ارائه الگوی شایستگی مدیران پروژه در پروژه‌های بزرگ عمرانی و حمل‌ونقل ایران مبتنی بر ویژگی‌های انقلاب صنعتی چهارم: رویکرد دلفی فازی–DANP

مقاله علمی – پژوهشی

علی شهریاری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحدعلوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

***فرهاد سعیدی (نویسنده مسئول)**، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحدعلوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مهیار زندپوراصل، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحدعلوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

***پست الکترونیکی نویسنده مسئول: saeedi.pm@iau.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲– پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۰۲

صفحه ۴۴۸-۴۳۱

چکیده

پیچیدگی فزاینده پروژه‌های بزرگ عمرانی و حمل‌ونقل، در کنار فشارهای زمانی، افزایش هزینه‌ها و توسعه فناوری‌های نوظهور، سبب شده است که نقش شایستگی‌های مدیران پروژه بیش از گذشته در موفقیت یا شکست طرح‌های ملی برجسته شود. ظهور انقلاب صنعتی چهارم و فناوری‌هایی همچون مدل‌سازی اطلاعات ساختمان، اینترنت اشیا، تحلیل داده‌های بزرگ و سامانه‌های سایبر–فیزیکی، الگوهای سنتی مدیریت پروژه را ناکارآمد ساخته و ضرورت بازتعریف شایستگی‌های کلیدی مدیران پروژه را آشکار کرده است. با وجود اهمیت این موضوع، صنعت ساخت و حمل‌ونقل ایران هنوز فاقد الگوی جامع، بومی و مبتنی بر Industry 4.0 برای شناسایی و اولویت‌بندی شایستگی‌های مدیران پروژه است. پژوهش حاضر با هدف ارائه الگوی شایستگی مدیران پروژه در پروژه‌های بزرگ عمرانی و حمل‌ونقل ایران با رویکرد دلفی فازی DANP–انجام شده است. روش تحقیق آمیخته بوده و در مرحله نخست، ۵۷ شایستگی اولیه از تحلیل ۹۰ منبع علمی معتبر و استانداردهای PMCDF و ICB استخراج شد. سپس این شایستگی‌ها در دو دور دلفی فازی با مشارکت ۱۵ خبره غربال شد که در نهایت ۳۴ شایستگی به‌عنوان مجموعه نهایی تأیید گردید. در مرحله کمی، با استفاده از تحلیل دیمتل ANP–، روابط علی–تأثیری شایستگی‌ها مشخص و وزن نهایی آن‌ها محاسبه شد. ماتریس دیمتل نشان داد که چهار معیار اصلی شامل شایستگی‌های فنی، رهبری–رفتاری، دیجیتال–فناورانه و شایستگی‌های ترکیبی Industry 4.0 دارای مجموع تأثیرگذاری ۰,۸۴۲ و تأثیرپذیری ۰,۶۹۱ هستند که بیانگر تعامل شدید میان آن‌هاست. بر اساس نتایج، شایستگی‌های ترکیبی Industry 4.0 با وزن نهایی ۰,۳۲۱ بالاترین اهمیت را داشتند؛ پس از آن شایستگی‌های رهبری–رفتاری با ۰,۲۸۶، شایستگی‌های دیجیتال با ۰,۲۴۱ و شایستگی‌های فنی با ۰,۱۵۲ در رتبه‌های بعد قرار گرفتند. در سطح زیرمعیارها، «تفکر سیستمی» با وزن ۰,۰۹۷، «رهبری تحول‌آفرین» با ۰,۰۹۱، «سواد دیجیتال» با ۰,۰۸۳، «تصمیم‌گیری داده‌محور» با ۰,۰۷۸ و «مدیریت ریسک پیش‌نگر» با ۰,۰۷۴ پنج شایستگی اولویت‌دار تشخیص داده شدند. مدل ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد برای انتخاب، ارزیابی و توسعه مدیران پروژه در دستگاه‌های اجرایی، شرکت‌های پیمانکاری و نهادهای مدیریتی به‌کار رود و مسیر حرکت صنعت ساخت ایران را به‌سوی مدیریت پروژه دیجیتال، چابک و داده‌محور تسهیل کند. این مدل همچنین مبنایی علمی برای طراحی دوره‌های آموزشی، تدوین استانداردهای عملکردی و ارتقای نظام مدیریت پروژه در پروژه‌های ملی عمرانی و حمل‌ونقلی فراهم می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: شایستگی مدیران پروژه، پروژه‌های بزرگ عمرانی و حمل‌ونقل، انقلاب صنعتی چهارم، مدیریت پروژه هوشمند

۱–مقدمه

پروژه‌های بزرگ عمرانی و حمل‌ونقل از ارکان اصلی توسعه پایدار و اقتصادی کشورها محسوب می‌شوند و نقش مهمی در گسترش زیرساخت‌ها، تسهیل جابه‌جایی، بهبود بهره‌وری و افزایش رفاه عمومی دارند. این پروژه‌ها به دلیل ماهیت میان‌بخشی، پیچیدگی‌های فنی، تعدد ذی‌نفعان، محدودیت‌های زمانی و فشارهای مالی، به مدیریتی هوشمند، چندبُعدی و مبتنی

بر تحلیل علمی داده نیاز دارند. مطالعات متعدد نشان داده‌اند که ضعف در شایستگی‌های مدیران پروژه یکی از مهم‌ترین عوامل ناکامی پروژه‌های عمرانی است و مشکلاتی همچون تأخیر، افزایش هزینه، افت کیفیت و ناپایداری عملکرد از این ضعف نشئت می‌گیرد (Edum-Fotwe & McCaffer, 2000) و (Gillard & Price, 2005). در دهه اخیر، انقلاب صنعتی چهارم با محوریت فناوری‌هایی نظیر مدل‌سازی اطلاعات ساختمان(BIM) ، اینترنت اشیا، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، تحلیل داده‌های بزرگ و سامانه‌های سایبر–فیزیکی، نگاه سنتی به مدیریت پروژه را دگرگون کرده است. این فناوری‌ها نه تنها امکان پایش هوشمند و لحظه‌ای فرایندها را ایجاد کرده‌اند، بلکه الگوهای جدیدی در تصمیم‌گیری، کنترل، هماهنگی و مدیریت ریسک ارائه داده‌اند. در چنین فضایی، مدیر پروژه باید فراتر از مهارت‌های کلاسیک مدیریت، از توانمندی‌های فناورانه و سواد دیجیتال برخوردار باشد و بتواند مدل‌های داده‌محور را در تصمیم‌گیری به کار گیرد (Alaloul, Liew, & Zawawi, 2020).

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مدیران پروژه در محیط Industry ٤,٠ باید قادر باشند خروجی ابزارهای هوشمند مانندBIM، حسگرهای IoT و سیستم‌های پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری ماشین را تحلیل کرده و در کنترل پروژه به کار گیرند(You & Feng, 2020&Jally et al., 2021) پروژه‌های حمل‌ونقلی، مانند ساخت آزادراه‌ها، خطوط ریلی، فرودگاه‌ها، بنادر و کریدورهای لجستیکی در مقایسه با پروژه‌های ساختمانی و صنعتی، پیچیدگی‌های خاص‌تری دارند. تنوع ذی‌نفعان، حساسیت عملکردی، گستردگی جغرافیایی، تعامل میان سازمان‌های دولتی و خصوصی، و الزامات فناورانه به‌ویژه در سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل، ضرورت برخورداری مدیران پروژه از شایستگی‌های چندبُعدی را تقویت می‌کند. پژوهشگران تأکید کرده‌اند که موفقیت پروژه‌های Industry 4.0 تنها با ترکیبی از شایستگی‌های فنی، رفتاری–رهبری و دیجیتال–فناورانه حاصل می‌شود؛ مجموعه‌ای که در ادبیات از آن با عنوان «شایستگی‌های ترکیبی» یاد می‌شود (Ribeiro, Amaral, & Barros, 2021 Kissi et al., 2024). به‌رغم گسترش ابزارهای مدیریتی و فناوری‌های نوظهور، صنعت ساخت و حمل‌ونقل ایران هنوز فاقد یک مدل جامع و بومی برای شایستگی‌های مدیران پروژه است؛ مدلی که علاوه بر سازگاری با الزامات انقلاب صنعتی چهارم، با ویژگی‌های پروژه‌های ملی در کشور نیز هم‌راستا باشد. الگوهای موجود اغلب برگرفته از استانداردها و مدل‌های خارجی هستند که با محدودیت‌های فناورانه، تفاوت‌های نهادی، محیط اقتصادی و شرایط پروژه‌های عمرانی ایران هماهنگی کامل ندارند. بررسی‌های داخلی نیز نشان داده‌اند که نبود یک چارچوب بومی باعث دشواری در انتخاب مدیران پروژه، ضعف در توسعه حرفه‌ای و ناتوانی سازمان‌ها در ارزیابی عملکرد مدیران می‌شود(Ghorbani, 2023) . بر اساس این نیاز، پژوهش حاضر با هدف طراحی و ارائه الگوی شایستگی‌های مدیران پروژه در پروژه‌های بزرگ عمرانی و حمل‌ونقل ایران مبتنی بر ویژگی‌های Industry ٤,٠ انجام شده است. برای دستیابی به این هدف، پژوهش از رویکردی آمیخته بهره گرفته است. در مرحله نخست، شایستگی‌ها با تحلیل نظام‌مند ادبیات و استانداردهای بین‌المللی مدیریت پروژه شناسایی شد. سپس در مرحله کیفی، شایستگی‌های اولیه با استفاده از روش دلفی فازی و مشارکت خبرگان صنعت ساخت پالایش گردید. در مرحله کمی نیز تحلیل شبکه‌ای دیمتل–(DANP) ANP برای تعیین روابط علی–تأثیری میان شایستگی‌ها و وزن‌دهی نهایی آن‌ها اجرا شد (Hirman et al., 2019). نتایج این پژوهش می‌تواند به سازمان‌های عمرانی، دستگاه‌های اجرایی حمل‌ونقل، شرکت‌های پیمانکاری و مشاوران پروژه کمک کند تا بر اساس مدل توسعه‌یافته، مدیران پروژه را به شکل مؤثرتر انتخاب، ارزیابی و توانمندسازی کنند. این مدل همچنین می‌تواند مبنایی برای طراحی دوره‌های آموزشی تخصصی، تدوین استانداردهای عملکردی و حرکت صنعت ساخت ایران به‌سوی مدیریت پروژه دیجیتال، چابک و داده‌محور باشد.

۲–پیشینه تحقیق

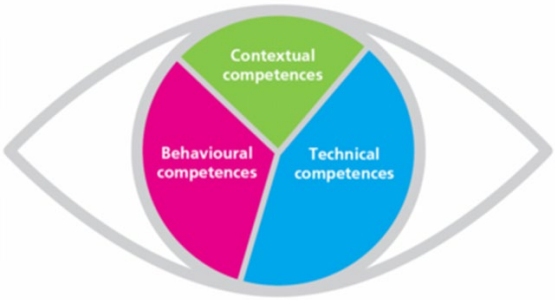
مدیریت پروژه و ضرورت شایستگی‌های مدیریتی

مدیریت پروژه یکی از مهم‌ترین حوزه‌های دانش در صنعت ساخت و زیرساخت است و نقش اصلی آن هدایت نظام‌مند فعالیت‌ها برای دستیابی به اهداف از پیش تعیین‌شده در محدوده، زمان، هزینه و کیفیت مشخص است. مطابق استانداردهای جهانی مدیریت پروژه، موفقیت پروژه به میزان زیادی به توانایی مدیر پروژه در برنامه‌ریزی، هماهنگی، مدیریت ریسک، کنترل پیشرفت و تعامل مؤثر با ذی‌نفعان بستگی دارد. مدل‌های معتبر

بین‌المللی مانندPMBOK ، ICBو PMCDF بر این نکته تأکید دارند که مدیریت پروژه صرفاً مجموعه‌ای از مهارت‌های فنی نیست، بلکه ترکیبی از مهارت‌های رهبری، رفتاری، راهبردی و فناوری‌محور است.(Gillard & Price, 2005)

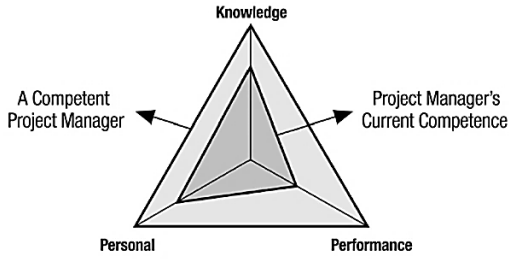
شایستگی‌های مدیران پروژه: رویکردهای بین‌المللی

شایستگی مدیران پروژه به‌عنوان ترکیبی از دانش، مهارت، نگرش، رفتار و توانایی‌های فناورانه تعریف می‌شود که مدیر پروژه باید برای هدایت موفق پروژه‌ها از آن برخوردار باشد. استانداردهای بین‌المللی، چارچوب‌های متفاوتی برای تعریف و طبقه‌بندی شایستگی‌ها ارائه کرده‌اند که از میان آنها مدلICB و مدلPMCDF بیشترین تأثیر را داشته‌اند.



شکل ۱. چشم شایستگی ICB

منبع: Bartoska et al. 2012



شکل ۲. ابعاد شایستگی PMCDF

منبع: PMI, 2017

-شایستگی‌های فنی

-شایستگی‌های رهبری–رفتاری

-شایستگی‌های راهبردی–زمینه‌ای

پژوهش‌های جدید نشان داده‌اند که این دسته‌بندی‌ها دیگر پاسخگوی نیازهای مدیریت پروژه در عصر Industry 4.0 نیستند، زیرا فناوری‌های نوظهور ابعاد جدیدی از شایستگی‌ها را مطرح کرده‌اند.(Ribeiro, Amaral, & Barros, 2021)

تحول دیجیتال و انقلاب صنعتی چهارم در صنعت ساخت

انقلاب صنعتی چهارم (Industry 4.0) یکی از مهم‌ترین تحولات دهه اخیر است که سبب ورود فناوری‌های هوشمند به صنعت ساخت، حمل‌ونقل و زیرساخت شده است.

فناوری‌هایی مانند:

-اینترنت اشیا(IoT)

-مدل‌سازی اطلاعات ساختمان(BIM)

-هوش مصنوعی (AI) و یادگیری ماشین

-تحلیل داده‌های بزرگ

-سیستم‌های سایبر–فیزیکی(CPS)

-رباتیک ساخت

-پهپادها و تصویربرداری هوایی

باعث شده‌اند مدیریت پروژه از یک فرایند سنتی مبتنی بر تجربه به یک نظام تصمیم‌گیری داده‌محور، پیش‌نگر و دیجیتال تبدیل شود.(Alaloul, Liew, & Zawawi, 2020)

ضرورت شایستگی‌های جدید در پروژه‌های عمرانی

پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که مدیران پروژه برای موفقیت در محیط Industry 4.0 باید علاوه بر شایستگی‌های کلاسیک، توانایی‌های زیر را نیز داشته باشند:

-قدرت تحلیل داده و تصمیم‌گیری داده‌محور

-سواد دیجیتال و شناخت معماری فناوری‌های نوین

-توان کار با ابزارهایBIM، IoT و دیجیتال توئین

-رهبری تیم‌های فناورانه

-مدیریت ریسک فناورانه و پیش‌نگر

-توان یکپارچه‌سازی سامانه‌های هوشمند

-تفکر سیستمی و یکپارچه‌نگری(Kissi et al., ۲۰۲٤ - Awan & Saleem, ۲۰۲۵).

شکاف موجود در صنعت ساخت و حمل‌ونقل ایران

بررسی‌های داخلی نشان می‌دهد:

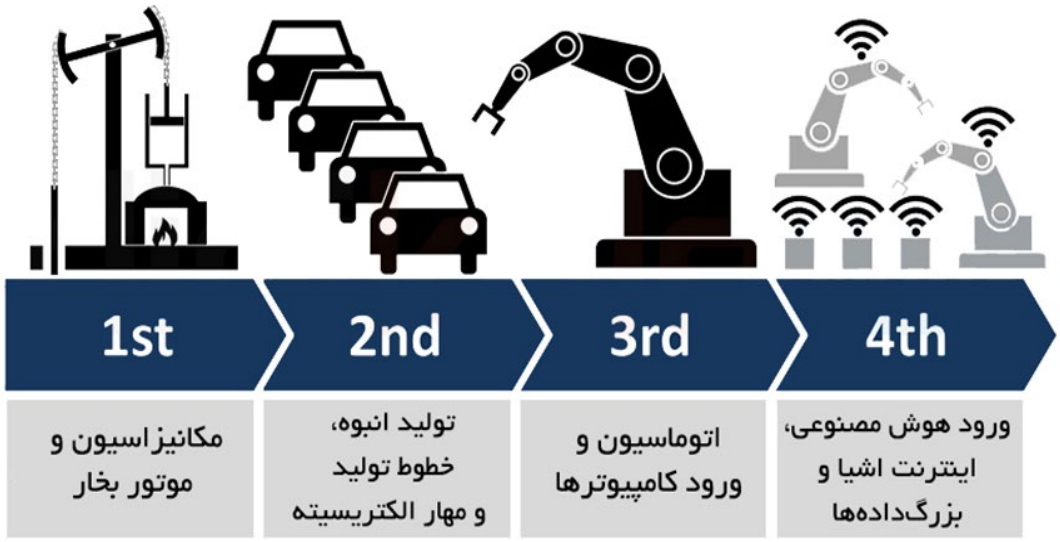
-مدل یکپارچه شایستگی مدیران پروژه منطبق با Industry 4.0 وجود ندارد.

-پروژه‌های بزرگ عمرانی کشور در مواجهه با فناوری‌های نوظهور چالش‌های مدیریتی جدی دارند.این شکاف‌ها ضرورت توسعه مدل بومی شایستگی‌های مدیران پروژه Industry 4.0 را آشکار می‌کند.(Ghorbani, 2023)

-بسیاری از مدیران پروژه فاقد سواد دیجیتال و تجربه کار با فناوری‌های نوین هستند.

-انتخاب مدیران پروژه اغلب سلیقه‌ای و بدون معیارهای استاندارد انجام می‌شود.

-دوره‌های آموزشی سازمان‌ها با نیازهای Industry 4.0 هم‌راستا نیستند.



شکل ۳. نسل‌های مختلف انقلاب صنعتی

۳-روش تحقیق

روش تحقیق ستون فقرات هر پژوهش علمی است و چارچوبی نظام‌مند برای پاسخ‌گویی به پرسش‌ها و دستیابی به اهداف تحقیق فراهم می‌آورد. در این مطالعه، با هدف ارائه الگوی شایستگی مدیران پروژه در پروژه‌های عمرانی و ساخت‌وساز ایران در عصر انقلاب صنعتی چهارم، از یک رویکرد آمیخته (کیفی–کمی) بهره گرفته شده است. فرایند تحقیق به گونه‌ای طراحی شده که ابتدا شایستگی‌های کلیدی از طریق مرور ادبیات، استانداردها و تحقیقات پیشین استخراج شود، سپس این شایستگی‌ها با مشارکت خبرگان صنعت ساخت اعتبارسنجی گردد. در ادامه، برای تعیین روابط علّی میان شاخص‌ها و اولویت‌بندی وزن نسبی آن‌ها، از روش‌های دلفی فازی و تحلیل شبکه‌ای استفاده شده است. خروجی این فرایند، یک مدل مفهومی یکپارچه است که جایگاه هر شایستگی را در شبکه مدیریتی پروژه‌های ساخت ایران تعیین می‌کند.

این پژوهش از نظر هدف کاربردی است و به دنبال ارائه راهکاری عملی برای ارتقای عملکرد مدیران پروژه در مواجهه با الزامات صنعت ٤,٠ می‌باشد. از نظر ماهیت، مطالعه حاضر توصیفی–تحلیلی است؛ زیرا ضمن شناسایی شایستگی‌ها، به تحلیل ارتباطات و اثرگذاری آن‌ها نیز می‌پردازد. از منظر روش‌شناسی، تحقیق آمیخته است. بخش کیفی از طریق تحلیل اسنادی و بررسی منابع تخصصی انجام شده و بخش کمی شامل اعتبارسنجی و اولویت‌بندی شایستگی‌ها با بهره‌گیری از روش‌های دلفی فازی وDANP است.

جامعه آماری تحقیق شامل خبرگان و متخصصان حوزه مدیریت پروژه در صنعت ساخت ایران است که شامل مدیران پروژه، مشاوران ارشد اجرایی و اعضای هیئت علمی مرتبط می‌شود.
در بخش کیفی، نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند انجام شده و هدف آن استخراج شایستگی‌های اولیه بر اساس تحلیل ادبیات و نظر خبرگان است.
در بخش کمی، نمونه‌گیری با رویکرد طبقه‌بندی‌شده انجام می‌شود و مطابق برآورد اولیه، تعداد حدود ۲۰ نفر از مدیران ارشد پروژه‌های عمرانی برای تکمیل پرسش‌نامه مقایسات زوجی و نسخه‌های مختلف پرسش‌نامه دلفی فازی انتخاب شده‌اند.
داده‌های پژوهش از دو منبع اصلی گردآوری شده‌اند.
مرور نظام‌مند ادبیات تحقیق: شامل بررسی مقالات علمی، استانداردهای بین‌المللی (مانند ICB4 و PMCDF)، و منابع معتبر در حوزه شایستگی‌های مدیران پروژه و الزامات صنعت ۴,۰ که مبنای استخراج معیارهای اولیه بوده است.
پرسش‌نامه‌های خبرگان :داده‌های بخش کمی از طریق اجرای چندمرحله‌ای روش دلفی فازی گردآوری شده است. پس از نهایی شدن معیارها، برای اندازه‌گیری روابط علّی میان شایستگی‌ها و تعیین وزن نهایی آن‌ها، از پرسش‌نامه مقایسات زوجی و تحلیل DANP فازی استفاده شده است.
در این پژوهش، تحلیل داده‌ها در دو سطح انجام می‌شود:
– سطح کیفی: در این بخش، ابتدا شاخص‌های شایستگی مدیران پروژه از مقالات علمی و مطالعات قبلی استخراج خواهند شد. از نرم‌افزارهای مدیریت منابع علمی برای دسته‌بندی و تحلیل مقالات استفاده خواهد شد.
– سطح کمی: این بخش شامل دو مرحله خواهد بود:
– تحلیل دلفی فازی: برای تأیید شاخص‌های استخراج‌شده از طریق مشارکت خبرگان صنعت.
– تحلیل DANP: برای بررسی ارتباطات بین شاخص‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها.

روش دلفی فازی

روش دلفی فازی برای رسیدن به اجماع بین خبرگان در مورد شاخص‌های شایستگی استفاده خواهد شد. این روش شامل چندین مرحله نظرسنجی است که در هر مرحله، خبرگان نظر خود را درباره اهمیت و وزن هر شاخص ارائه می‌دهند. نتایج این نظرسنجی‌ها با توابع عضویت فازی تحلیل شده و شاخص‌هایی که به حد توافق مشخصی برسند، در مدل نهایی باقی خواهند ماند.

روش دلفی فازی

روش دلفی برای اولین بار توسط دالکی و هلمر در سال ۱۹۶۳ بیان گردید. این تکنیک روشی پیمایشی بر اساس نظرهای متخصصان است و سه خصوصیت اصلی دارد که عبارت‌اند از: پاسخ بی‌نام، تکرار و بازخورد کنترل‌شده و درنهایت پاسخ گروهی آماری. این تکنیک روشی نظام‌مند به‌منظور جمع‌آوری و هماهنگی قضاوت‌های آگاهانه گروهی از متخصصان درباره سؤال یا موضوعی خاصی است. در بسیاری از موقعیت‌های واقعی، قضاوت متخصصان نمی‌تواند به‌صورت اعداد کمّی قطعی بیان و تفسیر شود؛ به‌عبارت‌دیگر داده‌ها و اعداد قطعی به‌منظور مدل کردن سیستم‌های دنیای واقعی به علت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت تصمیم‌گیرندگان ناکافی است. در این راستا به‌منظور غلبه بر این مشکل، نظریه مجموعه‌های فازی که به‌وسیله لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ ارائه شد، ابزار مناسبی برای مقابله با ابهام و عدم قطعیت موجود در فرآیند تصمیم‌گیری است؛ بنابراین در این پژوهش از روش دلفی فازی به‌منظور تائید و غربالگری شاخص‌های شناسایی‌شده استفاده‌شده است. این روش ترکیبی از روش دلفی و نظریه مجموعه‌های فازی است که توسط ایشیکاوا و همکاران ارائه‌شده است. (Hasanpoor, 2015 & ,Mousavi, Yousefizenouz)
گام‌های روش دلفی فازی را می‌توان به شرح ذیل بیان کرد.
–شناسایی شاخص‌های پژوهش با استفاده از بررسی و مطالعه مبانی نظری پژوهش
–جمع‌آوری نظرهای متخصصان تصمیم‌گیرنده‌تر این حوزه: در این گام بعد از شناسایی معیارها، تیم تصمیم‌گیرنده شامل خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل می‌شوند و پرسشنامه‌ها به‌منظور تعیین مرتبط بودن شاخص‌های شناسایی‌شده با موضوع اصلی پژوهش و غربالگری برای آن‌ها ارسال می‌شود که در آن متغیرهای زبانی جدول ۱، برای بیان اهمیت هر شاخص به کار می‌روند. در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده‌شده است.

جدول ۱. عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی

(موسوی, یوسفی زنوز, & حسن پور, ۱۳۹٤)

گویه های سنجش	اعداد فازی مثلثی
خیلی کم	(0,0,0.25)
کم	(0,0.25,0.5)
متوسط	(0.25,0.5,0.75)
زیاد	(0.5,0.75,1)
خیلی زیاد	(0.75,1,1)

تائید و غربالگری شاخص‌ها: این اقدام به استفاده از مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه $\tilde{S}$ صورت می‌پذیرد. مقدار آستانه با استنباط ذهنی تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد و صورت مستقیم بر روی تعداد عواملی که نهایی می‌شوند تاثیرخواهد داشت. هیچ رویه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد. (راهداری & نصر , ۱۳۹٦) در این پژوهش مقدار ۰,۷ به‌عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته‌شده است.

برای این کار ابتدا باید مقادیر فازی مثلثی نظرهای خبرگان مورد محاسبه قرارگیرد، سپس برای محاسبه میانگین نظرات n پاسخ‌دهنده، میانگین فازی آن‌ها محاسبه گردد.

محاسبه عدد فازی τ برای هر یک از شاخص‌ها با استفاده از روابط زیر صورت می‌گیرد:

$$\tilde{\tau}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), \quad i = 1,2,\dots,n \quad j = 1,2,\dots,m \tag{۱}$$

$$a_j = \sum \frac{a_{ij}}{n} \tag{۲}$$

$$b_j = \sum \frac{b_{ij}}{n} \tag{۳}$$

$$c_j = \sum \frac{c_{ij}}{n} \tag{٤}$$

در روابط ذکرشده در فوق اندیس‌های i به فرد خبره و اندیس‌های j به شاخص تصمیم‌گیری اشاره می‌کند. همچنین مقدار دیفازی شده میانگین عدد فازی از رابطه ذیل به دست خواهد آمد. (راهداری و نصر، ۱۳۹٦)

$$Crisp = \frac{a+b+c}{3} \tag{۵}$$

مرحله به اجماع رسیدن و اتمام روش دلفی فازی: در این مرحله چنانچه اختلاف میانگین دو مرحله پشت سر هم در روش دلفی فازی از ۰,۱ کمتر باشد دلفی فازی به اتمام می‌رسد. (cheng, 2002).

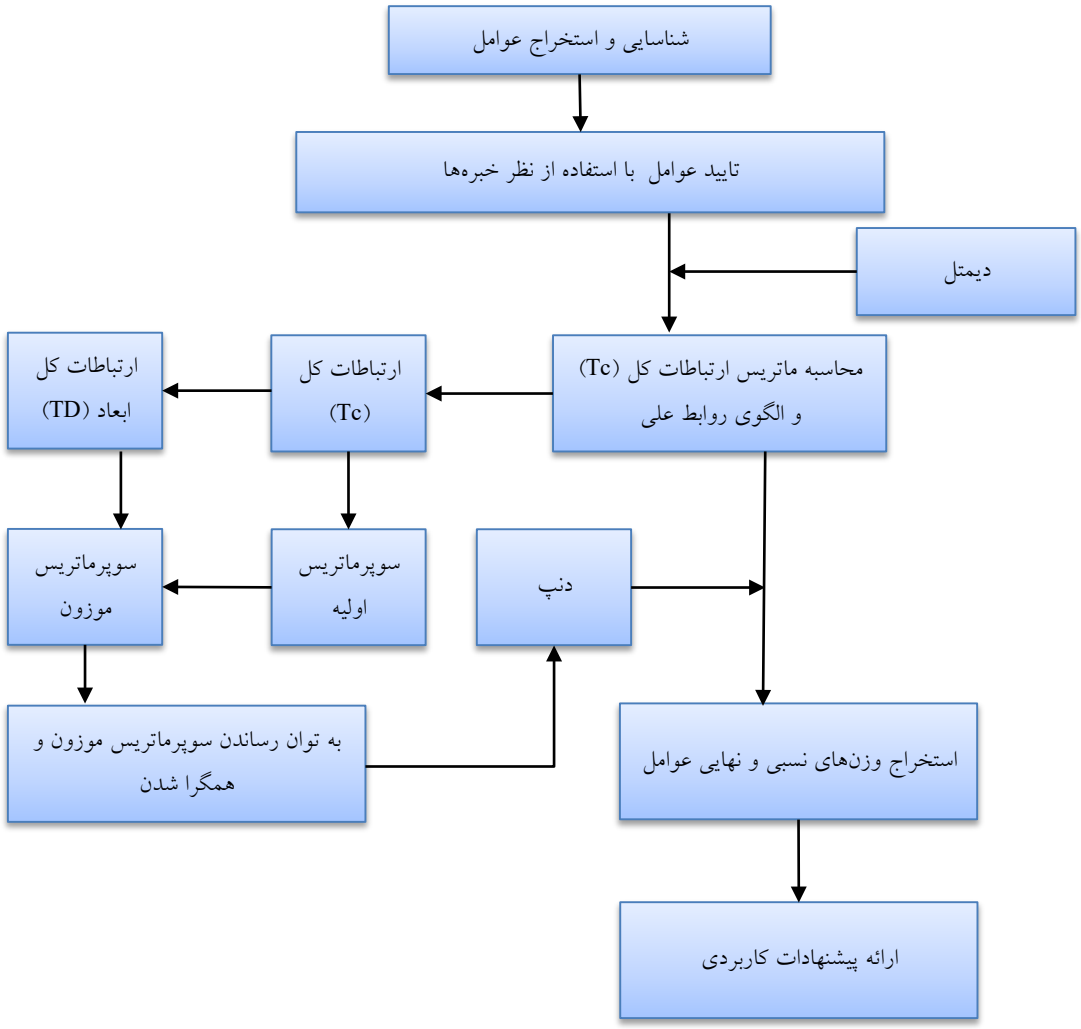
پس از تائید شاخص‌های احصا شده از روش دلفی فازی شاخص‌های نهایی به‌منظور مشخص کردن میزان وزن آن‌ها از روش آنتروپی شانون استفاده می‌نماییم. به این منظور شاخص‌های نهایی را با استفاده از پرسشنامه طراحی‌شده و تعیین روایی و پایایی آن وزن عوامل را مشخص می‌نماییم.

روش DANP فازی

روش DANP ترکیبی از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و روش DEMATEL فازی است که به ما کمک می‌کند تا هم وزن شاخص‌ها را مشخص کنیم و هم روابط علی میان آن‌ها را تحلیل کنیم. در این روش:

- ابتدا با استفاده از DEMATEL فازی، شدت تأثیرگذاری شاخص‌ها بر یکدیگر بررسی می‌شود.
- سپس با استفاده از AHP فازی، وزن هر شاخص تعیین خواهد شد.
- در نهایت، از ترکیب این دو روش برای ارائه یک مدل شبکه‌ای استفاده خواهد شد که نشان دهد کدام شایستگی‌ها تأثیرگذارترند و کدام شایستگی‌ها تأثیرپذیرتر.

روش تجزیه و تحلیل در این پژوهش تصمیم‌گیری چند شاخصه است. که با توجه به شرایط پژوهش روش دلفی و DANP می‌باشد در این روش با استفاده از ماتریس دیمتل زیرمعیارها، سوپرماتریس ANP تشکیل می‌شود و در نهایت وزن معیارها و زیرمعیارها بدست می‌آید. الگوریتم کلی پژوهش در شکل ٤ آورده شده است.



شکل ٤. الگوریتم کلی پژوهش

روش نمونه‌گیری

روش نمونه‌گیری این پژوهش غیراحتمالی هدفمند قضاوتی (تعمدی) می‌باشد. بر این اساس در پژوهش حاضر تعداد ۱۰ خبره شامل کارشناسان و مدیران اداره عمران و توسعه فرودگاه‌های شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران که سابقه کاری بالای ۱۰ سال داشته‌اند انتخاب شدند.

ابزارهای جمع‌آوری داده‌های پژوهش

در پژوهش حاضر جهت جمع‌آوری داده‌ها از پرسشنامه استفاده شده است. پرسشنامه یکی از ابزار کسب اطلاعات در پژوهش‌های پیمایشی است که داده‌ها را به طور مستقیم گردآوری می‌نماید. در این پژوهش از ۲ پرسشنامه استفاده می‌شود.

پرسشنامه جهت تایید و غربالگری عوامل بر اساس طیف ۱ تا ۵ لیکرت.

پرسشنامه بررسی تاثیرگذاری و تاثیرپذیری معیارها بر اساس روش دنپ.

تکنیک DANP

این تکنیک در خصوص مسائل دنیای واقعی در مقایسه با روش‌های سنتی بسیار مناسب بوده و وابستگی میان معیارها را در نظر می‌گیرد و در نهایت دیمتل با روش ANP جهت تشکیل DANP به منظور تعیین اوزان موثر هر بعد و معیار ترکیب می‌گردد (لو و همکاران، ۲۰۱۳).

محاسبه ماتریس ارتباط مستقیم

ارزیابی روابط میان معیار ها (تاثیر یک معیار بر معیار دیگر) بر اساس نظرات خبرگان تحقیق با استفاده از طیف رتبه بندی ۰ تا ٤ انجام می گردد که در آن ۰ به معنی عدم تأثیرگذاری، ۱ به معنی تأثیر اندک، ۲ به معنی تاثیر متوسط، ۳ به معنی تأثیر زیاد و ٤ به معنی تأثیر بسیار زیاد می باشد. از خبرگان خواسته می شود تأثیر یک معیار بر معیار دیگر را تعیین نمایند. یعنی اگر اعتقاد داشته باشند که معیار i بر معیار j تأثیر گذار است می‌بایست آن را به صورت d_c^{ij} نشان دهند. بنابراین ماتریس $D = [d_c^{ij}]$ از ارتباط مستقیم حاصل خواهد شد.

(۷)

$$D = \begin{bmatrix} d_c^{11} & \dots & d_c^{1j} & \dots & d_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_c^{i1} & \dots & d_c^{ij} & \dots & d_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ d_c^{n1} & \dots & d_c^{nj} & \dots & d_c^{nn} \end{bmatrix}$$

نرمال کردن ماتریس ارتباط مستقیم

ماتریس ارتباط مستقیمD با استفاده از رابطه‌ی زیر نرمال شده و ماتریس N به دست می‌آید.

$$\mathrm{N= VD;\ V= } \min\{1/\max_i \sum_{j=1}^{n} d_{ij}\ ,\ 1/\max_j \sum_{i=1}^{n} d_{ij}\} , i,j \in \{1,2,\dots,n\} \quad (۸)$$

$$T_c = \begin{array}{c} \\ D_1\ c_{11}\ c_{12}\ \vdots\ c_{1m_1} \\ D_i\ c_{i1}\ c_{i2}\ \vdots\ c_{im_i} \\ D_n\ c_{n1}\ c_{n2}\ \vdots\ c_{nm_n} \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} D_1 & & D_j & & D_n \\ c_{11}\dots c_{1m_1} & \dots & c_{j1}\dots c_{jm_j} & \dots & c_{n1}\dots c_{nm_n} \end{array} \\ \begin{bmatrix} T_c^{11} & \dots & T_c^{1j} & \dots & T_c^{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{i1} & \dots & T_c^{ij} & \dots & T_c^{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ T_c^{n1} & \dots & T_c^{nj} & \dots & T_c^{nn} \end{bmatrix} \end{array} \quad (۹)$$

محاسبه ماتریس ارتباطات کامل

زمانی که ماتریس D نرمال گشته و ماتریس N حاصل شد، ماتریس ارتباطات کامل از طریق رابطه زیر بدست خواهد آمد. در این رابطه I بیانگر ماتریس واحد می‌باشد. ماتریس ارتباط کامل می‌تواند به وسیله معیارها شمرده شود که با T_C نشان داده می‌شود.

$$\mathrm{T= N+}\ N^2 + \dots + N^h = N(I-N)^{-1},\ when\ h \to \infty$$

٤-یافته‌های پژوهش

در این بخش، ابتدا ویژگی‌های جمعیت‌شناختی خبرگان شرکت‌کننده در پژوهش تشریح شده، سپس نتایج حاصل از اجرای روش دلفی فازی برای نهایی‌سازی شاخص‌ها ارائه می‌شود. در ادامه، خروجی مدل ترکیبی دیمتل–فرآیند تحلیل شبکه‌ای (DANP) در دو سطح زیرمعیارها و معیارهای اصلی گزارش شده و در پایان، وزن‌ها و رتبه‌بندی نهایی شایستگی‌ها تبیین می‌گردد.

ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان

نمونه پژوهش شامل ۱۰ نفر از خبرگان و مدیران پروژه در صنعت ساخت است که به پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی و دلفی فازی پاسخ داده‌اند. چهار متغیر جنسیت، سن، سابقه خدمت و تحصیلات برای توصیف جامعه آماری مورد بررسی قرار گرفت: جنسیت: مطابق جدول ۲، تعداد ۸ نفر از پاسخ‌دهندگان مرد (۸۰ درصد) و ۲ نفر زن (۲۰ درصد) هستند.

جدول ۲. توزیع فراوانی مربوط به جنسیت

جنسیت	فراوانی	درصد فراوانی
مرد	۸	۸۰
زن	۲	۲۰

سن: طبق جدول ۲، ۵۰ درصد از خبرگان در بازه سنی ۳۰ تا ٤۰ سال، ۲۰ درصد در بازه ٤۰ تا ۵۰ سال و ۳۰ درصد در سن بالاتر از ۵۰ سال قرار دارند. بیشترین فراوانی مربوط به گروه سنی ۳۰ تا ٤۰ سال است.

جدول ۳. توزیع فراوانی مربوط به سن

سن	فراوانی	درصد فراوانی
۳۰ تا ٤۰	۵	۵۰
٤۰ تا ۵۰	۲	۲۰
بالاتر از ۵۰	۳	۳۰

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد ۳۰ درصد دارای سابقه خدمت ۵ تا ۱۰ سال، ۵۰ درصد ۱۰ تا ۱۵ سال و ۲۰ درصد بیش از ۱۵ سال سابقه کاری هستند؛ بنابراین اکثریت پاسخ‌دهندگان تجربه‌ای بین ۱۰ تا ۱۵ سال در پروژه‌های ساخت دارند. بر اساس جدول ٤، نیمی از شرکت‌کنندگان (۵ نفر) دارای مدرک کارشناسی، ٤ نفر (٤۰ درصد) کارشناسی ارشد و یک نفر (۱۰ درصد) دارای مدرک دکتری هستند.

جدول ٤. توزیع فراوانی مربوط به سابقه کار

سابقه خدمت	فراوانی	درصد فراوانی
۵ تا ۱۰ سال	۳	۳۰
۱۰ تا ۱۵ سال	۵	۵۰
بیش از ۱۵ سال	۲	۲۰

نتایج روش دلفی فازی

برای استخراج عوامل مهم و تأثیرگذار از روش دلفی فازی استفاده‌شده است. در این پژوهش دلفی فازی در دو مرحله صورت گرفته که به شرح روند اجرا و نتایج حاصل پرداخته‌شده است.

نتایج مرحله اول دلفی فازی

در این مرحله، پرسشنامه‌ای شامل ۲۲ شاخص در رابطه با راهکارهایی برای کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره برداری مراکز خرید با استفاده از مدل سازی اطلاعات ساختمان با رویکرد مدیریت چابک در اختیار اعضای گروه خبره قرار گرفت و از ایشان درخواست شد تا نظر خود را درباره هر معیار در قالب متغیرهای کلامی مندرج در پرسشنامه بیان نمایند. برای فازی سازی اعداد، ابتدا طیف‌های بکار رفته را به عدد فازی تبدیل کرده سپس میانگین فازی امتیازات، محاسبه‌شده و درنهایت میانگین فازی به عدد قطعی تبدیل گردیده است.

نتایج مرحله دوم دلفی فازی

در این بخش پرسشنامه مرحله اول دلفی همراه با معیارهای تخصیص‌یافته از مرحله اول، در پرسشنامه‌ای دیگر و جدیدی طراحی گشته است و در اختیار خبرگان این امر قرار می‌گیرد. ضمن آنکه در این بخش، میانگین قطعی دور اول نیز محاسبه‌شده تا خبرگان از میزان میانگین هرشاخص در مرحله قبل نیز آگاهی پیدا کنند. نتایج مرحله دوم دلفی فازی در جدول ۵ آورده شده است.

جدول ۵. نتایج دور دوم دلفی فازی

مرحله اول	وضعیت	میانگین قطعی	میانگین فازی			معیار ها
۰,۹۲۵	تایید	۰,۸۵۰	۱,۰۰۰	۰,۹۰۰	۰,٦۵۰	مهارت‌های ارتباطی مؤثر
۰,۸۰۸	تایید	۰,۷۱۷	۰,۹۰۰	۰,۷۵۰	۰,۵۰۰	تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت
۰,۹۱۷	تایید	۰,۸۳۳	۱,۰۰۰	۰,۸۷۵	۰,٦۲۵	رهبری تیم چندنسلی و دیجیتال
۰,۸٤۲	تایید	۰,۷۳۳	۰,۹۵۰	۰,۷۵۰	۰,۵۰۰	مذاکره و حل تعارض
۰,۹۱۷	تایید	۰,۸۳۳	۱,۰۰۰	۰,۸۷۵	۰,٦۲۵	برنامه‌ریزی استراتژیک در محیط دیجیتال
۰,۸۹۲	تایید	۰,۸۰۸	۰,۹۷۵	۰,۸۵۰	۰,٦۰۰	تحلیل روندهای نوظهور (AI ،IoT ،BIM)
۰,۹۱۷	تایید	۰,۸۳۳	۱,۰۰۰	۰,۸۷۵	۰,٦۲۵	انطباق با تغییرات فناورانه
۰,۹۲۵	تایید	۰,۸۷۵	۰,۹۷۵	۰,۹۵۰	۰,۷۰۰	درک تأثیرات محیطی و اجتماعی پروژه
۰,۸۱۷	تایید	۰,۷۳۳	۰,۹۰۰	۰,۷۷۵	۰,۵۲۵	تسلط بر ابزارهای مدیریت پروژه (MS Project, Primavera)
۰,۸۲۵	تایید	۰,۷۰۰	۰,۹۵۰	۰,۷۰۰	۰,٤۵۰	مدیریت ریسک فناورانه
۰,۹۵۸	تایید	۰,۹۱۷	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۷۵۰	تحلیل داده‌های پروژه و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده
۰,۸٤۲	تایید	۰,۷۵۸	۰,۹۲۵	۰,۸۰۰	۰,۵۵۰	دانش فنی در صنعت ساخت
۰,۸۲۵	تایید	۰,۷۰۰	۰,۹۵۰	۰,۷۰۰	۰,٤۵۰	آشنایی با فناوری‌های دیجیتال (AI ،IoT ،BIM)
۰,۸۵۸	تایید	۰,۷٦۷	۰,۹۵۰	۰,۸۰۰	۰,۵۵۰	یادگیری مستمر و توسعه فردی
۰,۸۰۸	تایید	۰,۷۱۷	۰,۹۰۰	۰,۷۵۰	۰,۵۰۰	ذهنیت سیستمی در پروژه‌های پیچیده
۰,۸۱۷	تایید	۰,۷۰۸	۰,۹۲۵	۰,۷۲۵	۰,٤۷۵	مدیریت پایداری و ارزیابی چرخه عمر پروژه

جمع‌بندی نهایی دلفی

در راند دوم دلفی فازی، اختلاف میانگین‌های مرحله دوم و اول از کمتر از ۰,۱ است بنابراین مراحل دلفی فازی به پایان رسیده است. در این بخش معیارهایی که در مراحل دوم و اول، میانگین کمتر از ۰/۷ داشته‌اند حذف‌شده و مابقی معیارها تائید می‌شود.

معرفی عوامل پژوهش

در این پژوهش، ابتدا با بررسی مبانی نظری و پیشینه تحقیق، مجموعه‌ای از شانزده عامل مؤثر بر شایستگی مدیران پروژه در صنعت ساخت ایران، با تمرکز بر الزامات انقلاب صنعتی چهارم، شناسایی گردید. این عوامل در چهار دسته اصلی دسته‌بندی شدند. در مرحله بعد، به منظور بومی‌سازی و اعتبارسنجی این معیارها، از نظرات ده تن از متخصصان حوزه بهره‌گیری شد. این خبرگان، اهمیت هر یک از عوامل را بر اساس مقیاس پنج‌درجه‌ای لیکرت (از ۱=اهمیت بسیار کم تا ۵=اهمیت بسیار زیاد) ارزیابی کردند. با تعیین حد آستانه برابر با میانگین مقیاس (عدد ۳)، هر عاملی که میانگین امتیاز کمتری از این مقدار کسب می‌کرد، از تحلیل حذف می‌گردید. نتایج نهایی، که در جدول ۵ ارائه شده، حاکی از آن است که میانگین امتیاز تمامی شانزده عامل بالاتر از حد آستانه بوده و به تأیید کلیه خبرگان رسیده است.

جدول ٦. نتایج امتیاز معیارها

معیار	زیرمعیار	میانگین امتیاز	وضعیت
شایستگی های رفتاری	مهارت‌های ارتباطی مؤثر	۳,۷	تایید
	تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت	۳,۹	تایید
	رهبری تیم چندنسلی و دیجیتال	٤,۳	تایید
	مذاکره و حل تعارض	٤,۲	تایید
شایستگی های منظر و راهبردی	برنامه‌ریزی استراتژیک در محیط دیجیتال	۳,٥	تایید
	تحلیل روندهای نوظهور	۳,۸	تایید
	انطباق با تغییرات فناورانه	۳,٥	تایید
	درک تأثیرات محیطی و اجتماعی پروژه	۳,۹	تایید
شایستگی های اجرایی و فنی	تسلط بر ابزارهای مدیریت پروژه	۳,۷	تایید
	مدیریت ریسک فناورانه	۳,۷	تایید
	تحلیل داده‌های پروژه و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده	۳,۳	تایید
	دانش فنی در صنعت ساخت	۳,٦	تایید
شایستگی های ترکیبی صنعت ٤	آشنایی با فناوری‌های دیجیتال	۳,٤	تایید
	یادگیری مستمر و توسعه فردی	۳,۹	تایید
	ذهنیت سیستمی در پروژه‌های پیچیده	۳,۷	تایید
	مدیریت پایداری و ارزیابی چرخه عمر پروژه	۳,۳	تایید

نتایج روش DANP

با استفاده از روش دنپ ابتدا تاثیرگذاری و تاثیرپذیری عوامل پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس اهمیت و وزن عوامل مشخص می‌شود.

محاسبه ماتریس ارتباطات مستقیم

در این گام جهت ارزیابی روابط میان معیارها (تاثیر یک معیار بر معیار دیگر) با استفاده از نظر خبرگان بر اساس طیف جدول استفاده شده است برای بررسی معیارها از نظر ۱۰ خبره استفاده شده که برای در نظر گرفتن نظر همه خبرگان میانگین حسابی می‌گیریم.

نرمال کردن ماتریس تصمیم

فرآیند نرمال‌سازی بدین صورت بود که ابتدا مجموع درایه‌های هر سطر و ستون محاسبه شد. سپس، بزرگترین مقدار حاصل از این مجموع‌ها، که برابر با ٤١,٤ بود، به عنوان مقیاس (اسکالر) نرمال‌سازی انتخاب گردید. در نهایت، تمامی درایه‌های ماتریس ارتباطات مستقیم بر این عدد تقسیم شدند تا ماتریس نرمال‌شده به دست آید.

محاسبه ماتریس ارتباطات کامل (Tc)

برای محاسبه ماتریس ارتباط کامل ابتدا ماتریس همانی (I_{16*16}) تشکیل می‌شود. سپس ماتریس همانی را منهای ماتریس نرمال کرده و ماتریس حاصل را معکوس می‌کنیم. در نهایت ماتریس نرمال را در ماتریس معکوس ضرب می‌کنیم.

تاثیرگذاری و تاثیرپذیری زیرمعیارها

در این گام تاثیرگذاری و تاثیرپذیری زیرمعیارها مشخص می‌شود زیرمعیارهای تاثیرگذار از نوع معیارهای علی هستند و زیرمعیارهای تاثیرپذیر از نوع معلول هستند.

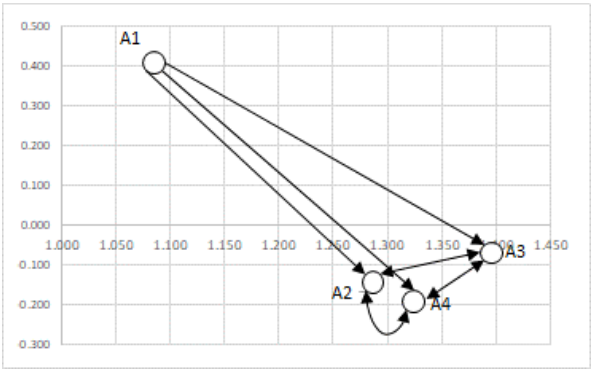
نتایج در جدول ٤-١٠ آورده شده است. همچنین نمونه‌های از نمودار علی و معلولی شاخص‌ها در شکل ٥ و ٦ رسم شده است. در بین زیرمعیارهای شایستگی‌های رفتاری، تنها معیار مهارت‌های ارتباطی مؤثر (A1) ماهیت علت دارد که بر هر سه زیرمعیار دیگر یعنی تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت (A2)، رهبری تیم چندنسلی و دیجیتال (A3)، مذاکره و حل تعارض (A4) تاثیر می‌گذارد. سه زیرمعیار A2، A3 و A4 نیز بر یکدیگر تاثیر متقابل و دوبه دو دارند یعنی هر سه بر هم تاثیر می‌گذارند و از هم تاثیر می‌پذیرند. در بین زیرمعیارهای شایستگی های منظر و راهبردی، دو زیرمعیارها تحلیل روندهای نوظهور (B2)، درک تأثیرات محیطی و اجتماعی پروژه (B4) جزو معیارها علت هستند که بر روی دو زیرمعیار دیگر یعنی برنامه‌ریزی استراتژیک در محیط دیجیتال (B1) و انطباق با تغییرات فناورانه (B3) تاثیر می‌گذارند. معیار B3 نیز فقط بر روی معیار B1 تاثیر می‌گذارد.

در بین زیرمعیارهای شایستگی‌های اجرایی و فنی، دو زیرمعیار تحلیل داده‌های پروژه و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده (C3) و دانش فنی در صنعت ساخت (C4) جزو معیارهای علت هستند البته معیار C4 تاثیرگذاری بیشتری نسبت به معیار C3 دارد. معیار تسلط بر ابزارهای مدیریت پروژه (C1) از هر سه زیرمعیار دیگر یعنی مدیریت ریسک فناورانه (C2)، C3 و C4 تاثیر می‌پذیرد. در بین زیرمعیارهای شایستگی های ترکیبی صنعت ٤، دو زیرمعیار آشنایی با فناوری‌های دیجیتال (D1) و یادگیری مستمر و توسعه فردی (D2) ماهیت علت دارند که بر روی دو زیرمعیار دیگر یعنی ذهنیت سیستمی در پروژه‌های پیچیده (D3) و مدیریت پایداری و ارزیابی چرخه عمر پروژه (D4) تاثیر می‌گذارند.

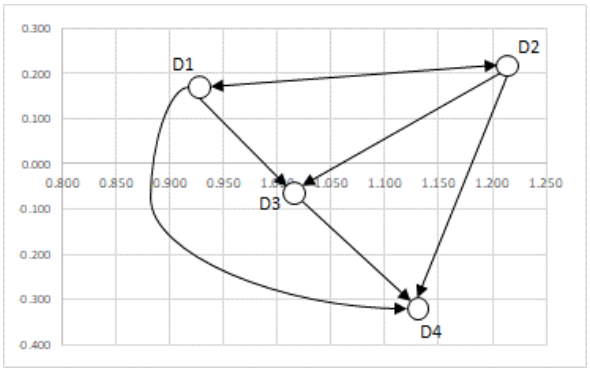
جدول ۷. تاثیرگذاری و تاثیرپذیری زیرمعیارها

معیا	نام معیار	کد	D	R	D+R	D-R	نوع معیار
شایستگی‌های رفتاری	مهارت‌های ارتباطی مؤثر	A1	۰,۷۵۱	۰,۳۳٦	۱,۰۸۷	۰,٤۱٤	علت
	تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت	A2	۰,٥٦۹	۰,۷۱۷	۱,۲۸٦	-۰,۱٤۸	معلول
	رهبری تیم چندنسلی و دیجیتال	A3	۰,٦٦۲	۰,۷۳۰	۱,۳۹۲	-۰,۰٦۸	معلول
	مذاکره و حل تعارض	A4	۰,٥٦۳	۰,۷٦۰	۱,۳۲۳	-۰,۱۹۸	معلول
شایستگی‌های منظر و راهبردی	برنامه‌ریزی استراتژیک در محیط دیجیتال	B1	۰,۷۰٥	۰,۸۰۹	۱,٥۱٤	-۰,۱۰٤	معلول
	تحلیل روندهای نوظهور	B2	۰,۷۹٦	۰,٦۷۳	۱,٤٦۹	۰,۱۲۳	علت
	انطباق با تغییرات فناورانه	B3	۰,٥۷۲	۰,٦٦٤	۱,۲۳٦	-۰,۰۹۲	معلول
	درک تأثیرات محیطی و اجتماعی پروژه	B4	۰,۷٦۹	۰,٦۹۷	۱,٤٦٦	۰,۰۷۳	علت
شایستگی‌های اجرایی و فنی	تسلط بر ابزارهای مدیریت پروژه	C1	۰,۲۹٦	۰,٤٤۹	۰,۷٤٥	-۰,۱٥۳	معلول
	مدیریت ریسک فناورانه	C2	۰,۳۲۹	۰,٥۰٤	۰,۸۳۳	-۰,۱۷٦	معلول

معیا	نام معیار	کد	D	R	D+R	D-R	نوع معیار
	تحلیل داده‌های پروژه و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده	C3	۰,٤١٦	۰,۳۷۹	۰,۷۹٥	۰,۰۳۷	علت
	دانش فنی در صنعت ساخت	C4	۰,٥۳۷	۰,۲٤٤	۰,۷۸۱	۰,۲۹۲	علت
شایستگی‌های ترکیبی صنعت ٤	آشنایی با فناوری‌های دیجیتال	D1	۰,٥٥۰	۰,۳۷۷	۰,۹۲۷	۰,۱۷۳	علت
	یادگیری مستمر و توسعه فردی	D2	۰,۷۱۸	۰,٤۹۷	۱,۲۱٥	۰,۲۲۱	علت
	ذهنیت سیستمی در پروژه‌های پیچیده	D3	۰,٤۷۹	۰,٥۳۸	۱,۰۱۷	-۰,۰٦۰	معلول
	مدیریت پایداری و ارزیابی چرخه عمر پروژه	D4	۰,۳۹۸	۰,۷۳۳	۱,۱۳۰	-۰,۳۳٥	معلول



شکل ۵. نمودار علی زیرمعیارهای شایستگی های رفتاری



شکل ٦. نمودار علی زیرمعیارهای شایستگی های ترکیبی صنعت ٤

تشکیل ماتریس ارتباط کامل ابعاد (T_D^{∞}) و نرمال سازی آن

در این مرحله، ماتریس ارتباطات کامل ابعاد بر اساس داده‌های استخراج‌شده از ماتریس‌های تأثیرگذاری میان معیارها تشکیل شد که نتایج آن در جدول ۸ ارائه شده است. این ماتریس میزان تأثیر هر معیار اصلی بر سایر معیارها و همچنین میزان تأثیرپذیری آن‌ها را مشخص می‌کند. پس از تشکیل ماتریس اولیه، مقادیر آن با هدف یکسان‌سازی و مقایسه‌پذیر شدن، نرمال‌سازی گردید و خروجی نهایی در جدول ۹ گزارش شد. همچنین بر مبنای داده‌های این ماتریس، میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری معیارهای اصلی استخراج شده است.

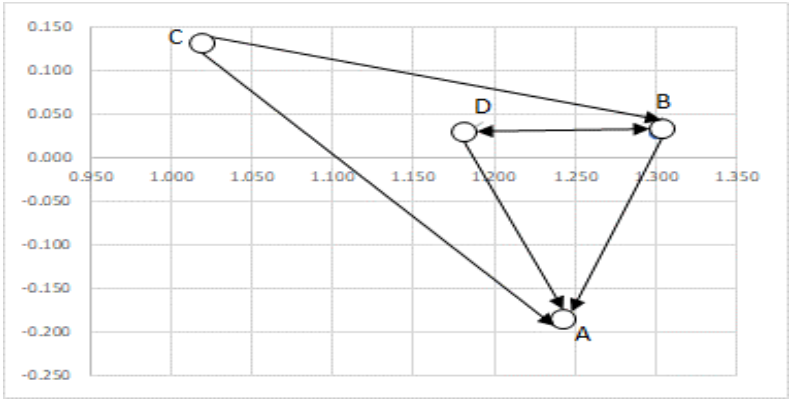
جدول۸. ماتریس ارتباط کامل ابعاد (T_D^{∞})

	A	B	C	D
A	۰,۱٥۹	۰,۱۳۷	۰,۰۹٥	۰,۱۳۷
B	۰,۲۰۲	۰,۱۷۸	۰,۱۲۷	۰,۱٥۷
C	۰,۱۷۱	۰,۱٥٦	۰,۰۹۹	۰,۱٤۹
D	۰,۱۸۲	۰,۱٦٥	۰,۱۲۳	۰,۱۳٤

با استفاده از جدول ۸ تاثیرگذاری و تاثیرپذیری معیارهای اصلی تعیین می‌شود به طریق مشابه مقادیر D و R را محاسبه می‌کنیم. با توجه به جدول ۱۲، معیار شایستگی های رفتاری دارای D-R منفی است یعنی ماهیت معلول و تاثیرپذیر دارد و همه معیارها بر روی این معیار تاثیر می‌گذارند.

جدول ۹. تاثیرگذاری و تاثیرپذیری معیارهای اصلی

نام معیار	کد	D	R	D+R	D-R	نوع معیار
شایستگی‌های رفتاری	A	۰,۵۲۸	۰,۷۱٤	۱,۲٤۲	۰,۱۸٦-	معلول
شایستگی‌های منظر و راهبردی	B	۰,٦٦٤	۰,٦۳٦	۱,۳۰۰	۰,۰۲۸	علت
شایستگی‌های اجرایی و فنی	C	۰,۵۷۵	۰,٤٤٤	۱,۰۱۹	۰,۱۳۱	علت
شایستگی‌های ترکیبی صنعت ٤	D	۰,٦۰۵	۰,۵۷۷	۱,۱۸۲	۰,۰۲۷	علت



شکل ۷. نمودار علی عوامل اصلی

با توجه به شکل ۷، معیار شایستگی‌های منظر و راهبردی (B1) دارای بیشترین مقدار D+R است پس بیشترین ارتباط را با سایر عوامل سیستم دارد.

جدول ۱۰. ماتریس ارتباط کامل ابعاد (T_D^{∞}) نرمال شده

	A	B	C	D
A	۰,۳۰۱	۰,۳۰٤	۰,۲۹۸	۰,۳۰۱
B	۰,۲٦۰	۰,۲٦۸	۰,۲۷۱	۰,۲۷٤
C	۰,۱۸۰	۰,۱۹۱	۰,۱۷۱	۰,۲۰٤
D	۰,۲۵۹	۰,۲۳۷	۰,۲۵۹	۰,۲۲۲

نرمال سازی ماتریس ارتباط کامل (Tc)

در این گام ماتریس ارتباط کامل را نرمال می‌کنیم.

تشکیل سوپر ماتریس ناموزون

در این گام کافیست بر اساس رابطه ترانهاده ماتریس نرمال ارتباطات کامل را تشکیل دهیم که این ماتریس ترانهاده همان ماتریس ناموزون اولیه است.

تشکیل سوپر ماتریس موزون

در این گام بر اساس رابطه ماتریس ارتباط کامل نرمال T_D^{∞} ترانسپوز شده در سوپر ماتریس ناموزون ضرب شود.

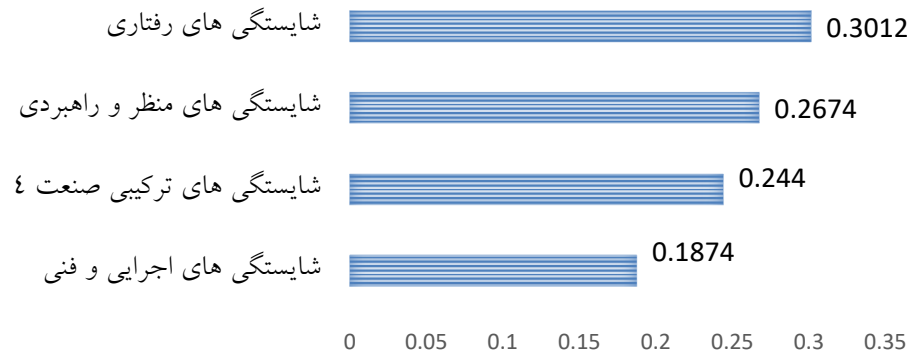
محدود کردن سوپر ماتریس موزون

در این مرحله، به منظور دستیابی به وزن‌های نهایی و پایدار، سوپر ماتریس موزون به توان رسانده شد تا فرآیند همگرایی آن تکمیل گردد. نتایج محاسبات نشان داد که این ماتریس در توان پنجم به همگرایی رسید.

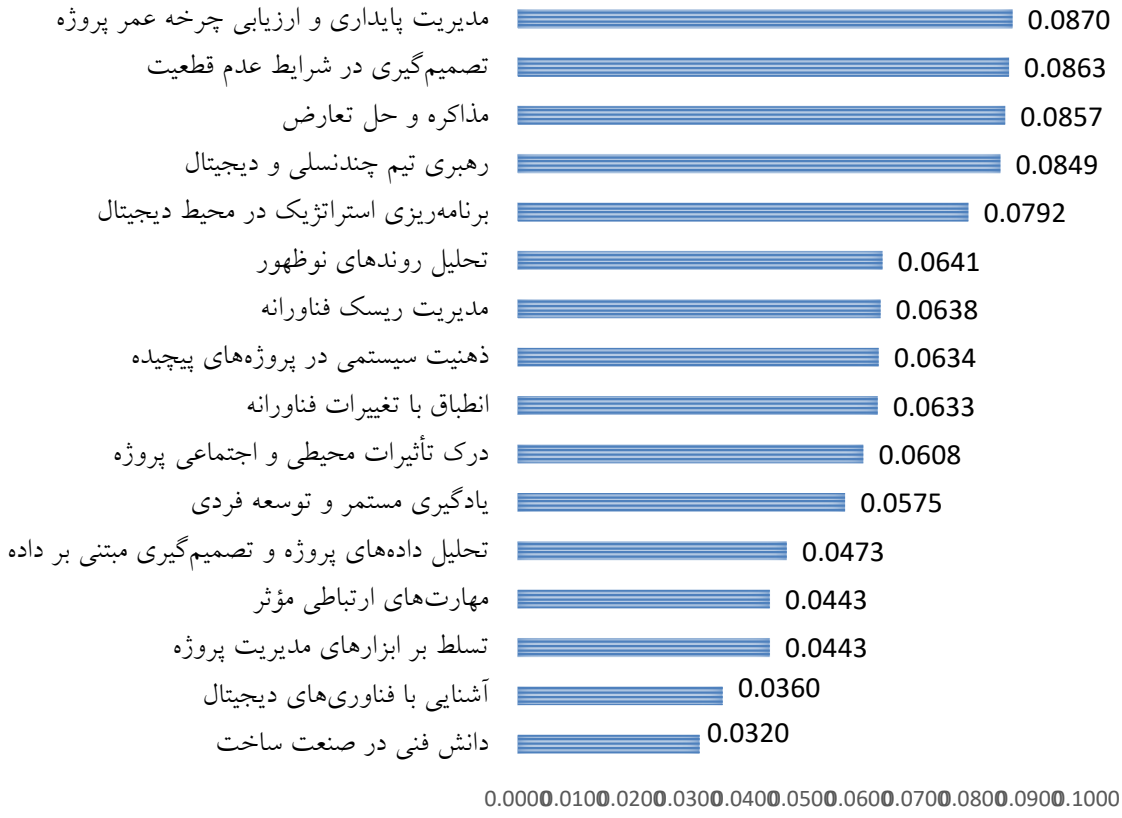
وزن‌های نهایی معیارها و زیرمعیارها

وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها از سوپرماتریس محدود شده استخراج می‌شود و در شکل ۰ آورده شده است.

بر این اساس در بین معیارهای اصلی، معیار شایستگی های رفتاری (A) با وزن ۰,۳۰۱۲ رتبه اول را کسب کرده است. معیار شایستگی های منظر و راهبردی (B) با وزن ۰,۲۶۷٤ رتبه دوم و شایستگی های ترکیبی صنعت ٤ (D) با وزن ۰,۲٤٤ رتبه سوم را کسب کرده است. در بین زیرمعیارها نیز، مدیریت پایداری و ارزیابی چرخه عمر پروژه با وزن ۰,۰۸۷ رتبه اول را کسب کرده است. تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت با وزن ۰,۰۸٦۳ رتبه دوم و مذاکره و حل تعارض با وزن ۰,۸۵۷ رتبه سوم را کسب کرده است.



شکل ۸ وزن و رتبه نهایی معیارهای اصلی



شکل ۹. وزن و رتبه نهایی زیرمعیارها

۵-نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی، پالایش و اولویت‌بندی شایستگی‌های کلیدی مدیران پروژه در صنعت ساخت ایران و متناسب‌سازی آن‌ها با الزامات انقلاب صنعتی چهارم انجام شد. در این راستا، از یک رویکرد آمیخته بهره گرفته شد که شامل خروجی‌های کیفی حاصل از روش دلفی فازی و خروجی‌های کمی مبتنی بر مدل DANP است. در بخش کیفی، شایستگی‌های اولیه با مرور نظام‌مند ادبیات و منابع معتبر مدیریتی استخراج و سپس طی دو مرحله دلفی فازی توسط خبرگان صنعت ساخت ایران پالایش شدند. نتیجه این مرحله منجر به تأیید ۱۶ زیرمعیار در قالب ٤ دسته اصلی شایستگی شامل شایستگی‌های رفتاری، راهبردی، اجرایی–فنی و ترکیبی صنعت ٤,۰ شد. همچنین تحلیل شکاف میان نظرات خبرگان نشان داد که اجماع ایجادشده در مرحله دوم دلفی پایدار بوده و هیچ‌یک از شاخص‌ها میانگین قطعی کمتر از ۰,۷۰ نداشتند؛ بنابراین تمامی شاخص‌های تأییدشده وارد مرحله کمی شدند. در بخش کمی، روابط علّی و وزن معیارها با استفاده از مدل یکپارچه DANP محاسبه شد. خروجی‌های این مرحله نشان داد که در سطح معیارها، شایستگی‌های رفتاری با وزن ۰,۳۰۱۲ بیشترین اهمیت را دارند و پس از آن، شایستگی‌های منظر و راهبردی و شایستگی‌های ترکیبی صنعت ٤,۰ قرار می‌گیرند. در سطح زیرمعیارها نیز، «مدیریت پایداری و ارزیابی چرخه عمر پروژه» بالاترین وزن (۰,۰۸۷) را به خود اختصاص داد. زیرمعیارهای «تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت»، «مذاکره و حل تعارض» و «رهبری تیم‌های چندنسلی و دیجیتال» نیز در میان گزینه‌های برتر قرار گرفتند. تحلیل D–R نشان داد که برخی شاخص‌ها ماهیت علّی دارند (مانند تحلیل روندهای نوظهور، یادگیری مستمر و دانش فنی)، در حالی که بخش دیگری از شاخص‌ها در گروه معلولی قرار می‌گیرند و از سایر عوامل تأثیر می‌پذیرند. ترکیب نتایج کیفی و کمی نشان داد که موفقیت مدیران پروژه در عصر صنعت ٤,۰ نه‌تنها به تسلط بر فناوری‌ها و ابزارهای دیجیتال وابسته است، بلکه وابستگی عمیقی به مهارت‌های انسانی، تحلیل‌گرانه و راهبردی دارد. از این رو، شایستگی‌هایی چون مهارت‌های ارتباطی مؤثر، تصمیم‌گیری در شرایط عدم قطعیت، و رهبری تیم‌های چندنسلی در کنار توانایی تحلیل داده‌ها، مدیریت ریسک فناورانه و ذهنیت سیستمی، به‌عنوان پایه‌های اصلی عملکرد موفق مدیران پروژه مطرح شدند. این پژوهش نشان داد که با وجود اهمیت رو به رشد این شایستگی‌ها، چالش‌هایی همچون نبود نیروی متخصص در فناوری‌های نوین، مقاومت فرهنگی در برابر تغییرات دیجیتال و محدودیت‌های زیرساختی می‌تواند روند توسعه این شایستگی‌ها را کند نماید.

بنابراین، توسعه برنامه‌های آموزشی هدفمند، ارتقای فرهنگ سازمانی، تقویت زیرساخت‌های فناورانه و پذیرش تدریجی فناوری‌های صنعت ٤,۰ برای سازمان‌های عمرانی کشور ضروری است. به‌طور کلی، مدل نهایی استخراج‌شده از تلفیق خروجی‌های کیفی و کمی این پژوهش، چارچوبی کاربردی برای ارزیابی و توسعه شایستگی مدیران پروژه فراهم می‌کند و می‌تواند در برنامه‌ریزی منابع انسانی، طراحی دوره‌های آموزشی و بهبود نظام مدیریت پروژه در پروژه‌های بزرگ عمرانی و زیرساختی مورد استفاده قرار گیرد.

٦-مراجع

- قربانی، ا. (۱٤۰۲) مروری بر شایستگی‌ها و الگوی رهبری مدیران پروژه موفق در صنعت ساخت. *نشریه مهندسی و مدیریت ساخت*.

–موسوی، پ.، یوسفی‌زنوز، ر، و حسن‌پور، ا. (۱۳۹٤). شناسایی ریسک‌های امنیت اطلاعات سازمانی با استفاده از روش دلفی فازی. *نشریه مدیریت سیستم‌های اطلاعاتی*.

–راهداری، ع.، نصر، م. (۱۳۹٦). چالش‌های اتاق فکر و ارزیابی سیاست‌گذاری با روش دلفی فازی. *فصلنامه مدیریت توسعه*.

-Alaloul, W. S., Liew, M. S., & Zawawi, N. A. W. A. (2020). Industrial Revolution 4.0 in the construction industry: Challenges and opportunities for stakeholders. *Journal of Construction Engineering and Management.*

Awan, A. N., & Saleem, K. (2025). Transformational leadership and dynamic capabilities: Key drivers of portfolio success in SMEs. *International Journal of Management Science.*

-Bartoska, J., Flegl, M., & Jarkovska, M. (2012). IPMA standard competence scope in project management education. *International Education Studies*, 5(6), 167–176.

-Edum-Fotwe, F. T., & McCaffer, R. (2000). Developing project management competency: Perspectives from the construction industry. *International Journal of Project Management*, 18(2), 111–124.

-Gillard, S., & Price, J. (2005). The competencies of effective project managers: A conceptual analysis. *Project Management Journal*, 36(2), 44–52.

-Hirman, M., Benesova, A., Steiner, F., & Tupa, J. (2019). Project management during the Industry 4.0 implementation with risk factor

-Ribeiro, A., Amaral, A., & Barros, T. (2021). Project manager competencies in the context of Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 181, 1141–1149.
-Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum.
-You, Z., & Feng, L. (2020). Integration of Industry 4.0-related technologies in construction industry: A framework of cyber-physical system. *Automation in Construction*, 114, 103–122.
analysis. *Procedia Manufacturing*, 39, 203–210.
-Jally, V., Kulkarni, V. N., Gaitonde, V. N., & Satis, G. J. (2021). A review on project management transformation using Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings.*
-Kissi, E., Eluerkeh, K., Aigbavboa, C., & Addy, M. (2024). Project managers' competencies in the era of digitalization: The case of the construction industry. *Built Environment Project and Asset Management.*
-PMI. (2017). *Project Manager Competency Development Framework (PMCDF)*. Project Management Institute.

Developing a Project Manager Competency Model for Large-Scale Infrastructure and Transportation Projects in Iran Based on Industry 4.0 Characteristics (A Fuzzy Delphi–DANP Approach)

Ali Shahriyari, Department of Construction Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
***Farhad Saeedi,** Department of Civil Engineering, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.*
Mahyar Zandpourasl, Department of Construction Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: saeedi.pm@iau.ac.ir

Received: February 2026- Accepted: May 2026

ABSTRACT

The growing complexity of large-scale infrastructure and transportation megaprojects—together with schedule pressures, escalating costs, and the emergence of advanced technologies—has amplified the critical role of project managers' competencies in determining project success or failure. The advent of the Fourth Industrial Revolution and technologies such as Building Information Modeling (BIM), the Internet of Things (IoT), big data analytics, and cyber–physical systems have rendered traditional project management approaches insufficient and underscored the necessity of redefining key project management competencies. Despite this importance, Iran's construction and transportation sectors still lack a comprehensive, context-specific, and Industry 4.0–oriented competency model for identifying and prioritizing project managers' capabilities. This study aims to develop a competency model for project managers in Iran's large-scale infrastructure and transportation projects using a Fuzzy Delphi–DANP approach. The research adopts a mixed-method design. In the qualitative phase, 57 initial competencies were derived from an analysis of 90 high-quality academic references and international standards such as PMCDF and ICB. These competencies were refined through two rounds of Fuzzy Delphi with the participation of 15 experts, yielding a final validated set of 34 competencies. In the quantitative phase, DEMATEL–ANP was employed to determine causal–influential relationships and compute final weights. The DEMATEL matrix indicated that the four major competency categories—technical competencies, leadership–behavioral competencies, digital–technological competencies, and integrated Industry 4.0 competencies—exhibited a combined influence of 0.842 and a combined dependence of 0.691, demonstrating strong mutual interaction among them. Results showed that integrated Industry 4.0 competencies had the highest final weight (0.321), followed by leadership–behavioral competencies (0.286), digital competencies (0.241), and technical competencies (0.152). At the sub-competency level, *systems thinking* (0.097), *transformational leadership* (0.091), *digital literacy* (0.083), *data-driven decision-making* (0.078), and *proactive risk management* (0.074) were identified as the top priority competencies. The proposed model provides a practical tool for the selection, assessment, and development of project managers in government agencies, contracting firms, and project governance bodies. It also supports the transition of Iran's construction industry toward digital, agile, and data-centric project management. Furthermore, the model offers a scientific foundation for designing training programs, developing performance standards, and enhancing project management systems in national infrastructure and transportation projects.

Keywords: Project Manager Competencies; Large-Scale Infrastructure and Transportation Projects; Fourth Industrial Revolution; Smart Project Management