نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

اولویت‌بندی المان‌های تأسیساتی در فرایند رفع تداخل‌ها از منظر هزینه و زمان با استفاده از روش فازی- سلسله مراتبی

علی حسن‌نژاد[۱]؛ جواد مجروحی سردرود[۲*]؛ علی‌اکبر شیرزادی جاوید[۳]؛ محمدحسن رامشت[۴]؛ توحید پوررستم[۵]

۱- گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسؤل)
۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت
۴ و ۵- استادیار دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت دست‌نوشته: ۱۴۰۰/۹/۵؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

واژگان کلیدی

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، شناسایی و رفع تداخل‌ها، روش دلفی، روش فازی- سلسله مراتبی

چکیده

در سالیان اخیر با ظهور مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در تحقق مؤلفه‌های اصلی مدیریت ساخت پروژه از قبیل ایمنی، هزینه و زمان به وقوع پیوسته است. از مدل‌های مبتنی بر *BIM* به‌صورت گسترده جهت برنامه‌ریزی ایمنی پروژه‌ها و کنترل زمان و هزینه ساخت بهره‌برداری می‌شود. استفاده از مدل‌سازی اطلاعات ساختمان تأثیر مثبت خود را در فرایند شناسایی و حل تداخل‌ها نیز نشان داده است. در طرح‌ها و پروژه‌های بزرگ به علت تعدد عوامل درگیر در طراحی‌ها و همچنین پیچیدگی و حجم بالای المان‌ها تعداد بسیار زیادی از تداخل‌ها بین المان‌های مختلف در فرایند ادغام یکپارچه طراحی‌ها اتفاق می‌افتد که بدون به‌کارگیری ابزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان شناسایی و رفع آنها بسیار وقت‌گیر و پیچیده می‌باشد. تداخل‌ها درصورتی‌که در مرحله طراحی، به‌دقت شناسایی و حل نشوند ضمن افزایش حجم کاری، مدیریت ایمنی، زمان و هزینه پروژه را به خطر می‌اندازند. در میان عناصر ساختاری مختلف، تداخل‌های طراحی المان‌های مکانیکی، تأسیسات الکتریکی و لوله‌کشی (*MEP*) به‌طور مرسوم فرآیند طراحی را تحت تأثیر قرار داده است که شاید به دلیل فضاهای محدود برای سیستم‌های *MEP* باشد. هدف این تحقیق گروه‌بندی المان‌های *MEP*، جهت تعیین اولویت آنها از منظر زمان و هزینه در فرآیند رفع تداخل‌ها می‌باشد. به همین منظور این تحقیق با استفاده از روش دلفی نسبت به گروه‌بندی المان‌های *MEP* اقدام و سپس روش فازی – سلسله مراتبی را جهت تعیین وزن المان‌های *MEP* به‌کارگیری می‌نماید.

۱- مقدمه

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) باعث ایجاد تغییرات بنیادی در حوزه‌ی طراحی و فرآیندهای مدیریت ساخت شده است [۱]. استفاده از *BIM* زمینه دستیابی به مؤلفه‌های اصلی مدیریت ساخت پروژه‌ها از قبیل ایمنی، هزینه و زمان را تضمین می‌نماید. به‌عنوان‌مثال در موارد متعدد از مدل‌های مبتنی بر *BIM* برای برنامه‌ریزی مدیریت ایمنی پروژه‌ها جهت شناسایی محل‌های با خطرپذیری بالا در کارگاه‌های ساختمانی و کنترل خودکار مؤلفه‌های ایمنی استفاده شده است.

BIM به دلیل ویژگی‌های بصری و پارامتری، سبب بهبود فرآیند تشخیص تداخل‌ها نیز می‌شود [۲]. مطالعات نشان داده‌اند که هماهنگی طراحی و تشخیص تداخل‌ها بیشترین و ارزشمندترین کاربرد *BIM* در صنعت ساخت

* نویسنده مسؤل: دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران؛ رایانامه: ***J.Majrouhi@iauctb.ac.ir***

هستند [۳]. تداخل‌ها درصورتی‌که در مراحل اولیه پروژه، به‌دقت شناسایی و حل نشوند ضمن افزایش حجم کاری تیم‌های اجرایی پروژه، مؤلفه‌های مدیریت ایمنی، زمان و هزینه پروژه را با چالش جدی مواجه می‌سازند.

ایستمن و همکاران [۴] (۲۰۱۱) از «تداخل‌ها» به‌عنوان برخورد میان دو یا چند عنصر ساختمانی زمانی که به‌صورت هم‌زمان یک فضا را اشغال می‌کنند و از طریق عملکرد تشخیص خودکار تداخل با ابزارهای *BIM* قابل شناسایی هستند یاد می‌کنند.

در طول مراحل طراحی پیش از ساخت، نقشه‌ها و طرح‌های تولید شده *BIM* توسط طراحان رشته‌های مختلف (به‌عنوان‌مثال معمار، مهندس سازه و طراح مکانیکی، الکتریکی و لوله‌کشی (*MEP*)) تهیه و در یک مدل متحد ادغام می‌شوند و سپس مدل حاصل برای تداخل‌های طراحی بررسی شود [۵].

به‌عنوان‌مثال، هماهنگی طراحی مبتنی بر *BIM* در یک پروژه بزرگ بیمارستانی ذینفعان پروژه را قادر به شناسایی بیش از ۳ میلیون تداخل و حل بیش از ۲/۴ میلیون تداخل قبل از مرحله ساخت نموده است [۶].

با این حال، برخی مطالعات استدلال می‌کنند که توانایی تشخیص تداخل با ابزارهای *BIM* شامل بسیاری از تداخل‌های غیر مرتبط بوده و روش اتوماتیک دقت کمتری نسبت به روش‌های دستی دارد [۲].

هارتمن و مهربد در تحقیقات خود به تعداد بالای تداخل‌های غیر مرتبط شناسایی‌شده توسط ابزارهای *BIM* اشاره می‌کنند [۷، ۸]. منظور از تداخل‌های غیر مرتبط، تداخل‌هایی می‌باشند که نیازی به برطرف نمودن آنها نیست یا راه‌حل روشنی برای آنها وجود دارد. در عمل، برخی پروژه‌ها می‌توانند میلیون‌ها تداخل را شناسایی کنند، بنابراین تمیز دادن تداخل‌های غیر مرتبط برای هماهنگی طراحی و موفقیت ابزارهای کاربردی *BIM* مهم هستند [۲].

روش‌های موجود برای کاهش تداخل‌های غیر مرتبط را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود: جلوگیری از وقوع تداخل‌ها، بهبود فرآیند شناسایی تداخل‌ها، فیلتر نمودن تداخل‌ها [۲]. روش جلوگیری از وقوع تداخل، با مدل‌سازی در مرحله طراحی شروع می‌شود و بر همکاری و هماهنگی بین تیم‌های طراحی برای جلوگیری از بروز تداخل‌ها از ابتدا تأکید می‌کند [۹].

در روش بهبود فرآیند شناسایی تداخل‌ها، اشاره می‌شود که بهبود الگوریتم‌ها در نرم‌افزارهای *BIM* می‌تواند دقت شناسایی تداخل‌ها را بهبود بخشد. روش فیلتر نمودن تداخل‌ها نیز به فیلتر کردن مستقیم تداخل‌های غیر مرتبط در گزارش تشخیص تداخل نرم‌افزارهای *BIM* اشاره دارد.

به‌طور خلاصه، روش جلوگیری از وقوع تداخل، زمان‌بر بوده و باعث افزایش حجم کاری تیم‌های طراحی می‌شود. همچنین روش بهبود فرآیند شناسایی تداخل‌ها، نیز نمی‌تواند از وقوع تداخل‌های غیر مرتبط جلوگیری نماید. در سایر روش‌ها نظیر یادگیری ماشینی نیز دقت پیش‌بینی‌ها ناکافی بوده و نیاز به داده‌های زیادی برای دستیابی به نتایج بهتر وجود دارد. علیرغم تلاش‌های صورت گرفته در گذشته توجهی به تعیین وزن المان‌های تداخل جهت اولویت‌بندی و شناسایی تداخل‌های غیر مرتبط نشده است.

با در نظر گرفتن اینکه در عمل، اهمیت هر تداخل منتج از اهمیت المان‌های موجود در آن می‌باشد، تعیین وزن المان‌های تداخل از روشی مناسب و همچنین ارائه‌ی یک رابطه برای تعیین وزن کلی هر تداخل جهت اولویت‌بندی و شناسایی تداخل‌های غیر مرتبط حائز اهمیت است. در همین راستا، این مطالعه تلاش می‌کند تا با استفاده از روش فازی – سلسله مراتبی به‌عنوان یک روش شناخته شده در وزن‌دهی معیارها نسبت به تعیین اهمیت المان‌های تداخل اقدام و با ارائه یک رابطه، مبنایی جهت اولویت‌بندی تداخل‌ها و شناسایی تداخل‌های غیر مرتبط ارائه نماید.

۲- پیشینه تحقیق

برخی محققان معتقد هستند که همکاری بین تیم‌های طراحی در مراحل اولیه پروژه می‌تواند از وقوع تداخل‌ها

جلوگیری کند. لاو و اسمیت [۱۰] اشاره می‌کنند که از هر تداخل طراحی باید به‌عنوان یک فرصت یادگیری برای جلوگیری از خطاهای آینده استفاده شود.

مهربد و همکاران [۸] یک دسته‌بندی از مسائل هماهنگی در طراحی ایجاد و تداخل‌ها را بر اساس علل آنها طبقه‌بندی کردند. طبقه‌بندی تداخل‌ها پیش از پردازش اولیه، فرآیند هماهنگی طراحی را بهبود می‌بخشد. هدف آنها درک علل تعارضات طراحی و در نظر گرفتن عوامل رفع تداخل و تعارض است. با این حال، طبقه‌بندی تداخل‌ها به‌صورت دستی زمان‌بر و نیازمند این است که هماهنگ‌کنندگان پروژه تجربه زیادی داشته باشند.

وانگ و لایت [۱۱] برای دستیابی به فرآیند دانش مدیریت تداخل، یک طرح مدیریت تداخل ارائه داده و نمونه‌ی اولیه‌ای برای ثبت اطلاعات، طراحی نمودند. با این حال، سؤال در مورد چگونگی استفاده از دانش برای حذف تداخل‌های غیر مرتبط هنوز مطرح است. آنها تأکید می‌کنند به‌جای ویژگی‌های مربوط به المان‌های تداخل، ویژگی‌های زمینه‌ای تداخل برای بهبود مدیریت تداخل مهم هستند. اطلاعات زمینه‌ای تداخل، محیط توپولوژیکی در اطراف یک تداخل را توصیف می‌کند و شامل: موقعیت، روابط فضایی و فضای موجود می‌شود. با این حال، برخی از این ویژگی‌ها فاقد تعریف روشن و استانداردهای کمی هستند. به‌عنوان‌مثال، روابط فضایی انواع مختلفی دارند و اینکه کدام‌یک برای مدیریت تداخل‌ها مهم است و همچنین چگونگی یافتن آنها از مدل‌های *BIM* هنوز تعریف نشده‌اند.

سیریبینی و ونچرا [۱۲] استدلال می‌کنند، افزایش دقت مدل‌سازی می‌تواند باعث بهبود فرآیند شناسایی تداخل‌ها شود، اما باعث افزایش حجم کاری تیم‌های *BIM* می‌شود.

هارتمن [۷] وگیجزن [۱۳] به‌منظور کاهش تداخل‌های غیر مرتبط مدل *BIM* را با استفاده از ساختار شکست کار مورد بازبینی قرار دادند. با این حال، محققان بر این باورند که این رویکرد بدون شک بار تیم های طراحی را افزایش می‌دهد. همچنین ایجاد همکاری در بسیاری از پروژه‌ها دشوار است زیرا ممکن است ذینفعان پروژه یک رابطه قراردادی متقابل نداشته باشند [۱۲، ۱۴].

در همین حال، برخی از محققان فکر می کنند که بهبود الگوریتم‌های تشخیص تداخل‌ها در نرم‌افزارهای *BIM* می‌تواند دقت تشخیص آن را افزایش دهد، در نتیجه تعداد تداخل‌های غیر مرتبط را کاهش دهد [۱۵]. این روش‌ها شامل: روش درخت کروی [۱۶]، چند وجهی تقریبی با کره‌ها و سلسله‌مراتب حجم محدود [۱۷، ۱۸]، روش جعبه‌های محدود جهت‌دار [۱۹] و الگوریتم تقاطع مثلث می‌باشد. این الگوریتم‌ها به‌طور پیوسته بهبود می‌یابند تا دقت تشخیص تداخل را افزایش دهند. با این حال، الگوریتم های تشخیص تداخل اصلاح شده هنوز نمی توانند به‌طور مؤثر تداخل‌های غیر مرتبط را کاهش دهند [۲۰] به‌خصوص آنهایی که ناشی از خطاهای انسانی هستند [۲].

در جنبه فنی، هلم و همکاران [۱۵] پیشنهاد کردند که از ساختار *IFC* استفاده کرده و الگوریتم‌ها را به‌عنوان یک راه‌حل تشخیص تداخل‌ها بهبود بخشید. با این حال، اکپونوا و آدامو [۲۰] اشاره می‌کنند که تلاش‌ها برای بهبود الگوریتم‌ها، در شرایطی که تعداد زیادی از تداخل‌های شناسایی شده غیر مرتبط هستند، مؤثر نیست. از جنبه مدیریتی، مؤثرترین روش، بازبینی نتایج اولیه تشخیص تداخل است.

بعضی از محققین تلاش‌های خود را بر شناسایی و فیلتر کردن مستقیم تداخل‌های غیر مرتبط از گزارش تشخیص تداخل نرم‌افزارهای *BIM* معطوف کرده‌اند [۹].

هو و همکاران [۵۴] با اشاره به اینکه برخی از تداخل‌ها به‌وسیله اشتراک اجزای مشابه به یکدیگر وابسته هستند، شناسایی تداخل‌ها با توجه به ویژگی‌های اجزای تداخل، بدون در نظر گرفتن روابط وابسته بین سایر اجزا را چالش‌برانگیز دانسته و پیشنهاد می‌دهند به‌جای حل کردن تک‌تک آنها، از گروه کردن خودکار آنها با هم استفاده شود. در تحقیق آنها از نتایج تشخیص تداخل موجود به‌عنوان نقطه شروع استفاده و با در نظر گرفتن روابط وابسته بین اجزای ساختمان بدون افزایش حجم کاری تیم‌های پروژه فرآیند تشخیص تداخل بهبود می‌یابد.

با این حال، تعداد تداخل های غیر مرتبط فیلتر شده به روابط وابستگی مؤلفه‌ها و الگوریتم‌های جستجوی آنها بستگی دارد که شبیه یک مبنای دانشی قاعده‌مند هستند و نیاز به تلاش زیاد جهت جمع‌آوری و حفظ قواعد وجود دارد.

علاوه بر این، قواعد توسعه یافته توسط مطالعه آنها ممکن است با پروژه‌های دیگر همخوانی نداشته باشد.

روش دیگری که برای مشکلات پیچیده محبوب است و به تلاش های زیادی برای کسب دانش نیاز ندارد، یادگیری ماشینی است. الگوریتم‌های یادگیری ماشینی از روش‌های محاسباتی برای پیش‌بینی مستقیم نتایج از داده‌های تاریخی بدون اتکا به قواعد یا معادلات از پیش تعیین‌شده بر روی دامنه دانشی استفاده می‌کنند. علاوه بر این، با افزایش تعداد موارد آموزشی، الگوریتم‌ها به‌طور تطبیقی عملکرد خود را بهبود می‌بخشند [۲۱، ۲۲].

با وجود سهولت تشخیص گرایش ها و الگوها بدون دخالت انسان، پژوهشگران اغلب استدلال می‌کنند که یادگیری ماشینی نیازمند یک مجموعه داده آموزشی به‌اندازه کافی بزرگ است که به یک مدل پیچیده‌تر اجازه می‌دهد تا نتایج مطلوبی به دست آورد [۴، ۱۳].

هو و کاسترو [۱۴] امکان استفاده از روش‌های یادگیری ماشینی را برای تشخیص تداخل‌های مرتبط و غیر مرتبط با استفاده از داده‌های تاریخی بررسی کردند. روش آنها می‌تواند برای فیلتر کردن نتایج تشخیص تداخل و بهبود دقت تشخیص تداخل مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، این روش به مقدار زیادی از داده‌ها نیاز دارد تا یک مدل طبقه‌بندی قابل اطمینان را بسازد و اینکه چگونه به‌طور خودکار داده‌ها را جمع‌آوری کند هنوز یک مسئله است. کاربرد واقعی روش هنوز به زمان نیاز دارد و دقت آن (حدود ۸۰ درصد) باید بهبود یابد؛ بنابراین، چگونگی بهبود کیفیت تشخیص برخورد با داده‌های محدود و بدون افزایش حجم کار شرکت‌کنندگان پروژه باید مورد توجه قرار گیرد.

لین و هوانگ [۹] در مطالعه خود ضمن اشاره به اینکه فیلتر کردن خودکار برخوردهای غیر مرتبط توسط الگوریتم‌ها یک نیاز حیاتی است یک روش هیبریدی که ترکیبی از استدلال مبتنی بر قاعده و یادگیری ماشین نظارت شده است را برای فیلتر نمودن تداخل‌های غیر مرتبط به کار گرفتند.

با این حال روش آنها شامل تعداد زیادی از طبقه‌بندی‌های نادرست است که در آن تداخل‌های مهم و غیر مرتبط به‌درستی از هم تمیز داده نمی‌شوند (جدول ۱).

۳- روش تحقیق

هدف این تحقیق گروه‌بندی المان‌های مکانیکی، تأسیسات الکتریکی و لوله‌کشی (*MEP*)، جهت تعیین اولویت آنها از منظر زمان و هزینه در فرآیند رفع تداخل‌ها می‌باشد. به همین منظور این تحقیق با استفاده از روش دلفی نسبت به گروه‌بندی المان‌های *MEP* اقدام و سپس روش فازی- سلسله مراتبی را جهت تعیین وزن المان‌های *MEP* به‌کار می‌گیرد.

جدول ۱- خلاصه روش‌های مورد استفاده

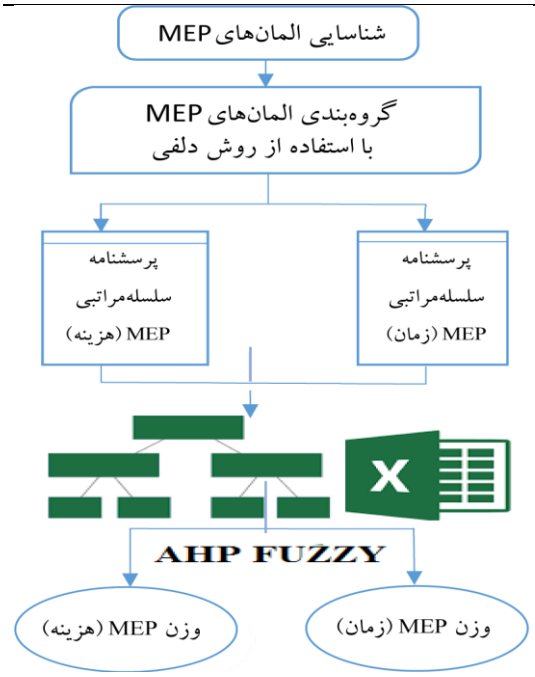
خلاصه روش	محقق
در نظر گرفتن روابط وابستگی بین اجزای ساختمان جهت بهبود فرآیند تشخیص تداخل	هو و همکاران (۲۰۱۹)
ترکیبی از استدلال مبتنی بر قاعده و یادگیری ماشین نظارت شده جهت فیلتر نمودن تداخل‌های غیرمرتبط	لین و همکاران (۲۰۱۹)
استفاده از روش‌های یادگیری ماشینی برای تشخیص تداخل‌های مرتبط و غیر مرتبط	هو و کاسترو (۲۰۱۹)
ارائه‌ی دسته‌بندی از مسائل هماهنگی در طراحی و طبقه‌بندی تداخل‌ها بر اساس علل آنها	مهربد و همکاران (۲۰۱۹)
استفاده از روش جعبه‌های محدود جهت‌دار جهت بهبود فرایند شناسایی تداخل	گاتسچالک و همکاران (۲۰۱۹)
ارائه‌ی یک طرح مدیریت تداخل داده برای دستیابی به فرآیند دانش مدیریت تداخل	وانگ و همکاران (۲۰۱۶)
بهبود فرایند شناسایی تداخل با افزایش دقت مدل‌سازی	سیریبینی و همکاران (۲۰۱۶)

استفاده از ساختار شکست کار جهت بهبود فرایند شناسایی تداخل	گیجزن و همکاران (۲۰۱۶)
استفاده از هر تداخل به‌عنوان یک فرصت یادگیری برای جلوگیری از خطاهای آینده	لاو و همکاران (۲۰۱۰)
کاهش تداخل‌های غیر مرتبط مدل BIM با استفاده از ساختار شکست کار	هارتمن و همکاران (۲۰۱۰)
استفاده از ساختار IFC و بهبود الگوریتم‌ها	هلم و همکاران (۲۰۱۰)
بهبود فرایند شناسایی تداخل با استفاده از روش سلسله‌مراتب حجم محدود	کلوزووسکی و همکاران (۱۹۹۸)
استفاده از روش چند وجهی تقریبی جهت بهبود فرایند شناسایی تداخل	هوبارد و همکاران (۱۹۹۶)
بهبود فرایند شناسایی تداخل با استفاده از روش درخت کروی	پالمر و همکاران (۱۹۹۵)

در این تحقیق فرض بر این است که در فرایند رفع تداخل‌ها، اعمال تغییرات در المان‌های *MEP* صورت می‌گیرد. به همین دلیل در رابطه بالا وزن المان‌های تأسیساتی از منظر هزینه و زمان در فرآیند رفع تداخل لحاظ شده است.

با توجه به اینکه وزن‌دهی المان‌های *MEP*، یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره و با معیارهای کمی است، لذا برای انتخاب از بین راه‌حل‌های موجود، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره پیشنهاد می‌شود. روش‌های بسیاری برای حل مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره در ادبیات موضوعی وجود دارد.

روش فازی – سلسله مراتبی که برای تبدیل تعاریف زبانی در قالب عبارات ریاضی استفاده می‌شود یکی از روش‌های پرکاربرد جهت حل مسائل چند معیاره به شمار می‌رود [۲۴]. ترکیب روش فازی و سلسله‌مراتبی امکان بهره‌گیری از مزایای هر دو روش را فراهم نموده است [۲۵]. با توجه به ماهیت مسئله اشکال مختلفی از اعداد فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۶] که در این تحقیق از تحلیل فازی- سلسله مراتبی بر مبنای رویکرد چانگ برای وزن‌دهی معیارها استفاده شده است. در شکل ۱ ساختار پیشنهادی تحقیق قابل مشاهده است



شکل ۱- ساختار پیشنهادی تحقیق

مراحل وزن‌دهی المان‌های *MEP* به‌ترتیب زیر است

۳-۱- شناسایی معیارها و گزینه‌ها

۳-۱-۱- شناسایی المان‌های MEP در پروژه‌های ساخت

با مروری بر منابع و مصاحبه با سه نفر از متخصصین *MEP* شاغل در پروژه‌های ساختمانی فهرستی از انواع المان‌های *MEP* و سازه تهیه گردید که در جدول‌های ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۲ – اطلاعات متخصصان

تجربه کاری	کمتر از ۱۰ سال	۱۱-۲۰	۲۱-۳۰	بیشتر از ۳۰ سال
متخصص	-	-	۱	۲

جدول ۳- المان‌های MEP شناسایی شده

نام المان‌ها
Hot steam pipe
Fan Coil and other Heating units
Sprinkler
Natural gas pipe
Towel drier pipe
Cooling system drain pipe
Fire Box pipe
Sprinkler pipe
Supply Air Duct
Return Air Duct
Fresh Air Duct
Exhaust Air Duct
Vent
Rain water Pipes
Fire Protection pipe
Domestic hot/cold water pipe
Sanitary water pipe
Sewer pipe
Heating & Cooling Pipe
Electrical cable, rack...

۳-۱-۲- گروه‌بندی المان‌های MEP با استفاده از روش دلفی

به‌منظور اولویت‌بندی المان‌های *MEP* از منظر زمان و هزینه مورد نیاز در فرایند رفع تداخل، شناسایی زیرمعیارهای آن ضروری بوده تا وزن معیارها توسط خبرگان تعیین گردد. با توجه به تعداد بالای المان‌های *MEP* شناسایی شده، جهت فراهم آمدن زمینه استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در تعیین وزن المان‌ها، از روش دلفی برای دسته‌بندی المان‌های *MEP* در قالب شش معیار اصلی برحسب تطابق از منظر هزینه و زمان لازم در فرآیند رفع تداخل استفاده شده است. این روش یکی از بهترین روش‌ها برای رسیدن به توافق محسوب می‌شود زیرا از یک سری سؤالات از پیش تعریف‌شده برای جمع‌آوری داده‌ها از گروهی از متخصصان استفاده می‌کند [۲۷].

به این منظور هشت نفر از متخصصین *MEP* شاغل در پروژه‌های ساختمانی در پرسشنامه‌های رفت و برگشتی در خصوص دسته‌بندی لیست المان‌های *MEP* ارائه شده در قالب شش معیار از منظر مقایسه‌پذیری هزینه و زمان مورد نیاز در فرایند رفع تداخل‌ها مورد پرسش قرار گرفتند.

در جدول ۴ نحوه‌ی گروه‌بندی المان‌های *MEP* در قالب شش معیار مطابق نظر خبرگان با استفاده از روش دلفی مشاهده می‌گردد.

۳-۲- فرآیند تحلیل فازی- سلسله‌مراتبی

۳-۲-۱- ترسیم درخت سلسله‌مراتبی المان‌های MEP و سازه

تشکیل سلسله‌مراتب تصمیم‌گیری امکان استفاده از هر دو بعد نگرش سیستمی و تحلیل جزءبه‌جزء برای حل مسائل را مهیا می‌کند. ساختار سلسله‌مراتبی پیشنهادی به‌صورت زیر و شامل ۲۰ زیرمعیار می‌باشد. جدول ۷، شش معیار به همراه زیرمعیارها که المان‌های *MEP* می‌باشند را نمایش می‌دهد.

جدول ۴- اطلاعات متخصصان

تجربه کاری	کمتر از ۱۰ سال	۱۱-۲۰	۲۱-۳۰	بیشتر از ۳۰ سال
متخصص	-	۲	۳	۳

جدول ۵- نتایج روش دلفی

شماره	نام المان	نتیجه گروه‌بندی	میزان توافق حاصله در مرحله ۳
1	Electrical Cable & Rack & Equipment	1	100

87	2	Hot steam pipe	2
100	2	Fan Coil and other Heating units	3
100	2	Sprinkler	4
100	3	Natural gas pipe	5
100	3	Fire Box pipe	6
100	3	Sprinkler pipe	7
100	3	Fire Protection pipe	8
100	3	Domestic hot/cold water pipe	9
100	3	Sanitary water pipe	10
87	4	Towel drier pipe	11
87	4	Cooling system drain pipe	12
100	4	Heating & Cooling Pipe	13
100	5	Supply Air Duct	14
100	5	Return Air Duct	15
100	5	Fresh Air Duct	16
100	5	Exhaust Air Duct	17
87	6	Vent	18
100	6	Rain water Pipes	19
100	6	Sewer pipe	20

جدول ۶ – نتایج گروه‌بندی

گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵	گروه ۶
Electrical Cable & Rack & Equipment	Hot steam pipe	Natural gas pipe	Towel drier pipe	Supply Air Duct	Vent
	Fan Coil and other Heating units	Fire Box pipe	Cooling system drain pipe	Return Air Duct	Rain water Pipes
		Sprinkler pipe	Heating & Cooling Pipe	Fresh Air Duct	Sewer pipe
	Sprinkler	Fire Protection pipe		Exhaust Air Duct	
		Domestic hot/ cold water pipe			
		Sanitary water pipe			

جدول ۷– معیارها و زیر معیارهای MEP

معیارها	زیرمعیارها
گروه ۱	Electrical cable & rack & equipment
گروه ۲	Hot steam pipe, fan coil and other heating units, sprinkler
گروه ۳	Natural gas pipe, fire box pipe, sprinkler pipe, fire protection pipe, domestic hot/cold water pipe, sanitary water pipe
گروه ۴	Towel drier pipe, cooling system pipe
گروه ۵	Supply air dust, return air dust, fresh air dust, exhaust air dust
گروه ۶	Vent, rain water pipe, sewer pipe

جدول ۸– اطلاعات متخصصان

تجربه کاری	کمتر از ۱۰ سال	۱۱-۲۰	۲۱-۳۰	بیشتر از ۳۰ سال
متخصص	-	۶	۵	۳

جدول ۹- اعداد فازی معادل عبارات زبانی

عدد فازی	عبارات زبانی	مقیاس معادل فازی شده
1	اهمیت یکسان	(1,1,1)
2	کمتر مرجح	(1,2,3)
3	نسبتاً مرجح	(2,3,4)
4	مرجح	(3,4,5)
5	ترجیح زیاد	(4,5,6)
6	ترجیح نسبتاً بسیار زیاد	(5,6,7)
7	ترجیح بسیار زیاد	(6,7,8)
8	ترجیح مطلقاً زیاد	(7,8,9)
9	ترجیح فوق‌العاده زیاد	(8,9,10)

۳-۲-۲- جمع‌آوری داده و فازی‌سازی

به‌منظور تعیین وزن فازی زیرمعیارهای تحقیق، تعداد ۱۴ پرسشنامه مقایسه‌های زوجی المان‌های *MEP* تهیه و میان خبرگان توزیع و نتایج جمع‌آوری گردید.

پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان، آرای به‌دست‌آمده مطابق با اعداد فازی جدول ۹ تغییر یافته و به تعداد خبرگان، ماتریس مقایسات زوجی فازی تشکیل شد. جدول ۹ قضاوت‌های قطعی و فازی مورد استفاده که بر اساس نظر گوماس (*Gumus, 2009*) به‌دست‌آمده را نشان می‌دهد [۲۸].

۳-۲-۳- بررسی سازگاری قضاوت‌های زوجی خبرگان درباره المان‌های MEP از نظر زمان و هزینه

پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی فازی برای هر یک از معیارها، به‌منظور اطمینان از سازگاری ماتریس‌ها، یک‌بار نرخ ناسازگاری اعداد میانی (عدد وسط) مقایسات فازی در ماتریس مقایسات زوجی قرار گرفته و نرخ ناسازگاری آن محاسبه می‌گردد. نرخ ناسازگاری به‌دست‌آمده، باید کمتر از ۰/۱ باشد. نتایج محاسبه شده در جدول ۱۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۱۱ نشان داده شده است، میزان نرخ ناسازگاری در تمامی پرسشنامه‌ها به‌جز خبره شماره ۷ و ۱۰ از پرسشنامه زمان کمتر از ۰/۱ بوده و به دلیل نرخ ناسازگاری بالای دو پرسشنامه از تحلیل زمان حذف و با مابقی به ادامه تحلیل می‌پردازیم.

۳-۲-۴- ادغام پرسشنامه خبرگان

در این مرحله و پس از فازی‌سازی نظرات گردآوری شده، ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از میانگین هندسی ادغام می‌شوند که این امر برای هر معیار انجام می‌گردد و

کل نظرات خبرگان به‌صورت یک ماتریس بیان می‌گردد. جدول‌های ۱۱ و ۱۲ ماتریس‌های ادغام شده‌ی خبرگان را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- نرخ ناسازگاری برای پرسشنامه‌های ادغام شده MEP (زمان و هزینه)

شماره خبره	نرخ ناسازگاری (زمان)	نرخ ناسازگاری (هزینه)
۱	۰,۰۷۳	۰,۰۷۲
۲	۰,۰۷۵	۰,۰۸۸
۳	۰,۰۸۰	۰,۰۸۸
۴	۰,۰۶۷	۰,۰۸۷
۵	۰,۰۹۲	۰,۰۹۶
۶	۰,۰۲۹	۰,۰۵۴
۷	۰,۱۲۲	۰,۰۹۱
۸	۰,۰۵۹	۰,۰۳۲

۹	۰,۰۶۵	۰,۰۹۱
۱۰	۰,۶۳۱	۰,۰۹۱
۱۱	۰,۰۹۴	۰,۰۸۵
۱۲	۰,۰۵۰	۰,۰۹۵

۱۳	۰,۰۹۲	۰,۰۷۶
۱۴	۰,۰۷۲	۰,۰۵۷

جدول ۱۱– ماتریس ادغام شده MEP (هزینه)

	گروه ۱				گروه ۲				گروه ۳				گروه ۴				گروه ۵				گروه ۶			
گروه ۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۳۷	۰,۴۶	۰,۶۰	۰,۳۵	۰,۴۳	۰,۵۶	۰,۳۶	۰,۴۵	۰,۵۹	۰,۲۵	۰,۲۹	۰,۳۵	۰,۲۷	۰,۳۲	۰,۳۸	۰,۴۴	۰,۴۸	۰,۵۲	۰,۶۰	۰,۶۹
گروه ۲	۱,۶۵	۲,۱۹	۲,۶۹	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۸۱	۲,۱۶	۲,۵۰	۱,۹۰	۲,۴۲	۲,۹۹	۱,۱۶	۱,۴۰	۱,۶۴	۱,۰۵	۱,۱۸	۱,۳۲	۱,۴۲	۱,۶۷	۱,۹۰	۲,۳۲	۲,۷۵	۳,۱۲
گروه ۳	۱,۷۹	۲,۳۳	۲,۸۳	۰,۴۰	۰,۴۶	۰,۵۵	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۲	۱,۰۵	۰,۳۴	۰,۴۲	۰,۵۶	۰,۵۱	۰,۵۹	۰,۶۷	۰,۷۹	۱,۱۲	۱,۴۱	۱,۶۷	۱,۹۰	۲,۲۴
گروه ۴	۱,۶۹	۲,۲۵	۲,۷۷	۰,۳۳	۰,۴۱	۰,۵۳	۰,۹۵	۰,۹۸	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۳۳	۰,۳۹	۰,۵۰	۰,۴۶	۰,۵۲	۰,۶۱	۰,۷۱	۰,۸۹	۱,۱۴	۱,۴۱	۱,۶۷	۲,۰۰
گروه ۵	۲,۸۸	۳,۴۷	۴,۰۲	۰,۶۱	۰,۷۱	۰,۸۶	۱,۷۷	۲,۳۶	۲,۹۱	۲,۰۲	۲,۵۷	۳,۰۶	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۳۵	۱,۷۰	۲,۰۶	۲,۴۱	۲,۸۹	۳,۲۵	۴,۰۰	۴,۸۱	۵,۰۰
گروه ۶	۲,۶۳	۳,۱۵	۳,۶۵	۰,۷۶	۰,۸۴	۰,۹۵	۱,۴۹	۱,۷۰	۱,۹۵	۱,۶۴	۱,۹۳	۲,۱۸	۰,۴۹	۰,۵۹	۰,۷۴	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰

جدول ۱۲– ماتریس ادغام شده MEP (زمان)

	گروه ۱				گروه ۲				گروه ۳				گروه ۴				گروه ۵				گروه ۶			
گروه ۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۳۱	۰,۳۷	۰,۴۸	۰,۲۵	۰,۳۲	۰,۴۴	۰,۲۵	۰,۲۹	۰,۳۷	۰,۲۱	۰,۲۳	۰,۲۷	۰,۲۷	۰,۳۱	۰,۳۹	۰,۴۵	۰,۵۲	۰,۶۰	۰,۶۹	۰,۸۰	۰,۹۲
گروه ۲	۲,۰۷	۲,۶۸	۳,۲۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۷۱	۰,۸۳	۱,۰۰	۰,۷۵	۰,۸۳	۰,۹۴	۰,۲۵	۰,۳۱	۰,۳۹	۰,۵۹	۰,۷۱	۰,۸۹	۱,۰۳	۱,۱۹	۱,۳۸	۱,۶۰	۱,۸۴	۲,۱۱
گروه ۳	۲,۲۷	۳,۱۵	۴,۰۴	۱,۰۰	۱,۲۰	۱,۴۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۶	۱,۱۰	۱,۱۴	۰,۲۸	۰,۳۴	۰,۴۲	۰,۸۴	۰,۹۱	۱,۰۲	۱,۱۷	۱,۴۱	۱,۶۲	۱,۹۲	۲,۲۱	۲,۵۳
گروه ۴	۲,۷۰	۳,۴۶	۴,۰۸	۱,۰۶	۱,۲۰	۱,۳۳	۰,۸۷	۰,۹۱	۰,۹۴	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۲۷	۰,۳۱	۰,۳۸	۰,۵۹	۰,۷۲	۰,۹۲	۱,۱۹	۱,۴۱	۱,۶۲	۱,۹۲	۲,۲۱	۲,۵۳
گروه ۵	۳,۶۷	۴,۲۷	۴,۷۸	۲,۵۴	۳,۲۷	۴,۰۲	۲,۳۸	۲,۹۶	۳,۵۱	۲,۶۱	۳,۱۸	۳,۷۲	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۲,۰۷	۲,۷۸	۳,۵۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰
گروه ۶	۲,۵۷	۳,۱۸	۳,۷۲	۱,۱۲	۱,۴۰	۱,۶۸	۰,۹۸	۱,۱۰	۱,۱۹	۱,۰۹	۱,۳۸	۱,۶۸	۰,۲۸	۰,۳۶	۰,۴۸	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۱,۰۰

۳-۲-۵- دیفازی کردن ماتریس مقایسه گروهی جهت محاسبه نرخ ناسازگاری

پس از دیفازی کردن ماتریس مقایسه گروهی اقدام به محاسبه نرخ ناسازگاری گروهی می‌نماییم که جدول ۱۳ آن را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳– جدول نرخ ناسازگاری گروهی برای معیارها

نرخ ناسازگاری گروهی (زمان)	نرخ ناسازگاری گروهی (هزینه)	مقدار مجاز نرخ ناسازگاری
۰,۰۲۱	۰,۰۲۶	0.1≥CR

۳-۲-۶- رتبه‌بندی معیارها با استفاده از تحلیل سلسله-مراتبی گروهی فازی

الف. هزینه

پس از طی مراحل تعیین وزن قطعی از طریق روش *FAHP* نتایج رتبه‌بندی بر اساس نمودار شکل ۲ و جدول ۱۴ نشان داده شده است.

نتایج تعیین وزن کلیه معیارها نشان می‌دهد که گروه ۵ با بیشترین وزن (۰,۲۶۲) و گروه ۱ با کمترین میزان وزن (۰,۰۷۲) دارای اولویت اول و ششم در بین معیارهای مورد بررسی از نظر هزینه هستند.

جدول ۱۴– وزن معیارهای مورد بررسی (از منظر هزینه)

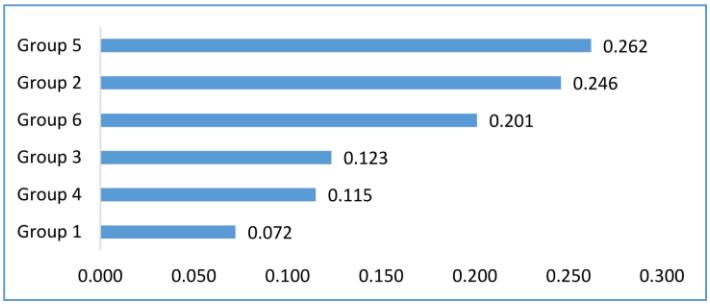
المان‌های MEP (هزینه)	وزن
گروه ۱	۰,۰۷۲
گروه ۲	۰,۲۴۶
گروه ۳	۰,۱۲۳
گروه ۴	۰,۱۱۵
گروه ۵	۰,۲۶۲
گروه ۶	۰,۲۰۱

ب. زمان

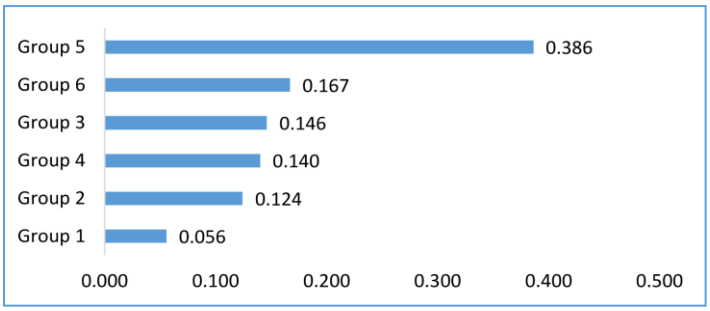
پس از طی مراحل تعیین وزن قطعی از طریق روش *FAHP*

نتایج رتبه‌بندی بر اساس نمودار شکل ۳ و جدول ۱۵ نشان داده شده است.

نتایج تعیین وزن کلیه معیارها نشان می‌دهد که گروه ۵ با بیشترین وزن (۰,۳۸۶) و گروه ۱ با کمترین میزان وزن (۰,۰۵۶) دارای اولویت اول و ششم در بین معیارهای مورد بررسی از نظر زمان هستند.



شکل ۲- رتبه‌بندی المان‌های MEP از منظر هزینه



شکل ۳- رتبه‌بندی المان‌های MEP از منظر زمان

جدول ۱۵- وزن معیارهای مورد بررسی (از منظر زمان)

المان‌های MEP (زمان)	وزن
گروه ۱	۰,۰۵۶
گروه ۲	۰,۱۲۴
گروه ۳	۰,۱۴۸
گروه ۴	۰,۱۴۰
گروه ۵	۰,۳۸۶
گروه ۶	۰,۱۶۷

۴- نتیجه‌گیری

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (*BIM*) باعث ایجاد تغییرات بنیادی در حوزه‌ی طراحی و فرآیندهای مدیریت ساخت شده است. ویژگی‌های بصری و پارامتری *BIM*، سبب بهبود فرآیند تشخیص تداخل‌ها می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که هماهنگی طراحی و تشخیص تداخل ها بیشترین و ارزشمندترین کاربرد *BIM* در صنعت ساخت هستند.

این مقاله روشی برای گروه‌بندی المان‌های مکانیکی، تأسیسات الکتریکی و لوله‌کشی (*MEP*)، جهت تعیین اولویت آنها از منظر زمان و هزینه در فرآیند رفع تداخل‌ها ارائه می‌دهد.

در این تحقیق با شناسایی المان‌های *MEP* و استفاده از روش دلفی نسبت به گروه‌بندی اولیه اقدام شد. سپس با

جمع‌آوری پرسشنامه خبرگان و با استفاده از روش فازی – سلسله‌مراتبی وزن المان‌های *MEP* از دو منظر زمان و هزینه در فرایند رفع تداخل‌ها تعیین گردید.

با استفاده از وزن‌های تعیین‌شده‌ی این تحقیق می‌توان نسبت به اولویت‌بندی و تعیین میزان اهمیت المان‌های *MEP* موجود در تداخل‌ها اقدام و در خصوص راهکارهای رفع تداخل‌ها تصمیم‌گیری نمود.

ازآنجاکه هر تداخل شامل دو المان درگیر در آن تداخل می‌شود، تلاش در جهت ارائه‌ی رابطه‌ای که بیانگر وزن کلی یک تداخل بوده و باعث بهبود فرآیند شناسایی تداخل‌ها توسط ابزارهای مدل‌سازی اطلاعات ساختمان شود در تحقیقات آتی مدنظر خواهد بود.

۵- مراجع

[1] Hsu, H.C. et al. (2020). Knowledge-based system for resolving design clashes in building information models, Automation in Construction, 110 (September2019). doi:10.1016/j.autcon. 2019.10300.

[2] Hu, Y., Castro-lacouture, D. and Eastman, C.M. (2019). 'Holistic clash detection improvement using a component dependent network in BIM projects', Automation in Construction, 105(April), p. 102832. doi: 10.1016/j.autcon.2019.102832.

[3] Bernstein, H.M., & Jones, S.A. (2012). Smart Market Report: The Business Value of BIM in North America. Bedford, MA: McGraw-Hill Construction.

[4] Eastman, C., Eastman, C.M., Teicholz, P., & Sacks, R. (2011). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors (2nd

Edition). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/97804'.

[5] Bagwat, R. Shinde. (2016). Clash Detection: A New Tool in Project Management, International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 2, No. 4, pp. 193–197. Available via: http://ijsrset.com/ paper/1637.

[6] Khanzode, A. (2010). An integrated, virtual design and construction and lean (IVL) method for coordination of MEP. CIFE Center for Integrated Facility Engineering Technical Report (Vol. 187). Stanford, CA. Retrieved from https://www.dpr.com/assets/doc.

[7] Hartmann, T. (2010). Detecting design conflicts using building information models: a comparative lab experiment, Proceedings of the CIB W78 2010: 27th International Conference, Cairo, Egypt, 16-18 November pp. 16-18.

[8] Mehrbod, S. et al. (2019). Beyond the clash: Investigating BIM-based building design coordination issue representation and resolution', Journal of Information Technology in Construction, 24(October 2017), pp. 33–57.

[9] Lin, W.Y. (2019). Filtering of Irrelevant Clashes Detected by BIM Software Using a Hybrid Method of Rule-Based Reasoning and Supervised Machine Learning. Applied Sciences.

[10] Love, P.E.D. & Smith, J. (2016). Toward error Management in Construction: moving beyond a zero vision. J. Constr. Eng. Manag., 142(11), 04016058. https:// doi.org/10.1061/(ASCE)CO. 1943-7862.0001170.

[11] Wang, L. and Leite, F. (2016). Formalized knowledge representation for spatial conflict coordination of mechanical, electrical and plumbing (MEP) systems in new building projects, Automation in Construction. Elsevier B.V., 64, pp. 20-26. doi: 10.1016/j.autcon.2015.12.020.

[12] A.L.C. Ciribini, S.M. Ventura, M. Paneroni. (2016) implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: a BIM pilot project,). Automation in construction.

[13] Gijezen, S. (2016). Organizing 3D Building Information Models with the Help of Work Breakdown Structures to Improve the Clash Detection Process. VISICO Center, Univ. of Twente: Enschede, the Netherlands, 2010.

[14] Hu, Y. et al. (2019). Clash Relevance Prediction Based on Machine Learning. J. Comput. Civ. Eng. 33(2), doi: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000810.

[15] Van den Helm, P.; Böhms, M.; van Berlo, L. (2010). IFC-based clash detection for the open-source BIM server. In Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Nottingham, UK, 30 June–2 July 2010; Nottingham University Press: Nottingham, UK, 2010; p. 30. Available online: http://www.engineering.nottingham.ac.uk/ icccbe/proceedings/pdf/pf91.pdf (accessed on 1 May 2019).

[16] Palmer, I.J., Grimsdale, R.L. (1995). Collision Detection for Animation Using Sphere-trees. Comput. Graph. Forum1995, 14, 105-116.

[17] Hubbard, P.M. (1996). Approximating polyhedra with spheres for time critical collision detection. ACM Trans. Graph. 1996, 15, 179-210.

[18] Klosowski, J.T. Held, M. Mitchell, J.S.B. Sowizral, H. Zikan, K. (1998) Efficient collision detection using boundingvolume hierarchies of k-DOPs. IEEE Trans. Vis. Comput. Graph., 4, 21-36.

[19] Gottschalk, S. Lin, M.C. Manocha, D. Hill, C. (2019). Obbtree: A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection. Available online: http://gamma.cs.unc.edu/SSV/obb.pdf.

[20] Akponeware, A.O. Adamu, Z.A. (2017). Clash detection or clash avoidance? An investigation into coordination problems in 3D BIM. Buildings 2017, 7, 75. School of Civil and Building Engineering, Loughborough University, Loughborough LE11 3TU, UK.

[21] Ziolkowski, P. Demczynski, S. Niedostatkiewicz, M. (2017). Assessment of failure occurrence rate for concrete machine foundations used in gas and oil industry by machine learning. Appl. Sci. 2019, 9, 3267.

[22] Hoshyar, A.N. Rashidi, M. Liyanapathirana, R. Samali, B. (2019). Algorithm development for the non-destructive testing of structural damage. Appl. Sci. 2019, 9, 2810.

[23] Korman, T. M., Fischer, M.A., & Tatum, C.B. (2003). Knowledge and reasoning for MEP coordination. J. Constr. Eng. Manag., 129(6), 627–634. https://doi.org/10.1061/ (ASCE)0733 9364(2003)129:6(627).

[24] Ucal Sari, I. (2018). Development of an integrated discounting strategy based on vendors' expectations using FAHP and FUZZY goal programming. Technol. Econ. Dev. Econ. 2018, 24, 635-652.

[25] Pamucar, D. Petrovic, I. C. irovic, G. (2017). Modification of the Best-Worst andMABAC methods: A novel approach based on interval-valued fuzzy-rough numbers. Expert. Syst. Appl. 2018, 91, 89-106.

[26] Ghorui, N. Ghosh, A. Algehyne, E.A.; Mondal, S.P. Saha, A.K. (2020). AHP-TOPSIS Inspired Shopping Mall Site Selection Problem with Fuzzy Data. Mathematics 2020, 8, 1380.

[27] Scholl, W., M.B. Konig, and P. Heisig. (2004). The future of knowledge management: An international Delphi study. J. Knowl. Manage. 8 (2): 19. https://doi.org/10.1108/ 13673270410529082.

[28] Sun, C. (2010). Expert Systems with Applications A performance evaluation model by integrating fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods, Expert Systems With Applications. Elsevier Ltd, 37(12), pp. 7745-7754. doi: 10.1016/j.eswa.2010.04.066.

نشریه‌ی علمی شهر ایمن
JOURNAL OF RESILIENT CITY
(JRC)

Prioritize Mechanical, Electrical and Plumbing Elements in Clash Resolution Process from the Cost and Time Aspect by Fuzzy-AHP METHOD

Ali Hasannejad, Javad Majrouhi Sardrud*, Ali Akbar Shirzadi Javid, Mohammad Hassan Ramesht, Tohid Purrostam

Abstract

In recent years, with the advent of building information modeling (BIM), significant progress has been made in the quality of the designs and execution of projects. BIM-based models are widely applied to project safety planning and control of time and cost in construction projects. The use of Building Information Modeling has also shown a positive influence on process of clash detection and clash resolution. During the design stages, BIM drawings and plans produced by individual designers are integrated into a federated model and tested to detect design clashes, which if they are not carefully detected and resolved in the design phase, they risk the safety, time, and cost of the project management in addition to increasing the workload. Because of the confined spaces left for MEP systems, between the various elements, mechanical, electrical and plumbing (MEP) design clashes have traditionally dogged the design process. The purpose of this study is to grouping MEP elements to determine their priority in terms of time and cost in the clash resolution process. This research uses the Delphi method to group MEP elements and then applied the Fuzzy-AHP method to determine the weight of MEP elements.

Key Words: BIM, Clash Detection, Fuzzy-AHP, Delphi

* Corresponding author: Javad Majrouhi Sardrud, Tehran, Iran; J.Majrouhi@iauctb.ac.ir