مهندسی عمران شریف (پاییز ۱۴۰۰)
دوره‌ی ۲-۳۷، شماره‌ی ۳/۱، ص. ۲۳-۳۲ (پژوهشی)

Original Article

تعیین مسیر بهینه‌ی پروژه‌های زیربنایی انتقال آب با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی بر پایه‌ی مدل یکپارچه‌ی سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی اطلاعات ساخت

محمدحسین تمنائی فر (دانشجوی دکتری)
وحید شاه حسینی * (استادیار)
علی نوری (دانشجوی کارشناسی ارشد)
محمدحسین سلیمی (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

استفاده از فنّاوری مدل اطلاعاتی ساخت در پروژه‌های زیربنایی مانند راه‌سازی، سیستم انتقال آب و نیروگاه‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌های صنعت ساخت است. بیشتر پژوهش‌های گذشته به کاربرد مدل اطلاعاتی ساخت در پروژه‌های ساختمانی اشاره کرده‌اند و به کاربردهای آن در پروژه‌های زیربنایی کمتر توجه شده است. بر اساس مزایای BIM و GIS، مدل یکپارچه‌ی این دو فنّاوری می‌تواند روند تصمیم‌گیری را در مراحل برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت تسهیل کند. هدف این مقاله ارائه‌ی الگوریتمی برای یافتن مسیر مناسب خط لوله با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و بر اساس مدل یکپارچه‌ی GIS و BIM است. در این پژوهش ابتدا مفاهیم BIM و GIS، یکپارچگی این سیستم‌ها در پژوهش‌های پیشین و کاربردهای آن در پروژه‌های زیرساختی بررسی می‌شوند. سپس با توجه به پارامترهای در نظرگرفته شده و نظرات متخصصان و همچنین استفاده از مدل یکپارچه‌ی BIM و GIS، مناسب‌ترین مسیر خط لوله در سیستم توزیع آب بر اساس روش AHP تعیین می‌شود. در این مقاله، با توجه به مسیرهای اولیه و نظرات کارشناسان و ذی‌نفعان، کلیه‌ی مسیرها بر اساس معیارهای مختلف مقایسه و در نهایت مسیر بهینه با استفاده از روش AHP تعیین می‌شود. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کوتاه‌ترین مسیر لزوماً بهترین مسیر خط لوله نیست؛ زیرا معیارهای مختلفی در تعیین مسیر بهینه دخیل هستند و همه باید در انتخاب مسیر مناسب خط لوله در نظر گرفته شوند.

civil.tamanaeifar@gmail.com
shahhosseini@aut.ac.ir
ali1996nouri@gmail.com
m.h.salimi74@aut.ac.ir

واژگان کلیدی: مدل‌سازی اطلاعات ساخت، سیستم اطلاعات جغرافیایی، تحلیل سلسله‌مراتبی.

۱. مقدمه

انواع خطوط انتقال زیرزمینی از قبیل خطوط انتقال آب، برق، گاز و مخابرات نقش اساسی به ویژه در مناطق شهری ایفا می‌کنند. زیرا ملزومات اولیه و اساسی زندگی در مناطق مسکونی را فراهم می‌سازند. از میان انواع مختلف سیستم‌های خطوط انتقال، خطوط انتقال آب یکی از مهم‌ترین آنها به شمار می‌آید.[۱]

فرایند تصمیم‌گیری در خصوص تعیین مسیر مناسب پروژه خط انتقال آب، مهم‌ترین قسمت فاز طراحی آن است؛ زیرا این فرایند مستقیماً روی فاز ساخت و بهره‌برداری پروژه تأثیرگذار است و عدم انتخاب مسیر مناسب، موجب هدر رفت منابع مالی، تحمیل هزینه‌های بیشتر به پروژه، افزایش زمان ساخت و بروز مشکل در عملکرد مناسب خطوط انتقال می‌شود. فرایند تصمیم‌گیری مستلزم توجه به عوامل بسیاری از قبیل در دسترس بودن سایت کارگاه، موانع موجود در مسیر و عوامل زمین نگاری است.[۲]

فرایند برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری به دلیل پیچیدگی سطوح کاری و مسیرهای خط انتقال نیاز به داده‌های جغرافیایی و مکانی قابل‌توجهی دارد[۳]؛ بنابراین نیاز به استفاده از فنّاوری سیستم اطلاعات جغرافیایی[۱] که توانایی گردآوری و ذخیره‌سازی اطلاعات جغرافیایی و مکانی در مقیاس بزرگ را دارد، احساس می‌شود.[۴ و ۵]

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۹/۵/۱۹، اصلاحیه ۱۳۹۹/۱۰/۲۷، پذیرش ۱۳۹۹/۱۱/۱۹.
DOI:10.24200/J30.2021.56103.2803

از طرف دیگر نیاز به مدل‌سازی سه‌بعدی خطوط انتقال و تأسیسات مرتبط به آن و بستری مناسب برای نگهداری، مدیریت و به روزرسانی اطلاعات در فازهای تصمیم‌گیری، طراحی، ساخت و بهره‌برداری احساس می‌شود. با توجه به قابلیت‌های مدل‌سازی اطلاعات ساخت[۲]، این فنّاوری می‌تواند به خوبی جوابگوی نیازهای ذکر شده باشد. با توجه به این که نیاز به هر دو فنّاوری سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی اطلاعات ساخت در مرحله‌ی برنامه‌ریزی پروژه‌های زیربنایی انتقال آب - به ویژه در فرایند تصمیم‌گیری برای تعیین مسیر مناسب خطوط لوله ـ احساس می‌شود، استفاده‌ی هم‌زمان از این دو فنّاوری و ارائه‌ی یک مدل یکپارچه می‌تواند بستری مناسب برای دست‌یابی به مسیر بهینه باشد. همچنین استفاده از فنّاوری‌های پیشرفته موجب تدقیق و تسریع در گرفتن اطلاعات می‌شود. بدین ترتیب در ادامه‌ی پژوهش برای تصمیم‌گیری از از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده می‌شود؛ زیرا بسیاری از متغیرهای ما کیفی هستند و این روش می‌تواند در جهت تصمیم‌گیری ذی‌نفعان پروژه کمک کند.

هدف اصلی مقاله‌ی پیش رو انتخاب مسیر مناسب پروژه‌ی خط انتقال آب با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی[۳] و بر اساس مدل یکپارچه‌ی سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل اطلاعاتی ساخت است.

۲. پیشینه‌ی تحقیق

۱.۲. مدل‌سازی اطلاعات ساخت

هرکدام از عوامل درگیر در پروژه با توجه به زمینه‌ی فعالیتشان از شیوه‌ها و نرم‌افزارهای متفاوتی برای ارائه‌ی نتایج کاریشان استفاده می‌کنند؛ بنابراین برای ایجاد یکپارچگی بین این خروجی‌ها، اطلاعات باید مجدداً تفسیر و بازسازی شوند تا با نرم‌افزارهای مختلف هماهنگ شوند و در هنگام انتقال، توسط ذی‌نفعان مختلف درک شوند.[۶ و ۷] وجود عوامل زیاد دخیل در پروژه با مقادیر زیادی از اسناد و اطلاعات غیریکپارچه و پراکنده باعث به وجود آمدن مفهومی به نام «جزایر اطلاعاتی[۴]» شده است.[۸] بهره‌مندی از مفهومی به نام مدل‌سازی اطلاعات ساخت موجب کاهش این اختلافات و عدم یکپارچگی‌ها می‌شود.

در سال‌های گذشته، استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساخت در معماری، مهندسی و صنعت ساخت[۵] به طور چشمگیری گسترش یافته است. مدل‌سازی اطلاعات ساخت می‌تواند به طور متفاوت به عنوان یک طرح و محیط ساخت مجازی، یک وسیله‌ی ارتباط بین ذی‌نفعان، یک مدل اطلاعاتی چرخه‌ی حیات پروژه یا یک فرایند آموزشی که در دانشگاه‌ها استفاده می‌شود، شناخته شود. همچنین می‌تواند به عنوان یک ابزار یادگیری استفاده شود که به تیم پروژه در آشنایی آنها با وظایفشان قبل از آغاز آن وظیفه در سایت کمک کند.[۹] می‌توان گفت در دنیای امروز فرایند مدل‌سازی اطلاعات ساخت پیشرفت و بهبود روند کار نیست، بلکه یک تحول اساسی در زیرساخت‌های کاری است.[۱۰] اصطلاح BIM کلمه‌ی محبوبی است که توسط تولیدکنندگان نرم‌افزارها در تعریف قابلیت‌های نرم‌افزارشان به کار می‌رود؛ بنابراین آنچه به عنوان فنّاوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت یاد می‌شود تا حدودی متنوع و مبهم است.[۱۱] تعاریف مختلف و متفاوتی برای تبیین مفهوم مدل‌سازی اطلاعات ساخت در منابع مختلف بیان شده است که جمع‌بندی و خلاصه‌ی این تعاریف به شرح زیر است:

مدل‌سازی اطلاعات ساخت فرایند ساخت و ارائه‌ی یک مدل دیجیتالی، شامل تمام اجزای نهایی پروژه است و هر جزء در آن دارای مشخصات فیزیکی و عملکردی و شناسنامه‌ی مخصوص به خود است که دربرگیرنده‌ی اطلاعات هندسی، قواعد و قوانین ارتباط آن جزء با دیگر اجزای مدل، مشخصات فنی و حتی هزینه و زمان مربوط در طول چرخه‌ی حیات آن است. این منبع اطلاعاتی ایجاد شده می‌تواند معیار و پایه‌ای برای تصمیم‌گیری‌های مختلف از همان مراحل اولیه‌ی ایده‌پردازی در طراحی تا مراحل ساخت و بهره‌برداری و در نهایت مرحله‌ی تخریب تسهیلات باشد. به طور خلاصه و در یک جمله می‌توان گفت که مدل‌سازی اطلاعات ساخت فرایند تولید و مدیریت اطلاعات در طی چرخه‌ی حیات یک پروژه است.[۹، ۱۱-۱۶]

۲.۲. سیستم اطلاعات جغرافیایی

سیستم اطلاعات جغرافیایی «سیستم ثبت، ذخیره‌سازی، کنترل، تجزیه‌وتحلیل و نمایش داده‌های مکانی نقاط مختلف زمین» است.[۱۷] سیستم اطلاعات جغرافیایی فنّاوری‌ای است که تمام ویژگی‌های یک سیستم اطلاعاتی را دارد و تفاوت عمده میان این سیستم و دیگر سیستم‌های اطلاعاتی این است که داده‌های این سیستم برپایه‌ی اطلاعات جغرافیایی است. این فنّاوری امکان ذخیره‌سازی اطلاعات جغرافیایی و مکانی دقیق را که برپایه‌ی یک سیستم مختصاتی مشخص هستند، در یک پایگاه داده‌ی مشخص فراهم کرده است.[۱۸ و ۱۹] همان‌طور که اشاره شد این فنّاوری فراتر از یک سیستم جمع‌آوری و ذخیره‌سازی داده‌هاست و قابلیت‌هایی از قبیل مدیریت، محاسبه، تجزیه‌وتحلیل و نمایش داده‌های مکانی سطح زمین را دارد. با توجه به قابلیت‌های ذکر شده، این فنّاوری می‌تواند در زمینه‌های برنامه‌ریزی منطقه‌یی، مدیریت فجایع رخ داده، تعمیر و نگهداری سازه‌های زیربنایی، نقشه‌برداری اراضی، مدیریت اراضی کشاورزی و مدیریت عوامل زیست‌محیطی استفاده شود.[۲۰]

۳.۲. یکپارچه‌سازی مدل اطلاعاتی ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی

اگرچه کاربرد اصلی هر دو فنّاوری مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه‌ی نمایش دیجیتالی از اجزای دنیای واقعی است، این دو فنّاوری از جهات مختلف باهم متفاوت هستند. مدل‌سازی اطلاعات ساخت برای مدل‌سازی و نمایش موضوعات در مقیاس کوچک[۶] به کار گرفته می‌شود (مثلاً ساختمان، اجزای آن و داده‌های مربوط به داخل ساختمان) و اصطلاحاً برای ذخیره‌سازی و مدیریت اطلاعات «داخلی» استفاده می‌شود. در صورتی‌که سیستم اطلاعات جغرافیایی برای نمایش موضوعات در مقیاس کلان[۷] مانند سطح زمین، رودخانه و توپوگرافی منطقه به کار گرفته می‌شود و اصطلاحاً برای ذخیره‌سازی و مدیریت اطلاعات «خارجی» مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ بنابراین، سیستم اطلاعات جغرافیایی از سیستم‌های مختصات جغرافیایی و نقشه‌ی جهان استفاده می‌کند، در حالی‌که مختصات مدل اطلاعاتی ساخته شده نسبی است و نسبت به المان مدل شده تعیین می‌شود و عموماً نشان‌دهنده‌ی نقطه‌ی خاصی بر روی زمین نیست.[۱۹ و ۲۰]

سیستم اطلاعات جغرافیایی ساختمان‌ها و شکل آنها را از منظر اطلاعات جغرافیایی مورد مطالعه قرار می‌دهد، در حالی‌که مدل‌سازی اطلاعات ساخت بر روی اطلاعات دقیق هر یک از اجزای یک ساختمان همچون اطلاعات سه‌بعدی، زمان‌بندی و هزینه متمرکز می‌شود.[۲۱] علاوه بر این مدل‌های اطلاعاتی ساخت عمدتاً برای نمایش و مدل‌سازی سازه‌هایی که در حال حاضر وجود ندارند، به کار

گرفته می‌شود؛ اما سیستم اطلاعات جغرافیایی به دنبال مدل کردن موضوعاتی است که در حال حاضر وجود خارجی دارند.[۱۸]

با وجود تمایزهایی که میان دو مفهوم مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی وجود دارد، مطالعات بسیاری برای ایجاد روشی کارامد و مؤثر برای ادغام داده‌ها و اطلاعات این دو فنّاوری صورت گرفته است. سه روش اتخاذ شده برای ادغام این دو فنّاوری در مطالعات صورت گرفته عبارت‌اند از: ۱) انتقال داده‌های مدل اطلاعاتی ساخت به سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ ۲) انتقال داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به مدل اطلاعاتی ساخت؛ ۳) انتقال داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل اطلاعاتی ساخت به یک بستر جدید. این پلتفرم جدید می‌تواند در بستر وب طراحی شده باشد یا به صورت یک نرم‌افزار باشد.

در زمینه‌ی انتقال داده‌های مدل اطلاعاتی ساخت به سیستم اطلاعات جغرافیایی اسیکداگ و همکاران[۸][۲۲] به منظور انجام فرایند تجهیزکارگاه اقدام به توسعه‌ی نرم‌افزارهای موجود برای انتقال داده‌های مدل اطلاعاتی ساخت به سیستم اطلاعات جغرافیایی کردند. دلات و وان برلو[۹][۲۳] با توسعه‌ی فرمت CityGML، فرمتی به نام GeoBIM برای وارد کردن داده‌های فایل IFC(یکی از پسوندهای مدل اطلاعاتی ساخت) به سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه کردند. دنگ و همکاران[۱۰][۲۴] موتوری برای ادغام داده‌های مدل اطلاعاتی ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی به صورت دوطرفه (وارد کردن داده‌های مدل اطلاعاتی ساخت به سیستم اطلاعات جغرافیایی یا بالعکس) ارائه کردند. هیجازی و همکاران[۱۱][۲۵] نیز روشی مبتنی بر وب برای وارد کردن اطلاعات مدل اطلاعاتی ساخت به سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه دادند.

در زمینه‌ی انتقال داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به مدل اطلاعاتی ساخت ایریزاری و همکارن[۱۲][۲۶] با ساخت یک افزونه در بستر مدل اطلاعاتی ساخت اقدام به وارد کردن اطلاعات سیستم اطلاعات جغرافیایی به مدل اطلاعاتی ساخت کردند. هیلسه و دیس[۱۳][۲۷] نیز با انتقال داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی به مدل اطلاعاتی ساخت مدلی یکپارچه به منظورارزیابی آب و هوایی و اقلیمی ساختمان‌ها ارائه کردند.

در زمینه‌ی انتقال داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل اطلاعاتی ساخت به یک بستر جدید سرجی و لی[۱۴][۲۸] با استفاده از پلتفرم اتودسک ۳۶۰ [۱۵] اقدام به یکپارچه‌سازی اطلاعات مدل اطلاعاتی ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی کردند. دلگویدایس و همکاران[۱۶][۲۹] از پلتفرم اتودسک اینفراورکس[۱۷] برای یکپارچه‌سازی داده‌های آرک جی‌ای اس[۱۸] و رویت[۱۹] به منظورکنترل مصرف انرژی ساختمان‌ها استفاده کردند. چوی و همکاران[۲۰][۳۰] نیز یک سیستم مدیریت اطلاعات پروژه با یکپارچه‌سازی داده‌های مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور درک بهتر تصمیمات اتخاذ شده در مرحله‌ی برنامه‌ریزی توسط ذی‌نفعان مختلف ارائه دادند.

۴.۲. کاربرد مدل یکپارچه‌ی اطلاعاتی ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی در پروژه‌های زیربنایی

ادغام مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی در پروژه‌های زیربنایی می‌تواند در زمینه‌هایی از قبیل مدیریت برنامه‌ی زمانبندی پروژه، مدیریت تأسیسات و تجهیزات ساخت، مدیریت هزینه، جلوگیری از هدر رفت منابع و مدیریت تعمیر و نگهداری استفاده شود.[۳۱]

پارک و کیم[۲۱][۳۲] در پژوهش خود با ادغام مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای دو فرودگاه دنور[۲۲] و لس‌آنجلس[۲۳] نشان دادند که این ادغام می‌تواند به مدیریت بهتر فضاها در فرودگاه‌ها کمک کند. در زمینه‌ی پروژه‌های ساخت بزرگراه کیم و همکاران[۳۳] تحقیقاتی در زمینه‌ی ادغام مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظورکاهش حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی راه‌ها انجام دادند. در پروژه‌های ساخت مترو به دلیل وجود فضای محدود در زیرزمین احتمال برخورد ماشین‌آلات و تجهیزات مختلف وجود دارد؛ دو و همکاران[۲۴][۳۴] با ادغام این دو فنّاوری و با استفاده از فنّاوری سیستم موقعیت‌یاب جهانی[۲۵] اقدام به ساخت یک سیستم هشدار به منظور جلوگیری از برخورد ماشین‌آلات و تجهیزات مختلف در پروژه‌های مترو نمودند. در زمینه‌ی پروژه‌های خطوط انتقال آب، لئو و عیسی[۲۶][۳۵] با بهره‌گیری از فنّاوری‌های مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام به مدل‌سازی خطوط انتقال آب متصل به یک ساختمان کردند. ژائو و همکاران[۲۷][۲] نیز با استفاده از این دو فنّاوری، مدل شبکه آب‌رسانی بخشی از شهر جینان[۲۸] کشور چین را تهیه کردند. مدل ارائه شده توسط آنها توانایی نمایش تداخلات موجود بین تأسیسات مختلف را دارد و می‌تواند در فرایند تصمیم‌گیری به کار برود.

پژوهش‌های پیشین در بیشتر موارد به بررسی مواردی که به صورت مستقیم از مدل به دست می‌آید، پرداخته اند. مثلاً به بررسی تداخل یا متره پیمانکار و برآورد حجم در سایر پژوهش‌ها پرداخته شده است. به عبارت بهتر فقط کاربردهای عمده‌ی مدل اطلاعاتی ساخت در پروژه‌های ساختمانی در پروژه‌های زیربنایی بسط داده شده است. در صورتی که پژوهش حاضر قصد دارد متغیرهای جنبی بیشتری را با توجه به شرایط کشور ایران در نظر بگیرد.

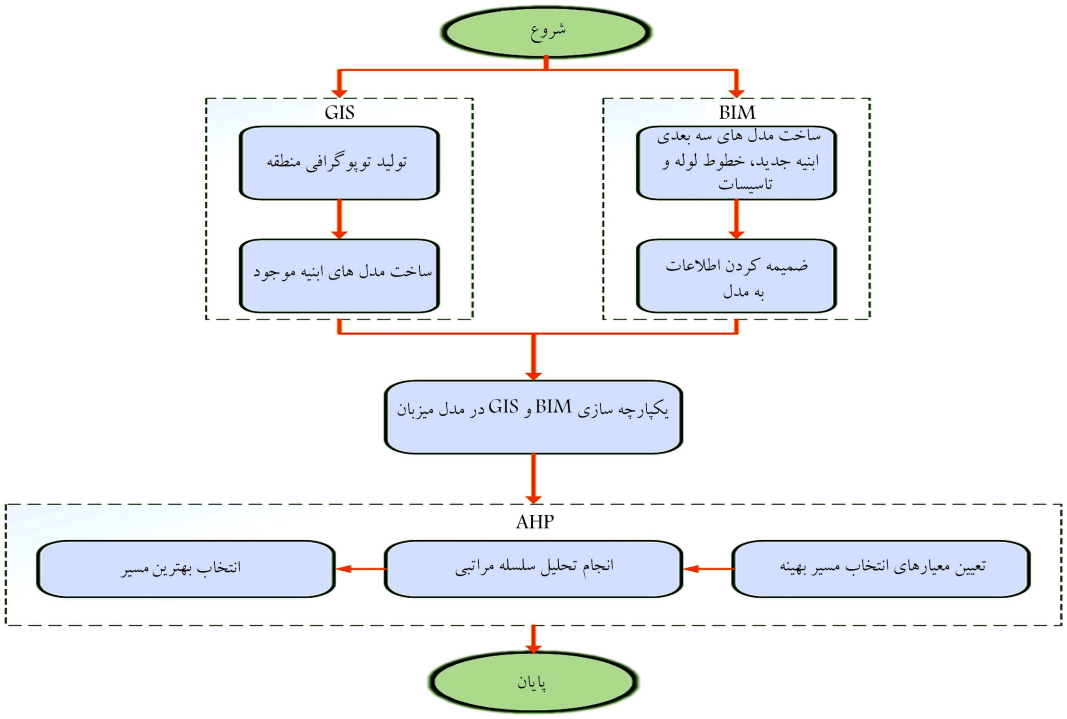
بسیاری از پژوهش‌های پیشین از جنبه‌های مدل اطلاعاتی ساخت و سیستم اطلاعاتی جغرافیایی بهره گرفته اند؛ اما متغیرهای در نظرگرفته شده در هیچ کدام از پژوهش ها مطابق نظر ذی‌نفعان درکشور ایران لحاظ نشده است. همچنین متغیرهایی مانند سهولت اجرا و همچنین بخش‌های مختلف اجرایی مانند آسفالت یا خاکی در هیچ یک از پژوهش‌ها لحاظ نشده است. این پژوهش با توجه به متغیرهای مورد اهمیت ذی‌نفعان درکشور ایران تنظیم شده است و به صورت خاص سعی در تشخیص بهینه‌ی مسیر از متغیرهای کیفی و کمّی به صورت توأم دارد.

۳. روش پژوهش

مدل‌سازی اطلاعات ساخت و سیستم اطلاعات جغرافیایی از رویکردهای متفاوتی سرچشمه می‌گیرند. مدل اطلاعاتی ساخت بیش‌تر در پروژه‌های ساختمانی و داخلی مورد استفاده قرارگرفته در حالی‌که سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی بیش‌تر شامل اطلاعات توپوگرافی در مقیاس‌های بزرگ هستند. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها ادغام این دو سیستم در پروژه‌های زیربنایی خطوط انتقال جهت یافتن مناسب‌ترین مسیر با توجه به پارامترهای اجرایی است.

۱.۳. مدل مفهومی پژوهش

به منظور تعیین مسیر بهینه‌ی خط انتقال پروژه‌های زیربنایی خطوط انتقال، براساس مدل مفهومی پژوهش مطابق شکل ۱ ابتدا مدل توپوگرافی منطقه و ابنیه‌ی موجود، در یک محیط مجزا و با استفاده از نقشه‌های دریافتی از عملیات نقشه‌برداری با



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش.

دوربین توتال و پهباد ترسیم می‌شوند. پس از ترسیم مدل‌های ذکر شده نوبت به تهیه‌ی مدل اطلاعاتی ساخت می‌رسد. در این بخش ابتدا تمام ابنیه‌ی جدید، لوله‌ها و تأسیسات مورد نظر مدل‌سازی و تمام اطلاعات مورد نیاز ازجمله اطلاعات مورد نیاز برای تعیین مسیر خط لوله‌ی بهینه به آنها ضمیمه می‌شود. فرایند ساخت مدل‌های اطلاعاتی ساخت تا زمانی ادامه می‌یابد که مدل‌های سه‌بعدی ابنیه‌ی جدید و تمام مدل‌های مربوط به سناریوهای مختلف ساخت لوله‌ها و تأسیسات مربوط به آنها تهیه شود.

پس از اتمام فرایند ساخت مدل‌های اطلاعات ساخت و مدل‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی، این دو مدل وارد مدل سومی به نام «مدل میزبان» می‌شوند. مدل میزبان شامل تمام مدل‌های اطلاعاتی ساخت و مدل‌های مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی است و تمام اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل مسیرهای مختلف و در نهایت تعیین مسیر بهینه را دربر دارد.

در انتها با استفاده از اطلاعات مدل میزبان و بر اساس معیارهای انتخاب مسیر بهینه، بهترین مسیر خط انتقال بر مبنای روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین می‌شود.

۲.۳. ساخت مدل‌های BIM و GIS و یکپارچه‌سازی آنها در مدل میزبان

برای تهیه‌ی مدل یکپارچه ابتدا باید هرکدام از قسمت‌ها با توجه به ماهیت اجزایشان در محیط‌های جداگانه و طی روندهای مجزا مدل‌سازی شوند. روندهای جداگانه‌یی برای مدل‌سازی توپوگرافی و ابنیه‌ی موجود و مدل‌سازی ابنیه‌ی جدید، لوله‌ها و تأسیسات مربوط به آنها به شرح زیر پیشنهاد می‌شود (مطابق شکل ۲).

۱.۲.۳. مدل‌سازی توپوگرافی و ابنیه‌ی موجود

برای مدل‌سازی توپوگرافی منطقه ابتدا عکس‌های هوایی با استفاده از پهباد گرفته می‌شود. این عکس‌ها باید به صورت منظم گرفته شوند و کمینه‌ی ۶۰ درصد هم‌پوشانی داشته باشند. همچنین نقشه‌ی زمین‌ها و ابنیه‌ی موجود با استفاده از ابرنقاط برداشت شده از پهباد و نقاط برداشت شده از دوربین نقشه‌برداری مدل‌سازی می‌شود.

۲.۲.۳. مدل‌سازی ابنیه‌ی جدید، لوله‌ها، و تأسیسات

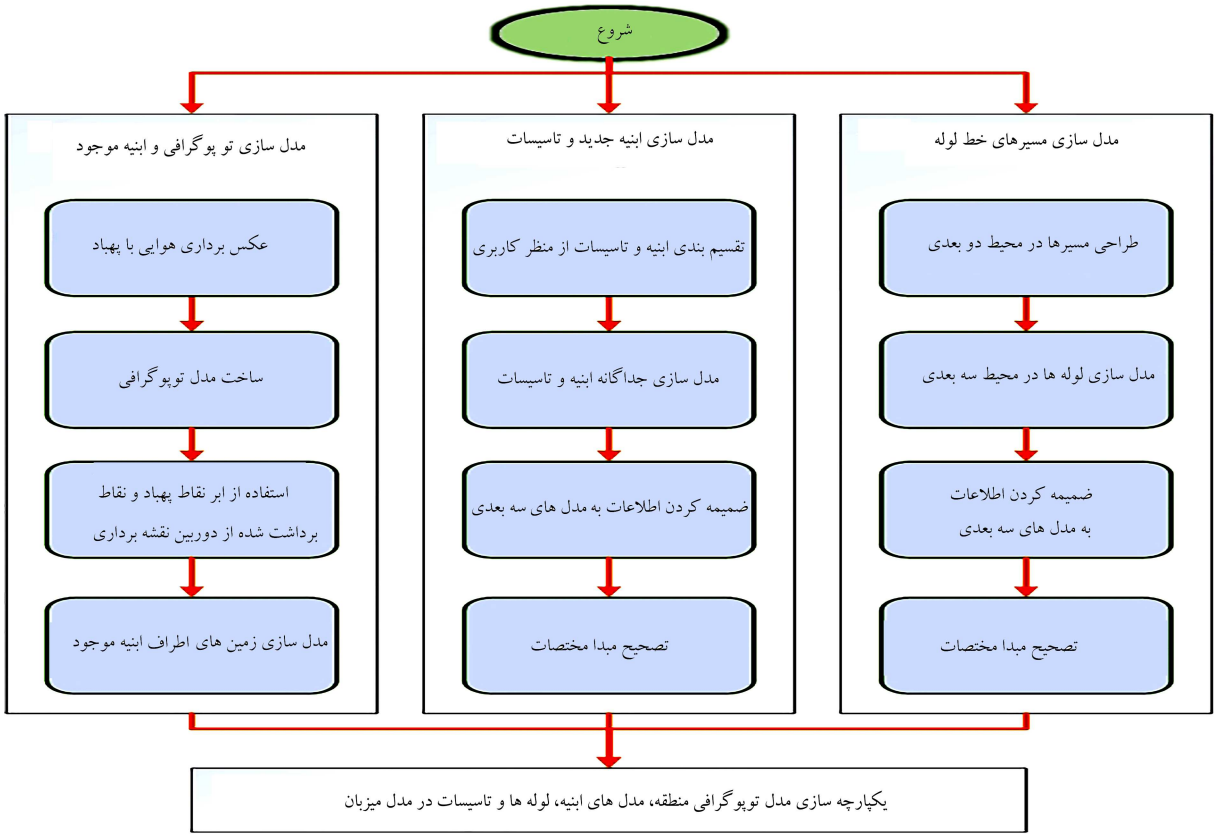
هر یک از ابنیه‌ی جدید و تأسیسات مسیر خط لوله بر اساس نوع کاربریشان دسته‌بندی می‌شوند و به صورت جداگانه و بر اساس نقشه‌های دوبعدی، مدل سه‌بعدی آنها ترسیم می‌شود. مسیرهای مختلف خط لوله نیز بر اساس ابرنقاط برداشت شده از پهباد و دوربین نقشه‌برداری ابتدا در محیط دوبعدی طراحی و سپس به صورت سه‌بعدی مدل‌سازی می‌شود. پس از اتمام فرایند مدل‌سازی سه‌بعدی تمام اجزاء، اطلاعات مربوط به هر یک از اجزا به ویژه اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل مسیرهای مختلف به آنها ضمیمه می‌شود.

۳.۲.۳. یکپارچه‌سازی مدل‌ها در مدل میزبان

پس از ترسیم مدل‌های GIS و BIM نوبت به یکپارچه‌سازی مدل‌ها در مدل میزبان می‌رسد. همان‌طور که در بخش ۲ بیان شد مدل‌های مبتنی بر GIS از سیستم مختصات جغرافیایی استفاده می‌کنند، در حالی‌که سیستم مختصات مدل‌های BIM به صورت نسبی است؛ بنابراین، پیش از انتقال مدل‌های اطلاعاتی ساخت به مدل میزبان باید مبدأ مختصات آن را بر اساس سیستم مختصات جغرافیایی تصحیح کرد. پس از انجام این تصحیح مدل‌های اطلاعاتی ساخت بارگذاری شده در مدل میزبان به صورت خودکار در محل دقیق خود قرار می‌گیرند.

۳.۳. تصمیم‌گیری بر پایه‌ی روش تحلیل سلسله‌مراتبی

یکی از کامل‌ترین سیستم‌های تصمیم‌گیری بر مبنای معیارهای چندگانه، روش تحلیل سلسله‌مراتبی است. این رویکرد امکان فرمول‌بندی مسئله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم کرده است و در آن معیارهای مختلف کمّی و کیفی در نظرگرفته می‌شود. در



شکل ۲. مدل‌سازی توپوگرافی، ابنیه، مسیرهای خط لوله و تأسیسات مربوط و یکپارچه‌سازی آنها در محیط واحد.

این روش با توجه به متغیرهای مختلف تصمیم‌گیری، مناسب‌ترین گزینه با استفاده از روش مقایسه‌ی دودویی انتخاب می‌شود.[۳۶]

در ادبیات موضوع روش‌های دیگری نیز برای تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای مختلف وجود دارد. اما در این پژوهش از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شد. با استفاده از سایر روش‌ها ممکن است به نتایج دیگری رسید که می‌تواند موضوع پژوهش مستقلی باشد.

برای انتخاب مناسب‌ترین مسیر خط انتقال بر اساس تحلیل سلسله‌مراتبی ابتدا معیارهای انتخاب بهترین مسیر تعیین و سپس این معیارها به صورت دودویی با یکدیگر مقایسه و وزن هر کدام محاسبه می‌شود. در نهایت بر اساس این معیارها، بهترین مسیر خط انتقال تعیین می‌شود.

۴. پیاده‌سازی و تحلیل نتایج

در این بخش با استفاده از روش مطرح شده در بخش ۳ بهترین مسیر خط لوله‌ی یک پروژه‌ی زیربنایی خط انتقال تعیین می‌شود. پروژه‌ی حاضر برای انتقال آب ثقلی در شرق تهران به طول ۲۴ کیلومتر تعریف شده است. لوله‌های به کار گرفته شده در این پروژه در قسمت‌هایی از مسیر لوله‌های پلاستیکی مسلح[۲۹] و در بخشی نیز فولادی است. همچنین ابنیه‌ی این پروژه شامل یک اتاق شیرآلات سرخط، دو مخزن در طول مسیر و ۵۲ حوضچه‌ی مختلف است. فرایند استفاده از مدل اطلاعاتی ساخت در این پروژه در قالب دستیار کارفرما به اجرا درآمده است؛ به عبارت بهتر این فرایند در قالب عامل چهارم ایفای نقش داشته است.

۱.۴. ساخت مدل‌های BIM، GIS و مدل یکپارچه‌ی میزبان

برای یکپارچه‌سازی مدل‌های سه‌بعدی اطلاعات ساخت و مدل مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی ابتدا باید هرکدام از این مدل‌ها با توجه به ویژگی‌هایشان به صورت مجزا پیاده‌سازی و در نهایت وارد مدل میزبان شوند. بدین منظور مراحل زیر به ترتیب اجرا می‌شود.

۱- با توجه به تصاویر برداشت شده به وسیله‌ی پهپاد ابر نقاط حاصل از پردازش تصویر تشکیل می‌شود. با اتصال نقاط به یکدیگر مدل توپوگرافی منطقه حاصل می‌شود.

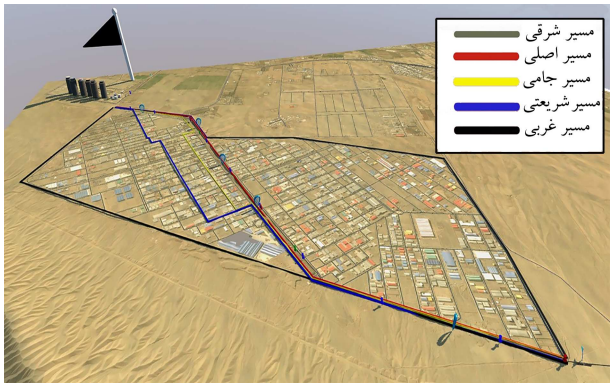
۲- با استفاده از ابر نقاط برداشته شده از پهپاد و اطلاعات دوربین نقشه‌برداری ابنیه‌ی موجود و زمین‌های کشاورزی واقع در طول پروژه مدل‌سازی و وارد مدل میزبان می‌شود.

۳- اتاق شیرآلات سرخط، مخزن‌ها، حوضچه‌ها و تأسیسات مرتبط به آنها به صورت جداگانه مدل‌سازی و اطلاعات مختلف وارد مدل می‌شود. در انتها بر اساس اطلاعات جغرافیایی هرکدام از مدل‌ها مبدأ مختصات آنها تصحیح می‌شود و این مدل‌ها وارد مدل میزبان می‌شوند.

۴- با توجه به ابر نقاط برداشت شده و نقاط برداشت شده به وسیله‌ی دوربین توتال مسیر خط لوله در محیط اتوکد ترسیم می‌شود. پس‌از آن هرکدام از این لوله‌ها در محیط رویت مدل‌سازی و اطلاعات مورد نیاز برای تعیین مسیر خط لوله‌ی بهینه به آنها ضمیمه می‌شود. در نهایت مبدأ مختصات این مدل‌ها بر اساس سیستم جغرافیایی اصلاح می‌شود و تمام مدل‌های خط لوله وارد مدل میزبان می‌شوند.

جدول ۱. مشخصات مسیرهای مختلف برای لوله‌گذاری.

عنوان	موضوع محاسبه شده	مسیر غربی	مسیر شریعتی	مسیر جامی	مسیر اصلی	مسیر شرقی
مشخصات مسیر	طول قسمت خاکی مسیر (متر)	۶۹۶۰	۲۲۴۶	۳۰۳۵	۳۰۶۲	۷۱۰۰
	طول قسمت آسفالت مسیر (متر)	۰	۴۴۳۴	۳۶۲۵	۳۱۸۸	۰
	طول کل مسیر (متر)	۶۹۶۰	۶۶۸۰	۶۶۶۰	۶۲۵۰	۷۱۰۰
هزینه‌ی اجرا	هزینه‌ی خاک‌برداری (میلیارد ریال)	۱۲/۶۴	۷/۰۴	۶/۹۶	۶/۷۲	۸/۳۲
	هزینه‌ی خرید و اجرای لوله (میلیارد ریال)	۳۳/۸	۲۸/۶	۲۸/۳	۲۷/۳	۳۶/۴
	هزینه‌ی خاک‌ریزی (میلیارد ریال)	۷/۸	۶/۶	۶/۵	۶/۳	۸/۴
	هزینه‌ی کندن و برگرداندن آسفالت (میلیارد ریال)	۰	۱۰/۰۵	۹/۷۵	۸/۴	۰
	هزینه‌ی کل (میلیارد ریال)	۵۴/۲۴	۵۲/۲۹	۵۱/۵۱	۴۸/۷۲	۵۳/۱۲
زمان اجرا	زمان خاک‌برداری (روز)	۱۶	۱۳	۱۳	۱۲	۱۷
	زمان لوله‌گذاری (روز)	۱۸	۱۶	۱۶	۱۵	۱۹
	زمان خاک‌ریزی (روز)	۱۲	۱۱	۱۱	۱۰	۱۳
	زمان کندن و برگرداندن آسفالت (روز)	۰	۱۶	۱۶	۱۵	۰
	زمان کل (روز)	۴۶	۵۶	۵۶	۵۲	۴۹



شکل ۳. مسیرهای دسترسی مختلف برای لوله‌گذاری.

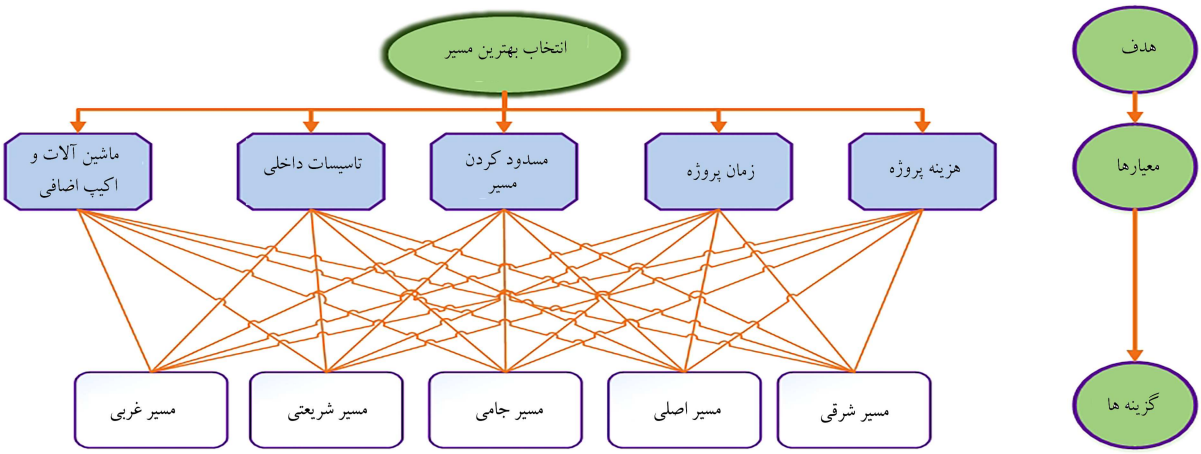
۲.۴. تحلیل نقشه‌ها و بررسی مسیرهای دسترسی مختلف در مدل یکپارچه‌ی میزبان

پس از انجام فرایند مدل‌سازی بخش‌های مختلف پروژه و یکپارچگی آنها، مسیرهای مختلف خط لوله در جلسه‌یی که با حضور کارفرما، مشاور پیمانکار، پیمانکار و گروه مدل‌سازی اطلاعات ساخت برگزار شد، بررسی گردید. با توجه به نظر ذی‌نفعان پروژه علاوه بر مسیر فعلی که از وسط بلوار عبور می‌کند (مسیر اصلی پروژه که در قابل مشاهده است) چهار مسیر دیگر نیز پیشنهاد شد. مسیرهای دسترسی مختلف از نظر عواملی از قبیل زمان، هزینه‌ی اجرا، روش اجرا و همچنین بستن برخی مسیرهای تردد در داخل شهرک صنعتی (شهرکی که مسیرهای مختلف از داخل یا اطراف آن عبور می‌کنند) متفاوت‌اند. پس باید در ابتدا کلیه‌ی عوامل تأثیرگذار در انتخاب بهترین مسیر شناسایی شوند و پس از بررسی ویژگی‌های هر مسیر بهترین گزینه با توجه به معیارهای تصمیم‌گیری چندگانه انتخاب شود. شکل ۳ مسیرهای مختلف دسترسی را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، مسیر اصلی از میانه‌ی بلوار شهرک صنعتی می‌گذرد و دو مسیر جامی و شریعتی نیز از داخل شهرک صنعتی عبور می‌کنند. تفاوت این دو مسیر (جامی و شریعتی) در طول مسیر و میزان تداخل با مسیرهای دسترسی داخل شهرک صنعتی است. به طوری که مسیر شریعتی، که طولانی‌تر است، تداخل کمتری در عبور و مرور نسبت به مسیر جامی، که کوتاه‌تر است، ایجاد می‌کند. همچنین دو مسیر شرقی و غربی که از اطراف شهرک صنعتی عبور می‌کنند نیز پیشنهاد شد. این دو مسیر طول بیشتری دارند، اما با توجه به عدم عبور از داخل شهرک مشکل کندن و جایگزینی آسفالت را ندارند و در عبور و مرور ماشین‌آلات در داخل شهرک مشکلی ایجاد نمی‌کنند.

پس از تعیین تمام مسیرهای ممکن به منظور اجرای خطوط انتقال آب، با استفاده از مدل یکپارچه‌ی میزبان مشخصات بخش‌های مختلف مسیر طبق جدول ۱ محاسبه می‌شود. موضوع حائز اهمیت این است که اطلاعات به دست آمده در این جدول به سادگی و با استفاده از مدل یکپارچه‌ی میزبان تعیین شده است. همچنین این مدل به ذی‌نفعان مختلف پروژه برای تصمیم‌گیری بهتر در خصوص مقایسه‌ی بین معیارها کمک می‌کند.

همان‌گونه که مشخص است طول مسیر شرقی و غربی از مسیرهای اصلی، جامی و شریعتی بیش‌تر است و بر همین مبنا مشاور پیمانکار در طرح اولیه‌ی خود مسیر اصلی را به عنوان مسیر انتخابی اجرای خط لوله انتخاب کرده است. علاوه بر این، هزینه‌ی اجرای پروژه در مسیرهایی که از اطراف شهرک صنعتی عبور می‌کنند از مسیرهای گذرا از داخل شهرک صنعتی بیش‌تر است اما اختلاف قیمتی چندانی با یکدیگر ندارند. زیرا مسیرهای اصلی، جامی و شریعتی گرچه کوتاه‌تر از دو مسیر شرقی و غربی هستند اما به دلیل آسفالت بودن این سه مسیر هزینه‌های کندن و برگرداندن آسفالت نیز به هزینه‌های دیگر پیمانکار اضافه می‌شود. این درحالی است که در مسیرهای شرقی و غربی باوجود طول بیش‌تر به دلیل خاکی بودن مسیر، پیمانکار هزینه‌یی بابت کندن و برگرداندن آسفالت نمی‌پردازد. از منظر زمان اجرای پروژه نیز، زمان اجرا در مسیرهای اصلی، شریعتی و جامی بیش‌تر از مسیرهای شرقی و غربی است.



شکل ۴. طرح سلسله‌مراتبی انتخاب مناسب‌ترین مسیر خط انتقال آب.

۳.۴. معیارهای مورد بررسی در زمان طراحی و اجرا

هریک از ذی‌نفعان پروژه بر مبنای انتظار و توقع خود از پروژه دیدگاه‌ها و معیارهای مختلفی برای انتخاب بهترین مسیر خط انتقال دارند. با برگزاری جلسات مختلف با حضور کارفرما و پیمانکار که دو ذینفع اصلی پروژه هستند، معیارها و اولویت‌های طراحی و اجرایی مشخص شد. معیارهای مشخص شده عبارت‌اند از: هزینه‌ی پروژه، زمان پروژه، مسدود کردن مسیر با توجه به گزینه‌های مختلف پروژه، وجود تأسیسات زیرزمینی در مسیرهای مختلف و ماشین‌آلات و گروه‌های کاری مورد استفاده در بخش‌های مختلف. توضیحات هرکدام از این معیارها و دیدگاه کارفرما و پیمانکار نسبت به هریک از آنها به شرح زیر است:

هزینه‌ی پروژه:

با توجه به این‌که حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی و طول کندن و برگرداندن آسفالت هرکدام از این مسیرها با یکدیگر تفاوت دارد، هزینه‌ی اجرای این مسیرها متفاوت است. بدیهی است با توجه به روش تدارک پروژه که طرح و ساخت صنعتی است، موضوع هزینه‌ی اجرای پروژه برای پیمانکار اهمیت دارد؛ در حالی که افزایش هزینه‌ی پروژه برای کارفرما تفاوت چندانی ندارد.

زمان پروژه:

بر حسب روش اجرا زمان پروژه در مسیرهای مختلف متفاوت است. بدیهی است پیمانکار با توجه به هزینه‌ی بالاسری و کارفرما برای بهره‌برداری سریع‌تر تمایل دارند که پروژه زودتر به اتمام برسد.

مسدود کردن مسیر:

در مسیرهای اصلی، جامی، و شریعتی با توجه به عبور از داخل شهرک صنعتی مسیرهای مختلف مسدود می‌شود و فرایند خدمت‌دهی در داخل شهرک مختل می‌شود. پیمانکار نیز در صورت عبور از داخل شهرک چالش‌های جدیدی با توجه به مدیریت ذی‌نفعان جدید خواهد داشت؛ بنابراین، با توجه به نکات بیان شده پیمانکار و کارفرما تمایل دارند که از داخل شهرک صنعتی عبور نکنند

تأسیسات داخلی:

داخل شهرک صنعتی تأسیسات مختلفی وجود دارد. بدیهی است که کارفرما برای جلوگیری از بروز اختلال در تأسیسات داخلی شهرک و پیمانکار به دلیل سختی روش اجرا و ریسک بالای احتمال برخورد با تأسیسات و بروز خرابی تمایل دارند از داخل شهرک صنعتی عبور نکنند.

ماشین‌آلات و گروه‌های اضافی:

با توجه به آسفالت بودن مسیرهای دسترسی داخل شهرک صنعتی، پیمانکار برای اجرای پروژه باید ماشین‌آلات و گروه‌های اضافی برای کندن و برگرداندن آسفالت در این مسیرها به کار ببرد؛ بنابراین با وجود افزایش طول مسیرهای شرقی و غربی نسبت به مسیرهای گذرنده از داخل شهرک صنعتی، پیمانکار به دلیل خاکی بودن این دو مسیر و عدم استفاده از ماشین‌آلات و گروه اضافی به منظور کندن و برگرداندن آسفالت، تمایل به انتخاب یکی از این دو مسیر دارد. در طرف مقابل اضافه کردن ماشین‌آلات و گروه اضافی برای کارفرما اهمیت چندانی ندارد.

با توجه به معیارهای بیان شده، طرح سلسله‌مراتبی انتخاب بهترین مسیر انتقال آب به منظور تعیین مناسب‌ترین مسیر خط انتقال با توجه به اولویت‌بندی ذی‌نفعان کلیدی پروژه (کارفرما و پیمانکار) در شکل ۴ آورده شده است.

۴.۴. تصمیم‌گیری خبرگان و یافتن مناسب‌ترین مسیر با روش تحلیل سلسله‌مراتبی

در این بخش مدل یکپارچه‌ی میزبان، طرح سلسله‌مراتبی و مشخصات بخش‌های مختلف مسیر در اختیار ذی‌نفعان کلیدی پروژه (کارفرما و پیمانکار) قرار می‌گیرد و مقایسه‌ی معیارها بین گزینه‌های مختلف و همچنین مقایسه‌ی دودویی معیارها توسط کارفرما و پیمانکار انجام می‌گیرد. با توجه به این‌که میزان اهمیت هریک از معیارها برای کارفرما و پیمانکار متفاوت است، این پرسش‌نامه‌ها هم توسط کارفرما و هم توسط پیمانکار تکمیل شده است. در جدول ۲ و جدول ۳ به ترتیب مقایسه‌ی بین معیارها توسط کارفرما و پیمانکار آورده شده است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت امتیاز مربوط به هریک از معیارها برای کارفرما و پیمانکار متفاوت است. مثلاً پیمانکار ترجیح می‌دهد که از ماشین‌آلات و گروه‌های اضافی استفاده نکند، در حالی که این موضوع برای کارفرما تفاوتی ندارد. مسدود شدن مسیرهای داخل شهرک صنعتی برای کارفرما اهمیت دارد، در حالی که این موضوع برای پیمانکار اهمیت چندانی ندارد. پیمانکار به دنبال اجرای پروژه با کمترین هزینه است، حال آن‌که اولویت اصلی کارفرما تأمین آب برای واحدهای شهرک صنعتی در کمترین زمان است. در مورد معیار تأسیسات داخلی، کارفرما و پیمانکار تقریباً هم‌نظرند و این معیار برای آنها اهمیت دارد؛ زیرا در صورت بروز خرابی در تأسیسات داخلی شهرک صنعتی پیمانکار باید این تأسیسات

جدول ۲. مقایسه‌ی دودویی معیارها توسط کارفرما.

معیارها	هزینه‌ی پروژه	زمان پروژه	مسدود کردن مسیر	تأسیسات داخلی	ماشین‌آلات و گروه اضافی	میانگین وزنی	میانگین وزنی نرمال شده
هزینه‌ی پروژه	۱/۰۰۰	۰/۳۳۳	۰/۱۴۳	۰/۲۰۰	۱/۰۰۰	۰/۳۹۴	۰/۰۵۵
زمان پروژه	۳/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۷/۰۰۰	۱/۱۸۵	۰/۱۶۶
مسدود کردن مسیر	۷/۰۰۰	۳/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۷/۰۰۰	۲/۷۱۳	۰/۳۸۰
تأسیسات داخلی	۵/۰۰۰	۳/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰	۷/۰۰۰	۲/۵۳۷	۰/۳۵۵
ماشین‌آلات و گروه اضافی	۱/۰۰۰	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۰/۱۴۳	۱/۰۰۰	۰/۳۱۱	۰/۳۹۴

جدول ۳. مقایسه‌ی دودویی معیارها توسط پیمانکار.

معیارها	هزینه‌ی پروژه	زمان پروژه	مسدود کردن مسیر	تأسیسات داخلی	ماشین‌آلات و گروه اضافی	میانگین وزنی	میانگین وزنی نرمال شده
هزینه‌ی پروژه	۱/۰۰۰	۵/۰۰۰	۳/۰۰۰	۳/۰۰۰	۳/۰۰۰	۲/۶۶۷	۰/۴۵۲
زمان پروژه	۰/۲۰۰	۱/۰۰۰	۳/۰۰۰	۳/۰۰۰	۰/۳۳۳	۰/۹۰۳	۰/۱۵۳
مسدود کردن مسیر	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۱/۰۰۰	۰/۲۰۰	۳/۰۰۰	۰/۵۸۲	۰/۰۹۹
تأسیسات داخلی	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۵/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۲۰۰	۰/۶۴۴	۰/۱۰۹
ماشین‌آلات و گروه اضافی	۰/۳۳۳	۳/۰۰۰	۰/۳۳۳	۵/۰۰۰	۱/۰۰۰	۱/۱۰۸	۰/۶۹۸

جدول ۴. مقایسه‌ی امتیازهای کارفرما و پیمانکار برای مسیرهای مختلف و رتبه‌بندی آنها.

مسیر مورد مطالعه	امتیاز (کارفرما)	رتبه (کارفرما)	امتیاز (پیمانکار)	رتبه (پیمانکار)
مسیر شرقی	۰/۴۷۹	۱	۰/۴۰۲	۱
مسیر اصلی	۰/۱۹۱	۳	۰/۳۴۷	۲
مسیر جامی	۰/۱۲۷	۵	۰/۲۰۵	۵
مسیر شریعتی	۰/۱۲۸	۴	۰/۲۱۱	۴
مسیر غربی	۰/۴۲۵	۲	۰/۳۴۶	۳

را مجدداً به حالت اولیه خود برگرداند که این موضوع مستلزم پرداخت هزینه‌های اضافی از جانب پیمانکار است و همچنین موجب افزایش زمان پروژه می‌شود. از طرف دیگر کارفرما نیز به دنبال عدم بروز تداخل در تأسیسات داخلی است، زیرا اختلال در تأسیسات داخلی شهرک ممکن است موجب اختلال در واحدهای شهرک و در نهایت کاهش بهره‌وری واحدهای شهرک صنعتی شود.

با در نظرگرفتن جدول ۲، جدول ۳ و سایر جدول‌های مورد نیاز برای مقایسه‌ی دودویی مسیرها (جداول مربوط به مقایسه‌ی دودویی هریک از معیارها در مسیرهای مختلف که با توجه به تعداد زیاد آنها در این پژوهش آورده نشده است) اولویت‌های کارفرما و پیمانکار مطابق جدول ۴ به دست می‌آید.

نتایج حاکی از این است که کارفرما با توجه به معیار مسدود شدن مسیر، تمایلی به انتخاب مسیرهای اصلی، شریعتی و جامی ندارد و از طرفی هم مسیرهای شرقی و غربی برای او تفاوت چندانی ندارد؛ بنابراین، مسیرهای شرقی و غربی به ترتیب به عنوان اولویت اول و دوم کارفرما انتخاب شده است. همچنین پیمانکار با توجه به استفاده از گروه‌های اضافی در مسیرهای میانی (اصلی، شریعتی و جامی) تمایل کمتری نسبت به عبور از این مسیرها دارد و مسیر شرقی را به عنوان اولویت اول خود انتخاب کرده است؛ بنابراین با توجه به موضوعات بیان شده مسیر شرقی به عنوان مسیر مناسب به منظور اجرای خط انتقال آب انتخاب می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر با توجه به خشکسالی‌های کشور، پروژه‌های آبرسانی به یکی از مهم‌ترین انواع پروژه‌ها در کشور تبدیل شده است که با توجه به هزینه‌های بالای عملیات اجرایی، یافتن مسیرهای مناسب اجرای خط انتقال به یکی از مهم‌ترین چالش‌های این بخش تبدیل شده است. از طرف دیگر با پیشرفت فنّاوری‌های رایانه‌یی در صنایع مختلف به ویژه در صنعت ساخت‌وساز، استفاده از ابزارهای رایانه‌یی از قبیل سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی اطلاعات ساخت در این صنعت گسترش یافته است. با بهره‌گیری از فرایندهای مدل‌سازی اطلاعات ساخت و ترکیب آن با سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی می‌توان داده‌های کمّی و کیفی مورد نیاز به منظور تصمیم‌گیری برای انتخاب مسیر مناسب خطوط انتقال پروژه‌ی آبرسانی را به دست آورد و در نهایت با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی مسیرهای بهتری برای اجرای پروژه در زمان مناسب‌تر و با هزینه‌ی مطلوب‌تر پیشنهاد داد.

به منظور تعیین مسیر مناسب برای اجرای خط لوله در پروژه‌ی خط انتقال آب ابتدا با در نظرگرفتن مسیرهای اولیه و با لحاظ کردن نظرات خبرگان و ذی‌نفعان پروژه کلیه‌ی مسیرها بر اساس معیارهای هزینه، زمان، مسدود کردن مسیر، تأسیسات داخلی و ماشین‌آلات و گروه اضافی با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی مقایسه و در نهایت مسیر بهینه تعیین شد. در این میان مدل یکپارچه‌ی سیستم اطلاعات

جغرافیایی و مدل‌سازی اطلاعات ساخت (مدل میزبان) به منظور استخراج اطلاعات مورد نیاز برای انجام تحلیل سلسله‌مراتبی مورد استفاده قرار گرفت. مثلاً، حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی، طول برداشت آسفالت و زمان مورد نیاز برای اجرای هریک از مسیرها به صورت مستقیم، درکمترین زمان و با بیشترین دقت از مدل میزبان استخراج شد.

در این پژوهش مقایسه‌ی بین مسیرها نشان داد که الزاماً کوتاه‌ترین مسیر بهترین مسیر نیست و در انتخاب مسیرهای مختلف باید معیارهای مختلفی مورد توجه قرار گیرد. این معیارها با مصاحبه با ذی‌نفعان پروژه به دست می‌آید و میزان اهمیت آنها نیز توسط همین ذی‌نفعان مشخص می‌شود. در ابتدا مسیر میانه‌ی بلوار (مسیر اصلی) به دلیل کوتاهی مسیر توسط مشاور پیمانکار به عنوان مسیر اجرای خط لوله انتخاب شده بود؛ اما با در نظرگرفتن معیارهای دیگر و با توجه به مقایسه‌ی دودویی معیارها و مسیرها مشخص شد که مسیر شرقی، مسیر مناسب اجرای خط انتقال آب در این پروژه است.

این پژوهش بیشتر به معیارهای پروژه‌های خطی آب‌رسانی توجه کرده است. در پژوهش‌های دیگر می‌توان به سایر پروژه‌ها مانند پروژه‌های نیروگاهی اشاره کرد. همچنین متغیرهای به‌کار رفته در این پژوهش مختص این پروژه و با توجه به ویژگی‌های آن بودند. حال آن‌که به فراخور پروژه و با توجه به اطلاعات به دست آمده می‌توان متغیرهای دیگری را در نظر گرفت.

پانوشت‌ها

1. geographic information system-GIS
2. building information modeling-BIM
3. analytical hierarchical process-AHP
4. Information Islands
5. architecture, engineering, construction- AEC
6. micro level
7. macro level
8. Isikdag et al.
9. De Laat and Van Berlo
10. Deng et al.
11. Hijazi et al.
12. Irizarry et al.
13. Hjelseth and Thiis
14. Sergi and Li
15. Autodesk 360
16. Del Giudice et al.
17. Autodesk Infraworks
18. ArcGIS
19. Revit
20. Choi et al.
21. Park and Kim
22. Denver
23. Los Angeles
24. Du et al.
25. global positioning system-GPS
26. Liu and Issa
27. Zhao et al.
28. Jinan
29. glass fiber reinforced plastic pipe- GRP

منابع (References)

1. Laucelli, D. and Giustolisi, O. "Vulnerability assessment of water distribution networks under seismic actions", *Journal of Water Resources Planning and Management*, **141**(6), pp. 04014082 (2015).
2. Zhao, L., Liu, Z. and Mbachu, J. "An integrated BIM–GIS method for planning of water distribution system", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **8**(8), pp. 331 (2019).
3. Ayad, A., Awad, H. and Yassin, A. "Integrated approach for the optimal design of pipeline networks", *Alexandria engineering journal*, **57**(1), pp. 87-96 (2018).
4. Peckienë, A. and Ustinovièius, L. "Possibilities for building spatial planning using BIM methodology", *Procedia Engineering*, **172**, pp. 851-858 (2017).
5. Uggla, G. and Horemuz, M. "Geographic capabilities and limitations of industry foundation classes", *Automation in Construction*, **96**, pp. 554-566 (2018).
6. Byggtjänst, S. "Slutrapport fokus I–BIM med BSAB", *Stockholm* (2013).
7. Hardin, B. and McCool, D. "BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows", *John Wiley & Sons* (2015).
8. Mehrvash, A. and Yasin Tarid, A. "Kartläggning av BIM iinfrastrukrproject: Risker och projektering" (2013).
9. Golabchi, M., Golabchi, A., Noorzayi, E. and et al. "Building information modeling (BIM)", *Tehran University Publishing Institute* (2017) (In Persian).
10. ASHAR, S., Hein, M. and Sketo, B. "Building information modeling (BIM): benefits, risks and challenges", *Proceedings of 44th ASC Annual Conference* (2008).
11. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and et al. "BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors", *John Wiley & Sons* (2011).
12. Standard, I. "ISO 29481-1.(2010)" (2010).

13. BSI, S. "PAS 1192-5: 2015: Specification for security-minded building information modelling, digital built environments and smart asset management", *BSI London, UK* (2015).

14. BSI "BS 8536: 2010. Facility management briefing–code of practice", *BSI Milton Keynes*, UK (2010).

15. Bernstein, H.M., Russo, M.A. and Jones, S.A. "Green BIM: How building information modeling is contributing to green design and construction", *McGraw-Hill Construction* (2010).

16. Construction, M.-H. "Building information modeling (BIM): Transforming design and construction to achieve greater industry productivity", *McGraw Hill New York* (2008).

17. Fazal, S. "GIS basics", *New age international ltd, new delhi* (2008).

18. Liu, X., Wang, X., Wright, G.and et al. "A state-of-the-art review on the integration of building information modeling (BIM) and geographic information system (GIS)", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **6**(2), pp. 53 (2017).

19. Fosu, R., Suprabhas, K., Rathore, Z. and et al. "Integration of building information modeling (BIM) and geographic information systems (GIS)–a literature review and future needs", *Proceedings of the 32nd CIB W78 Conference, Eindhoven, The Netherlands*, pp. 27-29 (2015).

20. Zhang, X., Arayici, Y., Wu, S. and et al. "Integrating building information modelling and geographic information systems for large-scale facilities asset management: A critical review", *Civil-Comp Press, United Kingdom, Funchal, Madeira, Portugal* (2009).

21. Cheng, J.C., Deng, Y. and Anumba, C. "Mapping BIM schema and 3D GIS schema semi-automatically utilizing linguistic and text mining techniques", *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, **20**(14), pp. 193-212 (2015).

22. Isikdag, U., Underwood, J. and Aouad, G. "An investigation into the applicability of building information models in geospatial environment in support of site selection and fire response management processes", *Advanced engineering informatics*, **22**(4), pp. 504-519 (2008).

23. De Laat, R. and Van Berlo, L. "Integration of BIM and GIS: The development of the cityGML geoBIM extension", *Springer* (2011).

24. Deng, Y., Cheng, J.C. and Anumba, C. "A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration" *Structure and Infrastructure Engineering*, **12**(10), pp. 1267-1280 (2016).

25. Hijazi, I., Ehlers, M. and Zlatanova, S. "BIM for geo-analysis (BIM4GEOA): set up of 3D information system with open source software and open specification (OS)", *5th International 3D Geoinfo Conference, Berlin, November 3-2, 2010. International archives of photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, **38-4/W15** (2010).

26. Irizarry, J., Karan, E.P. and Jalaei, F. "Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management", *Automation in Construction*, **31**, pp. 241-254 (2013).

27. Hjelseth, E. and Thiis, T. "Use of BIM , GIS to enable climatic adaptations of buildings", *CRC Press* (2008).

28. Sergi, D.M. and Li, J. "Applications of GIS-enhanced networks of engineering information", *Applied Mechanics and Materials*, **444**, pp. 1672-1679 (2014).

29. Del Giudice, M., Osello, A. and Patti, E. "BIM and GIS for district modeling", *ECPPM 2014 Conference, Vienna* (2014).

30. Choi, H.-J., Kwon, M.-J., Kim, J.-H. and et al. "Bim-based program information management systems for urban renewal mega projects planning", *The First International Conference on Sustainable Urbanization*, Hong Kong (2010).

31. Ma, Z. and Ren, Y. "Integrated application of BIM and GIS: an overview", *Procedia Engineering*, **196**, pp. 1072-1079 (2017).

32. Park, S.-H. and Kim, E. "Middleware for translating urban GIS information for building a design society via general BIM tools", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, **15**(3), pp. 447-454 (2016).

33. Kim, S., Kim, J., Jung, J. and et al. "Development of a 3D underground cadastral system with indoor mapping for as-built BIM: The case study of gangnam subway station in korea", *Sensors*, **15**(12), pp. 30870-30893 (2015).

34. Du, H., Du, J. and Huang, S. "GIS, GPS, and BIM-based risk control of subway station construction" (2015).

35. Liu, R. and Issa, R. "3D visualization of sub-surface pipelines in connection with the building utilities: integrating GIS and BIM for facility management", *Computing in Civil Engineering*, pp.341-348 (2012).

36. Ghodsipoor, H. "Discussions on multi criteria decision making (MCDM)", *Amirkabir University of Technology Publishing Institute* (In Persian) (2002).