

مدل ارزیابی پیچیدگی پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ در ایران - رویکرد ANP فازی

عالیه کاظمی^{۱*}، سپیده افشاری^۲

۱- استادیار، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

پروژه‌های ساخت و ساز همواره پیچیده هستند. همراه با افزایش پیچیدگی پروژه‌های بزرگ ساخت و ساز، مشکلات مربوط به اجرای این پروژه‌ها نیز افزایش می‌یابد. درک درستی از پیچیدگی این نوع پروژه‌ها و ارزیابی آنها از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. ارزیابی پیچیدگی پروژه می‌تواند منبعی فراهم آورد که تصمیم‌گیرندگان و مدیران مربوطه از آن بهره‌گیرند. فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی رویکردی منطقی و سیستماتیک برای شناسایی، ارزیابی و رتبه‌بندی است. این روش اجازه تحلیل سیستم‌های پیچیده و تعیین پیچیدگی سیستم‌های پروژه را می‌دهد. در این پژوهش با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی، شاخص‌های مؤثر در ایجاد پیچیدگی پروژه‌های مربوط به ساخت و سازهای بزرگ در ایران شناسایی و اولویت‌بندی شده‌اند. نتایج نشان داد شاخص‌های پیچیدگی اجتماعی-سیاسی، پیچیدگی وابستگی پروژه و پیچیدگی فنی اولویت‌های اول تا سوم را دارند. همچنین سه پروژه بزرگ تجاری-اداری، بیمارستانی و برج‌های بلند از لحاظ پیچیدگی مورد مقایسه قرار گرفتند و پروژه بیمارستانی پیچیده‌ترین پروژه ارزیابی شد. این مدل برای افراد حرفه‌ای در مدیریت پروژه‌های بزرگ مفید خواهد بود.

کلمات کلیدی: ارزیابی پیچیدگی، مدیریت پروژه، پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ، تصمیم‌گیری چندشاخصه، فرآیند تحلیل شبکه‌ای فازی.

*نویسنده مسئول: عالییه کاظمی

پست الکترونیکی: aliyehkazemi@ut.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۳۰

۱- مقدمه

پیچیدگی روزافزون فعالیت‌ها و محیط شدیداً متغیر و متلاطم جهان امروز، مدیران را با دشواری‌هایی مواجه ساخته که کوچک‌ترین غفلت آن‌ها نسبت به مسائل، پیامدهای غیرقابل جبران به دنبال خواهد داشت. در سال‌های اخیر شهری شدن سریع باعث افزایش پروژه‌های ساخت و ساز شده است. این پروژه‌ها معمولاً بسیار پیچیده می‌باشند. درک میزان پیچیدگی پروژه‌های بزرگ در جهان پویا و پیچیده امروزه آسان نیست [۱]. به دلیل نبود دانش مربوطه، این پروژه‌ها معمولاً با کارایی پائین دنبال می‌شوند و منجر به مشکلاتی همچون هزینه‌های بالا و تأخیر در برنامه‌ها می‌شود [۲،۳].

اندازه‌گیری پیچیدگی بحث مهمی در مدیریت ساخت پروژه‌های بزرگ است. ارزیابی پیچیدگی یک پروژه خاص می‌تواند منبعی فراهم آورد که تصمیم‌گیرندگان و مدیران مربوطه از آن بهره‌گیرند. مطالعات قبلی صورت گرفته در این زمینه بسیار محدود هستند و بیشتر آن‌ها بر روی ساختارهای مفهومی پیچیدگی متمرکز بوده‌اند [۴، ۱] و به ندرت این مطالعات مدل‌هایی را برای ارزیابی پیچیدگی یک پروژه ساخت و ساز به صورت کمی ارائه کرده‌اند؛ به‌ویژه این موارد در پروژه‌های بزرگ ایران صورت نگرفته‌اند.

فعالیت‌های پژوهشی بر روی مفهوم پیچیدگی، در سال‌های متمادی صورت گرفته است؛ اما اتفاق نظری بر روی این که پیچیدگی چیست وجود ندارد. به طوری که سین‌ها و همکاران بیان می‌کنند مفهوم یگانه‌ای از پیچیدگی وجود ندارد که ما را قانع سازد که مفهوم کلمه دقیقاً چیست. پیچیدگی را می‌توان به چندین روش، نه تنها در موضوعات مختلف، همچنین در موضوعات یکسان درک کرد [۵]. در این پژوهش، پیچیدگی را بر اساس برخی پژوهش‌های انجام شده تعریف کرده‌ایم [۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰]. پیچیدگی پروژه، خاصیتی از یک پروژه است که درک، پیش‌بینی و تحت کنترل نگه‌داشتن رفتار کلی آن را حتی در زمانی که اطلاعات کاملی در مورد سیستم پروژه در اختیار است دشوار می‌سازد.

پیچیدگی پروژه یک موضوع مهم در زمینه مدیریت پروژه ساخت و ساز است و محققین بسیاری به اهمیت این موضوع در تشخیص پروژه به ویژه پروژه‌های بزرگ ساخت و ساز اشاره کرده‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵]. با در نظر گرفتن اینکه تشخیص پیچیدگی پروژه به صورت دقیق برای بسیاری از افراد مشکل است؛ بسیاری از محققین مطالعاتی برای تعیین شاخص‌های مربوط به اندازه‌گیری پیچیدگی و طبقه‌بندی این شاخص‌ها انجام داده‌اند. به‌طور مثال باکارینی [۱۶] و ویلیامز [۱۵]، پیچیدگی پروژه را به دو دسته پیچیدگی ساختاری و پیچیدگی فنی تقسیم‌بندی کرده‌اند. زیبا و چان [۱۶]، شش شاخص پیچیدگی پروژه را ساختار و عملکرد ساختمان، روش ساخت و ساز، ضرورت برنامه پروژه، شرایط زمین‌شناسی (جغرافیایی)، اندازه پروژه و محیط‌زیست (همسایگی محیطی) دانسته‌اند. رمینگتون و پولاک [۱۷]، فاکتورهای مؤثر بر مدیریت ساخت و سازها را به چهار دسته پیچیدگی ساختاری، پیچیدگی‌های فنی، پیچیدگی جهت (ناشی از ابهام مربوط به تفاسیر متعدد از اهداف) و پیچیدگی زمانی، تقسیم‌بندی و تأثیر هر عامل را تشریح کرده‌اند. ویدال و مارلی [۱۰]، فاکتورهای مؤثر در مدیریت ساخت و سازهای پروژه را به اندازه پروژه، تنوع پروژه، وابستگی پروژه و وابستگی زمینه پروژه تقسیم‌بندی کرده‌اند. جرالدی و همکاران [۱۸]، عناصر پیچیدگی در مدیریت ساخت و سازهای پروژه را ساختاری؛ عدم اطمینان؛ پویا بودن و پیچیدگی‌های اجتماعی، سیاسی دانسته‌اند. در این پژوهش آن‌ها به اهمیت هر یک از این عوامل پرداخته‌اند. پژوهشی توسط هی و همکاران [۱۹]، در سال ۲۰۱۴ در چین انجام گرفت، آن‌ها ابعاد مدل پیچیدگی در پروژه‌های ساخت و سازهای بزرگ را پیچیدگی‌های تکنولوژیکی، اطلاعاتی، فرهنگی، محیطی، هدف و سازمانی معرفی کرده‌اند. در این پژوهش با استفاده از مقایسات زوجی، به اولویت‌گذاری این عوامل پرداخته شده است. جیدادو و میلار [۲۰]، پیچیدگی پروژه را پیچیدگی فنی وظایف، میزان همپوشانی و وابستگی متقابل در مراحل ساخت و ساز، سازماندهی پروژه، چیدمان مکان (فضا) و غیر قابل پیش‌بینی بودن کار در مکان در نظر گرفته‌اند. جیدادو [۲۱]، تعدادی از جنبه‌های پیچیدگی پروژه را مشخص کرده است که شامل منابع استخدام، محیط، سطح دانش علمی و فناوری مورد نیاز، تعداد بخش‌های مختلف در گردش کار و تعامل بخش‌های مختلف می‌باشد. چان [۲۲]، پنج عامل معمول پیچیدگی پروژه را شهرت مشتریان، شرایط مکان/مشکلات دسترسی مکان، توانایی

طراحی پروژه، کیفیت هماهنگی طراحی و مدیریت کیفیت پیشنهاد کرده است. آکنتوی [۲۳]، بیان می‌کند که پیچیدگی پروژه از مؤلفه‌های اصلی سازماندهی پروژه‌های مورد انتظار، نوع ساختار، محدودیت مکان، روش و تکنیک‌های ساخت، مقیاس و وسعت پروژه و پیچیدگی طراحی و ساخت تشکیل می‌شود. سیسمیل و مارشال [۲۴]، سه بعد پیچیدگی در پروژه‌های ساخت و ساز را فرآیند ارتباطات پیچیده و روابط قدرت میان بازیگران پروژه، ابهام و ابهامات مرتبط با شاخص‌های (موفق/ناموفق) عملکرد پروژه در طول زمان و تغییرات در طول زمان عنوان کرده‌اند. سین‌ها و همکاران [۱]، سه عامل توجیه پیچیدگی را کارگران، مواد و ابزار مورد استفاده در انجام فعالیت‌های پروژه بیان کرده‌اند. لیونگ [۲۵]، شاخص پیچیدگی ساخت و ساز را به عنوان یک ابزار کمی هدف برای اندازه‌گیری پیچیدگی ساخت و سازها برای پروژه‌های ساختمانی مشخص کرده است و ده متغیر تعریف پیچیدگی پروژه به شرح زیر مشخص شده است: مدت پروژه، فضای کار، مجموع قرارداد، منطقه (محل)، نوع ساختار، ارتفاع ساختمان، موقعیت مکان، مشتری، کاربرد ساختمان و مساحت کل زمین. باکارینی [۶]، پیچیدگی را تعدادی از عناصر فیزیکی پروژه و وابستگی متقابل آن‌ها تعریف کرده است. ویلیامز [۱۵]، پیچیدگی پروژه را به عنوان عدم قطعیت ساختاری (تعدادی از عناصر و وابستگی متقابلشان، از جمله اهداف چندگانه و تعداد سهامداران) و عدم قطعیت اهداف و روش‌ها بیان می‌کند. استیوارت [۲۶]، دو گروه اصلی پیچیدگی الگوریتمی و پیچیدگی سازمانی را به عنوان تعریف قراردادی پیچیدگی در نظر گرفته است. جعفری [۲۷]، در مقاله‌ای با عنوان مدیریت پروژه در عصر پیچیدگی و تغییر، پیچیدگی اجتماعی و ارتباط آن با مدیریت پروژه را مورد بررسی قرار داد. وی پیچیدگی اجتماعی را با ویژگی‌های سیستم باز، آشوب، خودسازماندهی و ارتباط متقابل معرفی کرده است. صداقت-سرشت [۲۸]، محیط، سازمان، اهداف، ذینفعان، وظایف، تکنولوژی و سیستم‌های اطلاعاتی را به عنوان ابعاد اصلی پیچیدگی پروژه در نظر گرفته است.

در این پژوهش شاخص‌های تأثیرگذار برای ارزیابی پیچیدگی پروژه‌های بزرگ ساخت و ساز در ایران شناسایی و وزن‌دهی

می‌شوند.

۲- روش پژوهش

در پژوهش حاضر، ابتدا با بررسی تحقیقات پیشین شاخص‌های تأثیرگذار بر پیچیدگی پروژه‌های بزرگ ساخت و ساز مشخص شده‌اند، سپس با کسب نظر خبرگان و با استفاده از روش دلفی این شاخص‌ها برای پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ در ایران تعدیل شده‌اند. پس از آن با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی، وزن هر کدام از شاخص‌ها مشخص شده است. در ادامه در خصوص روش دلفی فازی و روش فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی توضیح داده شده است.

۲-۱- روش دلفی

روش دلفی (DM^1) اولین بار توسط دالکی و هلمر در سال ۱۹۶۳ توسعه یافت. DM تکنیکی است که به منظور دستیابی به اجماع قابل اعتماد میان گروهی از خبرگان مورد استفاده قرار می‌گیرد. اجماع از طریق مشاوره با خبرگان تا سقف ده بار به طور تکراری و محاسبه شاخص‌هایی همچون میانگین و انحراف شاخص از نظرات دفعه قبلی به دست می‌آید و این امکان به خبرگان داده می‌شود که نظرات خود را تعدیل نمایند [۲۹]. به همین منظور، دلفی چندین مزایا نسبت به روش‌های تصمیم‌گیری مشابه دارد که از آن جمله اجتناب از مواجهه مستقیم مشارکت‌کنندگان [۳۰] و فرصت دریافت بازخورد نظرات و امکان اصلاح و بهبود نظرات می‌باشد. یکی از کاربردهای متداول دلفی مدل رتبه‌بندی آن است که به منظور ایجاد اجماع گروهی در خصوص اهمیت نسبی مساله مورد نظر استفاده می‌شود [۳۱]. در هر مرحله

نیز میانگین، میانه و دامنه میان چارکی (IQR^2) به خبرگان ارائه می شود تا در صورت لزوم در نظرات خود تجدید نظر نمایند [۳۲]. به طور خلاصه، رویه مورد استفاده در روش دلفی در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: رویه انجام دلفی [۳۳]

دور t دلفی	دوره t+1 دلفی	دور t+2 دلفی
میانگین نظرات بزرگتر مساوی ۳/۵	اگر میانگین نظرات بزرگتر مساوی ۳/۵ و انحراف چارکی کوچکتر مساوی ۰/۵ و اختلاف نظرات دو دور متوالی کمتر از ۱۵٪ باشد، شاخص مربوط انتخاب می شود.	
میانگین نظرات کمتر از ۳/۵	میانگین نظرات بزرگتر مساوی ۳/۵ یا اختلاف نظرات دو دور متوالی بیشتر از ۱۵٪ باشد دور بعدی نیاز است.	اگر میانگین نظرات بزرگتر مساوی ۳/۵ و انحراف چارکی کوچکتر مساوی ۰/۵ و اختلاف نظرات دو دور متوالی کمتر از ۱۵٪ باشد، شاخص مربوط انتخاب می شود.
میانگین نظرات کمتر از ۳/۵	میانگین نظرات کمتر از ۳/۵ و انحراف چارکی کمتر از ۰/۵ بوده و اختلاف نظرات دو دور متوالی کمتر از ۱۵٪ باشد دور بعدی نیاز نیست و شاخص رد می شود.	

۲-۲- روش فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی

ترتیب و همکاران [۳۴]، مراحل ذیل را جهت انجام FANP^۳ پیشنهاد نموده‌اند. با فرض اینکه k خبره در پژوهش شرکت داشته باشند و با فرض اینکه قضاوت هر خبره در خصوص اهمیت شاخص‌ها بین U_i و U_j قرار گرفته و توسط B_{ijk} تعیین شود و ماتریس‌های مقایسات زوجی را به صورت $B(k)=(B_{ijk})$ نشان دهیم و همچنین n شاخص ارزیابی در نظر گرفته شود، وزن شاخص‌ها به صورت ذیل قابل محاسبه است:

تشکیل ماتریس مقایسه زوجی: ماتریس مقایسه زوجی شامل دیدگاه‌های خبرگان است، اما قضاوت خبرگان در خصوص اهمیت نسبی شاخص‌ها غیرقطعی است. در نتیجه، اعداد فازی مثلثی به منظور نمایش قضاوت خبرگان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۹]. ماتریس‌های مقایسه زوجی با $B=(B_{ij})$ مشخص می‌شود که در آن B_{ij} یک عدد فازی مثلثی است که به صورت $B_{ij}=(L_{ij}, M_{ij}, U_{ij})$ نشان داده می‌شود و L_{ij} حد پایین، M_{ij} محتمل‌ترین و U_{ij} حد بالای عدد فازی مثلثی است و $L_{ij}=\min_k(B_{ijk})$ ، $U_{ij}=\max_k(B_{ijk})$ و $M_{ij}=\text{Geomean}(B_{ijk})$

تعیین بردار وزنی فازی: بر اساس ماتریس B ، میانگین هندسی بردار ستونی به منظور تعیین بردار وزنی فازی استفاده می‌شود. به طور مشخص برای هر j داریم: $r_j = (B_{1j} \cdot B_{2j} \cdot \dots \cdot B_{nj})^{1/n_j}$ که در آن $j=1,2,\dots,n_i$ و \bullet نشان‌دهنده ضرب فازی است و r_j را می‌توان با استفاده از رابطه (۱) نرمال نمود.

$$w_j = \frac{r_j}{(r_1 + r_2 + \dots + r_{n_i})} \quad (1)$$

تحلیل تصمیم در خصوص وزن: مورد اول مفهوم مجموعه برش^۴ است که به منظور دی فازی نمودن وزن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. $\alpha \in [0,1]$ بوده و پارامتر برش است. فرض کنیم $w_i = (w_i^L, w_i^M, w_i^U)$ و بر اساس آلفای تعریف شده، روابط زیر برقرار باشد:

2 Interquartile range
3 Fuzzy analytical network process
4 Cut set

$$w_i^L(\alpha) = (w_i^M - w_i^L) \times \alpha + w_i^L \quad (2)$$

$$w_i^U(\alpha) = (w_i^U - w_i^M) \times \alpha + w_i^M \quad (3)$$

$$w_i(\alpha, \lambda) = \lambda \cdot w_i^U(\alpha) + (1 - \lambda) w_i^L(\alpha) \quad (4)$$

دوم اینکه $w_i(\alpha, \lambda)$ می‌تواند از طریق رابطه (5) نرمال شود.

$$W_i(\alpha, \lambda) = \frac{w_i(\alpha, \lambda)}{\left(\sum_i w_i(\alpha, \lambda)\right)} \quad (5)$$

در نتیجه وزن شاخص به طور قابل توجهی به مقدار آلفا و لاندا بستگی خواهد داشت. زمانی که آلفا صفر است به مفهوم حداکثر عدم قطعیت در نظر خبرگان بوده و زمانی که آلفا برابر یک باشد، نشان دهنده قطعیت کامل است. لاندا نیز به مفهوم درجه بدبینی در تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. زمانی که لاندا برابر صفر است، تصمیم‌گیرنده خوش‌بین است و در نتیجه مقادیر بالای عدد فازی مثالی انتخاب می‌شوند و زمانی که لاندا یک است، تصمیم‌گیرنده بدبین است. در این پژوهش مقدار آلفا برابر صفر و مقدار لاندا برابر ۱ در نظر گرفته شده است.

محاسبه ماتریس وزنی W_{ij} : ماتریس وزنی برای هر عنصر در گروه U_1 بنام W_{11} به صورت رابطه (6) قابل نمایش است:

$$w_{11} = (w^{(11)}, w^{(12)}, \dots, w^{(1n_1)}) = \begin{bmatrix} w_{11}^{(11)} & w_{21}^{(12)} & \dots & w_{n_1 1}^{(1n_1)} \\ w_{12}^{(11)} & w_{22}^{(12)} & \dots & w_{n_1 2}^{(1n_1)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{1n_1}^{(11)} & w_{2n_1}^{(12)} & \dots & w_{2n_1 n_1}^{(1n_1)} \end{bmatrix} \quad (6)$$

این روش به منظور محاسبه W_{22}, W_{33} و ... تکرار می‌شود.

محاسبه سوپر ماتریس: سوپر ماتریس وزن‌دار از ضرب ماتریس وزن نسبی A در سوپر ماتریس اولیه W به دست می‌آید و سپس با به توان رساندن سوپر ماتریس وزن‌دار، ماتریس حدی (\underline{W}) به دست آمده و نهایتاً با نرمال‌سازی وزن شاخص‌ها، وزن نهایی مطابق با روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$W = \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\underline{W} = \begin{bmatrix} a_{11}W_{11} & a_{12}W_{12} & \dots & a_{1N}W_{1N} \\ a_{21}W_{21} & a_{22}W_{22} & \dots & a_{2N}W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N1}W_{N1} & a_{N2}W_{N2} & \dots & a_{NN}W_{NN} \end{bmatrix} \quad (9)$$

شیور نیز برای فرایند ANP سه مرحله را معرفی نموده است [۳۵]:

- مرحله اول: بدون در نظر گرفتن وابستگی معیارها، از تصمیم‌گیرندگان خواسته می‌شود که کلیه معیارها را مقایسه زوجی نمایند. در واقع مرحله اول کاملاً مشابه روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی سنتی است. وزن‌های به دست آمده را W_{11} می‌نامیم. وزن درونی زیرمعیارها را نیز W_{12} و پیچیدگی نسبی پروژه‌ها نسبت به هر یک از زیرمعیارها را W_{23} می‌نامیم.
 - مرحله دوم: در مرحله بعدی باید اثرات مربوط به وابستگی‌های درونی معیارها و زیرمعیارها را لحاظ نماییم. به دست آوردن وابستگی‌های درونی معیارها و زیرمعیارها می‌تواند با استفاده از مقایسه زوجی سنتی انجام گیرد. در این مرحله، تصمیم‌گیرندگان اثرات معیارها بر یکدیگر را مورد سنجش قرار می‌دهند. ماتریس اثرات درونی معیارها در نهایت نرمال‌سازی می‌شود. ماتریس روابط درونی معیارها را B_{11} و ماتریس روابط درونی زیرمعیارها را B_{22} می‌نامیم.
 - مرحله سوم: ماتریس روابط درونی معیارها را در وزن معیارها ضرب کرده و ماتریس C_1 به دست می‌آید، ماتریس روابط درونی زیرمعیارها را در وزن زیرمعیارها ضرب کرده و ماتریس C_{12} که وزن محلی زیرمعیارها را نشان می‌دهد، به دست می‌آید. در نهایت با ضرب ماتریس $C_1 \times C_{12}$ در W_{23} ، ماتریس وزن نهایی یا جهانی به دست می‌آید.
- در این پژوهش در قسمت محاسبه وزن نهایی زیرمعیارها از روش پیشنهادی شیور به جای روش سنتی سوپرماتریس به منظور انجام محاسبات روش ANP استفاده گردیده است.

۳- یافته‌ها

۳-۱- مشخص کردن شاخص‌های پیچیدگی

ابتدا با بررسی تحقیقات پیشین ۵۹ شاخص استخراج شد. پس از کسب نظر ۱۰ نفر از خبرگان و انجام سه دور روش دلفی، شاخص‌های تأثیرگذار بر پیچیدگی پروژه‌های بزرگ ساخت و ساز در ایران و شاخص‌های فرعی مربوط به هر یک مطابق با شکل ۱ انتخاب شدند.



شکل ۱: شاخص و زیرشاخص‌های منتخب برای ارزیابی پیچیدگی پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ.

هر یک از شاخص‌های فوق به صورت زیر تعریف شده‌اند:

- پیچیدگی فنی: پروژه‌های ساختمانی بزرگ، معمولاً با پیچیدگی فنی بالا شناخته می‌شوند. بسیاری از محققین انواع مختلفی از پیچیدگی‌های فنی در مدیریت پروژه‌ها را گزارش کرده‌اند که این موارد شامل تنوع تکنولوژی در پروژه، وابستگی فرآیندهای تکنولوژیکی و رابطه بین سیستم فنی و محیط خارجی است [۳۷، ۳۶، ۶].
- پیچیدگی سازمانی: پیچیدگی سازمانی بیشترین توجه را در دو دهه اخیر داشته است و شامل تجربه اعضا، تعداد طبقه‌بندی‌ها و بخش‌های ساختارهای سازمانی پروژه است [۶، ۳۳، ۳۸].

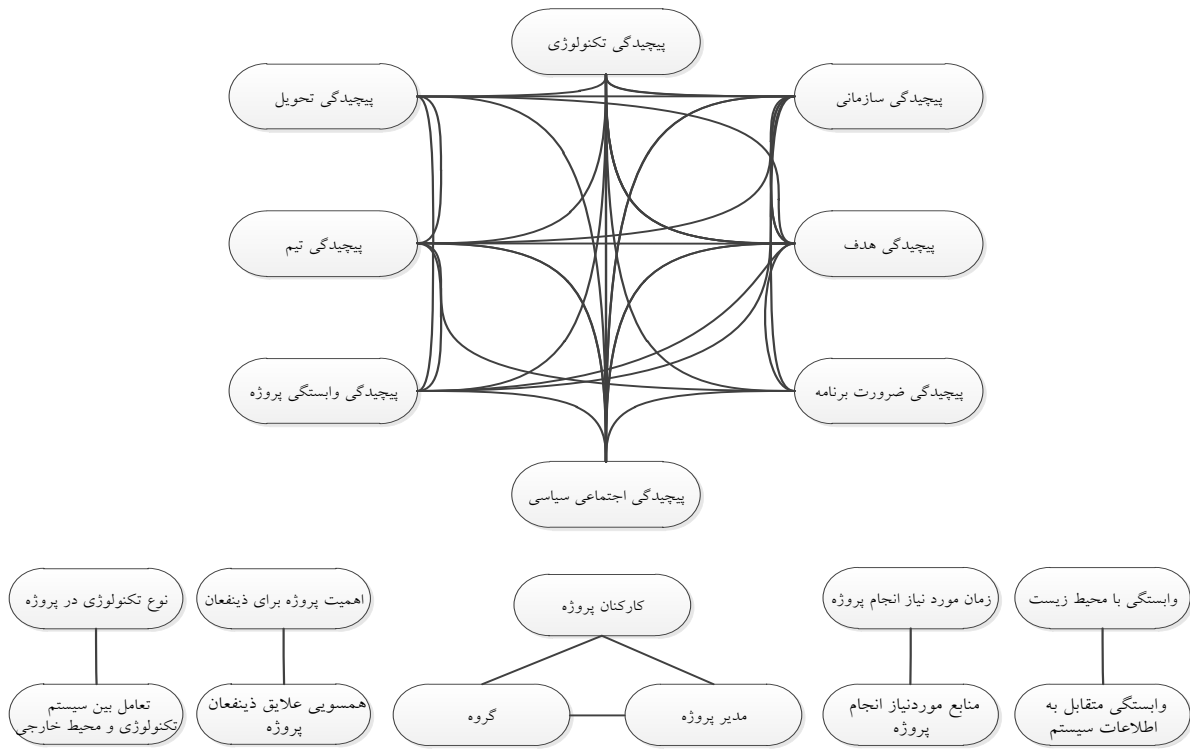
- پیچیدگی هدف: معمولاً به دلیل داشتن فاکتورهای نظیر نیازمندی‌های شرکای مختلف پروژه، پیچیدگی کار پروژه و محدودیت منابع رخ می‌دهد. پیچیدگی هدف نوعی از پیچیدگی‌های ساختاری است، چرا که تقریباً تمام پروژه‌ها، اهداف چندگانه را دارا می‌باشند [۱۵].
- پیچیدگی اجتماعی - سیاسی: پژوهش‌های زیادی وجود دارد که تأکید می‌کند، پروژه‌ها توسط منابع انسانی با منافع متضاد و شخصیت‌های متفاوت انجام می‌شود. در شرایطی مانند تغییرات سازمانی یا جایی که یک پروژه نیازمند متحد کردن منافع، برنامه‌ها یا نظرات مختلف است انتظار بیشتر از این نوع پیچیدگی داریم [۴].
- پیچیدگی تحویل: پیچیدگی تحویل معمولاً از چندین فاکتور شامل روند (دولت، مدیریت تغییر، تصمیم‌گیری، فرایندهای پروژه، روش مدیریت پروژه)، منابع انسانی، منابع فناوری، منابع مالی و سرعتی که پروژه‌ها باید تحویل داده شود تأثیر می‌پذیرد.
- پیچیدگی تیم: تشکیل تیم پروژه، فرآیند تأیید در دسترس بودن منابع انسانی و جذب تیم مورد نیاز جهت تکمیل وظایف پروژه است. همچنین فرآیند مدیریت تیم پروژه شامل پیگیری عملکرد اعضای تیم، ارائه بازخورد به اعضا، حل مشکلات و مدیریت تغییرات جهت بهینه‌سازی عملکرد پروژه است.
- پیچیدگی وابستگی پروژه: معمولاً از چندین فاکتور شامل وابستگی متقابل بین سایت‌ها، ادارات و شرکت‌ها، وابستگی متقابل اطلاعات سیستم، وابستگی متقابل اهداف و ... تأثیر می‌پذیرد.
- پیچیدگی ضرورت برنامه‌ریزی پروژه: موفقیت اجرای پروژه‌های بزرگ صنعتی و عمرانی نیاز به رویکرد سیستماتیک در برنامه‌ریزی و کنترل نحوه اجرای فعالیت‌ها از نظر زمان اجرا و هزینه دارد. کار اصلی سیستم برنامه‌ریزی در پروژه عبارت است از تهیه، گردآوری، ثبت و نگهداری اطلاعات و برنامه‌ریزی مواد در دوره‌های مختلف پروژه. هدف اصلی برنامه‌ریزی در پروژه، هدایت پروژه طبق زمان‌بندی و بودجه تعیین‌شده و تأمین اهداف و محصولات نهایی پروژه و ذخیره اطلاعات حاصله جهت استفاده در پروژه‌های بعدی است. این سیستم باید مدیر پروژه را در بهینه کردن سه عامل زمان، هزینه و کیفیت در اجرای پروژه یاری نماید. برنامه‌ریزی پروژه شامل کارهایی است که با انجام آن‌ها می‌توان فعالیت‌های پروژه و روابط میان آن‌ها را شناخت و مدت، منابع مورد نیاز و هزینه اجرای آن‌ها را بر اساس شاخص‌های موجود در سازمان مولد پروژه برآورد نمود.

۳-۲- ساختار مدل ANP برای ارزیابی پیچیدگی پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ

شاخص‌های ذکر شده مستقل نیستند و مدل ANP مطابق با شکل ۲ در نظر گرفته شده است.

۳-۳- تعیین وزن شاخص‌های پیچیدگی پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ

با استفاده از روش ANP فازی و دریافت نظر خبرگان، وزن نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها مطابق با جدول ۲ به دست آمد. همانگونه که ملاحظه می‌شود پیچیدگی اجتماعی - سیاسی، پیچیدگی وابستگی پروژه و پیچیدگی فنی اولویت‌های اول تا سوم را دارند.



شکل ۲: روابط میان شاخص‌های اصلی و فرعی پیشگیری پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ از نظر خبرگان.

جدول ۲: وزن نسبی شاخص‌ها و زیر شاخص‌ها برای ارزیابی پیشگیری پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ

شاخص	وزن شاخص	زیر شاخص	وزن زیر شاخص با لحاظ روابط درونی زیر شاخص‌ها
پیشگیری فنی	۰/۱۴۰	تنوع تکنولوژی در پروژه	۰/۰۴۷
		تعامل بین سیستم تکنولوژی و محیط خارجی	۰/۰۹۲
پیشگیری سازمانی	۰/۱۳۴	تجربه و سابقه اجتماعی اعضای سازمان	۰/۱۳۴
پیشگیری هدف	۰/۱۱۶	میزان دسترسی به منابع و مهارت‌ها	۰/۱۱۶
پیشگیری اجتماعی سیاسی	۰/۲۲۷	اهمیت پروژه برای ذینفعان	۰/۱۶۶
		هم‌راستایی علایق ذینفعان پروژه	۰/۰۶۲
پیشگیری تحویل	۰/۰۶۲	زمان مورد نیاز جهت تحویل پروژه	۰/۰۲۵
		منابع مورد نیاز تحویل	۰/۰۳۸
پیشگیری تیم	۰/۱۰۰	کارکنان پروژه	۰/۰۴۵
		مدیر پروژه	۰/۰۳۴
		گروه	۰/۰۲۱
پیشگیری وابستگی پروژه	۰/۱۵۵	وابستگی با محیط زیست	۰/۰۶۳
		وابستگی متقابل اطلاعات سیستم	۰/۰۹۲
پیشگیری ضرورت برنامه	۰/۰۶۵	برنامه‌ریزی در نیروی کار	۰/۰۶۵

۳-۴- ارزیابی پیچیدگی سه پروژه ساخت و ساز بزرگ در ایران

پس از تعیین وزن شاخص‌های پیچیدگی، سه پروژه شامل پروژه تجاری اداری بزرگ، بیمارستان و برج بلند به منظور محاسبه و مقایسه پیچیدگی انتخاب شدند. پروژه‌ها بر اساس ۱۴ زیرشاخص منتخب، مقایسه زوجی شدند. نتایج مقایسه زوجی سه پروژه بر اساس هر زیرشاخص، به همراه وزن نسبی زیرشاخص‌ها و در نهایت پیچیدگی نسبی پروژه‌ها در جدول ۳ آمده است. نتایج نشان داد پروژه بیمارستان از پیچیدگی بالاتری برخوردار است.

جدول ۳: پیچیدگی نسبی پروژه‌ها

پروژه برج	پروژه بیمارستان	پروژه تجاری اداری	وزن زیرشاخص	زیرشاخص‌ها
۰/۱۷	۰/۶۵	۰/۱۸	۰/۰۴۷	تنوع تکنولوژی در پروژه
۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۰۹۲	تعامل بین سیستم تکنولوژی و محیط خارجی
۰/۲۳	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۱۳۴	پیچیدگی سازمانی
۰/۲۴	۰/۴۵	۰/۳۱	۰/۱۱۶	پیچیدگی هدف
۰/۲۸	۰/۴۶	۰/۲۶	۰/۱۶۶	اهمیت پروژه برای ذینفعان
۰/۲۱	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۰۶۲	هم‌راستایی علایق ذینفعان پروژه
۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۲۴	۰/۰۲۵	زمان مورد نیاز جهت تحویل پروژه
۰/۳۲	۰/۴۹	۰/۱۹	۰/۰۳۸	منابع مورد نیاز تحویل
۰/۳۲	۰/۵۲	۰/۱۶	۰/۰۴۵	کارکنان پروژه
۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۰۳۴	مدیر پروژه
۰/۱۴	۰/۵۷	۰/۳۰	۰/۰۲۱	گروه
۰/۲۵	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۰۶۳	وابستگی با محیط‌زیست
۰/۳۳	۰/۴۴	۰/۲۳	۰/۰۹۲	وابستگی متقابل اطلاعات سیستم
۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۳۷	۰/۰۶۵	پیچیدگی ضرورت برنامه
۰/۲۷۶۷	۰/۴۴۵۸	۰/۲۷۷۵		پیچیدگی نسبی پروژه‌ها

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، پروژه بیمارستان پروژه پیچیده‌تری شناسایی شده است. این پروژه از نظر تنوع تکنولوژی‌های موردنیاز، تجربه اجتماعی اعضای سازمان، دسترسی به منابع و مهارت‌های مورد نیاز، اهمیت پروژه برای ذینفعان، هم‌راستایی علایق ذینفعان پروژه، زمان مورد نیاز جهت تحویل پروژه، منابع مورد نیاز تحویل، کارکنان پروژه، مدیر پروژه، گروه اجرایی پروژه، وابستگی به محیط‌زیست و وابستگی متقابل اطلاعات سیستم از دو پروژه دیگر پیچیده‌تر بوده است. همچنین با توجه به مصاحبه‌هایی که پس از انجام این محاسبات صورت گرفت، از دید خبرگان پژوهش نیز پروژه بیمارستانی از پیچیدگی‌های فنی بالایی برخوردار بود، چرا که نیازمند دانش فنی و پیچیده‌ای در خصوص معماری بیمارستانی و نیازمند همکاری گروه‌های مختلفی از افراد و متخصصان بوده است.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش شاخص‌های تأثیرگذار بر پیچیدگی پروژه‌های ساخت و ساز بزرگ در ایران با استفاده از روش دلفی شناسایی و با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی وزن‌دهی شدند. نتایج تحقیق نشان داد، در میان معیارهای اصلی پیچیدگی، شاخص اجتماعی-سیاسی مهم‌ترین شاخص و در میان زیرشاخص‌ها، اهمیت پروژه برای ذینفعان و سپس پیچیدگی سازمانی و پیچیدگی هدف به ترتیب از اهمیت بالاتری برخوردار می‌باشند. مقایسه نتایج حاصل با پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد در پژوهشی که توسط میلور و همکاران [۴]، انجام شده بود؛ شاخص ذینفعان به عنوان شاخص اصلی در پیچیدگی پروژه گزارش شد. در پژوهشی که توسط مارل و همکاران [۸]، نیز انجام گرفت؛ تعداد ذینفعان پروژه به عنوان دومین شاخص مهم پیچیدگی پروژه پس از شاخص ارتباطات و تعامل تیم‌های کاری انتخاب شد. با این حال در پژوهش انجام شده توسط زیا و چان [۱۶]، کارکرد و نوع ساختمان پروژه به عنوان مهم‌ترین شاخص پیچیدگی شناسایی شد. در پژوهشی که توسط هی و همکاران [۱۹] نیز انجام گرفت، ابعاد سازمانی و وابستگی‌های درون سازمانی و پیچیدگی محیط زیستی پروژه به عنوان مهم‌ترین نشانگرهای پیچیدگی شناخته شدند. بر اساس مقایسات صورت گرفته، در اغلب پژوهش‌های مشابه تعداد و تعامل میان ذینفعان از بیشترین اهمیت برخوردار بوده است. قابل ذکر است با توجه به اینکه این تحقیقات در کشورهای مختلف و با در نظر گرفتن پروژه‌های متفاوت انجام شده است نتایج کاملاً یکسان نیست.

مدل ارائه شده در این پژوهش برای تعیین میزان پیچیدگی در سایر پروژه‌ها نیز قابل استفاده است و در تحقیقات آتی می‌توان میزان اهمیت هر یک از معیارهای پیچیدگی را در پروژه‌های مختلف اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه نمود. همچنین پیشنهاد می‌شود از روش‌هایی همچون سیستم استنتاج فازی نیز جهت تعیین سطح پیچیدگی پروژه‌ها استفاده شود.

مراجع

- [1] Sinha, S., Kumar, B. and Thomson, A.; "Measuring project complexity: a project manager's tool"; *Architecture Engineering and Design Management* 2 (2006) 187-202.
- [2] Kennedy, D.M., McComb, S.A. and Vozdolska, R.R.; "An investigation of project complexity's influence on team communication using Monte Carlo simulation"; *Journal of Engineering and Technology Management* 28 (2011) 109-127.
- [3] Thomas, J. and Mengel, T.; "Preparing project managers to deal with complexity — advanced project management education"; *International Journal of Project Management* 26 (2008) 304-315.
- [4] Maylor, H., Vidgen, R. and Carver, S.; "Managerial complexity in project-based operations: a ground model and its implications for practice"; *Project Management Journal* 39 (2008) 15-26.
- [5] Morel, B. and Ramanujam, R.; "Through the looking glass of complexity: the dynamics of organizations as adaptive and evolving systems"; *Organization Science* 10 No 3 (1999) 278-293.
- [6] Baccarini, D.; "The Concept of Project Complexity – A Review"; *International Journal of Project Management* 14 No 4 (1996) 201-204.
- [7] Edmonds, B.; "Syntactic measures of complexity"; Thesis of the University of Manchester for the degree of doctor of philosophy in the faculty of arts. (1999)
- [8] Marle, F.; Vidal, L.; Bocquet, J.; "Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process"; *International Journal of Project Management* 29 (2011) 718-727.
- [9] Austin, S., Newton, A., Steele, J. and Waskett, P.; "Modelling and managing project complexity"; *International Journal of Project Management* 20 (2002) 191-198.
- [10] Vidal, L.A. and Marle, F.; "Understanding project complexity: implications on project management"; *Kybernetes* 37 No 8 (2008) 1094-1110.
- [11] Chryssolouris, G., Dicke, K. and Lee, M.; "An approach to real-time flexible scheduling"; *International Journal of Flexible Manufacturing Systems* 6 No3 (1994) 235-253.
- [12] Frizelle, G.D.M. and Gregory, M.J.; "Complexity and the impact of introducing new products. Complexity and Complex Systems in Industry University of Warwick"; Warwick, UK, (1994) 247-259.
- [13] Little, G., Tuttle, D., Clark, D.E.R. and Corney, J.; "A feature complexity index"; *proceedings of Institution of Mechanical Engineers* 212 (1997), 405-412.
- [14] Wiendahl, H.P. and Scholtissek, P.; "Management and control of complexity in manufacturing"; *Annals of the CIRP* 43 No2 (1999) 533-540.

- [15] Williams, T.M.; "The need for new paradigms for complex projects"; *International Journal of Project Management* 17 No 5 (1999) 269-273.
- [16] Xia, B. and Chan, A.P.C.; "Measuring complexity for building projects: a Delphi study"; *Engineering, Construction and Architectural Management* 19 No 1 (2012) 7-24.
- [17] Remington, K. and Pollack, J.; "Tools for Complex Projects. Gower Publishing company"; Aldershot, UK. 2007.
- [18] Gerald, J., Maylor, H. and Williams, T.; "Now, let's make it really complex (complicated): a systematic review of the complexities of projects"; *International Journal of Operations & Production Management* 31 No 9 (2011) 966-990.
- [19] He, Q., Luo, L., Hu, Y. and Chan, A.P.C.; "Measuring the complexity of mega construction projects in China—A fuzzy analytic network process analysis"; *International Journal of Project Management* 17 (2014) 269-73.
- [20] Gidado, K.I. and Millar, A.J.; "The effect of simple overlap of stages of building construction on the project complexity and contract time"; Proceedings of the 8th Annual Conference, Association of Researchers in Construction Management, Isle of Man, September, (1992) 307-317.
- [21] Gidado, K.I.; "Project complexity: the focal point of construction production planning"; *Construction Management and Economics* 14 No. 3 (1996) 213-225.
- [22] Chan, W.M.; "Modeling Construction Durations for Public Housing Projects in Hong Kong"; The University of Hong Kong, Hong Kong. (1998).
- [23] Akintoye, A.; "Analysis of factors influencing project cost estimating" (2000).
- [24] Cicmil, S. and Marshall, D.; "Insights into collaboration at the project level: complexity, social interaction and procurement mechanisms"; *Building Research & Information* 33 No. 6, (2005) 523-35.
- [25] Leung, W.T.; "Classification of building project complexity and evaluation of supervisory staffing patterns using cluster and factor analysis techniques"; Department of Building and Construction, City University of Hong Kong, Hong Kong. (2007).
- [26] Stewart, P.; "Complexity Theories, Social Theory, and the Question of Social Complexity"; *Philosophy of the Social Sciences* 31 No.3, (2001) 323-360.
- [27] S Jaafari, A.; "Project Management in the age of complexity and change"; *Project Management Journal*, 34 No.4, (2003) 8756- 9726.
- [۲۸] صداقت سرشت، علی، ارائه چهارچوبی برای اندازه گیری میزان پیچیدگی پروژه ها با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین، (۱۳۹۱).
- [29] Okoli, C., and Pawlowski, S. D.; "The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications"; *Information & Management* 42 No 1 (2004) 15-29.
- [30] Kauko, K., and Palmroos, P.; "The Delphi method in forecasting financial markets: An experimental study"; *International Journal of Forecasting* 30 No 2 (2014) 313-327.
- [31] Soon, J. M., Davies, W. P., Chadd, S. A., and Baines, R. N.; "A Delphi-based approach to developing and validating a farm food safety risk assessment tool by expert"; *Expert Systems with Applications* 39 No 9 (2012) 8325-8336.
- [32] Chu, D., Strand, R. and Fjelland, R.; "Theories of complexity – common denominators of complex systems"; *Essays & Commentaries: Theories of Complexity* 8 No 3 (2003) 19-30.
- [33] Adler, M., and Ziglio, E.; "Gazing into the oracle: The Delphi method and its application to social policy and public health"; London: Kingsley Publishers. (1996).
- [34] Tseng, M. L., Lin, Y. H., Chiu, A. S. F., and Liao, J. C. H.; "Using FANP approach on selection of competitive priorities based on cleaner production implementation: a case study in PCB manufacturer, Taiwan"; *Clean Technologies and Environmental Policy* 10 No 1 (2008) 17-29.
- [35] Bosch-Rekveltdt, M., Jongkind, Y., Mooi, H., Bakker, H. and Verbraeck, A.; "Grasping project complexity in large engineering projects: the TOE (Technical, Organizational and Environmental) framework"; *International Journal of Project Management* 29 (2011) 728-739.
- [36] Shyur, H-J. and Shih, H.-S.; "A hybrid MCDM model for strategic vendor selection"; *Mathematical and Computer Modeling* 44 No 7-8 (2006) 749-761.
- [37] Maylor, H.; "Project Management"; 3rd ed. FT Prentice Hall, Harlow, UK. (2003).
- [38] Xia, W. and Lee, G.; "Grasping the complexity Brockmann, C., Girmscheid, G., 2008. The inherent complexity of large scale engineering projects"; *Project Perspec* (2004) 22-26.