

تدوین چارچوب سنجش پیچیدگی در پروژه‌های صنعتی ایران با استفاده از روش دلفی

امید تاسا^{*}، محمود گلابچی^۱، مهدی روانشادنی^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده عمران معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. استاد، گروه مدیریت پروژه و ساخت، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت ساخت، دانشکده عمران معماری و هنر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۰۶

چکیده

تحقیقات نشان داده‌اند که پیچیدگی ممکن است عامل مهمی در شکست یک پروژه در رسیدن به اهداف هزینه، زمان و کیفیت باشد. با آنکه در مطالعات بسیاری شاخص‌های مهم پیچیدگی پروژه‌ها شناسایی شده، اما تأثیر وزنی آنها به‌ندرت بررسی شده است. در این مقاله، ادبیات پیچیدگی پروژه برای توسعه یک چارچوب ساده و پویا بررسی شده و ۴۰ شاخص پیچیدگی در ۹ فاکتور شناسایی و طبقه‌بندی گردید، سپس جهت ارزیابی در اختیار ۳۰ کارشناس خبره صنعتی و دو مشاور پژوهشی قرار داده شد، تا نقش هر شاخص را در پیچیدگی پروژه‌های صنعتی ارزیابی کنند. طی سه مرحله اجرای روش دلفی این شاخص‌ها، اعتبارسنجی، وزن‌دهی و رتبه‌بندی شدند. نتایج نشان داد که شاخص‌های مربوط به فاکتورهای پیچیدگی زمینه، محتوا و وابستگی پروژه بیشترین وزن انباشته را دارند. همچنین وجود عدم قطعیت و ابهام در بالا رفتن وزن هر شاخص نقش تأثیرگذاری را نشان داد. از چارچوب ارائه شده، جهت سنجش میزان پیچیدگی در ۱۴ پروژه صنعتی استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده سطح بالای پیچیدگی در پروژه‌های بین‌المللی در حال اجرا توسط شرکت‌های ایرانی بود. با وجود تفاوت در رویکرد مدیریت پیچیدگی در این پروژه‌ها، اشتراکاتی شناسایی شدند که راهکارهای پیشنهادی برای آنها می‌توانند به مدیران پروژه‌های دیگر در دستیابی به نتایج مثبت برای مدیریت پیچیدگی کمک کنند. مدیران پروژه با کمک نتایج این تحقیق می‌توانند چارچوبی برای سنجش مدیریت پیچیدگی در اختیار داشته باشند و به کارشناسان صنعت اجازه می‌دهد اقدام به اولویت‌بندی و تخصیص کارآمد منابع محدود خود در پروژه‌های پیچیده نمایند.

کلیدواژه‌ها: پروژه، پروژه صنعتی، پروژه پیچیده، شاخص پیچیدگی، روش دلفی

۱- مقدمه و بیان مسئله

در منابع تحقیقاتی و در میان کارشناسان پروژه غالباً از عبارت پیچیدگی برای توصیف یکی از علت‌های بروز هزینه‌های بیش‌ازحد، تأخیرهای زمانی و عملکرد ضعیف پروژه استفاده می‌شود [۳] [۲] [۱]. بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که موفقیت نهایی پروژه بستگی زیادی به پیچیدگی آن دارد، که رفع این پیچیدگی‌ها به وسیله روش‌های مدیریتی مرسوم امکان‌پذیر نیست [۴] [۵] از این رو، درک صحیح پیچیدگی پروژه و شاخص‌های آن، که عاملی بنیادی در مدیریت کارآمد است، موضوع بسیاری از تحقیقات بوده است [۶] [۷] [۸] [۹] [۱۰]. پیچیدگی‌ها همگی تأثیر یکسانی روی موفقیت پروژه ندارند [۱۱] [۱۲]، از این رو لازم است وزن و تأثیر هر شاخص روی کل پیچیدگی پروژه را شناسایی و کمیت‌سنجی کنیم. از آنجا که پیچیدگی یکی از ابعاد حیاتی پروژه محسوب می‌شود، برای کنترل و مدیریت پروژه لازم است اندازه‌گیری شود [۱۳]. تحقیقات متعددی برای تعیین سطح معناداری و مقیاس‌های امتیازدهی به شاخص‌های پیچیدگی انجام شده است و از منظرهای مختلفی به آن نگاه شده است اما در تقسیم‌بندی انواع پروژه‌ها و بررسی بر اساس نوع پروژه هنوز ضعف‌های بسیاری دیده می‌شود [۱۴] [۱۵] [۱۶]. هر شاخص پیچیدگی به نوعی تأثیری مثبت یا منفی روی موفقیت پروژه دارد [۱۸] [۱۹]، بنابراین شناسایی، کمیت‌سنجی و وزن‌دهی به هر پارامتر پیچیدگی و تأثیر آن روی پیچیدگی کل پروژه از اهمیت بالایی برخوردار است. اقتصاد کشورهای در حال توسعه (مانند ایران) همواره با کمیت و کیفیت پروژه‌های صنعتی آن ارتباط تنگاتنگی دارند، تجربیات نشان می‌دهند که افزایش پیچیدگی و همچنین تغییر رفتار پیچیدگی در طول چرخه حیات پروژه باعث انحرافات بسیار در عملکرد این پروژه‌ها شده است. با آنکه تحقیقات متعددی به شناسایی فاکتورهای اصلی پیچیدگی پرداخته‌اند، اما اثر وزنی هر شاخص پیچیدگی روی پروژه به ندرت مطالعه یا تحلیل شده است، به همین دلیل در یک سبد از پروژه‌های صنعتی مقایسه‌ای بین آنها از لحاظ میزان پیچیدگی انجام نشده است. بر این اساس، هدف کلی این تحقیق پرکردن این شکاف و پاسخ‌دادن به پرسش‌های زیر بود:

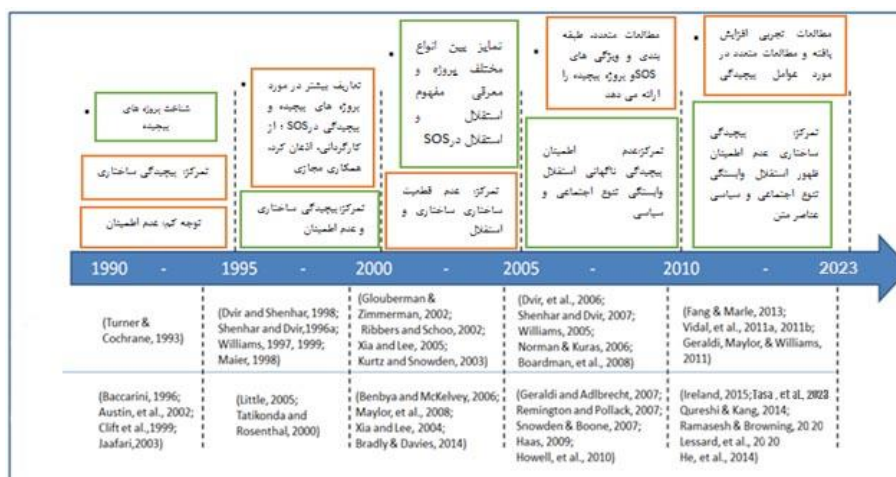
- پرسش ۱: فاکتورها و شاخص‌های پیچیدگی در پروژه‌های صنعتی کدامند؟
- پرسش ۲: هر فاکتور و شاخص‌های به وجود آورنده آن، چه سهمی در پیچیدگی یک پروژه صنعتی دارند؟

• پرسش ۳: پیچیدگی یک پروژه صنعتی را چگونه میتوان محاسبه نمود؟
هدف کلی تحقیق حاضر شناسایی، اعتبارسنجی، رتبه‌بندی و وزن‌دهی به فاکتورها و شاخص‌های پیچیدگی در پروژه‌های صنعتی و ارائه چارچوبی جهت سنجش میزان پیچیدگی یک پروژه صنعتی است. این هدف با دستیابی به سه هدف فرعی زیر محقق می‌شود: (۱) تعیین فهرستی از شاخص‌ها و شاخص‌های پیچیدگی بالقوه، (۲) محاسبه وزن و رتبه‌بندی شاخص‌های پیچیدگی معتبر (۳) ارائه چارچوبی برای سنجش پیچیدگی در پروژه‌های صنعتی. نویسندگان بر این باورند که این نتایج این تحقیق به مدیران پروژه کمک می‌کند تا منابع موجود را هوشمندانه‌تر تخصیص دهند تا بتوانند سطوح پیچیدگی پروژه را مدیریت کنند و در نتیجه با هزینه‌های بیش‌ازحد و تأخیرهای زمانی کمتری روبرو شوند.

۲- ادبیات پژوهش

۲-۱- پیچیدگی پروژه

بیش از نیم قرن از شروع دوره جدید مدیریت پروژه می‌گذرد، پروژه‌ها با توجه به رفتار و ویژگی‌های غیرمنتظره‌ای که پیش می‌آید، همواره دچار تغییر ماهیت می‌شوند. در میان کارشناسان پروژه غالباً از عبارت پیچیدگی برای توصیف یکی از علت‌های بروز هزینه‌های بیش‌ازحد، تأخیرهای زمانی و عملکرد ضعیف پروژه استفاده می‌شود، تحقیقات نوین درباره پیچیدگی از اواخر دهه ۱۹۹۰ آغاز شد، و توجه به این موضوع در سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای داشته است. در شکل شماره ۱ مهمترین نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته در این بخش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ ارائه شده است. سال‌ها هیچ تعریف درستی از پیچیدگی در دست نبود، و این امر باعث شد تا بسیاری از محققان به دنبال یافتن تعریفی استاندارد برای این مفهوم باشند [۲۰] [۲۱] [۲۲]. محققین بسیاری تلاش کردند تا پیچیدگی را تعریف کنند در جدول شماره ۱ تعاریف ارائه شده توسط محققین مختلف در طول این سالها گردآوری شده است این تحقیقات بیشترین ارجاعات را به خود اختصاص داده بودند، علایق پژوهشی محققین در پیچیدگی پروژه بر چهار حوزه متمرکز شده است: (۱) عوامل مؤثر بر پیچیدگی پروژه، (۲) تأثیر و پیامدهای پیچیدگی پروژه، (۳) روش‌های اندازه‌گیری، (۴) مدیریت پیچیدگی پروژه



شکل ۱. مهمترین نتایج حاصل از مطالعات صورت گرفته از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳

توزیع دسته بندی موضوعات تحقیق در پیچیدگی پروژه در ده سال گذشته، در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲. توزیع دسته بندی موضوعات تحقیق در پیچیدگی پروژه از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ (منبع مقالات: سایت گوگل اسکولار).

جدول ۱: تعاریف پیچیدگی پروژه مستخرج از ادبیات موضوع

منبع	سال انتشار	نوع مطالعه	تعریف پیچیدگی پروژه
(Turner & Cochrane, 1993) [22]	۱۹۹۳	مفهومی	درجه‌ای که آیا اهداف و روش‌های دستیابی به آنها به خوبی تعریف شده است
(Baccarini, 1996) [13]	۱۹۹۶	بازبینی	پیچیدگی "مشکل از قطعات متفاوتی زیادی است و می‌تواند از لحاظ تمایز و وابستگی متقابل به کار گرفته شود
(Cicmil & Marshall, 2005) [23]	۲۰۰۵	مطالعه تجربی	پیچیدگی "ناشی از ابهام، پارادوکس و ابعاد زمان، فضا و قدرت فرایندهای سازماندهی در تنظیمات پروژه" است
(Grisogono, 2006) [24]	۲۰۰۶	گزارشی	"نسبت تعداد روش‌های دریافت نتیجه اشتباه به تعداد روش‌های درست کردن آن" پیچیدگی را شکل می‌دهد
(Hatch & Cunliffe, 2012) [25]	۲۰۱۲	مفهومی	پیچیدگی "شامل بسیاری از عناصر مختلف با تعامل چندگانه و حلقه بازخورد بین عناصر" است
(Bakhshi, et al. 2016) [26]	۲۰۱۶	مفهومی	آرایش پیچیده از بخش‌های متنوع و مرتبط با هم که هر عضو می‌تواند پیوسته تغییر یا تکامل یابد و با این عمل اهداف پروژه را تحت تأثیر خود قرار دهد.
(Maylor & Turner, 2017) [27]	۲۰۱۷	گزارشی	رابطه بین پیچیدگی و پاسخگویی یک رابطه بازگشتی و دوسویه است. این دو باید به عنوان مفهومی دوگانه تبیین گردند؛ به صورتی که محدودیت و ناتوانی در یکی می‌تواند دیگری را متأثر نماید و برعکس
(Sridarran, et al., 2017) [28]	۲۰۱۷	گزارشی	هنگامی که پروژه شامل تعدادی وابستگی‌های داخلی باشد و هر کدام بتوانند تأثیرگذاری‌های غیر قابل پیش بینی بروی سایر عناصر تأثیرگذار داشته باشند، از واژه پیچیده استفاده می‌نماییم.
(Bjorvatn & Wald, 2018) [29]	۲۰۱۸	مفهومی	پیچیدگی تأثیرات مخربی بر تمام تلاش‌های انجام شده توسط تیم مدیریت پروژه جهت دستیابی به ظرفیت‌های موفقیت در پروژه دارد.
(Bosch-Rekvelde, et al., 2018) [30]	۲۰۱۸	مطالعه موردی	افزایش پیچیدگی در پروژه‌ها به عنوان یکی از علل شکست در پروژه‌ها است.
(Hartono, 2018) [31]	۲۰۱۸	مفهومی	عدم اطمینان به عنوان یک بخش کامل از مفاهیم ثانویه پیچیدگی در نظر گرفته می‌شود که از ابتدا اثبات شده است؛ بنابراین دورنمایی از پیچیدگی می‌تواند دید تحلیلی بسیار جامعی را از ریسک به ما بدهد پیچیدگی می‌تواند ریسک و دیگر جنبه‌های مربوط به آن را پوشش دهد.
(Qiu, et al., 2019) [32]	۲۰۱۹	گزارشی	به نظر می‌رسد، پیچیدگی در مگا پروژه‌ها به دو سطح اجزا بزرگ (macro component) و کوچک (micro) تقسیم می‌شود. در سطح بزرگ قوانین، سیاست‌ها و پیچیدگی‌های اجتماعی را داریم. در سطح کوچک پیچیدگی، فرهنگ سازمانی، ارتباطات و رشد را داریم.
(Mamedio & Meyer, 2020) [33]	۲۰۲۰	مطالعه تجربی	هر پروژه‌ای با توجه به سه بعد می‌تواند پیچیده باشد: بعد فنی (شامل تخصص‌های فنی و تنوع)، منابع انسانی (شامل نوآوری و روابط غیر رسمی) و سیاسی (تضادها و عدم توافقات)
(Luo, et al., 2020) [34]	۲۰۲۰	گزارشی	ارتباط کاملاً پویایی بین پیچیدگی پروژه و موفقیت در آن وجود دارد و این دو کاملاً وابسته به هم هستند.
(Clark, 2021) [35]	۲۰۲۱	مطالعه موردی	پیچیدگی عبارت است از ابهام و تضادفی بودن که از طریق روابط داخلی و خارجی پروژه ظاهر می‌شود و باعث می‌شود، پروژه غیر قابل پیش بینی رفتار کند
(Ghalel, et al 2022) [36]	۲۰۲۲	مطالعه موردی	با تعدادی از تعاملات غیرخطی درگیر در پیچیدگی و عملکرد پروژه و در سراسر آن، مدل‌سازی و ارزیابی قدرت این تعاملات با استفاده از تکنیک‌های مرسوم امکان‌پذیر نیست.
(Ahmed, R., & Jawad, M, 2022) [37]	۲۰۲۲	گزارشی	به طور کلی، پیچیدگی به دشواری درک پدیده‌های خاص در یک زمینه یا محیط معین اشاره دارد. به عبارت دقیق‌تر، استفاده از آن به تعامل پیچیده بین بخش‌های یک سیستم اشاره دارد. پیچیدگی در گروه‌های مختلف رشته‌ها و در ارتباط با سیستم‌های مختلف به روش‌های مختلف تعریف می‌شود.
(Sabini, L., & Silvius, G. 2023) [38]	۲۰۲۳	گزارشی	پیچیدگی پروژه بازخورد و روابط بین تعداد فزاینده نقاط ابهام و عدم قطعیت است.
(Jia, F & et al, 2023) [39]	۲۰۲۳	مطالعه تجربی	مجموعه‌ای از روابط درونی، میزان تفکیک و تأثیر متعاقب عناصر پروژه در تصمیم‌گیری‌های پروژه است
(Tasa, et al., 2023) [40]	۲۰۲۳	مطالعه موردی	هرگاه مجموعه‌ای متشکل از عوامل متعدد و گوناگون، در مقیاس‌های متفاوت، با وابستگی ذاتی و جدایی‌ناپذیر عوامل با همدیگر وجود داشته باشند و در روابط و دستاوردهای این مجموعه درجاتی از ابهام وجود داشته باشد و نتوان با حذف و قطع برخی از مؤلفه‌ها و اعضا، به کوچک‌تر ساختن آن مجموعه پرداخت، پیچیدگی وجود دارد. به این ترتیب می‌توان پیچیدگی پروژه را یک ویژگی از پروژه تعریف کرد که درک، پیش‌بینی و کنترل رفتار کلی آن دشوار است، حتی زمانی که اطلاعات کافی در مورد سیستم پروژه وجود دارد.
(Boonstra &Reezigt 2023) [41]	۲۰۲۳	مفهومی	پیچیدگی پروژه "درجه ارتباط متقابل بین ویژگی‌های پروژه و رابط‌ها، و تأثیر مهم آن‌ها بر قابلیت پیش‌بینی و عملکرد" است.

۲-۱-۱- چارچوب‌های پیچیدگی پروژه

یکی از مطالعات اولیه در این حوزه توسط باکارینی (۱۹۹۶) انجام شد. او پیچیدگی پروژه را به دو دسته سازمانی و فنی تقسیم‌بندی کرد [۱۳]. مایلر^۱ (۲۰۰۳) با تکیه به نتایج کار باکارینی عوامل پیچیدگی پروژه را به سه دسته پیچیدگی سازمان، فناوری و منابع تقسیم کرد [۴۲]. ویدال و مارلی^۲ (۲۰۰۸) عوامل مؤثر بر تنوع پروژه، ابعاد پروژه، روابط درونی پروژه و عناصر پروژه را شناسایی کردند [۴۳]. مایلر و همکاران (۲۰۰۸) عناصر اصلی پیچیدگی پروژه را مأموریت، سازمان، تحویل، سهام‌داران و تیم معرفی کرد [۴۴]. صفاپور (۲۰۱۷) تأثیر پیچیدگی پروژه روی عملکرد هزینه‌های مرحله‌ای پروژه‌های صنعتی را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که با استفاده از «بهترین درس آموخته‌ها»^۳ می‌توان عواقب ناخواسته پیچیدگی پروژه‌ها را به شکل چشم‌گیری مدیریت کرد [۴۵]. رمینگتون و پولاک (۲۰۰۷) عوامل مؤثر را به چهار جنبه تقسیم‌بندی کردند: تجربه اعضای سازمان، ساختار سازمانی پروژه و هماهنگی آن با سایر مشارکت‌کنندگان اصلی، فرهنگ پروژه، و فرآیند کسب‌وکار پروژه [۴۶]. بوش-رکولت و همکاران (۲۰۱۱) پیچیدگی پروژه را به سه دسته فنی، سازمانی و محیطی تقسیم‌بندی کردند؛ [۴۷] در حالی که سنسکو^۴ و همکاران (۲۰۱۲) این سه دسته‌بندی را در نظر گرفتند: پیچیدگی محصول، پیچیدگی فرآیند و پیچیدگی سازمانی [۴۸]. در شکل جدول شماره ۲، شاخص‌ترین چارچوب‌های موجود در موضوع پیچیدگی پروژه معرفی شده‌اند.

^۱ Maylor

^۲ Marle

^۳ best practices

^۴ Senescu

جدول ۲ چارچوب‌های شاخص موجود در موضوع پیچیدگی پروژه

منبع	صنعت	مبنای چارچوب	منبع	صنعت	مبنای چارچوب
(Bosch-R, et al. 2011) [47]	صنایع عمومی	شاخص‌های سازمانی و تکنولوژیکی (TOE frameworks)	(Baccarini, 1996) [13]	ساختمان	شاخص‌های سازمانی و تکنولوژیکی (TO frameworks)
(Qazi, A, et al. 2016) [59]	ساختمان		(W. Xia, G. Lee, 2004) [49]	تکنولوژی اطلاعات	
(Gajić, S., & Palčić, I. 2019) [60]	پروژه‌های بین‌المللی		(Vidal, F. Marle, J.-C. Bocquet, 2011) [17]	صنایع عمومی	
(Kim, S, et al. 2021) [61]	ساختمان		(Lu, Y. et al. 2015) [50]	ساختمان	
(Ershadi, M, et al. 2022) [62]	ساختمان		(Ahn, S, et al. 2017) [51]	ساختمان	
(Jia, F, et al. 2022) [63]	حمل و نقل	محیط و ساختار	(Koo, H, et al. 2021) [52]	صنایع عمومی	
(He, Q, et al. 2015) [15]	ساختمان	سازمانی، فناوری، محیطی، هدف، فرهنگی و اطلاعاتی	(Botchkarev, A., & Finnigan, P., 2015) [53]	تکنولوژی اطلاعات	محیط خارجی، پروژه/محیط داخلی و محصول
(Rad, I, et al. 2017) [64]	بخش انرژی	شاخص‌های خارجی و شاخص‌های داخلی	(Nguyen, A, et al. 2015) [54]	حمل و نقل	سازمانی، فناوری، محیطی، اجتماعی سیاسی، زیرساختی و حوزه
(Florice, S, et al. 2016) [65]	صنایع عمومی	سازمانی، فنی، بازاری و نهادی	(Ma, L., & Fu, H. 2020) [55]	ساختمان	سازمانی، فناوری، محیطی، هدف و فرهنگ
(Jaber, H, et al. 2021) [66]	صنایع عمومی	ذینفعان، تیم پروژه، حاکمیت پروژه، ویژگی‌های پروژه، محصول، منابع، محیط زیست	(Xia, B, et al. 2012) [14]	ساختمان	ساختار و عملکرد، ساخت و ساز روش، فوریت برنامه، اندازه پروژه، شرایط زمین‌شناسی، محیط همسایه و شباهت پروژه
(Kermanshachi, S, et al. 2020) [67]	ساختمان	ذینفعان، حاکمیت، قانونی، برنامه ریزی مالی، رابطها، تعریف محدوده، مکان، طراحی و فناوری، منابع، مدیریت کیفیت و اجرا	(San Cristóbal, et al. 2018) [56]	صنایع عمومی	اندازه، وابستگی متقابل و روابط متقابل، اهداف و مقاصد، ذینفعان، شیوه‌های مدیریت، تقسیم کار، فناوری، مهندسی همزمان، جهانی شدن و وابستگی به زمینه، تنوع
(Mamédo, D. F., & Meyer, V. 2020) [68]	صنایع عمومی	فنی، انسانی و سیاسی	(Shi, Q, et al. 2020) [57]	ساختمان	فنی، اجتماعی، مالی، حقوقی، سازمانی و زمانی
(Owens, J, et al. 2012) [69]	حمل و نقل	هزینه، برنامه، طراحی، زمینه و تامین مالی	(Chapman, R. J 2016) [58]	راه و ریل و حمل و نقل	هزینه، برنامه، طراحی، زمینه و تامین مالی

با بررسی این چارچوب‌ها مشخص می‌گردد که سازمان، فناوری، وظایف، فعالیت‌ها، منابع و اهداف، اجزای کلان پروژه‌ها به عنوان سیستم‌های پیچیده هستند و محیط بیرونی متشکل از شرایط بازار، سیاسی، قانونی و طبیعی است. بنابراین، شناسایی شاخص‌های پیچیدگی پروژه با تجزیه اجزای سیستم پروژه، یکی از رویکردهای مفید جهت نیل به هدف این تحقیق است.

۲-۱-۲- سنجش و اندازه‌گیری پیچیدگی پروژه

پیچیدگی پروژه موضوعی نوظهور است، و کمیت‌سنجی دقیق آن کار دشواری است. برخی از محققان اهمیت اندازه‌گیری پیچیدگی در تحلیل پروژه‌ها، خصوصاً در پروژه‌های صنعتی را درک و ثبت کرده‌اند [۱۹] [۲۱]. برخی نیز عوامل اصلی پیچیدگی را شناسایی و سپس دسته‌بندی کرده‌اند. اهمیت اندازه‌گیری پیچیدگی پروژه در تحلیل پروژه‌ها توسط چندین محقق، به ویژه در پروژه‌های بزرگ [۱۵] بررسی و ثبت شده است. سینها^۱ و سینگ^۲ (۲۰۰۶) چارچوبی برای اندازه‌گیری پیچیدگی پروژه از طریق اجرای یک شاخص پیشنهاد کردند [۷۰]. وود^۳ و اشتون^۴ (۲۰۱۰) مدلی برای اندازه‌گیری پیچیدگی طی مراحل اولیه توسعه پروژه تدوین کردند [۷۱]. ویدال و همکاران (۲۰۱۱) ۱۸ شاخص پیچیدگی را شناسایی کردند و مدلی ساختند که از فرآیندهای سلسله‌مراتبی تحلیلی^۵ برای اندازه‌گیری پیچیدگی استفاده می‌کرد [۱۷]. شفیع منفر و جناب (۲۰۱۲) برای اندازه‌گیری پیچیدگی‌های ناشی از پروژه‌های طراحی از ماتریس طراحی ساختار پیچیده^۶ استفاده کردند [۷۲]. لو و همکاران (۲۰۱۵) برای اندازه‌گیری سطح پیچیدگی پروژه‌ها مدلی برای اجرای نرم‌افزار پروجکت سیم^۷ ایجاد کردند [۵۰]. لیو (۲۰۱۵) سلسله‌مراتب فناوری-سازمان را برای پیچیدگی پروژه معرفی کرد و شاخص‌های پیچیدگی را در دو گروه اصلی جای داد: عوامل پیچیدگی سازمانی و وظیفه‌ای [۱۱]. دائو و همکاران (۲۰۱۶) مطالعه جامعی برای شناسایی شاخص‌ها، نگرش‌ها و دسته‌بندی‌های پیچیدگی پروژه در همه مراحل پروژه انجام دادند و ۳۴ شاخص پیچیدگی برتر را معرفی کردند [۱۹]. در تحقیق مشابهی هی و همکاران (۲۰۱۵) به پروژه‌ها در کشور چین پرداخته‌اند. آنها شاخص‌های پیچیدگی متناسب با پروژه‌های صنعتی در کشور چین را پیدا کرده و در دسته‌بندی‌هایی متناسب با فاکتورهای مستخرج از مطالعاتشان جای دادند. آنها ۲۸ شاخص پیچیدگی را پیدا و در ۶ گروه دسته‌بندی کردند که به نظر میرسد دارای نقاط ضعف‌های فراوانی است چه نظر تعداد شاخص‌ها و چه از نظر قابلیت آنها برای تعمیم به پروژه‌های دیگر، علاوه بر این، از نقطه نظر روش‌شناسی، برای محاسبه وزن‌ها از رویکرد شبکه تحلیل استفاده

^۱ Sinaha

^۲ Singh

^۳ Wood

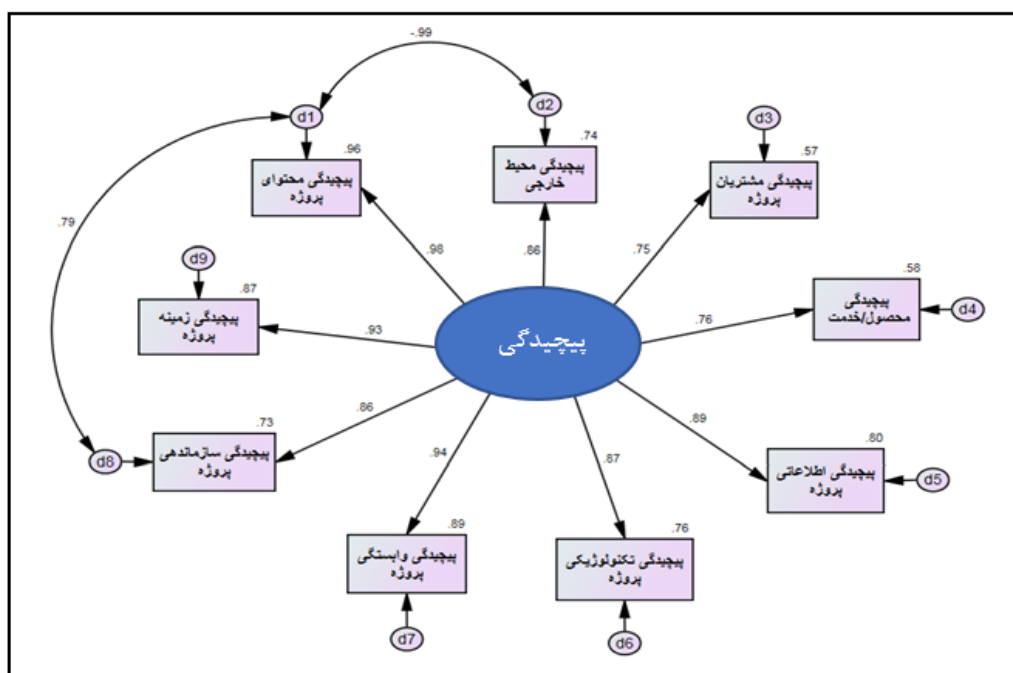
^۴ Ashton

^۵ analytic hierarchy process

^۶ design structure matrix

^۷ ProjectSim

کردند [۱۵]. در تحقیقی تاسا و همکاران (۲۰۲۳) ۱۵۵ شاخص پیچیدگی را شناسایی و در در ۹ گروه فرآیندی (فاکتور پیچیدگی) طبقه‌بندی نمودند، سپس با مطالعه بروی یک پروژه موردی ۴۰ شاخص به عنوان معیارهای اصلی معرفی نمودند، نقطه قوت تحقیق آنها نسبت به مطالعات قبلی جامع بودن شاخصهای شناسایی شده و نقطه ضعف این مطالعات عدم رتبه بندی و نداشتن اوزان برای این شاخص‌ها بود که در تحقیق پیش رو تلاش شد این امر محقق گردد. در شکل ۳ مدل تحلیل عاملی تاییدی این گروه‌های فرآیندی ارائه شده در این مطالعه نمایش داده شده است [۴۰] در تحقیق حاضر ۴۰ شاخص پیچیدگی در ۹ گروه (فاکتور) منتج از این تحقیق به عنوان ورودی‌های اصلی مطالعه در نظر گرفته شد.



شکل ۳. مدل تعاملی تاییدی گروه‌های پیچیدگی‌ساز (تاسا و همکاران ۲۰۲۳)

جدول ۳. فاکتورها و شاخص‌های مستخرج از ادبیات موضوع

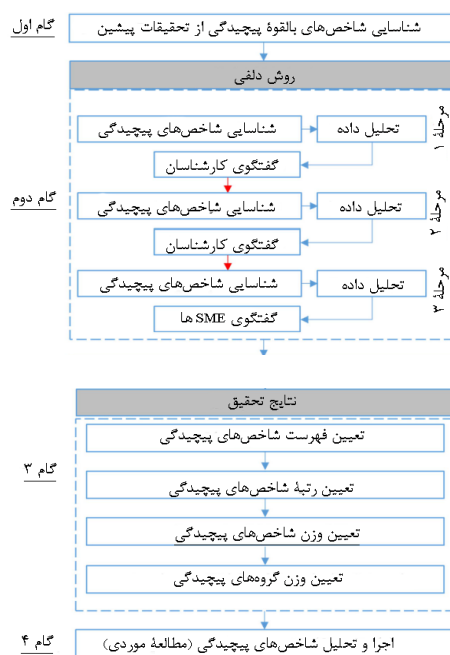
فاکتور	شاخص پیچیدگی
پیچیدگی محتوای پروژه	الزامات ناشناخته یا ضعیف، تعداد و کمیت منابع، فرآیند طراحی غیر معمول، تنوع منابع مالی، تقاضای خلاقیت، تعداد تصمیماتی که باید اتخاذ گردند، سطح همبستگی بین مراحل، ملاحظات مربوط به اهم خط مشی های سازمانی، همکاری و ارتباط بین اعضای تیم (شریک)، تنوع وظایف، دینامیک (نحوه انجام) فعالیت های کاری، فرایند تصمیم گیری چالش ها
پیچیدگی زمینه پروژه	تنوع فرهنگی، راهبر پروژه، عدم قطعیت و وضوح اهداف، هماهنگی اهداف / منافع، مسئله سیاست داخلی (ابهام، اطلاعات پنهان)، تعداد اهداف، مقدار همپوشانی و تعاملات، تنوع منافع ذینفعان، تنوع کارکنان (تجربه، محدوده اجتماعی...)
پیچیدگی سازماندهی پروژه	صلاحیت مدیر پروژه، تنوع سطوح سلسله مراتبی درون سازمان، تعداد اینترفیس ها در سازمان پروژه
پیچیدگی وابستگی پروژه	وابستگی متقابل اهداف / منافع، تنوع وابستگی های سازمانی، وابستگی بین برنامه ها، وابستگی متقابل سیستم های اطلاعاتی، وابستگی متقابل بین سایت ها، ادارات و شرکت ها، وابستگی متقابل بین مولفه های محصول، وابستگی فرایند تکنولوژیکی
پیچیدگی تکنولوژیکی	تنوع فن آوری های مورد استفاده در پروژه
پیچیدگی اطلاعاتی	تعداد سیستم های اطلاعاتی، انواع سیستم های اطلاعاتی که باید ترکیب شوند، سطح اطلاعات پردازش
پیچیدگی محصول/خدمت	محصولات بسیار سفارشی
پیچیدگی مشتریان	تعدد تامین کنندگان، پیمانکاران یا فروشندگان
پیچیدگی محیط خارجی پروژه	محیط زیست تغییر تکنولوژی، اقتصاد و طبیعت، تعداد افراد دولتی که در پروژه ها شرکت دارند، قوانین و مقررات جدید

۳- روش شناسی پژوهش

برای شناسایی و رتبه بندی شاخص های پیچیدگی ای که تأثیر بیشتری روی پروژه های صنعتی داشتند از روش دلفی سه مرحله ای استفاده شد. در شکل شماره ۴ چارچوب تحقیق معرفی شده است. در این مقاله، نویسندگان از نزدیک با ۳۰ نفر از مدیران پروژه و کارشناسان ارشد شاغل در پروژه های صنعتی بزرگ کشور همکاری کردند تا یک تیم تحقیقاتی^۱ تشکیل دهند. این گروه صنعتی، متشکل بود از ۱۲ نفر از مدیران پروژه و ۱۲ نفر از کارشناسان ارشد آنها شاغل در

^۱ research team

پروژه‌های پیچیده صنعتی و ۸ نفر از مدیران عامل شرکت‌های تابعه یکی از هلدینگ‌های بزرگ ایران^۱ که مسئولیت این پروژه‌ها در شرکت آنها بود و همگی حداقل ۱۰ سال تجربه کار در صنعت را داشتند. این متخصصان مسئول فراهم کردن ورودی‌های تحقیقاتی و دیدگاه‌های عملی از طریق چندین دور بررسی و بسیاری از بحث‌های فشرده با نویسندگان این مقاله بودند. بسیاری از مطالعات مبتنی بر جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از پرسش‌نامه نظرسنجی هستند. تیم تحقیقی وزن مرتبط با هر شاخص پیچیدگی را با استفاده از روش رتبه‌مجموع و بر اساس رتبه‌بندی و امتیاز شرکت‌کنندگان محاسبه کرد. در نهایت از چارچوب به دست آمده در چهارده پروژه صنعتی استفاده شده و نتایج اجرا، مقایسه و تحلیل شدند. در ادامه مقاله هر مرحله را همراه با جزئیات شرح داده شده است:



شکل ۴. چارچوب تحقیق

^۱ www.Farab.com

۳-۱- روش دلفی

در روش دلفی از چند مرحله توزیع پرسشنامه برای جمع‌آوری داده استفاده می‌شود تا زمانی که کارشناسان منتخب شرکت‌کننده در فرآیند به توافق برسند. این روش یکی از بهترین تکنیک‌ها برای رسیدن به توافق است که در آن مجموعه‌ای از پرسش‌های از پیش تعریف‌شده برای جمع‌آوری داده از گروه کارشناسان به کار می‌رود [۷۳]. اسکالموسکی^۱ و هارتمن^۲ و همکاران (۲۰۰۷) نتایج ۱۵ مورد مطالعه دلفی را تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که هیچ شکل استاندارد برای روش دلفی وجود ندارد. با این حال، ویژگی‌های زیر را به عنوان خصوصیات اصلی روش دلفی شناسایی کردند: (۱) شرکت‌کنندگان ناشناس، (۲) بیش از یک مرحله اجرا، (۳) توانایی شرکت‌کنندگان برای اصلاح پاسخ‌هایشان با استفاده از نظرات یا بازخوردهای سایر شرکت‌کنندگان، و (۴) تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارائه خلاصه [۷۴] مراحل دلفی معمولاً آنقدر ادامه پیدا می‌کند تا شرکت‌کنندگان به توافق برسند. هنگامی که با مسائلی به شدت نامعین روبرو باشیم، روش دلفی نسبت به مصاحبه و سایر تکنیک‌های مشابه قابلیت اطمینان بالاتری دارد. یکی از گام‌های مهم برای اجرای قابل اطمینان روش دلفی انتخاب کارشناسان باصلاحیت و خبره است [۷۵]. برای اجرای فرآیند قابل توجیه دلفی حداقل به هشت شرکت‌کننده نیاز است. هرگاه شرکت‌کنندگانی که اطلاعات اولیه یکسانی دریافت کرده‌اند به توافق یکسانی برسند، نتایج روش دلفی قابل اطمینان تلقی می‌شود. با این حال، انتخاب کارشناسان ضعیف و کنترل ضعیف سوگیری‌ها می‌تواند منجر به حصول نتایج غیر قابل اطمینان از فرآیند دلفی شود [۷۶].

۳-۲- ضریب کندال^۳ برای آزمون هماهنگی^۴

ضریب کندال در آزمون هماهنگی برای ارزیابی رتبه‌بندی یا امتیازهای داده‌شده توسط کارشناسان به کار می‌رود و ترتیب امتیازها بر اساس آن تعیین می‌شود. در تحقیق حاضر از این آزمون برای ارزیابی قابلیت اطمینان رتبه‌دهی کارشناسان در پایان فرآیند دلفی استفاده شد.

^۱ Skulmoski

^۲ Hartman

^۳ Kendall's Coefficient

^۴ Concordance Test

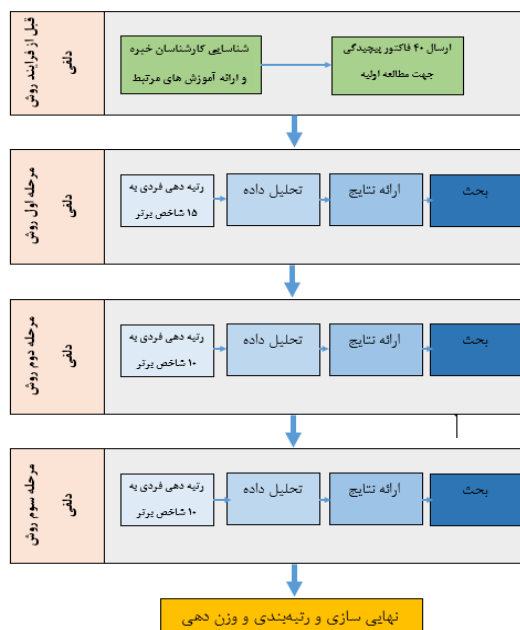
۳-۳- روش وزنی رتبه مجموع

کیفیتی عددی و جهت سهولت استخراج دو معیار اصلی برای انتخاب روش وزندهی هستند. وزن مرتبط با هر متغیر با تقسیم رتبه‌های جداگانه بر حاصل جمع رتبه‌ها محاسبه می‌شود. امتیاز انباشته متغیرها را باید با تعیین رتبه متغیرهای انباشته محاسبه کرد.

۴- مراحل اجرا و یافته‌های پژوهش

۴-۱- شناسایی، رتبه‌دهی و وزندهی به شاخص‌های پیچیدگی

گام اول در رسیدن به اهداف این تحقیق شناسایی شاخص‌هایی بود که تأثیر بالقوه روی پیچیدگی پروژه‌ها دارند. به این منظور فاکتورها و شاخص‌های معرفی شده در جدول شماره ۳ به عنوان داده‌های ورودی فرایند دلفی، در نظر گرفته شد. شرکت‌کنندگان در فرایند دلفی بر اساس این معیارها انتخاب شده بودند: (۱) حداقل ده سال سابقه کار مرتبط در پروژه‌های صنعتی، (۲) حداقل دو سال سابقه به عنوان مدیر پروژه در پروژه‌های صنعتی، و (۳) داشتن دانش گسترده درباره موضوع پیچیدگی پروژه. برای ارزیابی دانش شرکت‌کنندگان سطح تحصیلات و دوره‌های آموزشی گذرانده شده در ارتباط با موضوع در نظر گرفته شد. چنانکه پیش‌تر گفته شد، حداقل ۸ شرکت‌کننده باید در فرایند دلفی حضور داشته باشند. در تحقیق حاضر، از ۳۰ شرکت‌کننده با شرایط قابل قبول برای حضور در فرایند یک‌روزه دلفی دعوت شد. برای کنترل سوگیری و ذهنیت در پاسخ‌های ارائه شده، تیم تحقیق دو نفر از اساتید دانشگاه (مشاوران پژوهشی) را به عنوان هماهنگ‌کننده، مسئول مدیریت فرایند دلفی و نفی اولویت‌ها نمود. یک هفته قبل از اجرای روش دلفی سه مرحله‌ای، فهرست شاخص‌های پیچیدگی به منظور نظرخواهی از شرکت‌کنندگان و اعمال تغییرات، برای شرکت‌کنندگان ارسال شد. همچنین دستورالعمل‌های معین برای رتبه‌بندی به همراه اطلاعات اضافی در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گرفت. قبل از اجرای اولین مرحله دلفی، تیم تحقیق موضوعات زیر را برای کارشناسان تشریح کرد: تعریف پیچیدگی؛ فرایند شناسایی شاخص‌های پیچیدگی، توصیف تمامی شاخص‌ها، ویژگی‌ها و دسته‌بندی‌های پیچیدگی؛ رویکرد رتبه‌بندی و وزندهی؛ و نقش این تحقیق و سایر محققان و فعالان حوزه صنعتی. فرایند دلفی شامل دو جلسه یکی در صبح و یکی در بعدازظهر تقریباً هشت ساعت طول کشید. جزئیات فرایند دلفی در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵. نحوه اجرای روش دلفی

۴-۱-۱- پرسشنامه دلفی: مرحله ۱

از کارشناسان خواسته شد تا ۱۵ شاخص پیچیدگی برتر را از میان فهرست شاخص های بالقوه انتخاب و رتبه بندی و آنها را بر اساس تأثیری که روی پیچیده سازی پروژه دارند به ترتیب نزولی فهرست کنند. علت انتخاب تعداد ۱۵ شاخص این بود که تعداد شاخص های مهم به صورت سیستماتیک محدود شود و شاخص هایی که تأثیر کمتری دارند حذف شوند. عدد ۱۵ برای اندازه نمونه از روندی آماری برای رسیدن به بازه اطمینان ۰.۹۵ به دست آمد. به هر کارشناس ۴۵ دقیقه فرصت داده شد تا به تنهایی اولین مرحله از رتبه بندی خود برای شاخص های پیچیدگی را انجام دهد. پس از تکمیل اولین فهرست، تیم تحقیق داده های همه کارشناسان را جمع آوری کرد. از آنجا که قرار بود هر شرکت کننده ۱۵ شاخص پیچیدگی انتخاب کند، به هر شاخص امتیازی بین ۱ تا ۱۵ داده شد. امتیاز ۱ به شاخص پیچیدگی با رتبه ۱۵ داده شد. به این ترتیب امتیاز کل هر شاخص پیچیدگی بر اساس امتیازهای هر یک از کارشناسان محاسبه شد. نتایج

مرحله اول نشان داد که شاخص پیچیدگی « مسئله سیاست داخلی (ابهام، اطلاعات پنهان) » بیشترین امتیاز را کسب کرد، و به این ترتیب می‌توان گفت این شاخص مهم‌ترین عامل برای پیچیده‌شدن پروژه است (جدول ۳). پس از نهایی‌شدن نتایج، فهرست رتبه‌بندی شاخص‌های پیچیدگی در اختیار کارشناسان قرار گرفت. سپس کارشناسان در یک جلسه طوفان فکری^۱ یک‌ساعته رتبه‌های مرحله اول خود را با نتایج انباشته مقایسه کردند و مشخص شد که چرا شاخص‌ها را چنین رتبه‌بندی کرده بودند. برای ارزیابی قابلیت اطمینان نتایج مرحله اول از ضریب کندال آزمون هماهنگی استفاده شد. این ضریب (W) برای مرحله اول فرآیند دلفی برابر با ۰.۷۳ محاسبه شد، و مقدار P متناظر با آن ۰.۰۰۰ بود. در سطح معناداری $P = ۰.۰۰۰۰ < ۰.۰۰۵$ فرضیه صفر رد شد و چنین نتیجه‌گیری شد که بین رتبه‌دهی‌های کارشناسان رابطه وجود دارد. این گزاره قابلیت اطمینان نتایج مرحله اول فرآیند دلفی را تأیید می‌کند.

۴-۱-۲- پرسشنامه دلفی: مرحله دوم و سوم

در مرحله دوم به شرکت‌کنندگان گفته شد که به جای ۱۵ شاخص ۱۰ شاخص انتخاب کنند تا تعداد شاخص‌های پیچیدگی برتر باز هم محدودتر شود. بار دیگر ۴۵ دقیقه زمان به کارشناسان داده شد تا فهرست‌های مرحله دوم خود را تکمیل کنند. پس از آن که کارشناسان رتبه‌دهی را انجام دادند، تیم تحقیق بار دیگر برگه‌ها را جمع‌آوری و بر اساس معادله‌های (۱) و (۲) نتایج تحلیل شد. لازم به ذکر است که بعد از یک ساعت گفتگوی آزاد که پس از ارائه نتایج مرحله اول انجام شد، فهرست اولویت‌بندی شاخص‌های برتر پیچیدگی که توسط کارشناسان تهیه شده بود تغییر کرد. در مرحله دوم ۱۰ شاخص پیچیدگی از رتبه‌بندی حذف شدند زیرا هیچ یک از کارشناسان آنها را جز ۱۰ مورد برتر انتخاب نکرده بودند. به این ترتیب، نرخ معتبر پاسخ‌دهی مرحله دوم ۷۸.۹ درصد بود. پس از مرحله دوم، امتیازها و رتبه‌های انباشته شاخص‌های پیچیدگی در اختیار شرکت‌کنندگان قرار گرفت و به آنها فرصت داده شد تا یک بار دیگر نقطه نظرات خود را بیان کنند تا مشخص شود آیا نیازی به بروزرسانی دوباره فهرست رتبه‌بندی هست یا خیر. علت اصلی این گفتگو این بود که شرکت‌کنندگان بتوانند با نقطه نظرات سایرین آشنا شوند و دید گسترده‌تری برای امتیازدهی به شاخص‌های پیچیدگی پیدا

^۱ brainstorming

کنند. همانند مرحله قبل، برای ارزیابی قابلیت اطمینان نتایج از ضریب کندل آزمون هماهنگ (W) استفاده شد که برای این مرحله از فرآیند دلفی برابر با ۰.۸۲ و مقدار متناظر P برابر با ۰.۰۰۰ بود. بنابراین، قابلیت اطمینان نتایج مرحله دوم دلفی تأیید شد زیرا سطح معناداری ۰.۰۵ و $P = ۰.۰۰۰ < ۰.۰۵$ بود، و در نتیجه فرضیه صفر رد شد. بنابراین چنین نتیجه گرفتیم که در این مرحله، رتبه‌دهی کارشناسان با هم مرتبط بود. بعد از جلسه دوم طوفان فکری، از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا یک بار دیگر ۱۰ شاخص برتر را انتخاب کنند. نتایج تحلیل خروجی‌های آنها نشان داد که کارشناسان قبول داشتند که رتبه‌های شاخص‌های پیچیدگی حاصل از مرحله دوم دقیق بودند. جدول ۳ نتایج مرحله اول، دوم و سوم امتیازدهی و رتبه‌دهی به شاخص‌های پیچیدگی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است نتایج رتبه‌دهی مرحله دوم و سوم دقیقاً مشابه بود و هیچ یک از کارشناسان رتبه‌ای را که داده بود تغییر ندادند، فقط نتایج مرحله اول و سوم در جدول نمایش داده شده است. در این مرحله ده شاخص از مجموع ۴۰ شاخص مورد بررسی که دارای کمترین اهمیت در میزان پیچیدگی پروژه بودند حذف گردیده و مراحل بعدی تحقیق با این ۳۰ شاخص ادامه پیدا کرد.

جدول ۳. مراحل اول، دوم و سوم رتبه‌بندی و وزن‌دهی به شاخص‌های پیچیدگی

فاکتور (عامل)	شاخص (معیار)	مرحله اول		مرحله دوم و سوم		وزن دهی (WT_i)	وزن فاکتور
		امتیاز (S_i)	رتبه‌بندی (R_i)	امتیاز (S_i)	رتبه‌بندی (R_i)		
پیچیدگی محتوای پروژه	CI-۱: الزامات ناشناخته با ضعیف	۲۴	۱۷	۲۱	۱۰	۰.۰۴۵۱۶۱۲۹	۰.۲۷۹۵۶۹۸۹۲
	CI-۲: تعداد و کمیت منابع	۲۳	۱۸	۹	۲۲	۰.۰۱۹۳۵۴۸۳۹	
	CI-۳: فرآیند طراحی غیر معمول	۳۳	۸	۲۲	۹	۰.۰۴۷۳۱۱۸۲۸	
	CI-۴: تنوع منابع مالی	۷	۳۴	*	*	*	
	CI-۵: تقاضای خلاقیت	۲۵	۱۶	۲۰	۱۱	۰.۰۴۳۰۱۰۷۵۳	
	CI-۶: تعداد تصمیماتی که باید اتخاذ گردند	۳۶	۵	۲۴	۷	۰.۰۵۱۶۱۲۹۰۳	
	CI-۷: سطح همبستگی بین مراحل	۲۶	۱۵	۸	۲۳	۰.۰۱۷۲۰۴۳۰۱	
	CI-۸: ملاحظات مربوط به اهم خط مشی های	۸	۳۳	*	*	*	
	CI-۹: همکاری و ارتباط بین اعضای تیم (شریک)	۹	۳۲	*	*	*	
	CI-۱۰: تنوع وظایف	۲۷	۱۴	۱۰	۲۱	۰.۰۲۱۵۰۵۳۷۶	
	CI-۱۱: دینامیک (نحوه انجام) فعالیت های کاری	۱۰	۳۱	*	*	*	
	CI-۱۲: فرایند تصمیم گیری چالش ها	۳۴	۷	۱۶	۱۵	۰.۰۳۴۴۰۸۶۰۲	

فاکتور (عامل)	شاخص (معیار)	مرحله اول		مرحله دوم و سوم		وزن فاکتور
		امتیاز (S_1)	رتبه‌بندی (R_1)	امتیاز (S_2)	رتبه‌بندی (R_2)	
پیش‌بینی زمینه پروژه	CI-۱۳: تنوع فرهنگی	۱۱	۳۰	۱۱	۲۰	۰.۴۶۰۲۱۵۰۵۴
	CI-۱۴: راهبر پروژه	۲۲	۱۹	۲۳	۸	
	CI-۱۵: عدم قطعیت و وضوح اهداف	۳۹	۲	۳۰	۱	
	CI-۱۶: هماهنگی اهداف / منافع	۳۸	۳	۲۵	۶	
	CI-۱۷: مسئله سیاست داخلی (ابهام، اطلاعات پنهان)	۴۰	۱	۲۷	۴	
	CI-۱۸: تعداد اهداف	۳۷	۴	۲۹	۲	
	CI-۱۹: مقدار همپوشانی و تعاملات	۳۲	۹	۲۶	۵	
	CI-۲۰: تنوع منافع ذینفعان	۳۵	۶	۲۸	۳	
پیش‌بینی سازماندهی پروژه	CI-۲۱: تنوع کارکنان (تجربه، محدوده اجتماعی ...)	۲۱	۲۰	۱۵	۱۶	۰.۳۲۲۵۸۰۶۵
	CI-۲۲: صلاحیت مدیر پروژه	۱۲	۲۹	۱۲	۱۹	
	CI-۲۳: تنوع سطوح سلسله مراتبی درون سازمان	۳۱	۱۰	۳	۲۸	
پیش‌بینی وابستگی پروژه	CI-۲۴: تعداد اینترفیس‌ها در سازمان پروژه	۶	۳۵	*	*	۰.۰۷۹۵۶۹۸۹۲
	CI-۲۵: وابستگی متقابل اهداف / منافع	۲۸	۱۳	۱۹	۱۲	
	CI-۲۶: تنوع وابستگی‌های سازمانی	۱۳	۲۸	۷	۲۴	
	CI-۲۷: وابستگی بین برنامه‌ها	۲۰	۲۱	۲	۲۹	
	CI-۲۸: وابستگی متقابل سیستم‌های اطلاعاتی	۱۴	۲۷	۴	۲۷	
	CI-۲۹: وابستگی متقابل بین سایت‌ها، ادارات و	۵	۳۶	*	*	
	CI-۳۰: وابستگی متقابل بین مولفه‌های محصول	۱۵	۲۶	۵	۲۶	
	CI-۳۱: وابستگی فرایند تکنولوژیکی	۴	۳۷	*	*	
پیش‌بینی تکنولوژیکی	CI-۳۲: تنوع فن‌آوری‌های مورد استفاده در پروژه	۳۰	۱۱	۱۸	۱۳	۰.۰۳۸۷۰۹۶۷۷
پیش‌بینی اطلاعاتی	CI-۳۳: تعداد سیستم‌های اطلاعاتی	۱۶	۲۵	۱	۳۰	۰.۰۰۲۱۵۰۵۳۸
	CI-۳۴: انواع سیستم‌های اطلاعاتی که باید ترکیب	۳	۳۸	*	*	
	CI-۳۵: سطح اطلاعات پردازش	۱	۴۰	*	*	
پیش‌بینی محصول/خدمت	CI-۳۶: محصولات بسیار سفارشی	۲۹	۱۲	۱۷	۱۴	۰.۰۳۶۵۵۹۱۴
پیش‌بینی مشتریان	CI-۳۷: تعدد تامین‌کنندگان، پیمانکاران یا	۱۹	۲۲	۱۴	۱۷	۰.۰۳۰۱۰۷۵۲۷
پیش‌بینی محیط خارجی پروژه	CI-۳۸: محیط زیست تغییر تکنولوژی، اقتصاد و	۱۸	۲۳	۱۳	۱۸	۰.۰۴۰۸۶۰۲۱۵
	CI-۳۹: تعداد افراد دولتی که در پروژه‌ها شرکت	۲	۳۹	*	*	
	CI-۴۰: قوانین و مقررات جدید	۱۷	۲۴	۶	۲۵	

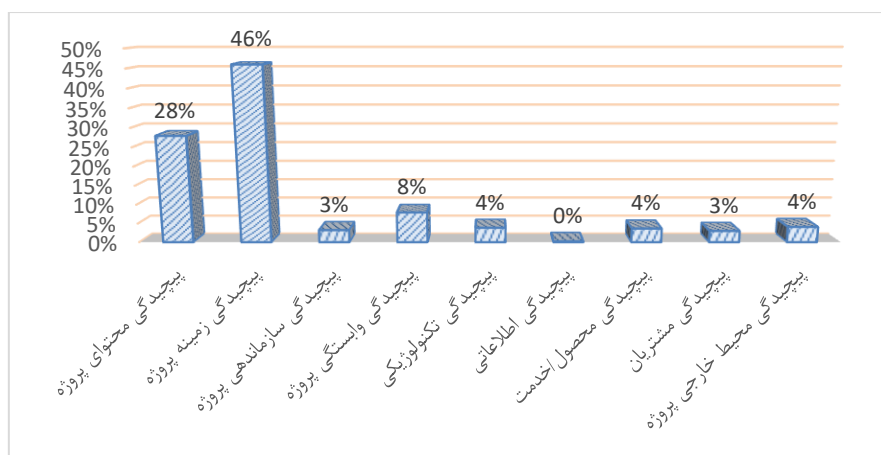
چنانکه در جدول شماره ۳ دیده می‌شود، شاخص «عدم قطعیت و وضوح اهداف»، که در مرحله اول فرآیند دلفی رتبه دوم را داشت، در مرحله دوم و سوم به رتبه اول رسید. شرکت‌کنندگان اتفاق نظر داشتند که عدم قطعیت‌ها در اهداف می‌تواند تصمیم‌گیری را با مشکل روبرو کند. کارشناسان دو رویکرد بالقوه برای این شاخص معرفی نمودند، در رویکرد اول، دانش ضمنی موجود در مدیران ارشد اجرایی در هر پروژه، در اختیار سایر ارکان دخیل در پروژه (مدیران

میانی، کارشناسان اجرایی و ...) قرار بگیرد، که البته این کار بسیار زمان‌بر است. دوم اینکه اجازه دهیم اعضای تیم با هر سطح از دانش، داده‌های ورودی فرایندهای کاری را فراهم نمایند که این موضوع می‌تواند منشاء عدم توافق، ناکارآمدی و یا تعارض باشد. در هر یک از این دو حالت، پروژه دچار زیان می‌شود و زمان‌بندی، کیفیت و یا هزینه‌های پروژه می‌تواند تحت تأثیر قرار بگیرد. بنابراین، پیشنهاد سومی مطرح گردید که مدیران پروژه در مراحل اولیه طراحی یا برنامه‌ریزی شروع پروژه، جلسات منظم هفتگی و حتی روزانه را با ذینفعان کلیدی پروژه برقرار کرده تا از این طریق بتوانند ابهامات در اهداف و عدم قطعیت‌های موجود را شناسایی نمایند. ارزیابی و پایش ریسک‌ها در این مرحله می‌تواند از دوباره‌کاری‌ها جلوگیری کند. به همین ترتیب از کارشناسان خواسته شد برای تمامی شاخص‌های منتخب راهکاری برای مواجهه با ریسک‌های ناشی از آن را ارائه دهند، راهکارهای اعلامی، مورد بحث قرار گرفت و در نهایت بهترین راهکارها انتخاب شدند، برای مثال وقتی تعدد و تنوع در منافع ذینفعان به وجود می‌آید (شاخص «تنوع منافع ذینفعان» جایگاه سوم از نظر وزن، در جدول شماره ۳ را دارد) برای پاسخ به خواسته‌ها بایستی از راهحل جایگزین، اغلب به صورت موقت، برای رسیدن به هدف استفاده شود. اگر تعداد راهحل‌های جایگزین به خاطر تنوع زیاد خواسته‌های ذینفعان از تعداد نرمال در پروژه‌های با همین ابعاد و چشم‌انداز فراتر رود، فرآیند بابت تأثیرات و تغییرات منفی روی لجستیک پروژه دچار ناکارآمدی می‌شود. در چنین شرایطی، باید برنامه را طی مرحله اجرا بازبینی و به‌روزرسانی کرد، که این امر می‌تواند جوانب متعددی از پروژه مانند زمان‌بندی کار نیروی انسانی را تحت تأثیر قرار دهد. راهحل‌های جایگزین در ابتدای امر باعث کاهش تأثیر مخرب ناشی از عدم توجه به ذینفعان، می‌شوند ولی، اگر تعدادشان از سطح خاصی فراتر رود، در نهایت ممکن است منجر به افزایش هزینه‌های پروژه و تضعیف عملکرد زمان‌بندی شوند. بنابراین، کارشناسان پیشنهاد دادند که تعداد راهحل‌های جایگزین، حداقل تعداد ممکن باشد.

۴-۲- وزن فاکتورهای پیچیدگی

چنانکه در جدول ۳ دیده می‌شود، فاکتورهای پیچیدگی زمینه، محتوا و سازماندهی پروژه بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. بر خلاف اکثر مطالعات خارج از ایران وزن فاکتور پیچیدگی تکنولوژیکی، در مقایسه با وزن دو فاکتور زمینه و محتوا، به طرز چشمگیری پایین‌تر

است، کارشناسان بر این باورند که، اگر چه ناآشنایی با فناوری جدید در مرحله طراحی می‌تواند پیچیدگی پروژه را افزایش دهد، اما نتیجه نامطلوب این فاکتور به شکل معناداری کمتر از اثر نامطلوب پیچیدگی زمینه و محتوای پروژه است که این موضوع را میتوان خاص پروژه‌های صنعتی در ایران دانست. به اعتقاد کارشناسان، پیچیدگی‌های ناشی از فناوری‌های ناآشنا را می‌توان با آموزش اعضای تیم مدیریت کرد. همچنین، بر اساس تأثیر منحنی یادگیری کارکنان، پیچیدگی تکنولوژیکی پروژه را می‌توان طی مرحله مهندسی یا طراحی پروژه کاهش داد. در شکل شماره ۵ درصد سهم بودن هر شاخص در پیچیدگی کل پروژه نشان داده شده است.



شکل ۵. درصد سهم هر شاخص در پیچیدگی کل پروژه

جهت سنجش میزان روایی^۱ و بررسی میزان مطابقت فاکتورها و شاخص‌ها با پروژه‌های صنعتی در ایران، پرسشنامه‌ای تهیه شده که به صورت پرسشنامه-مصاحبه با تعدادی از مدیران شاغل در پروژه‌های صنعتی، انجام شد، بررسی ادبیات موضوع در تعریف پیچیدگی پروژه نشان‌دهنده این موضوع بود که عواملی مانند: مدت زمان اجرای پروژه، رقم قراردادی، تنوع جغرافیایی، تنوع تیم‌های اجرایی، تنوع ذینفعان و تکنولوژی‌های جدید پروژه باعث پیچیده بودن پروژه میشوند بنابراین نویسندگان از میان پروژه‌های صنعتی در حال اجرا در

^۱ Validity

کشور، ۱۴ پروژه را مطابق با جدول شماره ۴ که دارای تمامی عوامل نامبرده بودند به عنوان ورودی‌های پروژه‌های موردی انتخاب نمودند. رقم قراردادی در همه این پروژه‌ها بیش از صد میلیون دلار و مدت زمان اجرای بیش از ۲۴ ماه بود، تنوع جغرافیایی و تیم‌های اجرایی، ذینفعان با خواسته‌های متفاوت و استفاده از تکنولوژی‌های جدید، ویژگی مشترک در همه پروژه‌های منتخب بودند. به همین دلیل از آنها برای آزمون چارچوب پیشنهادی تحقیق استفاده شد.

جدول ۴. پروژه‌های انتخابی جهت سنجش پیچیدگی

نام پروژه	محل پروژه	مدت قرارداد (ماه)
نیروگاه آبی سردشت	سردشت، ایران	۴۲
نیروگاه آبی داریان	پاوه، ایران	۴۲
نیروگاه آبی خداآفرین	مرز کشور ایران با کشور آذربایجان	۲۴
طرح چندمنظوره اوماوایا	جمهوری دموکراتیک سوسیالیستی سریلانکا	۶۰
سد و نیروگاه آبی دارلوک	اقلیم کردستان عراق	۳۸
پالایشگاه میعانات گازی بندرعباس	بندرعباس، ایران	۲۴
نیروگاه سیکل ترکیبی دالاهو	اسلام آباد غرب، ایران	۴۴
نیروگاه متمرکز پارس جنوبی	عسلویه، ایران	۳۸
نیروگاه خورشیدی اردکان	اردکان، ایران	۳۰
راه آهن برقی هشتگرد-کلیشهر	هشتگرد، ایران	۲۴
خط ۲ قطار شهری مشهد	مشهد، ایران	۳۸
خط مترو تهران-پرنده	پرنده، ایران	۲۴
تونل استقلال	جمهوری تاجیکستان	۳۶
خط ۲ قطار شهری شیراز	شیراز، ایران	۳۶

پراکندگی جغرافیایی پروژه‌ها نیز در کل سطح کشور و سه پروژه (سد و نیروگاه اوماوایا در کشور سریلانکا، سد و نیروگاه دارلوک در کشور عراق و تونل استقلال در کشور تاجیکستان

(نیز در خارج از کشور که توسط نیروی متخصص داخلی اجرا میشد انتخاب گردیده است. نفرات انتخاب شده برای مصاحبه از هر پروژه عبارت بودند از :

۱- مدیرپروژه (یا بلندپایه‌ترین مقام در سطح اجرایی پروژه در سازوکار پیمانکار) ، ۲- سرپرست کارگاه (یا جانشین مدیریت پروژه در سازوکار پیمانکار)، ۳- مدیر برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، ۴- بالاترین مقام اجرایی در مجموعه کارفرمای پروژه که مسئولیت مستقیم پروژه را بر عهده داشت. پرسشنامه تهیه شده بر اساس مقیاس امتیازدهی لیکرت ارزیابی میگردید. سطح تأثیر هر شاخص پیچیدگی امتیازی بین ۱ (بدون تأثیرگذاری روی پروژه) تا ۹ (تأثیر گسترده روی پیچیدگی کل پروژه) دریافت کرد. برای محاسبه وزن هر شاخص پیچیدگی، امتیاز شاخص کسب شده از مصاحبه شونده در وزن متناظر آن (جدول شماره ۳) ضرب شد، مجموع این اوزان برای هر پروژه میبایستی عددی بین ۴۶۵ کمترین حد پیچیدگی و ۴۱۸۵ بالاترین حد پیچیدگی باشد، جهت بررسی پایایی نتایج، مصاحبه سه بار دیگر (در مجموع چهار بار) و هر بار با فاصله زمانی مشخص با این اشخاص انجام پذیرفت، نتایج در هر چهار بار مصاحبه، جمع‌آوری و تحلیل گردید، میانگین اوزان به دست آمده در این چهار بار، به عنوان وزن نهایی در نظر گرفته شد. امتیاز پیچیدگی در هر فاکتور و امتیاز نهایی پیچیدگی هر پروژه (حاصل میانگین مجموع امتیازات ۹ فاکتور و ۳۰ شاخص پیچیدگی در چهار مرحله مصاحبه) در جدول ۵ و شکل ۶ ارائه شده است.

جدول ۵- امتیازات حاصل از هر فاکتور پیچیدگی در ۱۴ پروژه انتخابی

فاکتور	پروژه	تیرورگاه آبی سریش	تیرورگاه آبی باریان	تیرورگاه آبی خاتون	طرح چندمنظوره اوسالیا	سد و تیرورگاه آبی درلوف	میدان کاری پایگاه	تیرورگاه سیکل ترکیبی دالکو	پارس جنوبی	تیرورگاه منورکز	اربعان	تیرورگاهی خورشیدی	هنگو-گلشیر	رام آبی برقی	شهری شهید	خط ۲ قطار	خط مترو تهران-پروند	توتل استقل	شهری شیراز	خط ۲ قطار
جمع امتیاز در پیچیدگی محتوای پروژه	۶۳۶	۵۸۵	۶۴۲	۸۸۷	۷۸۹	۷۴۵	۷۶۳	۷۹۷	۶۳۶	۵۹۶	۶۸۴	۶۲۹	۷۳۲	۵۳۲						
جمع امتیاز در پیچیدگی زمینه پروژه	۱۰۸۱	۱۰۹۷	۱۱۲۳	۱۷۳۷	۱۶۵۷	۱۲۶۳	۱۱۴۹	۱۲۷۳	۱۰۹۳	۱۰۳۰	۱۱۷۹	۱۱۱۹	۱۴۱۷	۹۰۱						
جمع امتیاز در پیچیدگی سازماندهی پروژه	۷۸	۸۷	۷۸	۶۶	۷۸	۹۰	۷۵	۹۰	۸۷	۹۰	۷۸	۷۸	۸۷	۸۴						
جمع امتیاز در پیچیدگی وابستگی پروژه	۳۳۰	۳۱۹	۳۳۵	۳۶۱	۲۴۹	۳۲۱	۱۹۴	۱۹۰	۱۹۹	۱۸۸	۱۹۲	۲۱۸	۳۳۱	۱۸۴						
جمع امتیاز در پیچیدگی تکنولوژیکی	۱۳۶	۱۰۸	۱۳۶	۱۴۴	۱۴۴	۱۳۶	۱۰۸	۱۳۶	۱۰۸	۱۳۶	۱۳۶	۱۶۲	۱۴۴	۱۳۶						
جمع امتیاز در پیچیدگی اطلاعاتی	۶	۵	۶	۹	۷	۸	۶	۶	۷	۶	۶	۷	۶	۷						
جمع امتیاز در پیچیدگی محصول/خدمت	۱۰۲	۸۵	۱۰۲	۱۱۹	۱۱۹	۱۰۲	۸۵	۸۵	۸۵	۸۵	۸۵	۸۵	۱۱۹	۱۰۲						
جمع امتیاز در پیچیدگی مشتریان	۸۴	۷۰	۸۴	۱۳۶	۹۸	۱۱۲	۸۴	۸۴	۹۸	۸۴	۸۴	۹۸	۸۴	۹۸						
جمع امتیاز در پیچیدگی محیط خارجی پروژه	۱۱۴	۹۵	۱۱۴	۱۵۹	۱۳۳	۱۴۰	۱۰۸	۱۰۸	۱۲۱	۱۰۸	۱۰۸	۱۳۳	۱۲۰	۱۲۱						
جمع امتیاز پیچیدگی	۲۴۴۷	۲۳۵۱	۲۵۰۰	۲۴۹۸	۲۲۷۴	۲۸۰۷	۲۵۷۲	۲۷۵۹	۲۴۳۴	۲۳۱۲	۲۵۴۲	۲۵۶۳	۲۹۲۳	۲۱۲۸						



شکل ۶- مقایسه جمع امتیازات پیچیدگی در هر پروژه با بقیه پروژه‌های انتخابی

چنانکه دیده می‌شود، سطح پیچیدگی در پروژه طرح چند منظوره اوماوایا از همه بالاتر، در پروژه نیروگاه خورشیدی اردکان از هم پایین‌تر است نکته قابل توجه اختلاف زیاد میزان پیچیدگی در سه پروژه در حال اجرا در کشورهای سریلانکا، عراق و تاجیکستان با پروژه‌های در حال اجرای داخل کشور ایران است، کارشناسان دلیل این امر را وجود عوامل ناشناخته و ریسک‌های ناشی از آن در این پروژه‌ها عنوان نمودند.

۵ - بحث و نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق شناسایی، رتبه‌بندی و وزن‌دهی به شاخص‌های پیچیدگی پروژه‌های مرتبط با صنعت و ارائه چارچوبی جهت سنجش میزان پیچیدگی این پروژه‌ها بود. از آنجا که در گذشته تحقیقات اندکی به شناسایی تأثیر شاخص‌های پیچیدگی پرداخته‌اند و به‌ندرت مطالعه‌ای روی وزن‌دهی پیچیدگی پروژه‌های صنعتی انجام شده است، نویسندگان جهت پر کردن این کمبود در ابتدا با بررسی ادبیات موضوع چارچوب‌ها، فاکتورها و شاخص‌های پیچیدگی را بررسی نمودند در این مرحله ۱۳۱ مقاله بررسی شد. سپس از روش دلفی برای اعتبارسنجی شاخص‌های شناسایی شده بالقوه پیچیدگی و رتبه‌بندی و وزن‌دهی به آنها استفاده شده است. طی سه مرحله اجرای فرآیند دلفی، ۳۰ شاخص برتر پیچیدگی استخراج و تأثیر وزنی هر یک

از شاخص‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد که پنج شاخص با بیشترین وزن پیچیدگی به ترتیب عبارتند از: «عدم قطعیت و وضوح اهداف»، «تعدد اهداف»، «تنوع منافع ذینفعان»، «مسئله سیاست داخلی (ابهام، اطلاعات پنهان)» و «مقدار همپوشانی و تعاملات».

نقطه مشترک در این پنج شاخص وجود عدم قطعیت بالا بود، شاخص‌هایی که دارای عدم قطعیت بودند رتبه‌های بالا را به خود اختصاص دادند، عدم قطعیت پیش‌بینی محور است اما قابلیت اندازه‌گیری عینی ندارد و اصولاً دانش در موردش کامل نیست، همین امر موجب بالا رفتن وزن پیچیدگی در این شاخص شده است. بر خلاف عدم قطعیت‌ها چون ریسک‌ها دارای خروجی‌های (مثبت یا منفی) قابل اندازه‌گیری و در نتیجه قابل پیش‌بینی است، شاخص‌ها با ریسک (با خروجی‌های قابل اندازه‌گیری) در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

شرایط تصمیم‌گیری در ریسک از نظر مفهومی به پیچیدگی‌های ناشی از فاکتورهای "محتوا"، "سازماندهی"، "تکنولوژیکی"، "اطلاعاتی" و "مشتریان" بود، پیشنهاد کارشناسان برای مدیریت پیچیدگی ناشی از این فاکتورها، برنامه‌ریزی منظم جهت شناسایی، پایش و ارزیابی ریسک‌ها بود از این طریق میتوان پیچیدگی ناشی از ریسک‌های ثانویه را نیز مدیریت نمود. شرایط تصمیم‌گیری در عدم قطعیت از نظر مفهومی به فاکتورهای پیچیدگی "زمینه"، "وابستگی"، "محصول" و "محیط خارجی پروژه" نزدیک است. پیشنهاد کارشناسان برای مدیریت پیچیدگی در این فاکتورها، ایجاد شناخت و برقراری آموزش‌های مستمر و استخراج دانش ضمنی مدیران اجرایی پروژه بود. نمرات پیچیدگی در پروژه‌های مورد بررسی در سه پروژه اول به ترتیب متعلق به "سد و نیروگاه در کشور سریلانکا"، "سد و نیروگاه آبی در کشور عراق" و "تونل در کشور تاجیکستان" بود. این رتبه‌ها نشان از ارتباط مستقیم عدم قطعیت‌ها و ناشناخته‌ها در این پروژه‌ها با نمره به دست آمده از میزان پیچیدگی آنها دارد پروژه‌های خارجی در ایران اکثراً در کشورهایی با اوضاع سیاسی و یا اقتصادی متلاطم انجام پذیرفته که این موضوع باعث افزایش عدم قطعیت‌ها و عواقبی چون سرریزهای بسیار هزینه و زمان شده است، بررسی مابقی پروژه‌ها این نکته را تایید می‌نمود که بر خلاف بعضی از تحقیقات پیشین، وجود خزش در محدوده و زمان در پروژه‌ها به تنهایی نشان‌دهنده میزان پیچیدگی بالاتر این پروژه‌ها نیست بلکه جزو عواقب آن است در ضمن اجرای پروژه در خارج از کشور، در صورت عدم ثبات در کشور هدف می‌تواند عامل پیچیدگی‌های تحمیلی بیشتری

به پروژه باشد. در تحقیقات برخی از محققین تعداد عناصر یا مدت زمان و رقم هزینه‌ای قرارداد به عنوان عوامل ریشه‌ای پیچیدگی عنوان شده است، در حالیکه این تحقیق نشان دهنده وجود عناصر ابهام و عدم قطعیت‌ها عنصر اصلی تشکیل‌دهنده پیچیدگی در کشور ایران بود. عملکرد پروژه‌های پیچیده از دو منظر قابل بررسی است: (۱) از منظر کارایی پروژه (ارائه خروجی‌های کارآمد)، (۲) از منظر موفقیت پروژه (ارائه نتایج سودمند). حالت اول از نظر مفهومی به ریسک‌ها نزدیک تر است بنابراین فاکتورهای "محتوا"، "سازماندهی"، "تکنولوژیکی"، "اطلاعاتی" و "مشتریان" بر کارایی پروژه اثر گذار هستند و حالت دوم به عدم قطعیت‌ها مرتبط میباشد پس فاکتورهای پیچیدگی "زمینه"، "وابستگی"، "محصول" و "محیط خارجی پروژه" بر موفقیت پروژه اثر گذار است. کارشناسان پیچیدگی را باعث تأثیرات منفی در کارایی و اثرات مثبت در موفقیت پروژه‌هایشان می‌دانستند، اندازه و چگونگی اثرگذاری هر یک از فاکتورهای پیچیدگی بر کارایی و موفقیت پروژه نیازمند مطالعات بیشتر است و پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی محققین در نظر گرفته شود. یکی دیگر از تفاوت‌های این تحقیق با مطالعات پیشین در تاکید بر نقش پررنگ تر راهبر پروژه (مجموعه حاکمیتی پروژه)، نسبت به مدیر پروژه در مدیریت پیچیدگی است، کیفیت و چگونگی اثرگذاری حاکمیت پروژه در مدیریت پیچیدگی پروژه نیز، می‌تواند در مطالعات آتی محققین مورد نظر قرار گیرد. این تحقیق به‌واسطه شناسایی، اعتبارسنجی، رتبه‌دهی و وزن‌دهی به شاخص‌های پیچیدگی در گسترش دانش مدیریت پروژه نقش دارد.

رتبه‌دهی سلسله‌مراتبی به شاخص‌های پیچیدگی و وزن‌ها متناظر آنها به فعالان این حوزه این امکان را می‌دهد تا برنامه‌ریزی و اجرای پروژه را دقیق‌تر و هوشمندانه‌تر اجرا کنند. نتایج این تحقیق برای تیم پروژه موارد زیر را فراهم می‌کند: (۱) شناسایی زود هنگام فاکتورها و شاخص‌های پیچیدگی پروژه، به منظور انتخاب، هدایت و تخصیص منابع مناسب برای پروژه؛ (۲) استفاده از استراتژی‌های هدفمند با توجه به تجربیات گذشته برای مدیریت بهینه پیچیدگی پروژه.

سازمان‌های پروژه محور با استفاده از این چارچوب می‌توانند سطوح پیچیدگی بین پروژه‌های مختلف را متمایز و در هر بخش از چرخه حیات یک پروژه آن را اندازه‌گیری نمایند. همچنین تیم‌های پروژه می‌توانند از استراتژی‌های پیشنهادی برای مدیریت پیچیدگی و سپس ارزیابی

مجدد سطح پیچیدگی پروژه برای تدوین و بازبینی استراتژی‌ها استفاده کنند. سهم مهم مطالعه حاضر در بدنه دانش در بخش مدیریت پروژه این است که به محققان مدیریت پروژه رویکردی جدید برای ارزیابی و مدیریت ساده و موثر پیچیدگی پروژه ارائه می‌دهد، و به مدیران پروژه کمک می‌کند تا فرآیند مدیریت پیچیدگی را تسهیل و در مراحل مختلف عمر پروژه مستقر نمایند.

۶- سپاسگزاری

از مدیر عامل محترم شرکت فراب جناب آقای دکتر وکیلی و تمامی مدیران و کارشناسان شاغل در این شرکت که در تمام مراحل این مطالعه ما را یاری رساندند، کمال تقدیر و تشکر را داریم.

۷- منابع

- [۱] Williams, T. M. ۱۹۹۹. "The need for new paradigms for complex projects." *Int. J. Project Manage.* ۱۷ (۵): ۲۶۹. <https://doi.org/10.1016/S0263>
- [۲] Thomas, J., and T. Mengel. ۲۰۰۸. "Preparing project managers to deal with complexity: Advanced project management education." *Int. J. Project Manage.* ۲۶ (۳): ۳۰۴-۳۱۵. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.01.001>.
- [۳] Luo, L., Q. He, J. Xie, D. Yang, and G. Wu. ۲۰۱۷. "Investigating the relationship between project complexity and success in complex construction projects." *J. Manage. Eng.* ۳۳ (۲): ۰۴۰۱۶۰۳۶. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000471](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000471).
- [۴] Kermanshachi, S., B. Dao, J. Shane, and S. Anderson. ۲۰۱۶b. "Project complexity indicators and management strategies—A Delphi study." *Procedia Eng.* ۱۴۵: ۵۸۷-۵۹۴. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.048>.
- [۵] Remington, K., and J. Pollack. ۲۰۰۷. *Tools for complex projects*. Surrey, UK: Gower Publishing.
- [۶] Remington, K., R. Zolin, and R. Turner. ۲۰۰۹. "A model of project complexity: Distinguishing dimensions of complexity from severity." In *Proc., 9th Int. Research Network of Project Management Conf. Brisbane, Australia: QUT ePrints*.
- [۷] Brockmann, D. I. C., and I. G. Girmscheid. ۲۰۰۷. "Complexity of megaprojects." In *Proc., CIB World Building Congress ۲۰۰۷, ۱۴-۱۸, Ottawa: International Council for Research and Innovation in Building and Construction*. <https://doi.org/10.1080/02513625.2019.1630189>
- [۸] Bosch-Rekveltdt, M. G. C. ۲۰۱۱. *Managing project complexity: A study into adapting early project phases to improve project performance in large engineering projects*. Delft, Netherlands: Delft Univ. of Technology.

- [۹] Gransberg, D. D., J. S. Shane, K. Strong, and C. L. D. Puerto. ۲۰۱۳. "Project complexity mapping in five dimensions for complex transportation projects." *J. Manage. Eng.* ۲۹ (۴): ۳۱۶-۳۲۶. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.000163](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.000163).
- [۱۰] He, Q. H., L. Luo, J. Wang, Y. K. Li, and L. Zhao. ۲۰۱۲. "Using analytic network process to analyze influencing factors of project complexity." In *Proc., ۲۰۱۲ Int. Conf. on Management Science and Engineering*, ۱۷۸۱-۱۷۸۶. New York: IEEE. Keeney, S., F. ۱۰,۱۱۰۹/ICMSE.۲۰۱۲,۶۴۱۴۴۱۳
- [۱۱] Liu, S. ۲۰۱۵. "Effects of control on the performance of information systems projects: The moderating role of complexity risk." *J. Oper. Manage.* ۳۶ (۱): ۴۶-۶۲. <https://doi.org/10.1016/j.jom.۲۰۱۵.۰۳.۰۰۲>.
- [۱۲] Safapour, E., S. Kermanshachi, and I. Ramaji. ۲۰۱۸. "Entity-based investigation of project complexity impact on size and frequency of construction phase change orders." In *Proc., Construction Research Congress*. Reston, VA: ASCE.
- [۱۳] Baccarini, D. ۱۹۹۶. "The concept of project complexity: A review." *Int. J. Project Manage.* ۱۴ (۴): ۲۰۱-۲۰۴. [https://doi.org/10.1016/0263-7862\(95\)00093-3](https://doi.org/10.1016/0263-7862(95)00093-3).
- [۱۴] Xia, B., and A. P. C. Chan. ۲۰۱۲. "Measuring complexity for building projects: A Delphi study." *Eng. Constr. Archit. Manage.* ۱۹ (۱): ۷-۲۴. <https://doi.org/10.1108/09699981211192044>.
- [۱۵] He, Q. H., L. Luo, Y. Hu, and A. P. C. Chan. ۲۰۱۵. "Measuring the complexity of mega construction projects in China—A fuzzy analytic network process analysis." *Int. J. Project Manage.* ۳۳ (۳): ۵۴۹-۵۶۳. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.۲۰۱۴.۰۷.۰۰۹>.
- [۱۶] Safapour, E., S. Kermanshachi, M. Habibi, and J. Shane. ۲۰۱۸a. "Resourcebased exploratory analysis of project complexity impact on phase-based cost performance behavior." In *Proc., Construction Research Congress*. Reston, VA: ASCE.
- [۱۷] Vidal, L. A., F. Marle, and J. C. Bocquet. ۲۰۱۱. "Measuring project complexity using the analytic hierarchy process." *Int. J. Project Manage.* 29 (6): 718-727. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.۲۰۱۰.۰۷.۰۰۵>.
- [۱۸] Chrysosolouris, G., K. Efthymiou, N. Papaostas, D. Mourtzis, and A. Pagoropoulos. ۲۰۱۳. "Flexibility and complexity: Is it a trade-off." *Int. J. Prod. Res.* ۵۱ (۲۳-۲۴): ۶۷۸۸-۶۸۰۲. <https://doi.org/10.1080/00207179.2012.761362>.
- [۱۹] Dao, B., S. Kermanshachi, J. Shane, and S. Anderson. ۲۰۱۶. "Project complexity assessment and management tool." *Procedia Eng.* ۱۴۵: ۴۹۱-۴۹۶. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.۲۰۱۶.۰۴.۰۲۶>.
- [۲۰] Abdou, S. M., K. Yong, and M. Othman. ۲۰۱۶. "Project complexity influence on project management performance: The Malaysian perspective." In *Vol. ۶۶ of Proc., MATEC Web of Conf.*, ۱-۱۰. Les Ulis, France: Édition Diffusion Presse Sciences. <https://doi.org/10.1051/mateconf/۲۰۱۶۶۶۰۰۶۵>.
- [۲۱] Kermanshachi, S., B. Dao, B. Rouhanizadeh, J. Shane, and S. Anderson. ۲۰۱۸. "Development of the project complexity assessment and management framework for

- heavy industrial projects.” *Int. J. Constr. Educ. Res.* ۲۹ (۲): ۱-۱۹.
<https://doi.org/10.1080/15578771.2018.1499568>.
- [۲۲] Turner, J. R., & Cochrane, R. A. (۱۹۹۳). Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them. *International Journal of project management*, ۱۱(۲), ۹۳-۱۰۲. [https://doi.org/10.1016/0263-7862\(93\)90017-H](https://doi.org/10.1016/0263-7862(93)90017-H)
- [۲۳] Cicmil, S., & Marshall, D. (۲۰۰۵). Insights into collaboration at the project level: complexity, social interaction and procurement mechanisms. *Building research & information*, ۳۳(۶), ۵۲۳-۵۳۵. <https://doi.org/10.1080/09613210500288886>
- [۲۴] Grisogono, A. M. (۲۰۰۶). The implications of complex adaptive systems theory for C².
- [۲۵] Hatch, M. J. (۲۰۱۸). *Organization theory: Modern, symbolic, and postmodern perspectives*. Oxford university press.
- [۲۶] Bakhshi, J., Ireland, V., & Gorod, A. (۲۰۱۶). Clarifying the project complexity construct: Past, present and future. *International journal of project management*, ۳۴(۷), ۱۱۹۹-۱۲۱۳. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.06.002>
- [۲۷] Maylor, H., & Turner, N. (۲۰۱۷). Understand, reduce, respond: project complexity management theory and practice. *International Journal of Operations & Production Management*. <https://doi.org/10.1080/IJOPM-05-2016-0263>
- [۲۸] Sridarran, P., Keraminiyage, K. and Herszon, L. (۲۰۱۷), "Improving the cost estimates of complex projects in the project-based industries", *Built Environment Project and Asset Management*, Vol. ۷ No. ۲, pp. ۱۷۳۱-۱۸۴. <https://doi.org/10.1080/BEPAM-10-2016-0000>
- [۲۹] Bjorvatn, T., & Wald, A. (۲۰۱۸). Project complexity and team-level absorptive capacity as drivers of project management performance. *International Journal of Project Management*, ۳۶(۶), ۸۷۶-۸۸۸. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.05.003>
- [۳۰] Bosch-Rekveltdt, M., Bakker, H., & Hertogh, M. (۲۰۱۸). Comparing project complexity across different industry sectors. *Complexity*, ۲۰۱۸ <https://doi.org/10.1155/2018/3246508>
- [۳۱] Hartono, B. (۲۰۱۸), "From project risk to complexity analysis: a systematic classification", *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. ۱۱ No. ۳, pp. ۷۳۴-۷۶۰. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-09-2017-0108>
- [۳۲] Qiu, Y., Chen, H., Sheng, Z., & Cheng, S. (۲۰۱۹). Governance of institutional complexity in megaproject organizations. *International journal of project management*, ۳۷(۳), ۴۵۰-۴۶۳ <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.02.001>
- [۳۳] Mamédo, D. F., & Meyer, V. (۲۰۲۰). Managing project complexity: how to cope with multiple dimensions of complex systems. *International journal of managing projects in business*. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-06-2019-0147>
- [۳۴] Luo, L., Zhang, L. and He, Q. (۲۰۲۰), "Linking project complexity to project success: a hybrid SEM-FCM method", *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. ۲۷ No. ۹, pp. ۲۵۹۱-۲۶۱۴. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2019-0241>

- [۳۵] Clark, J. M. (۲۰۲۱). *The Extent of Project Management Competencies and Project Complexity on Project Success: A Correlational Study* (Doctoral dissertation, Capella University).
- [۳۶] Ghaleb, H., Alhajlah, H. H., Bin Abdullah, A. A., Kassem, M. A., & Al-Sharafi, M. A. (۲۰۲۲). A scientometric analysis and systematic literature review for construction project complexity. *Buildings*, 12(۴), ۴۸۲. <https://doi.org/10.3390/buildings12040482>
- [۳۷] Ahmed, R., & Jawad, M. (۲۰۲۲). Avoiding or disregarding: Exploring the relationship between scope creep, project complexity, and the success of construction projects. *Project Leadership and Society*, 3, ۱۰۰۰۶۴. <https://doi.org/10.1016/j.plas.2022.100064>
- [۳۸] Sabini, L., & Silvius, G. (۲۰۲۳). ۳۱. Embracing complexity in sustainable project management. *Research Handbook on Complex Project Organizing*, ۳۱۲.
- [۳۹] Jia, F., Xiang, P., & Chen, D. (۲۰۲۳). A two-dimensional complexity evaluation model of megaprojects based on structure and attributes. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(۲), ۱۰۱۸۵۲. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101852>
- [۴۰] Tasa, O., Gulabchi, M., & Ravanshadnia, M. (۲۰۲۳). Identifying and investigating the complexity factors in Iran's industrial projects using the structural equation model (case study: Umaawiya multi-purpose project (tunnel, dam and power plant) in Sri Lanka). *Tunnel Engineering and Underground Spaces*, ۱۱(۱), ۴۷-۷۱. (in Persia) <https://doi.org/10.22044/tuse.2023.12405.1464>
- [۴۱] Boonstra, A., & Reezigt, C. (۲۰۲۳). A Complexity Framework for Project Management Strategies. *Project Management Journal*, ۸۷۵۶۹۷۲۸۲۲۱۱۴۲۲۹. <https://doi.org/10.1177/۸۷۵۶۹۷۲۸۲۲۱۱۴۲۲۹>
- [۴۲] Maylor, H. (۲۰۰۳). Some thoughts on Assisting Learning in Project Management Through Case Studies.
- [۴۳] Vidal, L. A., and F. Marle. ۲۰۰۸. "Understanding project complexity: Implications on project management." *Kybernetes* ۳۷ (۸): ۱۰۹۴-۱۱۱۰. <https://doi.org/10.1108/03684920810884928>
- [۴۴] Maylor, H., R. Vidgen, and S. Carver. ۲۰۰۸. "Managerial complexity in project-based operations: A grounded model and its implications for practice." Supplement, *Project Manage. J.* ۳۹ (S۱): S۱۵-S۲۶. <https://doi.org/10.1002/pmj.20057>
- [۴۵] Safapour, E., S. Kermanshachi, J. Shane, and S. Anderson. ۲۰۱۷. "Exploring and assessing the utilization of best practices for achieving excellence in construction projects." In Proc., ۶th CSCE Int. Construction Specialty Conf. Montreal: Canadian Society for Civil Engineering.
- [۴۶] Remington, K., and J. Pollack. ۲۰۰۷. Tools for complex projects. Surrey, UK: Gower Publishing.
- [۴۷] Bosch-Rekvelde, M. G. C. ۲۰۱۱. Managing project complexity: A study into adapting early project phases to improve project performance in large engineering projects. Delft, Netherlands: Delft Univ. of Technology.

- [۴۸] Senescu, R. R., G. Aranda-Mena, and J. R. Haymaker. ۲۰۱۲. "Relationships between project complexity and communication." *J. Manage. Eng.* ۲۹ (۲): ۱۸۳-۱۹۷. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0001211](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0001211).
- [۴۹] Xia, W., & Lee, G. (۲۰۰۴). Grasping the complexity of IS development projects. *Communications of the ACM*, 47(۵), ۶۸-۷۴.
- [۵۰] Lu, Y., Luo, L., Wang, H., Le, Y., & Shi, Q. (۲۰۱۵). Measurement model of project complexity for large-scale projects from task and organization perspective. *International journal of project management*, 33(۳), ۶۱۰-۶۲۲. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.12.005>
- [۵۱] Ahn, S., Shokri, S., Lee, S., Haas, C. T., & Haas, R. C. (۲۰۱۷). Exploratory study on the effectiveness of interface-management practices in dealing with project complexity in large-scale engineering and construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 33(۲), ۰۴۰۱۶۰۳۹. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0004888](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0004888)
- [۵۲] Koo, H. J., & O'Connor, J. T. (۲۰۲۱). Complexity analysis of design deliverable defects on building projects. *Journal of Management in Engineering*, 37(۳), ۰۴۰۲۱۰۱۴. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0004917](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0004917)
- [۵۳] Botchkarev, A., & Finnigan, P. (۲۰۱۵). Complexity in the context of information systems project management. *Organisational Project Management*, ۲ (۱), ۱۵-۳۴.
- [۵۴] Nguyen, A. T., Nguyen, L. D., Le-Hoai, L., & Dang, C. N. (۲۰۱۵). Quantifying the complexity of transportation projects using the fuzzy analytic hierarchy process. *International journal of project management*, 33(۶), ۱۳۶۴-۱۳۷۶. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.02.007>
- [۵۵] Ma, L., & Fu, H. (۲۰۲۰). Exploring the influence of project complexity on the mega construction project success: a qualitative comparative analysis (QCA) method. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(۹), ۲۴۲۹-۲۴۴۹ <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2019-0679>
- [۵۶] San Cristóbal, J. R., Carral, L., Diaz, E., Fraguera, J. A., & Iglesias, G. (۲۰۱۸). Complexity and project management: A general overview. *Complexity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/4891286>
- [۵۷] Shi, Q., Hertogh, M., Bosch-Rekveltdt, M., Zhu, J., & Sheng, Z. (۲۰۲۰). Exploring decision-making complexity in major infrastructure projects: A case study from China. *Project Management Journal*, 51(۶), ۶۱۷-۶۳۲. <https://doi.org/10.1177/8756972820919205>
- [۵۸] Chapman, R. J. (۲۰۱۶). A framework for examining the dimensions and characteristics of complexity inherent within rail megaprojects. *International journal of project management*, 34(۶), ۹۳۷-۹۵۶. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.05.001>
- [۵۹] Qazi, A., Quigley, J., Dickson, A., & Kirytopoulos, K. (۲۰۱۶). Project Complexity and Risk Management (ProCRiM): Towards modelling project complexity driven risk paths in construction projects. *International journal of project management*, 34(۷), ۱۱۸۳-۱۱۹۸.

- [۶۰] Gajić, S., & Palčić, I. (۲۰۱۹). A new framework for complexity analysis in international development projects—Results from a Delphi study. *Advances in Production Engineering & Management*, 14(۲), ۲۲۵-۲۳۸. <https://doi.org/10.14743/apem.۲۰۱۹.۲.۳۲۴>
- [۶۱] Kim, S. Y., Nguyen, M. V., & Dao, T. T. (۲۰۲۱). Prioritizing complexity using fuzzy DANP: case study of international development projects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(۴), ۱۱۱۴-۱۱۳۳. <https://doi.org/10.1108/ECAM-۰۴-۲۰۲۰-۰۲۶۵>
- [۶۲] Ershadi, M., Jefferies, M., Davis, P. R., & Mojtahedi, M. (۲۰۲۲). The contribution of project management offices to addressing complexities in principal construction contracting. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(۱), ۲۸۷-۳۰۶. <https://doi.org/10.1108/ECAM-۰۴-۲۰۲۰-۰۲۴۴>
- [۶۳] Jia, F., Xiang, P., & Chen, D. (۲۰۲۲). Prioritizing the Operation and Maintenance Complexity of Mega Transportation Projects Based on Systems Thinking. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(۲), ۰۵۰۲۱۰۱۴. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002222](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002222)
- [۶۴] Rad, E. K. M., Sun, M., & Bosché, F. (۲۰۱۷). Complexity for megaprojects in the energy sector. *Journal of Management in Engineering*, 33(۴). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000005](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000005)
- [۶۵] Floricel, S., Michela, J. L., & Piperca, S. (۲۰۱۶). Complexity, uncertainty-reduction strategies, and project performance. *International Journal of Project Management*, 34(۷), ۱۳۶۰-۱۳۸۳. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.۲۰۱۵.۱۱.۰۰۷>
- [۶۶] Jaber, H., Marle, F., Vidal, L. A., Sarigol, I., & Didiez, L. (۲۰۲۱). A framework to evaluate project complexity using the fuzzy topsis method. *Sustainability*, 13(۶), ۳۰۲۰. <https://doi.org/10.3390/su13۰۶۳۰۲۰>
- [۶۷] Kermanshachi, S., Rouhanizadeh, B., & Dao, B. (۲۰۲۰). Application of Delphi method in identifying, ranking, and weighting project complexity indicators for construction projects. *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, 12(۱), ۰۴۵۱۹۰۳۳. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-۴۱۷۰.0000۰۳۳](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-۴۱۷۰.0000۰۳۳)
- [۶۸] Mamédio, D. F., & Meyer, V. (۲۰۲۰). Managing project complexity: how to cope with multiple dimensions of complex systems. *International journal of managing projects in business*. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-۰۶-۲۰۱۹-۰۱۴۷>
- [۶۹] Owens, J., Ahn, J., Shane, J. S., Strong, K. C., & Gransberg, D. D. (۲۰۱۲). Defining complex project management of large US transportation projects: A comparative case study analysis. *Public Works Management & Policy*, 17(۲), ۱۷۰-۱۸۸. <https://doi.org/10.1177/۱۰۸۷۷۲۴۸۱۱۴۱۹>
- [۷۰] Sinha, H., and A. Singh. ۲۰۰۶. "Measuring project complexity: A project manager's tool." *Archit. Eng. Des. Manage.* ۲ (۳): ۱۸۷-۲۰۲. <https://doi.org/10.1080/1۷۴۵۲۰۰۷.۲۰۰۶.۹۶۸۴۶۱۵>
- [۷۱] Wood, H., and P. Ashton. ۲۰۱۰. "The factors of project complexity." In Proc., TG۱۲-Special Track ۱۸th CIB World Building Congress. Ottawa: International Council for Research and Innovation in Building and Construction

- [۷۲] Shafiei-Monfared, S., and K. Jenab. ۲۰۱۲. "A novel approach for complexity measure analysis in design projects." *J. Eng. Des.* ۲۳ (۳): ۱۸۵-۱۹۴. <https://doi.org/10.1080/09544828.2011.554389>
- [۷۳] Scholl, W., M. B. Konig, and P. Heisig. ۲۰۰۴. "The future of knowledge management: An international Delphi study." *J. Knowl. Manage.* ۸ (۲): ۱۹. <https://doi.org/10.1108/13673270410529082>
- [۷۴] Ameyaw, E. E., Y. Hu, M. Shan, A. P. C. Chan, and Y. Le. ۲۰۱۶. "Application of Delphi method in construction engineering and management research: A quantification perspective." *J. Civ. Eng. Manage.* ۲۲ (۸): ۹۹۱-۱۰۰۰. <https://doi.org/10.3846/13623730.2014.945953>
- [۷۵] Gao, N., Y. Chen, W. Wang, and Y. Wang. ۲۰۱۸. "Addressing project complexity: The role of contractual functions." *J. Manage. Eng.* ۲۴ (۳): ۰۴۰۱۸۰۱۱. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000613](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000613)
- [۷۶] Hallowell, M. R., and J. A. Gamnatese. ۲۰۱۰. "Qualitative research: Application of the Delphi method to CEM research." *J. Constr. Eng. Manage.* ۱۳۶ (۱): ۹۹-۱۰۷. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000137](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000137)