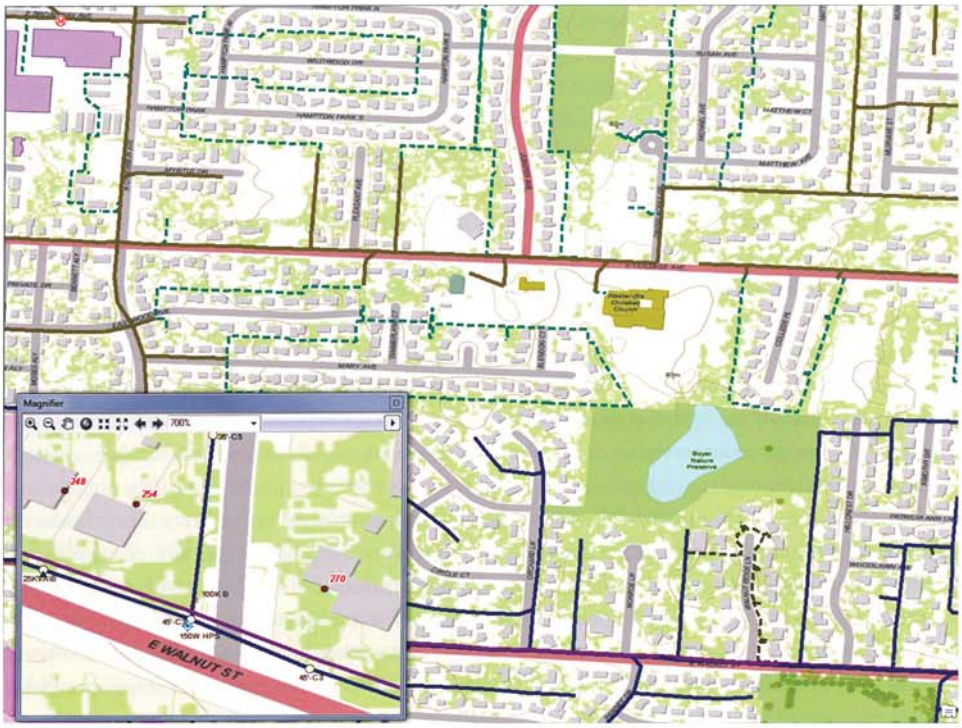
سیستم زمین و نوترال[1]

عبارت‌های "زمین" و "نوترال" به‌طور گسترده در سیستم‌های الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از دیدگاه تئوری، زمین به محلی اطلاق می‌شود که در آن اختلاف پتانسیل الکتریکی صفر است. سیستم زمین به‌عنوان یک رسانای خوب قادر است هدایت تمامی الکترون‌های پخش شده در بدنه تجهیزات را به سمت ترمینال زمین تسهیل کند. با اتصال بدنه تجهیزات الکتریکی به زمین از برق‌دار شدن بخش‌های فلزی آن‌ها جلوگیری می‌شود. به عبارت دیگر، این کار برای حفاظت تجهیزات و ایمن شدن تاسیسات در برابر ولتاژهای تحمیلی به آن‌ها صورت می‌گیرد. سیم نوترال مسیر بازگشت جریان را فراهم می‌کند. اغلب برای اطمینان از صفر بودن پتانسیل سیم نوترال، آن را به سیستم زمین متصل می‌کنند. از آنجا که زمین فیزیکی یک رسانای قابل اعتماد به‌حساب نمی‌آید، شرکت‌های برق برای اطمینان از کنترل تمام تجهیزات حامل جریان الکتریکی، یک سیم نوترال به سیستم توزیع خود اضافه می‌کنند.

نسل‌های اولیه سیستم‌های الکتریکی، مقیاس‌پذیر[2] نبودند

نسل‌های اولیه شبکه‌های الکتریکی مشابه مدار باتری که در شکل A۱ تشریح شد، رفتار می‌کردند، با این تفاوت که در آن‌ها بجای باتری از ژنراتورها استفاده می‌شد. الکترون‌ها مستقیماً در طول مدار، جریان داشتند، بدین معنی که یک جریان ثابت و پیوسته از ژنراتور به مقاومت (بار) و برعکس برقرار بود. اگر یک آمپرمتر در طول خط قرار می‌گرفت و جریان را اندازه‌گیری می‌کرد، یک جریان ثابت و پیوسته قابل مشاهده بود. سیستم GIS، یک بستر مناسب برای نمایش دامنه جریان خطوط الکتریکی است. (شکل A۲).

۱- Neutral
۲- Scalable



شکل A۲ – نمایش جریان خطوط شبکه در سیستم GIS (منبع: شهرداری شهر Westerville ایالت Ohio)

مشکل اصلی سیستم‌های توزیع برق اولیه، عدم توانایی در تغذیه مناسب بارهای الکتریکی در فواصل دور بود. با طولانی‌تر شدن شبکه توزیع الکتریکی و افزایش فواصل بین منابع تغذیه و بارها و همچنین بزرگ‌تر شدن بارها و افزایش تقاضای توان از سوی مشترکین، میزان تلفات و افت ولتاژ در سیم‌های انتقال دهنده انرژی الکتریکی افزایش می‌یافت. برای انتقال این جریان‌های بزرگ نیاز به استفاده از سیم‌های قطورتر بود که درنتیجه وزن شبکه و همچنین هزینه پیاده‌سازی سیستم افزایش می‌یافت.

به ازای یک توان مصرفی ثابت، تنها راهی که می‌توان جریان را کاهش داد، افزایش ولتاژ شبکه است. توان، حاصل ضرب جریانِ در ولتاژ است. بنابراین برای انتقال توان بیشتر، یا باید ولتاژ را افزایش داد و یا جریان. همان‌طور که قبلا هم اشاره شد، با افزایش دامنه جریان، شما ناچار هستید از سیم‌های با مقطع بالاتر استفاده کنید. با توجه به مقاومت الکتریکی موجود در سیم‌ها، افزایش دامنه جریان منجر به تولید گرمای بیشتر در سیم می‌شود. اگر حرارت تولیدی بیش از حد مجاز شود، می‌تواند باعث آسیب دیدن سیم و حتی ذوب شدن آن شود. بنابراین با افزایش دامنه ولتاژ می‌توان دامنه جریان عبوری و همچنین سطح مقطع مورد نیاز جهت عبور توان را کاهش داد. هرچند عیب این روش آن است که سیم‌ها باید به شکل بهتری عایق‌بندی شوند.

الکترون‌ها به‌راحتی در داخل یک جسم هادی حرکت می‌کنند. مس، متداول‌ترین ماده‌ای است که در سیم‌های برق مورد استفاده قرار می‌گیرد و آلومینیوم در جایگاه بعدی قرار دارد. سیم مسی مقاومت بسیار پایینی دارد و الکترون‌ها به‌سادگی در طول آن حرکت می‌کنند. با افزایش طول سیم، مقاومت الکتریکی آن افزایش می‌یابد. درواقع، مقاومت سیم رابطه مستقیمی با طول آن دارد. جریان الکتریکی از هر ماده‌ای که مقاومت آن به‌اندازه کافی پایین باشد، حتی هوا، عبور خواهد کرد. دلیل برخورد صاعقه با

زمین، وجود ابرهایی است که دارای پتانسیل الکتریکی هستند و زمانی تخلیه الکتریکی صورت می‌گیرد که مقامت هوا جهت جلوگیری از برقراری جریان کافی نباشد.

عایق‌بندی بحث بسیار مهمی در صنعت برق است. مواد عایق در برابر عبور جریان الکتریسیته مقاومت بالایی دارند. در عمل، اگر اختلاف پتانسیل الکتریکی به‌اندازه کافی بالا باشد، جریان از هر ماده‌ای حتی موادی که دارای قدرت عایقی بالا هستند، عبور خواهد کرد. اغلب تصور می‌شود که جریان تنها از داخل مواد هادی عبور می‌کند. این برداشت غلط است. صاعقه، یک جریان الکتریکی شدید است که می‌تواند از داخل هوا و حتی بدن انسان عبور کند. از دیدگاه الکتریکی، تفاوت سیم مسی با هوا و یا بدن انسان، میزان مقاومت در برابر عبور جریان الکتریسیته است. اما مثال صاعقه نشان می‌دهد که در برابر ولتاژ بالا، حتی هوا که عایق مناسبی است، اجازه عبور جریان را می‌دهد. وجود هوا و یا عایق بیشتر بین تجهیزات برق‌دار و زمین موجب می‌شود که عبور جریان سخت‌تر شود. درست است که با افزایش سطح ولتاژ می‌توان توان انتقالی شبکه را افزایش داد ولی این موضوع مستلزم عایق‌بندی مناسب‌تر تجهیزات برق‌دار است. لذا با افزایش سطح ولتاژ، ناچار هستیم فاصله بین هادی‌های برق‌دار با زمین را بیشتر کنیم.

شرکت‌های توزیع برای جدا کردن بخش‌های برق‌دار شبکه و بخش‌های متصل به زمین، از تجهیزات عایقی مثل مقره‌ها استفاده می‌کنند. یک مثال مناسب برای تشریح عملکرد مواد عایقی، بررسی ساختمان کلیدهای قدرت است. کلیدهای قدرت تجهیزات پیچیده‌ای هستند که عایق زیادی در ساختمان آن‌ها به کار رفته است. به‌عنوان مثال، شکل A۳ مجموعه‌ای از دیسک‌های چینی (پورسلین) را نمایش می‌دهد که فاصله الکتریکی بین هادی‌های برق‌دار و بخش‌های متصل به زمین (مانند کراس آرم نصب شده روی پایه) را افزایش می‌دهند.

شکل A۳ – کاربرد مواد عایقی در کلیدهای قدرت (منبع: شرکت برق S&C)

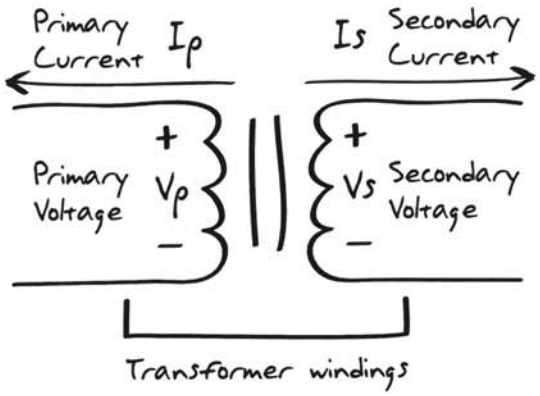
هوا در شرایط عادی یک عایق خوب محسوب می‌شود و جریان الکتریسیته را از خود عبور نمی‌دهد اما با افزایش اختلاف پتانسیل شرایط متفاوت می‌شود. با افزایش ولتاژ شبکه، به سطح عایقی بالاتری برای تجهیزات برق‌دار شبکه احتیاج داریم تا از برقراری جریان از داخل هوا به سمت زمین و یا تجهیزات زمین شده جلوگیری شود. به همین دلیل است که شرکت‌های برق، شبکه انتقال را با ارتفاع بالاتری نسبت به سطح زمین احداث می‌کنند.

مسئله‌ای که مهندسین برق با آن روبرو هستند، یافتن نقطه تعادل بهینه بین سطح ولتاژ و دامنه جریان است. با افزایش سطح ولتاژ نیاز به تجهیزات عایقی بیشتر می‌شود و از لحاظ ایمنی نیز مخاطرات بیشتری را به دنبال دارد. از طرف دیگر، افزایش دامنه جریان مستلزم استفاده از هادی‌های با سطح مقطع بالاتر است.

هدف شبکه توزیع، فراهم کردن توان مورد نیاز مصرف‌کنندگان است. یک توستر ۱۲ واتی را در نظر بگیرید. توان حاصل‌ضرب ولتاژ در جریان است. بنابراین یک توستر ۱۲ واتی در ولتاژ ۱۲ ولت یک آمپر جریان مصرف می‌کند. اگر ولتاژ ۲۴ ولت شود جریان مصرفی ۰.۵ و اگر ولتاژ ۴۸ ولت شود جریان مصرفی ۰.۲۵ آمپر خواهد بود. درنتیجه به ازای یک توان مصرفی ثابت با افزایش سطح ولتاژ، دامنه جریان کاهش می‌یابد. مشابه همین مثال، در شبکه توزیع با افزایش سطح ولتاژ می‌توان شدت جریان عبوری و درنتیجه سطح مقطع مورد نیاز برای عبور جریان را کاهش داد. به نظر می‌رسد ایده افزایش سطح ولتاژ یک راهکار مناسب برای حل مشکل مقیاس‌پذیر نبودن شبکه‌های توزیع برق اولیه باشد. اما افزایش سطح ولتاژ مستلزم استفاده از مواد عایقی بیشتر و افزایش فاصله بین سیم‌های برق است. این کار باعث بزرگ‌تر شدن ابعاد ژنراتورهای تولیدکننده برق می‌شود. از طرف دیگر به دلیل مسائل ایمنی، هیچ‌کس علاقه‌ای ندارد که از وسایل برقی با ولتاژ بالا در منزل خود استفاده کند.

استفاده از ترانسفورماتور برای حل مشکل مقیاس‌پذیری

اختراع ترانسفورماتور قدرت، مشکل مقیاس‌پذیری شبکه برق را حل کرد.
یک ترانسفورماتور ساده شامل یک هسته فلزی مغناطیسی و دو سیم‌پیچ است. شکل A۴، سه مدار را نشان می‌دهد که شامل دو مدار الکتریکی و یک مدار الکترومغناطیسی است. مدار الکتریکی متصل به منبع الکتریکی را مدار اولیه و مدار الکتریکی دیگر که به بار وصل می‌شود را مدار ثانویه می‌نامیم. اگر به سمت سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور ولتاژ متناوب اعمال کنیم در داخل هسته آن یک جریان مغناطیسی متغیر ایجاد می‌شود که می‌تواند در سیم‌پیچ ثانویه ولتاژ القاء کند. با اتصال بار به سیم‌پیچ ثانویه، شرایط برقراری جریان فراهم می‌شود.
تعداد دور سیم‌پیچ‌ها در اطراف هسته، مقادیر نسبی ولتاژ و جریان القایی را تعیین می‌کند. هرچه تعداد دور سیم‌پیچ‌های ثانویه به نسبت اولیه بالاتر باشد، ولتاژ بیشتری القاء می‌شود.



شکل A۴ – نمایش شماتیک مدار یک ترانسفورماتور ساده (منبع: Esri)

برای روشن‌تر شدن نحوه عملکرد ترانسفورماتور می‌توان به آنچه در یک زنگ الکترومغناطیسی اتفاق می‌افتد، اشاره کرد. با فشار دادن دکمه زنگ، مسیر عبور جریان بسته می‌شود و جریان از داخل سیم‌پیچ عبور می‌کند. در اثر نیروی مغناطیسی سیم‌پیچ، میله فلزی داخل آن حرکت کرده و زنگ به صدا درمی‌آید. اگر به‌جای آنکه به میله مغناطیسی اجازه حرکت بدهیم، آن را ثابت نگه‌داریم، این کار، موجب القای ولتاژ می‌شود. ویژگی

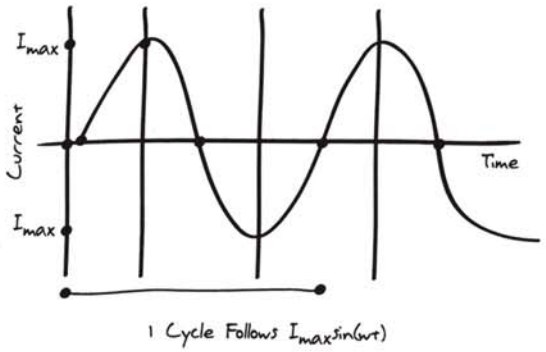
ترانسفورماتور در این است که دامنه ولتاژ القایی، لزوماً با دامنه ولتاژ اولیه برابر نیست و بستگی به نسبت سیم‌پیچ‌های اولیه به ثانویه دارد.
رابطه مدار اولیه و ثانویه ترانسفورماتور به شکل زیر است:

$$V_P/V_S=N_P/N_S$$
$$I_P/I_S=N_S/N_P$$

رابطه میان جریان و تعداد دور سیم‌پیچ‌ها، مخالف رابطه‌ای است که میان ولتاژ و تعداد دور سیم‌پیچ‌ها وجود دارد. هرچه تعداد دور سیم‌پیچ‌ها بیشتر شود، جریان کمتر خواهد شد. معادله توان مدار اولیه و ثانویه به‌صورت زیر است:

$$V_P x I_P=V_S x I_S$$

که در آن
V_P ولتاژ مدار اولیه،
I_P جریان مدار اولیه،
N_P تعداد دور سیم‌پیچ‌ها در سمت اولیه هسته ترانسفورماتور،
V_S ولتاژ مدار ثانویه،
I_S جریان مدار ثانویه و
N_S تعداد دور سیم‌پیچ‌ها در سمت ثانویه هسته ترانسفورماتور است.
این معادلات نحوه عملکرد ترانسفورماتور را نشان می‌دهند. بر اساس این روابط، ولتاژ ورودی به ولتاژ خروجی ترانسفورماتور ارتباط مستقیمی با نسبت سیم‌پیچ‌های اولیه به ثانویه دارد. اگر تعداد دور سیم‌پیچ اولیه ۱۰۰ و تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه ۱۰ باشد، آنگاه با اتصال ولتاژ ۱۰۰ ولتی به سمت اولیه، ولتاژ القایی در سمت ثانویه ۱۰ ولت خواهد بود. همچنین اگر جریان مدار اولیه معادل ۱ آمپر باشد، جریانی برابر ۱۰ آمپر در مدار ثانویه برقرار خواهد شد.
بر اساس این معادله، توان ورودی و خروجی ترانسفورماتور با یکدیگر برابر است. البته در شرایط واقعی به دلیل وجود مقاومت الکتریکی و مغناطیسی در مدار ترانسفورماتور، بخشی از توان عبوری به شکل تلفات در داخل ترانسفورماتور مصرف می‌شود. ترانسفورماتور را به‌عنوان مبدل ولتاژ می‌شناسند.
به‌هرحال باید در نظر داشت که ولتاژ تنها در صورتی در مدار ثانویه القاء می‌شود که از ولتاژ متناوب برای تغذیه ترانسفورماتور استفاده کرد. اگر یک باتری به سمت اولیه ترانسفورماتور متصل شود، هیچ ولتاژی در سمت ثانویه القا نخواهد شد. تنها در صورتی در سمت ثانویه ترانسفورماتور ولتاژ خروجی خواهیم داشت که یک جریان متناوب مثل شکل A۵ از داخل سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور عبور کند.



شکل A۵ – شکل موج سینوسی جریان متناوب (AC) (منبع: Esri)

الگوی جریان شکل A.۵ از معادله زیر تبعیت می‌کند:

$$I(t)=I_{max}\sin(wt)$$

که در آن

I(t) جریان مدار است که در هرلحظه از زمان در حال تغییر است،

Imax ماکزیمم دامنه جریان بر حسب آمپر

w سرعت زاویه‌ای تغییرات دامنه جریان

t زمان برحسب ثانیه

جریان از شکلِ موج سینوسی تبعیت می‌کند. در یک چرخه کامل (سیکل)، دامنه جریان از یک مقدار مشخص مثلا صفر آغاز شده و سپس به دامنه ماکزیمم Imax می‌رسد. سپس دامنه جریان تا مقدار مینیم یعنی Imax -کاهش یافته و در ادامه، دوباره به صفر می‌رسد. این چرخه بارها در طی یک ثانیه تکرار می‌شود. به تعداد دفعات تکرار این سیکل در یک ثانیه، فرکانس گفته می‌شود. فرکانس‌های معمول در شبکه توزیع الکتریکی، ۵۰ یا ۶۰ سیکل در هر ثانیه هستند (واحد فرکانس، هرتز است).

پذیرش سیستم جریان متناوب (AC) در صنایع، درواقع، نتیجه سیر تکاملی شبکه‌های الکتریکی بوده است. برای درک بهتر موضوع، بد نیست نگاهی به تاریخچه صنعت برق داشته باشیم.

رقابت میان شبکه‌های AC و DC

هرچند بسیاری از مردم، توماس ادیسون را به‌عنوان مخترع اولین لامپ روشنایی می‌شناسند، اما چشم‌انداز او بسیار فراتر از روشن کردن یک لامپ بود. او به دنبال پیاده‌سازی یک سیستم الکتریکی برای تغذیه شبکه روشنایی منازل و صنایع بود. نخستین بار، او یک سیستم توزیع جریان مستقیم (DC) ۱۰۰ولت ایجاد کرد. در آن زمان، لامپ‌های التهابی رایج‌ترین شکل روشنایی بودند. او رؤیای ایجاد ایستگاه‌های برق مرکزی با ژنراتورهای بزرگ را در سر داشت و درنهایت، در چهارم سپتامبر سال ۱۸۸۲، توانست ایستگاه برق Pearl Street را در شهر نیویورک افتتاح کند. این ایستگاه، برق مورد نیاز کمتر از ۱۰۰ مشترک را تأمین می‌کرد.

بعدها سیستم جریان مستقیم ادیسون به دلیل عدم مقیاس‌پذیری با کاهش استقبال مواجه شد. با اختراع ترانسفورماتور توسط شرکتی که جورج وستینگهاوس مدیریت آن را بر عهده داشت، عملا استفاده از فناوری جریان مستقیم در شبکه‌های الکتریکی منسوخ شد.

شبکه ولتاژ پایین ادیسون قادر به انتقال توان در طول مسافت‌های طولانی نبود، زیرا در آن صورت می‌بایست دامنه جریان به مقدار زیادی افزایش می‌یافت. از طرفی انتقال توان با استفاده از شبکه ولتاژ بالا برایِ خانه‌ها و صنایع پرخطر بود. ترانسفورماتور این امکان را فراهم کرد که انرژی الکتریکی در ولتاژهای نسبتا پایین و جریان‌های زیاد در ایستگاه‌های مرکزی تولید و پس‌ازآن با افزایش دامنه ولتاژ و کاهش دامنه جریان در مسیرهای طولانی انتقال یابد. سپس ولتاژ شبکه به‌صورت گام‌به‌گام به ولتاژهای ایمن جهت توزیع در سطح شهر، صنایع و خانه‌ها کاهش می‌یابد. مشکل ادیسون این بود که ترانسفورماتور برای سیستم جریان مستقیم جوابگو نبود.

شبکه‌های برق امروزی بر اساس مفهومی که وستینگهاوس ارائه کرد، پایه‌گذاری شده‌اند. اگرچه جورج وستینگهاوس با توسعه سیستم جریان متناوب به شهرت رسید، اما درواقع این نیکولاس تسلا (یکی از کارمندان شرکت وستینگهاوس و اهل کشور صربستان) بود که ایده طراحی ترانسفورماتور را به وستینگهاوس پیشنهاد کرد. او سپس تلاش کرد وستینگهاوس را برای انتقال بی‌سیم انرژی الکتریکی متقاعد کند. بر اساس این ایده، می‌توان مشابه ترانسفورماتور، انرژی الکتریکی را به انرژی الکترومغناطیسی تبدیل کرد و سپس

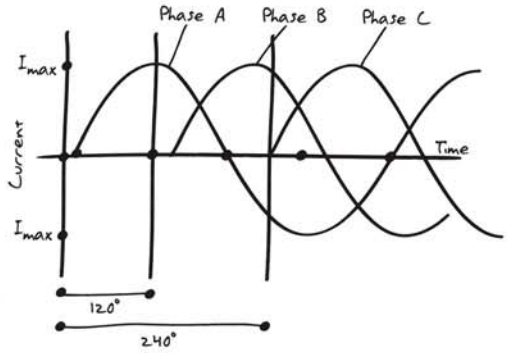
به‌جای هسته فلزی، انرژی را از طریق هوا انتقال داد. شاید روزی شاهد استفاده فراگیر از انرژی الکتریسیته به‌صورت بی‌سیم باشیم. در آن صورت به‌جای تشکر از ادیسون یا وستینگهاوس باید قدردان نیکولاس تسلا باشیم.

درواقع، از این مفهوم برای شارژ گوشی‌های موبایل استفاده شده است. شما گوشی خود را در روی پد مخصوص می‌گذارید و گوشی شما با استفاده از انرژی الکترومغناطیسی شارژ می‌شود. امروزه با توسعه خودروهای برقی و افزایش نگرانی درباره منابع نفتی، چندین پروژه تحقیقاتی در حال انجام است تا ایده استفاده از انرژی الکتریکی به‌صورت بی‌سیم را برای شارژ وسایل نقلیه برقی در حال حرکت، توسعه دهد.

سیستم‌های AC سه فاز

سیستم جریان متناوب (AC) به نسبت سیستم جریان مستقیم (DC) مزایای زیادی دارد. این سیستم مقیاس‌پذیر است و می‌تواند با تغییر سطح ولتاژ، انرژی الکتریسیته را تا مسافت‌های طولانی انتقال دهد. با افزایش سطح ولتاژ، دامنه جریان کاهش یافته و مشکل تولید حرارت زیاد و همچنین استفاده از سطح مقطع بالا برای خطوط شبکه مرتفع می‌شود. اما سیستم AC مشکلاتی را نیز به دنبال دارد. انرژی تولید شده توسط این سیستم دامنه ثابتی ندارد و مرتب در حال تغییر است. از آنجا که مقادیر جریان و ولتاژ در طول زمان تغییر می‌کند، لذا توان ایجاد شده نیز متغیر است و این موجب می‌شد که سیستم مذکور مانند یک موتور تک سیلندر، عملکرد بهینه‌ای نداشته باشد. افزایش تعداد سیلندرها در یک موتور، این امکان را فراهم می‌کند که نیرو با یک نرخ ثابت‌تر منتقل شود. مزیت سیستم‌های DC در این است که توان الکتریکی به صورت پیوسته و با نرخ ثابت منتقل می‌شود. طراحان شبکه توزیع برای ایجاد یک توان یکنواخت‌تر، از چندین سیستم AC به‌صورت هم‌زمان (مانند موتورهای چند سیلندر) استفاده کردند و زمان‌بندی رسیدن به توان ماکزیمم را به نحوی در آن‌ها تنظیم کردند که وقتی یک سیستم به پیک خود رسید و شروع به افت کرد، سیستم بعدی مسئول تأمین حداکثر قدرت می‌شود و پس از آن نیز سیستم بعدی عهده‌دار این وظیفه می‌شود. به هر یک از این سیستم‌های جداگانه یک فاز گفته می‌شود. امروزه اغلب شبکه‌های برق سه فاز هستند. نخستین بار، وستینگهاوس استفاده از سیستم سه فاز AC را پیشنهاد داد.

شکل A۶ جریان سه فاز را با هم بر روی یک گراف نشان می‌دهد. ازآنجاکه سیستم‌های AC با مفاهیمی مثل دوره تناوب و توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس مرتبط هستند، اختلاف بین فازها اکثرا با عبارت درجه مشخص می‌شود. یک دوره تناوب شامل ۳۶۰ درجه است. در شبکه سه فاز، اختلاف بین فازها ۱۲۰ درجه است. استفاده از سیستم سه فاز باعث یکنواخت‌تر شدن شکل موج خروجی و نزدیک‌تر شدن آن به خروجی سیستم جریان مستقیم می‌شود.



شکل A۶ – شکل موج یک سیستم سه فاز (منبع: Esri)

رفتار سیستم‌های AC

رفتار سیستم AC در برابر بارهای مختلف با سیستم DC متفاوت است. به‌عنوان مثال، برای یک لامپ ساده و یا یک هیتر که از نوع بار اهمی هستند، رفتار این دو سیستم مشابه است. اما در موتورها و تجهیزاتی که از القاء مغناطیسی استفاده می‌کنند، رفتار سیستم AC کاملا با سیستم DC متفاوت است. به این نوع بارها، بار سلفی نیز گفته می‌شود. در این بارها شکل موج ولتاژ از شکل موج جریان جلوتر است. در هیتر و لامپ التهابی، زمان رسیدن به دامنه ماکزیمم، مینیمم و صفر شکل موج جریان و ولتاژ یکسان است، به همین دلیل گفته می‌شود که ولتاژ و جریان با یکدیگر هم‌فاز هستند.

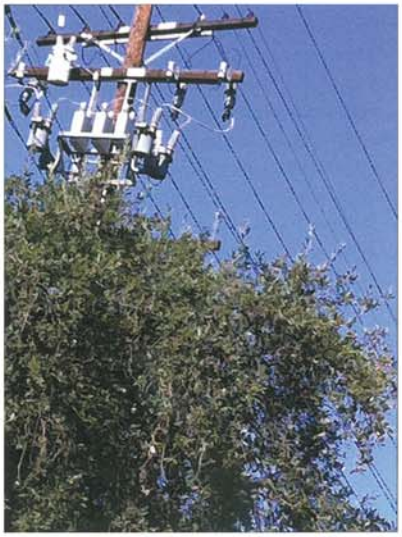
خازن‌ها

در شبکه برق، از خازن برای جبران تأثیر بارهای سلفی استفاده می‌شود. خازن از دو صفحه فلزی که توسط عایق از هم جدا شده‌اند تشکیل شده است. از یک نگاه، خازن شبیه باتری است با این تفاوت که در آن هیچ فعل‌وانفعال شیمیایی اتفاق نمی‌افتد. خازن می‌تواند انرژی الکتریسیته را در خود ذخیره کند و زمانی که شرایط آن ایجاد شد، این انرژی را آزاد کند. با اتصال خازن به منبع ولتاژ، صفحه‌های خازن با بار مثبت و منفی شارژ می‌شود. به دلیل ماده عایق به‌کاررفته در خازن، بار ذخیره شده در صفحات باقی می‌ماند. به همین دلیل است که خازن می‌تواند انرژی الکتریسیته را در خود ذخیره کند.
سلف یا القاگر تجهیزی مشابه خازن است که می‌تواند انرژی الکترومغناطیسی را در خود ذخیره کند. بیشتر بارها در شبکه برق خاصیت اهمی و یا سلفی دارند. هیتر یک نمونه بار اهمی است. هیتر از مقاومت‌های الکتریکی برای تولید حرارت استفاده می‌کند. زمانی که ولتاژ متناوب به یک بار سلفی اعمال می‌شود، جریان ایجاد شده در بار نسبت به ولتاژ اختلاف فاز دارد و از آن عقب‌تر است. در بارهای خازنی، شرایط عکس بار سلفی است و شکل موج جریان از ولتاژ جلوتر است. شکل A۷ یک بانک خازنی نصب شده بر روی پایه را نشان می‌دهد. در کل، بارهای سیستم قدرت بیشتر تلفیق بارهای سلفی و اهمی هستند، بنابراین همیشه بین ولتاژ و جریان اختلاف فاز وجود دارد. میزان اختلاف فاز با واحد درجه اندازه‌گیری می‌شود، مثل ۱۰درجه و یا ۶۰ درجه. هر چه اختلاف فاز کمتر باشد، سیستم هم‌فازتر است و عملکرد بهتری خواهد داشت. شاخص اندازه‌گیری هم‌فاز بودن شبکه برق، ضریب قدرت است. ضریب قدرت از محاسبه کسینوس اختلاف فاز بین شکل موج جریان و ولتاژ به دست می‌آید. هر چه اختلاف فاز کمتر باشد، ضریب قدرت به عدد یک نزدیک‌تر می‌شود. با توجه به اینکه عملکرد خازن عکس سلف است (جریان خازن برخلاف سلف از شکل موج ولتاژ جلوتر است)، معمولا از آن برای جبران تأثیر بارهای سلفی و بهبود ضریب قدرت شبکه استفاده می‌کنند.

توان ظاهری

غالباً درک درستی از مفهوم توان ظاهری وجود ندارد. واحد اندازه‌گیری توان ظاهری، ولت‌آمپر (VA) است که البته کیلوولت آمپر (kVA) بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. ازآنجاکه توان، حاصل‌ضرب جریان در ولتاژ است، ازاین‌رو معادله آن برای سیستم‌های AC نیز مانند سیستم‌های DC است:

$$P=VxI$$



شکل ۸۷ – خازن‌هایی که روی شبکه توزیع هوایی نصب‌شده‌اند.
(منبع: Esri، عکاس: بیل میهان)

در سیستم‌های AC توان ظاهری با حرف S نمایش داده می‌شود. برخلاف سیستم DC، ولتاژ و توان هر دو مطابق توابع مثلثاتی سینوس و کسینوس تغییر می‌کنند. با توجه به وجود اختلاف فاز بین شکل موج جریان و ولتاژ، توان حقیقی (توانی که باعث گرم شدن هیتر، روشن شدن لامپ و یا راه‌اندازی موتور می‌شود) از حاصل‌ضرب توان ظاهری در ضریب قدرت به دست می‌آید. توان حقیقی با واحد وات و یا کیلووات اندازه‌گیری می‌شود.

توان راکتیو (Var)

توان راکتیو یا ولت-آمپر راکتیو، توان غیرمفیدی است که به دلیل تأخیر زمانی بین شکل موج جریان و ولتاژ ایجاد می‌شود. این نوع توان، به همراه توان اکتیو انتقال می‌یابد ولی قادر به انجام کاری نیست. شرکت‌های برق در تلاش هستند تا توان راکتیو سیستم‌های خود را کاهش دهند. این کار با تصحیح ضریب قدرت صورت می‌گیرد. برای بررسی نحوه عملکرد سیستم AC، مجددا از مثال جابجایی تخته‌سنگ در دامنه تپه استفاده می‌کنیم. یکی از روش‌ها برای انتقال تخته‌سنگ به بالای تپه، این است که پشت تخته‌سنگ بایستیم و شروع به هل دادن آن کنیم. کاری که برای هل دادن این تخته‌سنگ انجام می‌گیرد، یک کار واقعی است. بنابراین کار انجام شده برای انتقال تخته‌سنگ به بالای تپه معادل انرژی ذخیره شده در آن است. اگر تخته‌سنگ در داخل یک چاله و یا شیار گیر بیفتد، تنها راه بالا بردن آن این است که تخته‌سنگ را از راست یا چپ و یا به‌صورت زاویه‌ای هل دهیم. بنابراین به‌جای هل دادن مستقیم تخته‌سنگ، ناچار هستیم این کار را با یک زاویه نسبت به خط مستقیم انجام دهیم. در این حالت، مقدار کاری که برای حمل تخته‌سنگ انجام می‌شود، بیشتر از حالتی است که آن را به‌صورت مستقیم جابجا می‌کنیم. هرچه اندازه این زاویه بزرگ‌تر باشد، کارِ انجام شده بیشتر خواهد شد. درنهایت، فارغ از مسیر طی شده، انرژی ذخیره شده در تخته سنگ کاملا مساوی حالت قبل خواهد بود.

بازدهی کار انجام شده برای جابجایی تخته‌سنگ تا بالای تپه، با زاویه حمل آن، ارتباط مستقیم دارد. اگر شخص، تخته‌سنگ را به‌طور مستقیم هل دهد، زاویه مسیر جابه‌جایی برابر صفر درجه و درنتیجه کسینوس آن برابر ۱ است. اما اگر تخته‌سنگ با زاویه ۳۰ درجه حمل شود، کسینوس آن ۰.۸۶۶ خواهد بود.

در سیستم قدرت، زاویه بین شکل موج‌های جریان و ولتاژ، میزان تلاش اضافی که سیستم برای انتقال توان اکتیو به آن نیاز دارد را تعیین می‌کند. کسینوس اختلاف فاز بین شکل موج ولتاژ و جریان تحت عنوان ضریب قدرت شناخته می‌شود. تلاش اضافی که برای جابه‌جایی تخته‌سنگ تا بالای تپه صرف می‌شود، با توان راکتیو قابل‌مقایسه است. این توان غیرمفید، به دلیل عدم هم‌فازی شکل موج ولتاژ و جریان ایجاد می‌شود. همان‌طور که در مثال تخته‌سنگ اشاره شد، هرچه اختلاف زاویه بیشتر باشد، سیستم برای انجام یک کار واقعی مشخص، به کار اضافی بیشتری احتیاج دارد.

پارامترهای اصلی سیستم AC

سیستم‌های AC، به دلیل روابط پیچیده بین مؤلفه‌های جریان، ولتاژ و توان، نسبت به سیستم‌های DC از پیچیدگی بیشتری برخوردار هستند. امروزه از جریان مستقیم در برخی خطوط انتقال قدرت ولتاژ بالا (HVDC)[۱] استفاده می‌شود. در این حالت، جریان متناوب در ابتدای خط به جریان مستقیم تبدیل شده و در انتهای خط، دوباره به شکل متناوب درمی‌آید.

یک روش ساده برای نمایش نحوه ارتباط توان ظاهری، توان اکتیو و توان راکتیو استفاده از یک مثلث قائم‌الزاویه است. در یک مثلث قائم‌الزاویه قاعده، ارتفاع و وتر به ترتیب نمایانگر توان اکتیو، توان راکتیو و توان ظاهری هستند. زاویه بین قاعده و وتر همان اختلاف فاز سیستم است که کسینوس آن برابر ضریب قدرت است.

پارامترهای اصلی سیستم AC و دلایل اهمیت آن‌ها را به شرح زیر می‌توان خلاصه کرد:

ولتاژ AC: این مؤلفه طبق یک شکل موج متناوب از صفر تا پیک، از پیک تا صفر، از صفر تا پیک منفی، و از پیک منفی تا صفر تغییر می‌کند و این سیکل تغییرات مرتب تکرار می‌شود.

جریان AC: مؤلفه جریان نیز طبق همان الگوی مؤلفه ولتاژ تغییر می‌کند، با این تفاوت که اغلب بین شکل موج این دو مؤلفه اختلاف زمانی وجود دارد.

فاز: در یک سیستم الکتریکی سه فاز، هر فاز دوره تناوب خود را پس از آنکه فاز قبلی یک‌سوم مسیرش را طی کرد، شروع می‌کند. ابتدا فاز A شروع می‌شود، سپس فاز B با اختلاف فاز ۱۲۰ درجه شروع می‌شود، در ادامه فاز C با ۱۲۰ اختلاف نسبت به فاز قبلی شروع می‌شود و دوباره نوبت به فاز A می‌رسد. این روند مرتب تکرار می‌شود. این موضوع که چرا در سیستم قدرت از سیستم سه فاز استفاده شده و از تعداد فازهای دیگر مثل شش یا هشت استفاده نشده است، هیچ دلیل فنی ندارد و به سیر تکاملی توسعه شبکه برق برمی‌گردد. می‌توان تعداد فاز در سیستم قدرت را به تعداد سیلندر در موتور تشبیه کرد. یک سیستم تک فاز مشابه یک موتور تک سیلندر و یک سیستم سه فاز مشابه یک موتورِ سه سیلندر رفتار می‌کند.

توان ظاهری: توان متناوب منتقل‌شده بر اساس جریان و ولتاژ که لزوماً همه آن قابل استفاده برای انجام کار واقعی نیست. توان ظاهری برحسب ولت-آمپر یا کیلوولت-آمپر اندازه‌گیری می‌شود.

ضریب قدرت: ضریب قدرت به‌عنوان ضریب بهره‌وری سیستم شناخته می‌شود و نشان می‌دهد که به نسبت توان ظاهری تأمین شده، چه مقدار توان اکتیو توسط سیستم تحویل داده شده است. دامنه تغییرات ضریب قدرت بین صفر تا یک است. ضریب قدرت یک به این معناست که توان ظاهری با توان اکتیو برابر است.

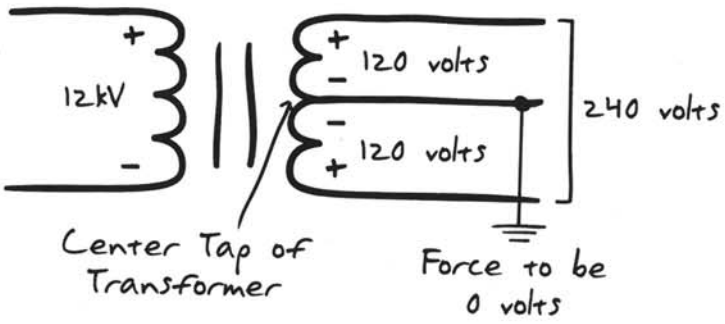
توان اکتیو: توان اکتیو مؤلفه‌ای از توان ظاهری است که موجب انجام کار واقعی در سیستم می‌شود، مانند روشن کردن یک لامپ و یا به کار انداختن یک موتور. توان اکتیو برحسب وات یا کیلووات اندازه‌گیری می‌شود.

۱- High-Voltage Direct-Current

توان راکتیو: توان راکتیو، مؤلفه‌ای از توان ظاهری است که قادر به انجام کاری در سیستم نبوده و در اثر تأخیر زمانی بین مؤلفه‌های ولتاژ و جریان به وجود می‌آید.
فرکانس: در مؤلفه‌های ولتاژ و یا جریان، به تعداد سیکل‌های تکرار شده در طی یک ثانیه، فرکانس گفته می‌شود. در شبکه‌های قدرت از فرکانس ۵۰ و ۶۰ هرتز استفاده می‌شود.

شبکه‌های توزیع برق امروزی

در سیستم فشار ضعیف کشور آمریکا بیشتر از شبکه‌های تک فاز ۲۴۰ ولت که از طریق ترانسفورماتورهای کوچک تک فاز تغذیه می‌شوند، استفاده شده است. این شبکه از سه سیم تشکیل شده است که سیم نول در وسط قرار دارد. نقطه میانی سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور به سیم نول و سیستم زمین متصل شده است. بنابراین یک نقطه صفر ولتاژی بین دو سیم کناری ایجاد می‌شود. اختلاف پتانسیل بین هرکدام از سیم‌های کناری و سیم نول ۱۲۰ ولت است. ولتاژ دو سیم کناری دقیقا ۱۸۰ درجه با یکدیگر اختلاف فاز دارند. بنابراین، اختلاف پتانسیل بین این دو سیم ۲۴۰ ولت است (شکل ۸۸).



شکل ۸۸ – آرایش ترانسفورماتور تک فاز مورد استفاده در کشور آمریکا (منبع: Esri)

در برخی مناطق شهری کشور آمریکا، از ترانسفورماتورهای سه فاز برای تغذیه شبکه فشار ضعیف استفاده می‌شود. در این ساختار، ولتاژ فاز به زمین برابر ۱۲۰ ولت و ولتاژ فاز به فاز برابر ۲۰۸ ولت است.
خارج از کشور آمریکا، بیشتر از ترانسفورماتورهای سه فاز با ظرفیت بالا استفاده می‌شود. در این سیستم، اختلاف پتانسیل فاز به زمین برابر ۲۲۰ ولت و اختلاف پتانسیل فاز به فاز برابر ۳۸۰ ولت است.
مزیت سیستم فشار ضعیف آمریکای شمالی، استفاده از ترانسفورماتورهای تک فاز کوچک است که به آسانی قابل جابه‌جایی و نصب هستند. اگر یکی از این ترانسفورماتورها خراب شود، تعداد مشترک کمی تحت تأثیر قرار می‌گیرند. در بقیه دنیا معمولا از ترانسفورماتورهای سه فاز با ظرفیت بالاتر استفاده می‌شود. مزیت سیستم دوم این است که تعداد مشترکین بیشتری را می‌توان تغذیه کرد و برقراری تعادل بین بار فازهای مختلف ساده‌تر انجام می‌شود.

منابع و مراجع

منابع و مراجع

من این مقالات، ارائه‌ها و کتاب‌ها را در درک بهتر کاربردهای GIS در شرکت‌های برق مفید دیدم. قطعاً این لیست کامل نیست، اما این مطالب بر نوع نگاه من تأثیرگذار بوده است. شما با مطالعه این منابع، با کاربردهای واقعی و عملی سیستم GIS در شرکت‌های توزیع برق آشنا خواهید شد.

- Adams, M.2005. “Web-based GIS: The Easier Solution.” Transaction of GITA.
- Afonso, M. A. “GIS for Underground Network.” Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2004
- Arctur, David, and M. Zeiler. 2004. Designing Geodatabases. Redlands, CA: Esri Press.
- Ballieu, B., and E. Thijs. “The Complexity of the Network.” Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2003
- Beck, K., and R. Mathieu. “Can Power Companies Use Space Patrols to Monitor Transmission Corridors?” Paper Presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2004.
- Borchert, R. “QA/QC: Assuring Quality and Control with a Checklist.” Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.
- Bradburey, D. 2005. “Data Quality Triage.” Transactions of GITA.
- Brekke, J. 2007. “Basin Electric Power Cooperative Deploys Enterprise GIS to Improve Processes and Deliver Business Value.” ArcNews (Fall).
- Breland, D.2005-06. “Southern Company’s Enterprise GIS Streamlines Communication Between Its Five Electric Utilities.” ArcNews(Winter).
- Brummels, G., T. Acker, and S, Williams. “Navajo Wind Energy Development Exclusions: An Analysis of Land Suitable for Wind Energy Development on the Navajo Nation.” Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.
- Carlson, P. “The History of the Lake Country Power Initiative.” Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2005.
- Casella, M., and S, Kerr. "Enterprise Asset Management (EAM) Driven GIS: An Alternative Approach." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.

• Cederholm, M. "Synchronizing Smallworld Data with ArcGIS." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2005.
• Chester, J. "Power Plant Suitability Analysis Made Easier with ModelBuilder." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2005.
• Childs, D. 2005."Building the Business Case for an Enterprise GIS." Transactions of GITA
• Childs, D., and M. Mohseni. "Building the Business Case for an Enterprise GIS." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2005.
• Cover, C. "Using GIS to Help Manage a National Energy Program." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.
• Cox-Drake, R.2004. "The Value of Time." Transaction of GITA.
• - - -. 2005. "Protecting Critical Infrastructure, a Key Role for GIS" Transaction of GITA.
• Dangermond, J.2004. "The Role of Geospatial Information: Its Future for Utilities." Transactions of GITA.
• - - -. 2005. "GIS Is Just Getting Started." Transaction of GITA.
• - - -. 2006. "GIS Enterprise Architecture: Unifying the Utility." Transaction of GITA.
• - - -. 2007. "Enterprise GIS: Exploring the Possibilities for Mission Critical Operations." Transaction of GITA.
• DelVries, W. "How GIS Supports Outage Management." Electric Power and Light (September 2010).
• DiBiase, D. 2007. "Reconciling the Geospatial Technology Competency Model with the GIS& T Body of Knowledge." Transaction of GITA.
• Duswalt, J. 2003. "PSEG: Spatial Data QA - Data and Processes." ." Transaction of GITA.
• Esri and Miner & Miner. 2001. "Electric Distribution: ArcGIS Electric Distribution Data Models."
• Faglier, R. 2007. "Maintaining Your Data Investment through System Integration." Transaction of GITA.
• Forbes, E. 2008. "Centralizing One-Call Requests with GIS." ArcNews (Spring).
• Foresman, T. 1998. History of Geographic Information Systems: Perspectives from the Pioneers. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
• Fortich, C., and J. Armstrong. "Lessons Learned in Building an Overhead Primary and Secondary Netword. " Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.
• Francisco, E. 2007. "Geographic Income Indicators Based on Electricity Consumption: A Potential New Business for Electric Companies." Transactions of GITA.

• Frantz, B., and C .Findley. "Quantifying Municipal Electric Infrastructure for GASB34 Compliance." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2005.
• Fu, P., and J. Sun. 2011. Web GIS, Principles and Applications. Redlands, CA: Esri Press.
• Gelling, D. 2009. The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response. Lilburn, GA: Fairmont Press.
• Glasgow, J. 2004. "Sitting Linear Facilities with Geographic Information Systems." Transaction of GITA.
• Gomide, A., and G. Kissula. "Using Geocoding to Improve Data Quality." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.
• Grise, S. 2004. "Web Services: A Replacement for Desktop GIS?" Transactions of GITA.
• Hahne, R. 2004. "Integration of GIS and EAM." Transactions of GITA.
• Hall, W.2005. "Enterprise Benefits through Automated Routing and Scheduling." Transactions of GITA.
• Harper, J. 2009-10. "Vegetation Management Goes Mobile." ArcNews (Winter).
• Helmer, T. 2004. "Using GIS Technology to Maximize Operations Data Marts." Transactions of GITA.
• Hershman, J. 2004. "Using Web Services to Integrate GIS into the Enterprise." Transactions of GITA.
• Hill, C. 2004. "Lessons Learned in Building a Foundation for Technology-Enabled Business Transformation of Utility Operations." Transactions of GITA.
• Hoel, E. 1999. "Building Dynamic Network Models with GIS Software Components." Transactions of GITA.
• Ingram, D., and C. Shankland. "Utilizing Videography and GIS for Right-of-Way Issue Identification." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.
• Jonson, J. 2001. "Are We There Yet? Experiences and Lessons in a GIS Conversion Project." Transactions of GITA.
• Kersting, A. P., J. Kersting, C. F. Filho, and M. Muller. "Airborne Lidar and GIS Tools in Transmission Line Re-Rating Projects." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2005.
• Kircher, T., G. Garcia, and A. Little. "Streamlining Gas Transmission Management at PNM." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2003.
• Kolosvary, R., and D. Desarais. "GIS for Joint-Use Field Data Collection." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2006.
• Ladha, N., S. Jiwani, and S. Kumra. "Enterprise GIS at One of North America's Largest Electricity Networks." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2005.
• Lariviere, F., T. Thistoll, and W. Warren. "Rapid Data Capture and Asset Inspections: Saving Money." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2005

• Lembo, A., L. Nozick, and T. O'Rourke. "Optimizing Gas Main Expansion with Spatial Analysis and Operations Research." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2003.

• MacNaughton,J., J. Schick, N. Kernohan, and R. Menon. "Electrical Designing in the Field Using ArcGIS and ArcFM." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2004.

• MacPhee, A. "Innovative Tools for Data Reconciliation/Production Use." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.

• Maguire, D. 1999. "Object-Component GIS: The New Standards." Transaction of GITA.

• - - -. 2001. "Building Domain Data Models for AM/FM/GIS." Transaction of GITA.

• - - -. 2002. "Rethinking Topology in AM/FM/GIS." Transaction of GITA.

• - - -. 2005. "Enterprise Geographic Information Servers: A New Information System Architecture." Transaction of GITA.

• Marbury, G. 2011. "Expanding GIS to the Marketing Department." Energy Currents (Winter).

• Martin, B. 2005. "Leveraging Work and Maintenance Management Systems as an Integral Component of Your Asset Management Strategy." Transaction of GITA.

• May, C., and J. Henry. "Integrating GIS into a Pole Replacement Workflow System." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.

• Meehan, W. 2003. "Shredding the Map." Paper published in Distributech Conference Proceedings. Tulsa, OK: PennWell Publishing.

• - - -. 2005. "Enterprise GIS: If You Build It, It Will Fund." GeoWorld (March).

• - - -. 2006a. "GIS Enhances Utility Customer Care." Transaction of CIRED.

• - - -. 2006b."Transforming Utilities." GeoConnexion International (July/August).

• - - -. 2007. Empowering Electric and Gas Utilities with GIS. Redlands, CA: Esri Press.

• - - -. 2008. "GIS and the Utility of the Future." Transactions of DEMSEE.

• - - -. 2009a. "Alternative Energy: Be Smart to Survive." GIS Development (May).

• - - -. 2009b. "GIS Makes Smart Grid Smart." GeoInformatics (October).

• - - -. 2009c. "The Grid Cannot be Smart Without GIS." Transaction of GITA.

• - - -. 2010. "Building a Knowledge Infrastructure with GIS." Transaction of DEMSEE(September).

• - - -. 2011a. "As Seasoned Utility Staff Retire, Will They Take Wisdom with Them? PowerGrid International (July).

• - - -. 2011b. "GIS: A Gold Mine of Opportunity." Transaction and Distribution World (June).

• Meehan, W., and D. Frye. 2004. "GIS: A Must For Assessing Pipeline Integrity." Transactions of GITA.

• - - -. 2011b. "GIS: A Gold Mine of Opportunity." Transaction and Distribution World (June).
• Meehan, W., and D. Frye. 2004. "GIS: A Must For Assessing Pipeline Integrity." Transactions of GITA.
• Meehan, W. and J. Dangermond. 2007. "Enterprise GIS: Powering the Utility GIS." Transaction of GITA.
• Meyer, W. 2001. "Gas Compliance/Maintenance Process Improvement Utilizing GIS." Transaction of GITA.
• Meyer, J. 1999. "Rule-Based Technology for GIS Applications." Transactions of GITA.
• - - -. 2002. "10 Things I Hate about You: The Worst Mistakes in GIS Project History (And How to Avoid Them)."
• - - -. 2003. Building Your ArcFM. 2nd ed. Redlands, CA: Esri and Fort Collins, CO: Miner&Miner.
• - - -. 2004. "Wars and Rumors of Wars: Change Management and Enterprise GIS Implementation." Transaction of GITA.
• ---. 2007. "Measuring the Impact of EGIS on Organizational Effectiveness." Transaction of GITA.
• Miller,. A. "Merging Two GIS Platforms for Utility Data into One." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2005.
• Montgomery, R. 2004. "Innovative Economic Development." Transaction of GITA.
• Moran, T. 2008 . "Colorado Springs Utilities Improve Cadastral Data Management." ArcNews (Summer).
• Morgan, G. "Facilities Inspection and Maintenance." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2003.
• Muller-Bertram, O., and P. Gruninger. "Migrating Germany's Third-Largest Energy Company." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.
• Noonan, J. 2005. "Spatial Load Forecasting: Bringing GIS to T&D Asset Management." Transaction of GITA.
• Park, N. 2003. "Terrestrial Spill Modeling: Increasing Confidence in the Estimation of High Consequence Area (HCA) Impact," Transaction of GITA.
• Pertot, B., and B. Abou-El-Hassan. "A Fundamental Utility Restoration and Evolution Using GIS." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2004
• Peters, D. 2004. "System Architecture Alternatives for Enterprise AM/FM Operations." Transaction of GITA.
• - - -. 2005. "Planning for Productive Enterprise GIS Operations." Transaction of GITA.
• Porter, B. 1999. "Interfacing AM/FM/GIS with Enterprise and Operations Systems." Transaction of GITA.

• Porter, R. 2004. "Considering the life in Project Life Cycle: The Human Perspective." Transaction of GITA.

• Portillo, D. "An ArcGIS Schematics Application for an Electric Utility." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2006.

• Presti, J.2003. "Work Management Integration with ERP and GIS." Transaction of GITA.

• Public Utility Reports, Inc. 1999. "Principles of Public Utilities Operations & Management." P.U.R Guide (August).

• Reece, C. "Integrating Real-time Weather into Outage Management." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2003.

• Rogers, C. 2002. "The Tricks and Traps of Managing an Enterprise GIS." Transaction of GITA.

• Rogers, C. 2002. "The Tricks and Traps of Managing an Enterprise GIS." Transaction of GITA.

• Salas, C. 2011. "Passion for GIS in Undeniable." ArcNews (Summer).

• Schmidt, A. "Integration of GIS with Asset Management: Creating a Road Map for Success." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2005.

• Seiler, K. 2004. "Integration of Spatial Technology for the Purposes of Visualization, Analysis, and Planning." Transaction of GITA.

• Shaw, W. 2003. "Migrating Legacy GIS: An Evolutionary Approach." Transaction of GITA.

• Shoemaker, T., and J. Mack. 2007. The Lineman's and Cableman's Handbook. New York: McGraw Hill.

• Short, T. 2004. Electric Power Distribution Handbook. Boca Raton, FL: CRC Press.

• Stasik, M. 2005. "The Last Mile of Field Work: Integrating Spatial Data Back into the Office." Transaction of GITA

• Stover, D., and B. Beaver. "ArcViews and SynerGEE Work Together in a Gas COS Application." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, July 2005.

• Tomas, C., and M. Ospina. 2004. Measuring Up: The Business Case of GIS. Redlands, CA: Esri Press.

• Thompson, G., and A. Patterson. 2011. "Spatial Business Intelligence to Improve Smart Meter Deployment." Energy Currents (Winter).

• Thorne, M. 2005. "Quantitative Pipeline Risk Assessment." Transaction of GITA.

• Tomlinson, R. 2007. Thinking About GIS: Geographic Information System Planning for Managers. Redland, CA: Esri Press.

• Tram, H. 2004. "Integrated Resource Planning for Multiutility services." Transaction of GITA.

• United States Bureau of Labor Statistics. 2010-11. Career Guide to Industries - Utilities. http:// www.bls.gov/oco/cg/cgs018.htm.

• Wallace, B., and E. Fulcher. "Bridging the Gap Between GIS and ERP at Alagasco." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2004.

• Wilke, L. "Taking Tablet PCs and the Enterprise Geodatabase to the Field." Paper presented at the Esri International User Conference, San Diego, CA, August 2004.

• Worzala, M. 2009-10. "Restoring Angola's Electricity Network." ArcNews (Winter).

• Zeiler, M. 1999. "Patterns for Building Utility Data Models." Transaction of GITA.

• Zeiler, M., and J. Murphy. 2010. Modeling Our World: The Esri Guide to Geodatabase Concepts. 2nd ed. Redlands, CA: Esri Press.

Modeling Electric Distribution with GIS

مدل سازی شبکه های توزیع برق با استفاده از سیستم GIS

این کتاب، تلاش‌های یک مدیر GIS برای پیاده‌سازی سیستم GIS سازمانی را به شیوه‌ای کاربردی و عملی روایت می کند و به‌جای پرداختن تئوری به مبحث مدل داده، اجزا و فرآیندهای مختلف شبکه توزیع برق که در تعریف مدل داده نقش دارند، معرفی می‌نماید.

مخاطبان اصلی کتاب، مدیران فاوا، GIS و تولیدکنندگان نرم‌افزارهای GIS مبنا هستند و مطالعه آن به کارشناسان مرتبط با پروژه پیاده‌سازی سیستم GIS بسیار توصیه می‌شود، چراکه می‌تواند دانش کارکنان صنعت برق در زمینه قابلیت‌های این سیستم را ارتقاء بخشد.

شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان با گستره جغرافیایی در حدود ۱۶/۰۰۰ کیلومترمربع، به بیش از ۱/۱۰۰/۰۰۰ مشترک خدمات ارائه می‌دهد. تاکنون اطلاعات شبکه فشار متوسط و پست‌های شرکت به‌صورت کامل در سیستم GIS پیاده‌سازی شده است. همچنین اطلاعات شبکه فشار ضعیف حدود ۹۲٪ مشترکین در سیستم GIS ثبت شده است. طبق برنامه‌ریزی صورت گرفته، عملیات برداشت و استقرار سیستم GIS ظرف یکسال آینده تکمیل خواهد شد.

از مجموعه انتشارات دفتر روابط عمومی
شرکت توزیع برق شهرستان اصفهان