

تحلیل ریسک تاخیر پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن با استفاده از یک روش بهبود

یافته ترکیبی مبتنی بر شبکه بیزین

علی‌اکبر شیرزادی جاوید^{۱*}، محمدحسین مدیحی^۲، احسان نفری^۳

^{۱*} دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، نویسنده رابط، ایمیل: shirzad@iust.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

^۳ دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن به دلیل حجم بالای سرمایه‌گذاری و نقش کلیدی در توسعه، از اهمیت بالایی برخوردارند. با این حال، این پروژه‌ها با چالش‌های متعددی از جمله تاخیر در اجرا مواجه هستند. تاخیر در پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌ها، نارضایتی مشتریان و از دست رفتن فرصت‌های اقتصادی شود. در این مقاله، به بررسی ریسک‌های تاخیر در پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن با استفاده از روشی نوآورانه پرداخته شده است. این روش، ترکیبی از شبکه بیزین (BBNs)، مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) و آزمایش و ارزیابی تصمیم‌گیری (DEMATEL) است. این روش بر روی یکی از پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن پرند به عنوان مطالعه موردی اعمال گردید که نتایج به دست آمده نشان داد که در این پروژه در حالت عادی احتمال شدت بالای تاخیر ۶۸ درصد بوده است. از طرفی عوامل مرتبط با مسائل مالی و اقتصادی با احتمال شدت بالای وقوع ۶۰ درصد رخ خواهند داد. همچنین تاخیر در پرداخت‌های انجام شده توسط مالک هم با احتمال وقوع ۶۵ درصد، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. تجربه ناکافی مشاور، انتخاب پیمانکاران نامناسب، در دست داشتن چند پروژه همزمان و سوء مدیریت سه عامل اثرگذار دیگر هستند که با احتمال شدت متوسط وقوع بیش از ۵۰ درصد اتفاق می‌افتند. از طرفی مدل ارائه شده، عوامل مرتبط با پیمانکار را که از منابع مهم تاخیر است، با احتمال شدت متوسط وقوع بیش از ۴۰ درصد را نشان می‌دهد. همچنین عوامل مربوط به مشاور نیز باتوجه به نقش مهم آن، با احتمال شدت متوسط وقوع بیش از ۴۰ درصد نشان داده شده‌اند.

واژگان کلیدی

ارزیابی ریسک، تاخیر، آزمایش و ارزیابی تصمیم‌گیری (DEMATEL)، مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)، شبکه باور بیزین (BBN)، انبوه‌سازی مسکن

۱- مقدمه

تاخیر در پروژه‌های ساختمانی مشکلی جهانی است که ناشی از عوامل مختلفی مانند ضعف مدیریت، کمبود منابع، مشکلات ارتباطی و ... است. این تاخیرها می‌توانند منجر به افزایش هزینه، از دست رفتن درآمد و نارضایتی ذینفعان شوند. شناسایی و ارزیابی ریسک‌های منجر به تاخیر، گامی مهم در جهت مدیریت این مشکل است. ارزیابی ریسک، فرآیندی است که برای شناسایی و تحلیل

ریسک‌های احتمالی یک سازمان یا پروژه انجام می‌شود. این فرآیند به سازمان‌ها کمک می‌کند تا اثرات منفی ریسک‌ها را کاهش دهند و احتمال موفقیت خود را افزایش دهند [۱، ۲].

در این زمینه، تحقیقات متعددی در جهان انجام شده است. این تحقیقات، بسته به محل انجام و نوع پروژه، عوامل مختلفی را شناسایی کرده‌اند. تعداد عوامل شناسایی شده، از ۱۱۳ عامل در مطالعه‌ای در مالزی تا ۹ عامل در مطالعه‌ای در هنگ کنگ متغیر است. فانی آنتونیو [۳]، مدلسازی ارزیابی ریسک تاخیر در پروژه‌های جاده‌ای را انجام داد. این مطالعه، تمام عوامل تاخیر ساخت راه را، با توسعه یک ساختار شکست ریسک مشترک (RBS^۱)، طبقه‌بندی و استاندارد کرده است. این کار، امکان مقایسه بین عوامل تاخیر واقعی پروژه‌ها را فراهم نموده است. این مطالعه عوامل تاخیر را بر اساس چهار معیار احتمال وقوع، شدت، قابل کنترل بودن و قابل پیش‌بینی بودن، ارزیابی نموده است. استفاده از مدل‌های پیشنهادی در دو پروژه فرضی در یونان نشان داد که عوامل تاخیر "شرایط آب و هوا"، "تحصیل دیر هنگام زمین"، "شبکه‌های تاسیساتی" و "کنترل ترافیک" در واقع محتمل‌ترین و شدیدترین عوامل تاخیری هستند که باید با آنها برخورد کرد. علوی و معتمدی [۴] مطالعه‌ای را جهت شناسایی و ارزیابی ریسک‌های تاخیر در پروژه‌های عمرانی انجام دادند. در این مطالعه سعی بر آن بوده است تا تأخیر در پروژه‌های عمرانی در ایران در یک تحقیق میدانی مورد بررسی قرارگیرد و شدت، فراوانی و اهمیت دلایل تأخیر مورد بررسی قرار گرفته است. حدود ۲۵ درصد از مشاوران، ۴۰ تا ۶۰ درصد زمان خارج از حد را در مقایسه با مدت زمان مشخص شده اولیه نشان دادند. همچنین حدود ۷۶ درصد از پیمانکاران شرکت‌کننده مشخص نمودند که معدل زمان خارج از حد برای پروژه‌هایی که تجربه کرده‌اند بین ۲۰ تا ۴۰ درصد مدت زمان اصلی پروژه بوده است. حدود ۵۶ درصد از مشاوران شرکت‌کننده، درصد مشابهی را مشخص کردند، در حالیکه ۱۵٪ پیمانکاران تأخیر زمانی بیش از ۱۰۰٪ مدت قرارداد اصلی را بیان کردند. مین یانگ چنگ و همکاران [۵] مدلی برای ارزیابی ریسک تاخیر برنامه ساخت و یک نقشه مدیریتی مختص پیمانکاران عمومی خارجی (FGCS^۲) ایجاد نمودند. در مدل مذکور، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به منظور تخمین تاخیر زمان‌بندی پروژه گسترش داده شد. از محدودیت این روش می‌توان به این اشاره نمود که شبکه عصبی مصنوعی (ANN) قادر به تحلیل اثر متقابل عوامل خطر نیست. دهدشت و همکاران [۶] روش جدیدی برای ارزیابی ریسک در پروژه‌های ساخت نفت و گاز ارائه دادند و در تحقیق خود از ترکیب دو روش آزمایش و ارزیابی تصمیم‌گیری (DEMATEL) و فرآیند شبکه تحلیلی (ANP^۳) استفاده کردند. برای مقابله با مشکلات فنی و زمانی پروژه‌ها، بواتنگ و همکاران [۷] تحقیقی با روش فرآیند شبکه تحلیلی (ANP) را منتشر کردند. آنها یک شاخص اولویت ریسک جدید به عنوان رویکردی نوآورانه برای مدل‌سازی ریسک‌ها به صورت تحلیلی بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده از پروژه شبکه تراموا ادینبورگ در مرحله ساخت ارائه کردند. محدودیت اساسی این رویکرد این است که همزمان با اختصاص یک مقدار واضح برای ثبت عدم قطعیت و رفتار تصادفی در داده‌های ریسک پروژه‌های پیچیده، یک مقایسه زوجی انجام می‌دهد. به طور مشابه، این مقایسه زوجی به پیوندهای شبکه پیچیده‌تر و محاسبات اضافی در صورت افزایش عناصر خطر در سیستم نیاز دارد. [۸، ۹] چاندر و همکاران [۱۰] با هدف شناسایی عواملی که باعث ایجاد ریسک می‌شوند، در یک مطالعه، به

¹Risk breakdown structure-

² Foreign general contractors

³Analytical Network Process

شناسایی عوامل موفقیت پروژه و ارائه مدل عوامل ریسک موثر بر موفقیت پروژه پرداختند. داده‌های جمع‌آوری شده با کمک مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) برای پیش‌بینی موفقیت پروژه مورد تحلیل قرار گرفت. موفقیت پروژه به طور قابل توجهی با هزینه (ضریب استاندارد شده ۰,۸۷۸)، کیفیت (ضریب استاندارد شده ۰,۸۷۳)، زمان (ضریب استاندارد شده ۰,۸۰۴)، رضایت مشتری (ضریب استاندارد شده ۰,۸۸۴) و سود (ضریب استاندارد شده ۰,۸۵۰) مرتبط است. یکی از محدودیت‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) این است که عدم قطعیت و رفتار تصادفی رویدادها را فرض نمی‌کند. این مدل چند متغیره فقط برای یافتن تعاملات پیچیده عناصر سیستم در جایی که عدم قطعیت کم است مناسب می‌باشد. مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) کاربردهای محدودی برای پروژه‌های پیچیده تحت عدم قطعیت بالا و در جایی که اطلاعات محدود و مبهم در دسترس است را دارا می‌باشد. [۱۱] روش‌هایی مانند فرآیند شبکه تحلیلی (ANP) و مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) نیز با محدودیت‌هایی با وجود توانایی در نظر گرفتن تأثیر متقابل عوامل خطر روبرو هستند. محدودیت مشترکشان این است که نمی‌توانند احتمالات مشروط بین عوامل و در نتیجه احتمال وقوع ریسک را تعیین کنند. [۷, ۱۲, ۱۳] جیان وانگ و هانگ پینگ [۱۴]، در مقاله خود تعاملات میان متغیرهای اصلی در ارتباط با ریسک‌های برنامه‌ریزی زیرساخت با بهره‌گیری از نمودارهای دوار علی را بررسی کردند. سپس، مدل سیستم پویا (SD^4) به منظور بررسی اثرات ریسک بر روی یک برنامه پروژه بر مبنای نمودارهای دوار علی و رابطه‌های زیربنایی میان متغیرها ساخته شد. نتایج نشان داد که مدل دینامیک سیستم توانایی دارد تا به عنوان اساسی برای شبیه‌سازی اثرات ریسک متنوع در برنامه زمان‌بندی پروژه استفاده گردد.

در سال‌های اخیر استفاده از روش شبکه بیزین به عنوان یک روش جدید و کاربردی مطرح و به کار گرفته شده است. خانزادی و همکاران [۱۵] در مقاله خود پیش‌بینی جریان نقدی احتمالی را با استفاده از شبکه‌های بیزین (BBNs) برای جلوگیری از ورشکستگی پیمانکاران با در نظر گرفتن نمودارهای تأثیر و عوامل خطر بررسی کردند. کارایی و قابلیت اطمینان رویکرد پیشنهادی بر روی یک پروژه ساختمانی مهم در ایران به عنوان یک مطالعه موردی واقعی مورد آزمایش قرار گرفت و نتایج نشان داد که مدل به خوبی عمل کرد. نتایج همچنین حاکی از دقت روش و همگرایی مطلوب آن با شرایط واقع بینانه بود. کساوگلو بالتا و همکاران [۱۶] از روش شبکه بیزین برای مقاله خود در بررسی ریسک تاخیر پروژه‌های حفاری تونل استفاده کردند. در این پژوهش، یک روش بررسی ریسک بر مبنای شبکه باور بیزین (BBN) مخصوص پروژه‌های تونل ماشین (حفاری تونل) به منظور پیش‌بینی تاخیر ارائه شد. در این مطالعه، بر مبنای مدل بیزین (BBN)، به منظور ارزیابی تأخیر، یک ابزار با در نظر داشتن اثرات انجام نقشه‌های کاهش ریسک جایگزین گسترش داده شد. نتایج بیان کرد که شبکه بیزین (BBN) و روش بررسی ریسک، توانایی مدل‌سازی ارتباط متقابل میان عوامل خطر، پیش‌بینی تأخیر، کمک به تصمیم‌گیرندگان و ایجاد شبکه ریسک در آماده‌سازی استراتژی‌های کاهش ریسک مقرون به صرفه را دارد. در میان این روش‌ها، پویایی سیستم (SD) و شبکه‌های بیزین (BBN)، علاوه بر فراهم کردن امکان تحلیل تعامل بین عوامل خطر، برای ارزیابی کمی اثرات ریسک‌ها نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند. استفاده از شبکه بیزین (BBN) برای ارزیابی کمی ریسک در تحقیقات گذشته نشان داد که این روش، علاوه بر مدل‌سازی تعامل بین عوامل و تأثیر آنها بر یکدیگر، زنجیره‌ای از احتمالات مشروط را ارائه می‌دهد و منجر به ارزیابی

⁴ Dynamic system

بهتر کمی ریسک خواهد شد. [۱۷] در برخی از مطالعات گذشته، به منظور کاهش مقدار داده‌های مورد نیاز برای تکمیل جداول احتمال شرطی، از یک تعریف دودویی از حالت‌های عامل خطر برای ساده‌سازی مدل استفاده شد که در نتیجه منجر به عدم تطابق بین مدل و واقعیت می‌شود. به عنوان مثال ریسک کار مجدد در دو حالت بله و خیر تعریف می‌شد و احتمال هر حالت پرسیده می‌شد، در حالی که این ریسک عموماً در حالت بله است و این سوال، کارشناس را سردرگم می‌کند. برای تطابق بیشتر با واقعیت، این گره باید حداقل در سه حالت کم، متوسط و زیاد تعریف شود و احتمال این حالت‌ها را از کارشناس جویا شود. جدول ۱ به جمع‌بندی مهمترین و مرتبط‌ترین تحقیقات به مقاله حاضر و اهداف و یافته‌ها و محدودیت آنها پرداخته است.

جدول ۱. جمع‌بندی مرتبط‌ترین تحقیقات با مقاله حاضر و بررسی هدف و محدودیت آن‌ها

Table 1. Summary of the most relevant studies to the current paper and examination of their objectives and limitations

نام مرجع	هدف تحقیق	یافته‌ها و محدودیت‌ها
آنتونیو و همکاران [۳]	استفاده از یک ساختار شکست ریسک (RBS)، عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌های راه‌سازی را بر اساس معیارهایی نظیر احتمال وقوع، شدت، و قابل کنترل بودن ارزیابی کردند.	با وجود دستاوردهای این مطالعه، مدل ارائه شده محدود به تحلیل روابط غیرخطی میان عوامل نبود و نتوانست تعاملات پیچیده میان متغیرها را بررسی کند.
دهدشت و همکاران [۶]	با استفاده از ترکیب روش‌های DEMATEL و ANP، ارزیابی ریسک پروژه‌های نفت و گاز را انجام دادند.	هرچند این رویکرد توانست روابط متقابل میان عوامل را تحلیل کند، اما به دلیل پیچیدگی در محاسبات و نیاز به داده‌های گسترده، برای پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن که با تنوع بیشتری از عوامل مواجه هستند، مناسب نبود.
خاندادی و همکاران [۱۵]	از شبکه بیزین برای پیش‌بینی جریان نقدی و شناسایی ریسک‌های مالی استفاده کردند.	این تحقیق نشان داد که استفاده از شبکه بیزین می‌تواند پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه دهد، اما ساختار اولیه شبکه بر اساس نظرات کارشناسان تنظیم شده بود که احتمال خطا در شناسایی وابستگی‌های متقابل میان عوامل را افزایش می‌داد.
مدیحی و همکاران [۱۸]	از شبکه بیزین برای پیش‌بینی جریان نقدی و شناسایی ریسک‌های افزایش هزینه ساخت استفاده کردند.	روش پیشنهادی در مقایسه با شبکه بیزین سنتی، زمان و تلاش مورد نیاز برای استخراج پارامترها را به طور چشمگیری کاهش داده و ساختاردهی شبکه را آسان‌تر می‌کند.

۲- اهمیت تحقیق حاضر با توجه به خلا تحقیقات پیشین

پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن به دلیل اهمیت بالا در توسعه شهری و نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان، همواره با چالش‌های متعددی از جمله تأخیر در اجرا مواجه بوده‌اند. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای برای شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های عمرانی انجام شده است. مرور ادبیات موجود نشان می‌دهد که بسیاری از این مطالعات بر عوامل عمومی مانند ضعف مدیریت، کمبود منابع و مشکلات ارتباطی تمرکز داشته‌اند، اما هنوز نیاز به بررسی دقیق‌تر روابط متقابل این عوامل و ارائه راهکارهای عملی باقی مانده است. تحقیق حاضر با ترکیب روش‌های ISM، DEMATEL، و شبکه بیزین، نه تنها به تحلیل تعاملات پیچیده میان عوامل ریسک پرداخته، بلکه ساختار سلسله‌مراتبی این عوامل را نیز مشخص کرده است. استفاده از روش گره رتبه‌بندی‌شده (RNM) برای پر کردن جداول احتمال شرطی در شبکه بیزین، از جمله نوآوری‌های این تحقیق است که باعث کاهش نیاز به داده‌های گسترده و افزایش دقت تحلیل‌ها شده است. همچنین، این تحقیق با تمرکز بر پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن، حوزه‌ای را مورد بررسی قرار داده که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه بوده است. در مقایسه با مطالعات قبلی، این تحقیق به‌طور خاص به نقاط ضعف روش‌های پیشین پرداخته و سعی در رفع آن‌ها داشته است. برای مثال، با استفاده از روش ISM، ساختار سلسله‌مراتبی عوامل ریسک به‌صورت دقیق‌تر شناسایی شده و با کمک شبکه بیزین، زنجیره احتمالات مشروط میان عوامل تحلیل شده است. این رویکرد ترکیبی امکان پیش‌بینی دقیق‌تر و تصمیم‌گیری بهینه‌تر را برای مدیران پروژه فراهم می‌کند.

۳- روش تحقیق

در این تحقیق، یک رویکرد ترکیبی و چندمرحله‌ای برای شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن استفاده شده است. این رویکرد شامل سه روش اصلی یعنی ارزیابی آزمایشی تصمیم‌گیری (DEMATEL)، مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)، و شبکه بیزین (BBN) می‌باشد. این ترکیب از روش‌ها برای ارائه یک تحلیل جامع از روابط متقابل میان عوامل و پیش‌بینی تأثیرات آن‌ها طراحی شده است. مراحل این تحقیق به شرح زیر است:

مرحله اول: شناسایی عوامل خطر مرتبط با تأخیر پروژه‌ها از طریق مرور ادبیات و نظرخواهی از کارشناسان

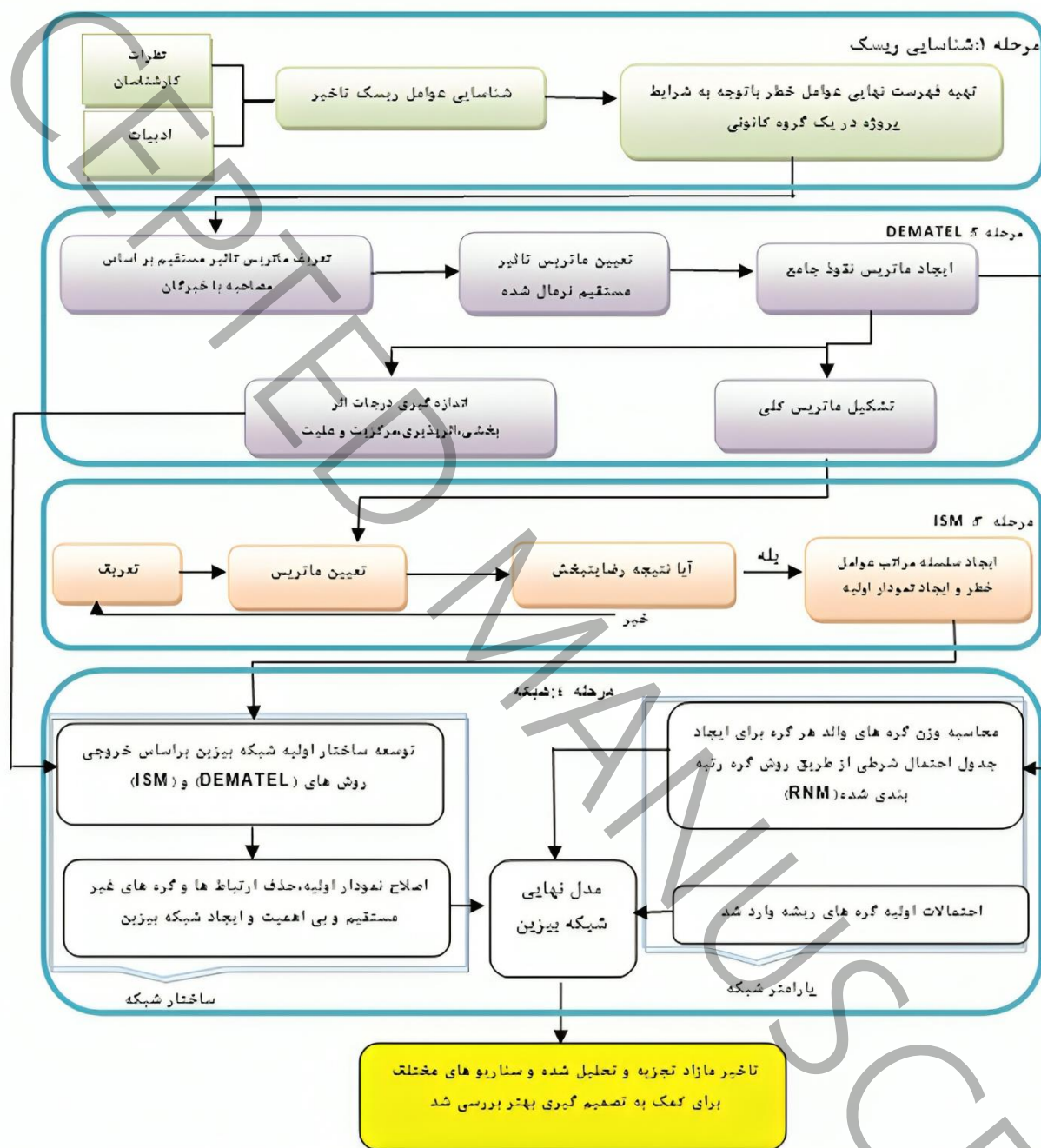
مرحله دوم: تحلیل روابط متقابل عوامل با استفاده از روش DEMATEL و ایجاد ماتریس تأثیر

مرحله سوم: ایجاد ساختار سلسله‌مراتبی عوامل با کمک مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)

مرحله چهارم: استفاده از شبکه بیزین برای پیش‌بینی احتمال وقوع تأخیر و تحلیل حساسیت عوامل

این مراحل به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که ابتدا یک درک کیفی از روابط میان عوامل ارائه دهند و سپس با استفاده از مدل‌های کمی، پیش‌بینی‌ها و تحلیل‌های دقیق‌تر انجام شوند. رویکرد اتخاذشده، نه تنها امکان بررسی عوامل به‌صورت

مجزا، بلکه امکان تحلیل اثرات متقابل و ترکیبی آن‌ها را نیز فراهم می‌کند. شکل ۱ نمودار روند پژوهش را نشان می‌دهد.



شکل (۱) نمودار جریان روش مورد استفاده در مطالعه حاضر

Figure 1. Flowchart of the methodology used in the current study

۳-۱- شناسایی عوامل خطر در مرحله اول

در این پژوهشجهت صحت سنجی عملکرد مدل مذکور، از داده های یک پروژه ی انبوه سازی در حال انجام واقع در شهر پرند استفاده شده است. در مرحله اول، فهرست اولیه ای از عوامل خطر موثر بر تاخیر پروژه (شامل تجهیزات، مواد، منابع انسانی و هزینه های سربار) با مرور ادبیات شناسایی شد. سپس یک جلسه با کارشناسان پروژه، برای نهایی کردن عوامل خطر تشکیل شد و از ایشان خواسته شد تا با استفاده از مقیاس لیکرت، میزان اهمیت خطرات شناسایی شده از ادبیات را تعیین کنند. ریسک هایی که در لیست اولیه مغفول مانده بود نیز طبق نظر کارشناسان مذکور به لیست اضافه شد.

۳-۲- ارزیابی آزمایشی تصمیم گیری (DEMATEL)

تکنیک ارزیابی آزمایشی تصمیم گیری (DEMATEL) می تواند به راحتی روابط متقابل بین عوامل شناسایی شده را در یک مدل ساختاری قابل درک از سیستم مورد مطالعه، ترسیم کند. در این تکنیک، از تجربه کارشناسان برای افزایش درک ساختار سیستم، شناسایی عوامل کلیدی و ارائه راه حل برای سیستم های تصمیم گیری پیچیده استفاده می شود. بنابراین می توان از خروجی این روش برای تعیین ساختار BBN و روابط بین عوامل خطر استفاده کرد. این تکنیک شامل چند مرحله است که در ادامه بیان گردیده است. اولین گام، تعریف ماتریس تاثیر مستقیم است، که این ماتریس، بر روابط مستقیم بین عوامل تمرکز دارد و از روابط متقابل پیچیده غفلت می کند. از متخصصان خواسته شد که با استفاده از مقیاس پنج درجه ای لیکرت بصورت بسیار زیاد (۴)، زیاد (۳)، متوسط (۲)، کم (۱) و بدون تأثیر (۰)، تأثیر مستقیم هر یک از عوامل خطر را بر سایر هم تایان بیان کنند: مقادیر به دست آمده ماتریس تأثیر مستقیم را بر اساس معادله (۱) تشکیل می دهند.

$$Z_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m z_{ij}^k, j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Z_{ij} نشان دهنده میانگین تأثیر عامل Z_i بر روی عامل Z_j است که میانگین مقدار، بر اساس امتیازهای m متخصص است که بین ۰ تا ۴ متغیر است، n برابر با تعداد عوامل خطر به اضافه تعداد اقلام تاخیر است.

از معادله زیر برای تشکیل ماتریس نرمال شده (C) استفاده می شود:

$$C = \frac{1}{\max \sum_{j=1}^n Z_{ij}} \quad 1 \leq i \leq n \quad (2)$$

سپس، ماتریس تأثیر مستقیم جامع $(T = [t_{ij}]_{n \times n})$ از طریق معادله (۳) محاسبه می شود.

$$P(B|A) = \frac{P(A|B) \times P(B)}{P(A)} \quad (3)$$

همچنین توسط یک ماتریس تأثیر جامع، روابط مستقیم و هم غیرمستقیم در نظر گرفته می شود و این ماتریس می تواند رابطه جامع بین عوامل مختلف را منعکس کند. براساس ماتریس تأثیر مستقیم جامع (T) ، درجات اثربخشی، تأثیرپذیری، مرکزیت و علیت با معادلات (۴) تا (۷) تعیین شد. [۱۹]

$$f_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

$$e_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$M_i = f_i + e_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

$$N_i = f_i - e_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

f_i نشان دهنده درجات اثربخشی، e_i نشان دهنده درجات تأثیرپذیری، M_i نشان دهنده مرکزیت و N_i نشان دهنده علیت است.

$$H = T + I \quad (8)$$

که در آن، T ماتریس تأثیر مستقیم جامع است و I نشان دهنده ماتریس ترکیب شده است.

۳-۳- روش مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)

ماتریس دسترسی (K) با معادله (۹) از ماتریس کلی (خروجی آخرین مرحله روش ارزیابی آزمایشی تصمیم گیری (DEMATEL)) تعریف شده و درجه هر ماتریس (di) از معادله (۱۰) به دست آمده است. مقدار ۱ در ماتریس دسترسی، به معنای همبستگی قوی بین دو عامل است و مقدار ۰ نشان دهنده یک رابطه ضعیف یا بدون رابطه است. این فرایند با تعیین حد آستانه شروع می شود. [۲۰, ۲۱]

$$K = [k_{ij}]_{k_{ij}} = \begin{cases} k_{ij} = 1 & \text{if } h_{ij} \geq \lambda, i, j = 1, 2, 3, \dots, n \\ k_{ij} = 0 & \text{if } h_{ij} < \lambda, i, j = 1, 2, 3, \dots, n \end{cases} \quad (9)$$

h_{ij} عناصر ماتریس کلی (H) است.

$$d_{ij} = \sum_{i \neq j} k_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

برای تعیین سطح هر عامل، تعدادی مجموعه در رابطه با معادلات (۱۱) تا (۱۳) پایه گذاری شده است. مجموعه قابل دسترس و پیش مجموعه به ترتیب $R(X_i)$ و $A(X_i)$ نامیده می شوند.

$$R(x_i) = \{x_i | k_{ij} = 1\} \quad (11)$$

$$A(x_i) = \{x_j | k_{ji} = 1\} \quad (12)$$

$$C(x_i) = R(x_i) \cap A(x_i) \quad (13)$$

که در آن k_{ij} و k_{ji} عناصر ماتریس دسترسی هستند.

۳-۴- شبکه بیزین (BBN)

شبکه بیزین (BBN) از دو بخش ساختاری و پارامتری تشکیل شده است که می تواند به صورت دستی، خودکار یا ترکیبی، بر اساس داده های تاریخی و نظرات کارشناسان ایجاد شود (لیو، ۲۰۱۰). بخش ساختاری، شامل مجموعه ای از گره ها و لبه های جهت دار است که به ترتیب نشان دهنده متغیرهای سیستم و وابستگی های متقابل آنها است. بخش پارامتری و کمی، شامل توزیع احتمال شرایط برای هر گره در رابطه با گره های حالت نفوذ (یا "والد") است. جداول

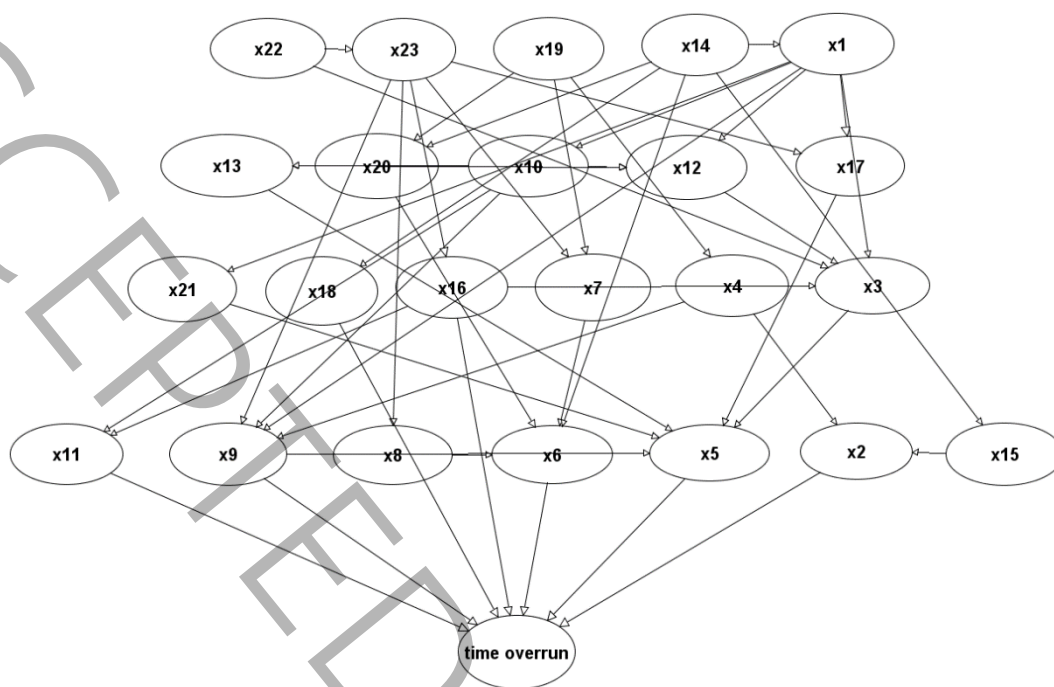
احتمال شرطی (CPTs) مربوط به هر گره، اثرات علی را تعریف می‌کنند. در شبکه بیزین (BBN)، براساس قضیه بیز، احتمال رخداد یک گره اثر (گره فرزند) بر روی هر متغیر مدل از احتمال یک علت معین (گره والد) محاسبه می‌شود که به صورت زیر قابل بیان است:

$$P(B|A) = \frac{P(A|B) \times P(B)}{P(A)} \quad (14)$$

که $P(BA)$ احتمال رویداد B است با توجه به اینکه رویداد A قبلاً رخ داده است، $P(A)$ احتمال وقوع رویداد A و $P(B)$ احتمال وقوع رویداد B است.

در این تحقیق با استفاده از خروجی‌های بدست آمده در مراحل قبلی، مراحل رسیدن به شبکه بیزین انجام گردید و هر گره در سطح تعیین شده قرار گرفت و ارتباطات بین عوامل در شکل (۲) ترسیم شد. همانطور که قبلاً ذکر شد، یک روش ابتکاری به نام روش گره رتبه‌بندی شده (RNM) برای تکمیل جداول احتمال شرطی (CPT) استفاده گردید. از طریق گره رتبه‌بندی شده (RNM)، هر گره با برخی از حالت‌ها با مقیاس استاندارد در محدوده (۰-۱) تعریف شد. [۲۲] برای ایجاد جداول احتمال شرطی (CPT) با استفاده از روش گره رتبه‌بندی شده (RNM)، شش مرحله به شرح زیر می‌بایست طی شود.

مرحله اول، پیوند دادن حالت‌های هر گره به یک مقیاس نرمال شده از ۰ تا ۱ بوده که هر حالت مربوط به یک محدوده ای از (۰-۱) است. به عنوان مثال، برای یک گره از سه حالت: کم، متوسط و زیاد، این محدوده‌ها به صورت $[۰, ۱/۳]$ ، $[۱/۳, ۲/۳]$ و $[۲/۳, ۱]$ هستند. در مرحله دوم، میزان وزن تعیین شد که به طور کلی، چهار حالت برای بیان وزن وجود دارد: (۱) وزن متوسط، (۲) وزن حداقل، (۳) حداکثر وزن و (۴) ترکیبی از حداقل و حداکثر وزن. در روش ارائه شده در این تحقیق، این وزن‌ها با استفاده از مقایسه زوجی داده‌ها در ماتریس نفوذ جامع که در بخش روش ارزیابی آزمایشی تصمیم‌گیری (DEMATEL) شرح داده شده است، استخراج شدند. واریانس در مرحله بعدی محاسبه می‌گردد، که واریانس توزیع (TNORMAL) را در عمل تعیین می‌کند. در مرحله پنجم، مقادیر احتمالات شرطی براساس توابع بیان وزن محاسبه می‌شود و آن وزن‌ها برای والدین هر ولد تعیین می‌گردد [۲۳]. مرحله ششم جداول احتمال شرطی (CPT) تولید شده را تایید می‌کند. اگر انطباق بین خروجی‌ها و نظرات کارشناسان رضایت‌بخش نبود، تجدید نظر شبکه با تغییر و تنظیم پارامترها یا برخی مداخلات دستی انجام می‌شود. در نهایت، توزیع احتمال تاخیر پروژه با اجرای شبکه بیزین تعیین می‌شود. همچنین باید ذکر شود که در این مطالعه از نرم افزار (AGENARISK) برای اجرای شبکه بیزین استفاده شده است.



شکل (۲) مدل ابتدایی شبکه بیزین و ترسیم روابط بین عوامل ریسک

Figure 2. Initial Bayesian network model illustrating relationships between risk factors

۴- پیاده‌سازی مدل

۴-۱- غربالگری عوامل خطر تاخیر و اثرگذاری عوامل باقیمانده بر یکدیگر

برای غربالگری و انتخاب مهم‌ترین عوامل خطر تاخیر، این عوامل در قالب یک ماتریس ریسک در اختیار متخصصین قرار داده شد و با نظر نهایی آن‌ها لیست عوامل خطر تاخیر در جدول (۲) شناسایی و جدا سازی شد. پس از شناسایی عوامل خطر تاخیر، از ماتریس دیگری برای ارزیابی روابط بین آنها استفاده شد. در این روش، متخصصین پروژه می‌بایست این موضوع را که آیا یک عامل خطر تاخیر، بر عامل خطر تاخیر دیگر تأثیر می‌گذارد یا خیر قضاوت میکردند. سپس با استفاده از راهنمایی که در اختیار متخصصین قرار گرفت، میزان روابط عوامل خطر تعیین شد. اطلاعات حاصل از ماتریس مقایسه زوجی برای انجام مراحل بعدی ارزیابی ریسک تاخیر لازم است.

۴-۲- انجام روش ارزیابی آزمایشی تصمیم‌گیری (DEMATEL)

برای استفاده از روش دیمتل، ماتریس مقایسه زوجی بدست آمده به کار گرفته شد. سپس با استفاده از کدنویسی، تابع ماتریس روابط مستقیم (R)، بر اساس ماتریس مقایسه زوجی ایجاد گردید. در نهایت، از ماتریس روابط کل (T) برای شناسایی عوامل اصلی و عوامل فرعی استفاده شد. این ماتریس نشان‌دهنده میزان تأثیر یک عامل بر کل سیستم است.

در این مرحله فرم نرمال شده ماتریس تأثیر مستقیم، درجات اثربخشی، تأثیرپذیری، مرکزیت و علیت بوسیله اکتاو محاسبه شد که خروجی آن در شکل (۳) ارائه شده است که در آن مرکزیت اهمیت و تسلط یک عامل و علیت میزان اثر به بقیه عوامل را نشان می‌دهد.

R+C (بردار برتری) که بردار افقی بوده و میزان تأثیر عامل مورد نظر در سیستم است.

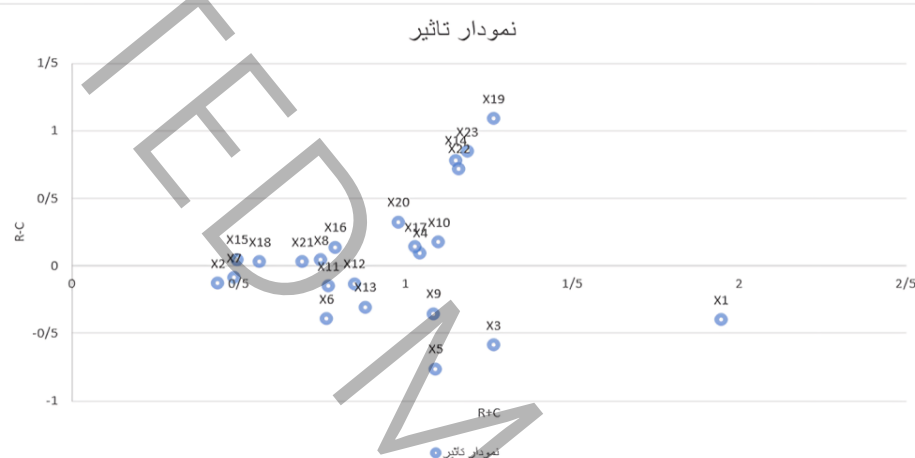
R-C (بردار ارتباط) که بردار عمودی، و مقدار نهایی تأثیرگذاری هر عامل بر مجموعه عناصر دیگر سیستم را نشان می‌دهد.

جدول (۲) لیست نهایی عوامل ریسک تاخیر در پروژه های انبوه سازی مسکن

Table 2. Final list of delay risk factors in mass housing construction projects

منبع ریسک	فاکتور ریسک
مالک	X۱ انتخاب پیمانکاران نامناسب
	X۳ تأخیر در پرداخت‌های انجام شده توسط مالک
	X۴ هماهنگی ضعیف توسط مالک بین مشاور و پیمانکار
مشاور	X۲ تأخیر در بررسی و تایید اسناد طراحی
	X۱۹ تجربه ناکافی مشاور
	X۱۵ مشکلات اجرایی ناشی از طراحی
پیمانکار	X۲۰ برنامه‌ریزی نامناسب پروژه توسط پیمانکار
	X۱۰ بی‌کفایتی یا بی‌تجربگی پیمانکار
	X۱۱ تجهیز کند سایت
	X۱۲ تأخیر به دلیل کار غیرقابل اعتماد پیمانکاران جزء
	X۱۳ دوباره‌کاری به دلیل خطا در حین ساخت
	X۱۴ در دست داشتن چند پروژه همزمان و سوء مدیریت
	X۵ تعارض بین کارگران و پیمانکاران
	X۱۶ کمبود نیروی کار
کارگر	X۱۷ بهره‌وری پایین نیروی کار
	X۶ تاخیر در تحویل مصالح

مصلح	X۷	کیفیت نامناسب مصلح
	X۸	تغییرات در انواع مصلح و مشخصات در طول ساخت
تجهیزات	X۹	کمبود، بهره‌وری و کارایی پایین تجهیزات
	X۱۸	تاخیر در اخذ مجوز
	X۲۳	شرایط بد اقتصادی
	X۲۱	حوادث در حین ساخت و ساز
	X۲۲	نوسانات قیمت
خارجی		



شکل (۳): نمودار تاثیر پذیری و تاثیرگذاری بدست آمده از اجرای روش آزمایش و ارزیابی تصمیم گیری

Figure 3. Influence/dependence diagram obtained from Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) analysis

۳-۴- اجرای روش مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) در برنامه اکتاو (Octave) و سطح بندی عوامل تاخیر

در مرحله بعد با استفاده از ماتریس بدست آمده از مرحله قبل، ماتریس دسترسی با استفاده از روش مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) ایجاد شد. با توجه به اصل توضیح داده شده، مقدار λ ، 0.0585 به عنوان بهترین مقدار انتخاب شد. در نهایت، در جدول (۳) نتایج سطح بندی نهایی عوامل خطر به عنوان خروجی روش مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) ارائه شده است.

جدول ۳: سطح بندی عوامل تاخیر پروژه موردی به دست آمده از روش مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)

Table 3. Hierarchical classification of delay factors in the case study obtained from Interpretive Structural Modeling (ISM)

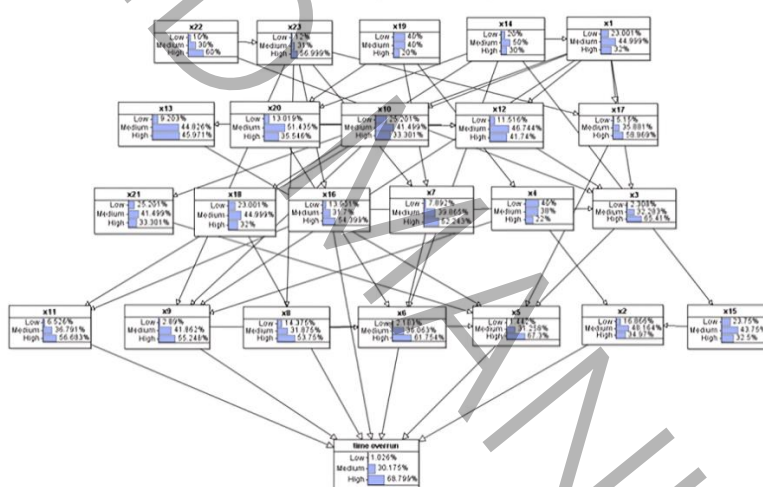
سطح	۱	۲	۳	۴
گره	۹، X۸، X۶، X۵، X۲ X۱۵، X۱۱، X	X۱۷، X۱۳، X۱۲، X۱۰ X۲۰،	۱۸، X۱۶، X۷، X۴، X۳ X۲۱، X	X۲۳، X۱۹، X۱۴، X۱ X۲۲،

با توجه به اجراهای مجدد، نهایتاً نرم افزار، این عوامل را در چهار سطح دسته بندی نمود که در آن عوامل به ترتیب بالاتر بودن سطحشان از اهمیت بیشتری برخوردارند. همچنین روابط بدست آمده در مرحله قبل نیز تایید شد.

۴-۴- شبکه بیزین و رسم نمودار

در مرحله آخر، ساختار کلی شبکه بیزین (BBN) با در نظر گرفتن خروجی های مراحل قبلی، یعنی سطح بندی عوامل خطر و ماتریس دستیابی ایجاد شد. این ساختار با توجه به جزئیات توضیح داده شده در بخش روش شناسی براساس نظرات کارشناسان مورد بررسی قرار گرفت. سپس برای اجرای مدل، باید احتمالات اولیه گره های بدون والد و همچنین جداول احتمال شرطی گره های با والدین را به عنوان ورودی مدل اضافه کرد و حالت های هر گره را تعریف نمود. در این مطالعه برای سازگاری بیشتر با واقعیت، هر گره در سه حالت کم، متوسط و زیاد تعریف شد. پس از وارد کردن داده های مورد نیاز، مدل اجرا شد و خروجی تاخیرهای تمام شده همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است مشخص شد. این شکل، احتمال وقوع هر یک از عوامل خطر در حالت های مختلف و در نهایت احتمال تاخیر در حالت های مختلف را نشان می دهد. همانطور که در شکل نشان داده شده است، احتمال شدت بالای تاخیر در پروژه های عمرانی یعنی احتمال اینکه با شدت زیاد اتفاق بیفتد، ۶۸ درصد و با شدت متوسط (medium) نیز این احتمال ۳۰ درصد خواهد بود. در مورد منابع و عوامل ریسک تاخیر، نتایج مدل نشان داد که عوامل مرتبط با مسائل مالی و اقتصادی با احتمال شدت بالای وقوع ۶۰ درصد رخ خواهند داد. همچنین تاخیر در پرداخت های انجام شده توسط مالک هم با احتمال وقوع ۶۵ درصد، از جایگاه ویژه ای برخوردار است. تجربه ناکافی مشاور، انتخاب پیمانکاران نامناسب و در دست داشتن چند پروژه همزمان و سوء مدیریت، سه عامل دیگر والد هستند که با احتمال شدت متوسط وقوع بیش از ۵۰ درصد اتفاق می افتند. از طرفی مدل ارائه شده عوامل مرتبط با پیمانکار را که از منابع مهم تاخیر است، با احتمال شدت متوسط وقوع بیش از ۴۰ درصد نشان می دهد. عوامل مربوط به مشاور نیز با توجه به نقش مهم آن، با احتمال شدت متوسط وقوع بیش از ۴۰ درصد نشان داده شده اند. جهت تفسیر نتایج بدست آمده در این پژوهش، ذکر این نکته لازم است که در مطالعه فانی آنتونیو، محتمل ترین و شدیدترین عوامل "شرایط آب و هوایی"، "شبکه های

تاسیساتی" و "تحويل ديرهنكام زمين" اعلام شده است، در حالی که در مطالعه انجام شده، مسائل اقتصادی، پرداختی‌های مالک، تورم و ... به عنوان عوامل مهم خطر تاخیر معرفی شدند. لازم به ذکر است که عاملی مانند شرایط آب و هوایی به نسبت شرایط جغرافیایی منطقه اهمیت پیدا می‌کند. موضوعی دیگری که نیز مطرح هست، مطالعه مذکور در پروژه‌های راه‌سازی انجام شده است در حالی که تمرکز پژوهش حاضر بر پروژه‌های انبوه‌سازی مسکن بود. پژوهش دیگری که می‌توان با نتایج پژوهش حاضر، مطالعه اوگونلانا و همکاران است که عواملی مانند کمبود منابع، مشکلات ناشی از مشاوران، مشکلات کمبود منابع پیمانکاران را مطرح کرد که تا حدودی با پژوهش حاضر هم‌سو و هم‌نظر بوده است اما در میزان احتمال، به ترتیب ۱۰، ۱۴ و ۲۰ درصد اختلاف داشتند. در پژوهشی دیگر، محمد سودانگی و علا سلیمان رابطه بین عوامل تاخیر مرتبط مشاور را بر توسعه مسکن پایدار در عربستان سعودی با استفاده از تکنیک‌های سلسله مراتبی (AHP) و روش ارزیابی آزمایشی تصمیم‌گیری (DEMATEL) بررسی کردند. در میان عوامل مطرح شده، ارتباط ضعیف بین پیمانکاران و مشاور با نتایج پژوهش حاضر هم‌سو بود. همچنین در پژوهش دهدشت و همکاران، نسبت به پژوهش حاضر میزان تاخیر، ۱۳ درصد کمتر بدست آمده است.

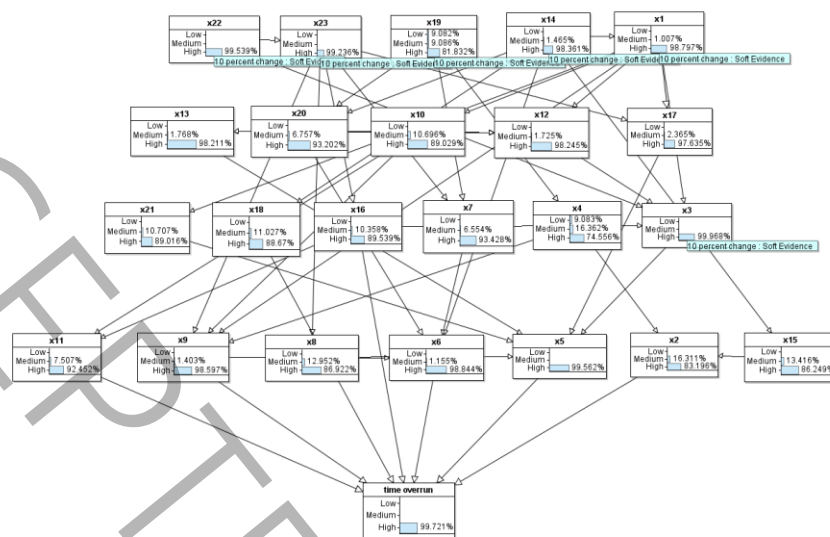


شکل (۴): مدل شبکه بیزین نهایی برای ارزیابی ریسک تاخیر در پروژه‌های مسکن انبوه سازی

Figure 4. Final Bayesian network model for delay risk assessment in mass housing projects

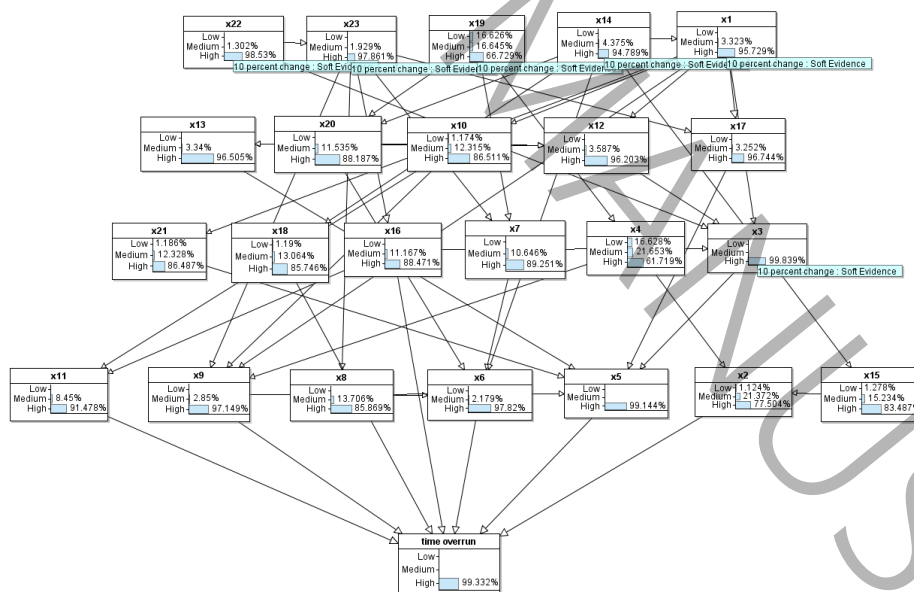
۴-۵- اعتبارسنجی مدل

اصل اول: جهت اعتبارسنجی و تایید صحت مدل ایجاد شده، با در نظر گرفتن گره‌های والد و پرداختی مالک و تغییرات ده درصدی در احتمال وقوعشان، نحوه تغییرات در بقیه عوامل مورد بررسی قرار گرفت تا درستی تغییرات بررسی شود. نتایج در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داد که تغییرات آن‌ها موجب تغییرات درست در گره‌های فرزند می‌شود و این کاهش تدریجی در بقیه‌ی عوامل تاخیر نیز به درستی ترتیب اثر داده شده است.



شکل (۵) قراردادن احتمال زیاد وقوع گره های والد و پرداختی مالک

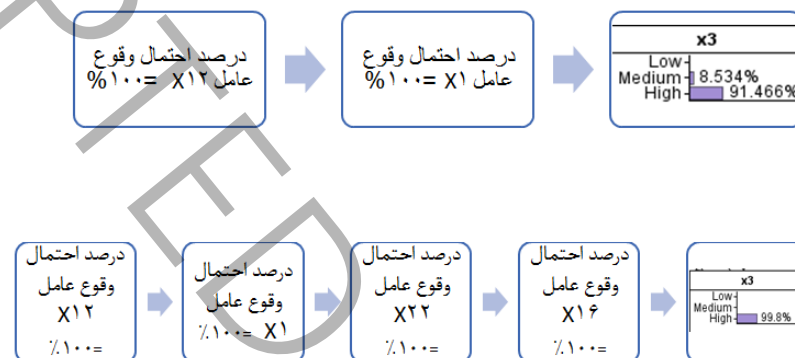
Figure 5. Applying high probability values to parent nodes and owner's payment node



شکل (۶) تغییرات ده درصدی در احتمال وقوع گره های والد و پرداختی مالک

Figure 6. 10% probability variation in parent nodes and owner's payment node

اصل دوم: برای بررسی این اصل، اثر کل تغییرات احتمال از گره‌های والد عامل مورد نظر (X) بر نتیجه نهایی همیشه باید بیشتر از مجموعه تغییرات احتمال در بخشی از گره‌های والد باشد. در این جا نیز با بررسی عامل (X₃) "تاخیر در پرداخت‌های انجام شده توسط مالک" این موضوع در شکل ۷ بررسی شد. مدل اجرا شده نشان‌دهنده تغییرات کمتر نسبت به مرحله‌ی قبلی می‌باشد و عامل (X₃) در حالت زیاد (high) خود، احتمال وقوع ۹۱ درصد را خواهد داشت و بقیه آن، سهم حالت متوسط (medium) خواهد بود که این موضوع را به درستی تایید می‌کند.

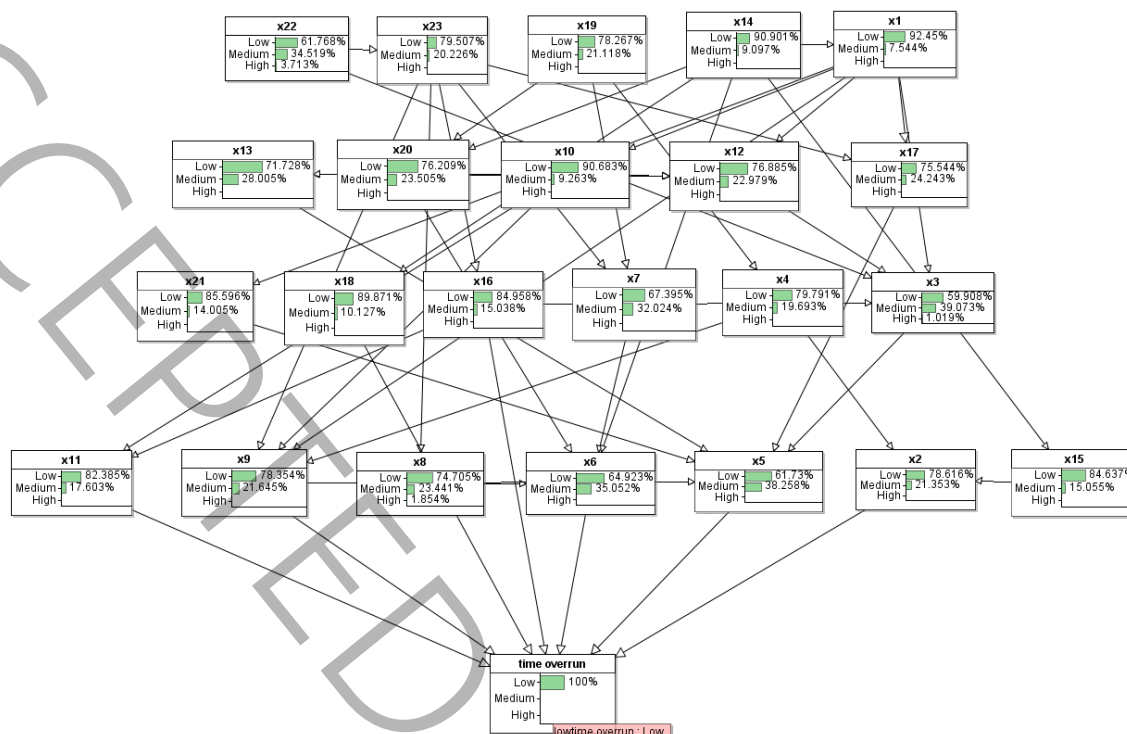


شکل (۷): خلاصه نکات اعتبار سنجی اصل سوم بر روی عامل X₃

Figure 7. Summary of validation results (Principle 3) for factor X₃

اصل سوم: برای بررسی این اصل، فرضیه‌هایی تعریف می‌شود و تغییرات نسبت به آن فرضیه در عامل هدف و بقیه عوامل بررسی می‌گردد. به عنوان مثال در شکل ۸، در یکی از فرض‌های خود، احتمال شدت کمترین تاخیر، ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. سپس تغییرات عوامل موجود، برای رسیدن به احتمال ۱۰۰ درصد با کمترین شدت (LOW) در فاکتور هدف، بررسی می‌شود.

به عنوان مثال: فاکتور مهمی مانند "انتخاب پیمانکاران نامناسب" نقش مهمی در رسیدن به این هدف دارد و برای رسیدن به فاکتور هدف، می‌بایست در حدود ۹۲ درصد با کمترین شدت رخ دهد که نشان‌دهنده نقش مهم این فاکتور می‌باشد و روند تغییرات این عامل را نیز نسبت به عامل هدف تایید می‌کند.



شکل (۸) اعتبارسنجی شبکه بیزین (عامل هدف: کمترین شدت)

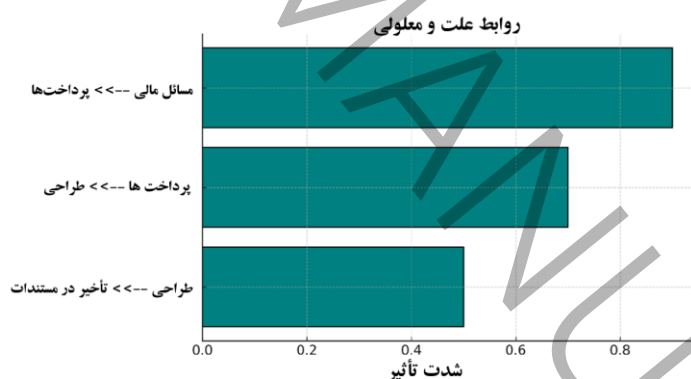
Figure 8. Bayesian network validation (target factor: lowest severity)

در شکل های ۹ و ۱۰ و همچنین جدول ۴، تلاش شده است تا شدت تاثیر، احتمالا و ضرایب اثر ریسک ها نمایش داده شوند. تحلیل و تفسیر عوامل ذکر شده در این شکل ها و جدول به شرح زیر است: عوامل مالی و اقتصادی: این عوامل با احتمال وقوع ۶۰٪ به عنوان یکی از مهم ترین عوامل شناسایی شدند که می توانند تأثیرات جدی بر تأخیر پروژه ها داشته باشند. این تأثیرات شامل افزایش هزینه های کلی پروژه و کاهش رضایت ذینفعان است. تورم و نوسانات قیمت مواد اولیه، دو نمونه از این عوامل هستند که باعث ایجاد تغییرات ناگهانی در بودجه پروژه می شوند. تغییرات نرخ ارز نیز می تواند باعث افزایش هزینه های پیش بینی نشده در تهیه تجهیزات و مصالح شود، که به نوبه خود اجرای پروژه را تحت تأثیر قرار می دهد. این شرایط ممکن است منجر به بازنگری در اولویت بندی فعالیت ها یا حتی توقف موقت پروژه شود. به عنوان مثال، در مطالعات انجام شده توسط خاندادی و همکاران (۲۰۲۱)، تأثیر شدید نوسانات اقتصادی بر زمان بندی پروژه ها تأیید شده است. علاوه بر این، پیشنهاد می شود که مکانیزم های مالی مناسب مانند قراردادهای پوششی و صندوق های اضطراری برای مدیریت این ریسک ها در پروژه ها در نظر گرفته شود.

تأخیر در پرداخت های مالک: تأخیر در پرداخت ها به عنوان عاملی کلیدی با احتمال وقوع ۶۵٪ شناسایی شد. این موضوع می تواند باعث ایجاد اختلال در زنجیره تأمین و کاهش بهره وری پیمانکاران شود. برای مثال، تأخیر در پرداخت ها

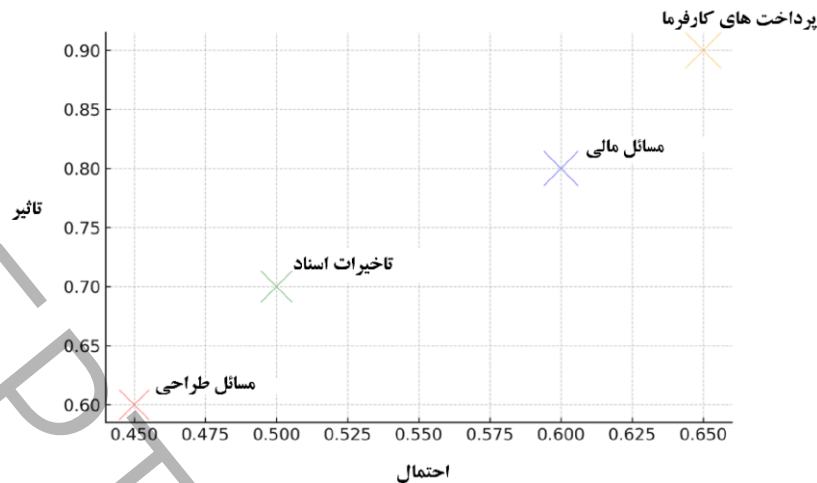
ممکن است به کاهش انگیزه پیمانکاران منجر شود و در نهایت باعث کاهش کیفیت کار گردد. از راهکارهای پیشنهادی می‌توان به استفاده از قراردادهای مبتنی بر عملکرد اشاره کرد که در آن پرداخت‌ها به تحقق مراحل کلیدی پروژه وابسته است. همچنین، ایجاد یک سیستم پاداش‌دهی برای پیمانکارانی که پروژه را به موقع و با کیفیت تکمیل می‌کنند، می‌تواند انگیزه آن‌ها را افزایش دهد. استفاده از مکانیزم‌های جبران نظیر پیش‌پرداخت‌ها یا تأمین مالی مرحله‌ای نیز می‌تواند ریسک تأخیرهای مالی را کاهش دهد. به عنوان مثال، در پروژه‌های موفق ساختمانی، قراردادهای تنظیم‌شده بر اساس تسویه منظم و شفاف باعث افزایش اعتماد و کاهش تأخیر شده‌اند.

مشکلات طراحی و بررسی اسناد: عدم هماهنگی میان مشاوران و پیمانکاران باعث تأخیر در بررسی و تأیید اسناد طراحی می‌شود. این عامل نیز با احتمال ۵۰٪ تأثیرگذاری مستقیم بر زمان‌بندی پروژه دارد. عدم هماهنگی ممکن است منجر به ارائه اسناد ناقص یا اشتباهاتی در طراحی شود که نیاز به بازبینی مکرر دارند و در نتیجه باعث افزایش هزینه‌های پروژه می‌گردد. برای مثال، تغییرات غیرمنتظره در اسناد طراحی می‌تواند به تهیه مجدد مصالح یا تغییر در برنامه‌های اجرایی منجر شود که این امر زمان و هزینه‌های اضافی را تحمیل می‌کند. برای کاهش این تأخیرها، پیشنهاد می‌شود جلسات منظم بازبینی بین مشاوران و پیمانکاران برگزار شود و یک سیستم مدیریت مدارک الکترونیکی برای اطمینان از دسترسی سریع و صحیح به اطلاعات به کار گرفته شود. همچنین، تخصیص منابع برای کنترل کیفیت و نظارت بیشتر بر روند طراحی و تأیید اسناد می‌تواند به کاهش این مشکلات کمک کند.



شکل (۹) روابط علت و معلولی عوامل موثر در ریسک تأخیر

Figure 9. Cause-and-effect relationships among delay risk factors



شکل (۱۰) شدت تأثیر و احتمال رخداد ریسک های تأخیر

Figure 10. Impact severity and occurrence probability of delay risks

جدول (۴) میزان و ضرایب احتمال، تأثیر و اثربخشی فاکتورهای ریسک تأخیر

Table 4. Probability levels and coefficients of impact and effectiveness of delay risk factors

فاکتور ریسک	احتمال	تأثیر	اثربخشی
مسائل مالی	۰/۶	۰/۸	۰/۷
پرداخت های کارفرما	۰/۶۵	۰/۹	۰/۶
تاخیرات اسناد	۰/۵	۰/۷	۰/۵
مسائل طراحی	۰/۴۵	۰/۶	۰/۴

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

این تحقیق با هدف شناسایی و ارزیابی عوامل کلیدی تأثیرگذار بر تأخیر در پروژه های انبوه سازی مسکن انجام شد. در این راستا، از ترکیب سه روش ارزیابی آزمایشی تصمیم گیری (DEMATEL)، مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)، و شبکه بیزین (BBN) برای تحلیل روابط پیچیده میان عوامل استفاده شد. این رویکرد نه تنها امکان شناسایی دقیق تر تأثیرات متقابل و ساختار سلسله مراتبی عوامل را فراهم کرد، بلکه با بهره گیری از شبکه بیزین، پیش بینی احتمال وقوع تأخیر و تحلیل حساسیت عوامل مختلف ممکن شد.

- نتایج نشان داد که احتمال شدت بالای تأخیر در پروژه‌های عمرانی ۶۸ درصد است، در حالی که احتمال وقوع تأخیر با شدت متوسط به ۳۰ درصد می‌رسد. از میان عوامل بررسی‌شده، مسائل مالی و اقتصادی با احتمال وقوع ۶۰ درصد، به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین عوامل شناسایی شد. این مسائل شامل مواردی مانند تورم، نوسانات قیمت مصالح، و تغییرات غیرمنتظره در بودجه پروژه هستند که مستقیماً بر روند اجرای پروژه اثرگذارند. پیامدهای این عوامل شامل افزایش هزینه‌های پروژه، کاهش بهره‌وری تیم‌های اجرایی، و تغییر اولویت‌های زمانی در برنامه‌ریزی پروژه است.
- همچنین، تأخیر در پرداخت‌های مالک با احتمال وقوع ۶۵ درصد، یکی از موانع کلیدی شناسایی شد که می‌تواند زنجیره تأمین را مختل کند و باعث کاهش انگیزه پیمانکاران شود. این موضوع اغلب به کاهش کیفیت اجرا، تأخیر در تحویل پروژه، و افزایش هزینه‌های غیرضروری منجر می‌شود. استفاده از سیستم‌های مالی شفاف و مکانیزم‌های جبران مانند پیش‌پرداخت‌ها می‌تواند به کاهش اثرات این عامل کمک کند.
- از دیگر یافته‌های مهم می‌توان به تأثیر منفی انتخاب پیمانکاران نامناسب، تجربه ناکافی مشاور، و سوءمدیریت در مدیریت پروژه‌ها اشاره کرد که هر یک با احتمال وقوع بیش از ۴۰ درصد، سهم قابل‌توجهی در تأخیر پروژه‌ها دارند. علاوه بر این، عواملی مانند مشکلات طراحی و بررسی اسناد و عدم هماهنگی میان مشاوران و پیمانکاران، با ایجاد تغییرات مکرر و بازنگری‌های مداوم، هزینه‌ها و زمان پروژه را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهند.
- نکته مهم دیگر، قابلیت روش ترکیبی ارائه‌شده در این تحقیق است. استفاده از مدل‌های چندبعدی و شبکه بیزین، نه تنها تحلیل کیفی عوامل تأثیرگذار را بهبود بخشیده است، بلکه امکان کمی‌سازی این اثرات و تحلیل احتمالات وقوع را نیز فراهم آورده است. این روش می‌تواند به عنوان الگویی جامع برای مدیریت ریسک و بهینه‌سازی پروژه‌ها در سایر حوزه‌های عمرانی مورد استفاده قرار گیرد.
- این مطالعه تأکید می‌کند که درک درست از روابط علی و معلولی میان عوامل کلیدی می‌تواند به مدیران پروژه در اولویت‌بندی منابع و اتخاذ تصمیمات استراتژیک برای کاهش تأخیرها کمک شایانی کند. برای مثال، شناسایی زود هنگام عوامل مرتبط با مسائل مالی و طراحی می‌تواند به جلوگیری از مشکلات زنجیره‌ای و مدیریت بهتر بودجه و زمان‌بندی پروژه کمک کند.

۶- محدودیت‌ها و پیشنهادات برای تحقیقات آینده

محدودیت‌ها: این تحقیق بر یک مطالعه موردی در شهر پرنده متمرکز بود که ممکن است نتایج آن به تمام پروژه‌های مشابه قابل‌تعمیم نباشد. همچنین، برای تکمیل جداول احتمال شرطی در شبکه بیزین (CPT)، داده‌های بیشتری مورد نیاز است که به جمع‌آوری دقیق‌تر اطلاعات نیازمند است.

پیشنهادهای: تحقیقات آینده می‌توانند به بررسی اثرات روش‌های مدیریتی مختلف بر کاهش تأخیر در پروژه‌های انبوه‌سازی بپردازند. همچنین، استفاده از فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای پیش‌بینی و کاهش تأخیرها پیشنهاد می‌شود. گسترش این مطالعه به پروژه‌های با ابعاد بزرگ‌تر و پیچیدگی بیشتر نیز می‌تواند به نتایج جامع‌تر و عملی‌تری منجر شود.

این پژوهش با ارائه مدلی ترکیبی و دقیق برای تحلیل عوامل تأثیرگذار، گامی مهم در مدیریت بهتر ریسک و زمان‌بندی پروژه‌ها برداشته است. امید است که یافته‌های این تحقیق در کاهش تأخیرها و افزایش کارایی پروژه‌های عمرانی مفید واقع شود.

منابع

- [1] R.C. de Azevedo, L. Ensslin, A.E. Jungles, A review of risk management in construction: opportunities for improvement, *Modern Economy* 5 (04) (2014) 367.
- [2] Project Management Institute, *Construction Extension to the PMBOK® Guide*, Project Management Institute, 2016.
- [3] F. Antoniou, Delay risk assessment models for road projects, *Systems* 9 (3) (2021) 70.
- [4] A.H. Alavifar, S. Motamedi, Identification, evaluation and classification of time delay risks of construction project in Iran, in: *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2014.
- [5] G. Young, Y. Chen, M. Yang, Concentrations, distribution, and risk assessment of heavy metals in the iron tailings of Yeshan National Mine Park in Nanjing, China, *Chemosphere* 271 (2021) 129546.
- [6] G. Dehdasht, et al., DEMATEL-ANP risk assessment in oil and gas construction projects, *Sustainability* 9 (8) (2017) 1420.
- [7] P. Boateng, Z. Chen, S.O. Ogunlana, An Analytical Network Process model for risks prioritisation in megaprojects, *International Journal of Project Management* 33 (8) (2015) 1795–1811.
- [8] C.-N. Huang, J.J. Liou, Y.-C. Chuang, A method for exploring the interdependencies and importance of critical infrastructures, *Knowledge-Based Systems* 55 (2014) 66–74.
- [9] A. Valipour, et al., A fuzzy analytic network process method for risk prioritization in freeway PPP projects: an Iranian case study, *Journal of Civil Engineering and Management* 21 (7) (2015) 933–947.
- [10] H.P. Chandra, Structural equation model for investigating risk factors affecting project success in Surabaya, *Procedia Engineering* 125 (2015) 53–59.
- [11] A. Adeleke, A.Y. Bahaudin, A.M. Kamaruddeen, Organizational internal factors and construction risk management among Nigerian construction companies, *Global Business Review* 19 (4) (2018) 921–938.

- [12] M. Eybpoosh, I. Dikmen, M. Talat Birgonul, Identification of risk paths in international construction projects using structural equation modeling, *Journal of Construction Engineering and Management* 137 (12) (2011) 1164–1175.
- [13] F. Afzal, et al., Integrated priority decision index for risk assessment in chaos: cost overruns in transport projects, *Engineering, Construction and Architectural Management* 27 (4) (2020) 825–849.
- [14] J. Wang, H. Yuan, System dynamics approach for investigating the risk effects on schedule delay in infrastructure projects, *Journal of Management in Engineering* 33 (1) (2017) 04016029.
- [15] M. Khanzadi, E. Eshtehardian, M. Mokhlespour Esfahani, Cash flow forecasting with risk consideration using Bayesian Belief Networks (BBNS), *Journal of Civil Engineering and Management* 23 (8) (2017) 1045–1059.
- [16] G.K. Balta, I. Dikmen, M. Birgonul, Bayesian network based decision support for predicting and mitigating delay risk in TBM tunnel projects, *Automation in Construction* 129 (2021) 103819.
- [17] V. Khodakarami, A. Abdi, Project cost risk analysis: A Bayesian networks approach for modeling dependencies between cost items, *International Journal of Project Management* 32 (7) (2014) 1233–1245.
- [18] M.H. Madihi, A.A. Shirzadi Javid, F. Nasirzadeh, Enhancing risk assessment: an improved Bayesian network approach for analyzing interactions among risks, *Engineering, Construction and Architectural Management* (2023), <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2023-0774>.
- [19] H. Shakeri, M. Khalilzadeh, Analysis of factors affecting project communications with a hybrid DEMATEL-ISM approach (A case study in Iran), *Heliyon* 6 (8.(۲۰۲۰)) (2020) 102402.
- [20] M. Qin, X. Wang, Y. Du, Factors affecting marine ranching risk in China and their hierarchical relationships based on DEMATEL, ISM, and BN, *Aquaculture* 549 (2022) 737802.
- [21] F. Li, et al., Analysis on accident-causing factors of urban buried gas pipeline network by combining DEMATEL, ISM and BN methods, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 61 (2019) 49–57.
- [22] M. Yazdi, et al., Improved DEMATEL methodology for effective safety management decision-making, *Safety Science* 127 (2020) 104705.
- [23] N.E. Fenton, M. Neil, J.G. Caballero, Using ranked nodes to model qualitative judgments in Bayesian networks, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 19 (10) (2007) 1420–1432.

Enhanced Bayesian Network Approach to Delay Risk Analysis in Mass Housing Construction

Ali Akbar Shirzadi Javid^{*a}, Mohammad Hosein Madihi^b, Ehsan Nafari^c

^{a*} School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, P.O. Box 16765-163, Narmak, Tehran, Iran; *Corresponding author, e-mail: Shirzad@iust.ac.ir

^b School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, P.O. Box 16765-163, Narmak, Tehran, Iran

^c School of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, P.O. Box 16765-163, Narmak, Tehran, Iran

Abstract

Housing mass construction projects are vital for urban development but often face delays that lead to increased costs and missed opportunities. This study addresses delay risks using an integrated approach combining Bayesian Belief Networks (BBNs), Interpretive Structural Modeling (ISM), and the DEMATEL method. BBNs identify and model risk relationships, while the Ranked Node Method optimizes parametric analysis by reducing time and effort. ISM establishes risk hierarchies, and DEMATEL analyzes cause-and-effect relationships. Applied to a Parand mass housing project, the methodology revealed a 68% probability of significant delays, with financial and economic risks having a 60% likelihood. Payment delays by the owner showed a 65% probability, while factors like inexperienced consultants, unsuitable contractors, and mismanagement each had over 50% severity probabilities. Contractor- and consultant-related issues also contributed, each with average probabilities exceeding 40%. These findings highlight the importance of addressing financial inefficiencies and enhancing project management practices. The proposed method enhances delay risk modeling precision while minimizing required information, offering a practical and efficient solution for managing delays in mass housing projects.

Keywords

Risk assessment, delay, Decision making trial and evaluation laboratory (DEMATEL), interpretive structural modeling (ISM), Bayesian belief network (BBN), Housing mass