

## ارائه یک روش ترکیبی از نقشه شناختی و تحلیل پوششی داده‌های فازی برای بررسی تأخیرات پروژه‌های ساختمانی

ساموئل یوسفی\*، سروه کاکائی\*\*، مصطفی جهانگشای رضائی\*\*\*

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۵

### چکیده

تأخیر یکی از اتفاقات رایج در پروژه‌های عمرانی کشور است؛ به نحوی که شناخت عوامل تأخیرات این پروژه‌ها و تعیین میزان اثرگذاری آن‌ها بر دستیابی به اهداف تعیین شده ضروری است. در این تحقیق سعی شده است، شناسایی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی با استفاده از بررسی مطالعات پیشین، اسناد پروژه‌ها و نظرات خبرگان انجام گیرد. سپس، از آن جایی که عوامل نهایی شناسایی شده در واقعیت بر یکدیگر اثرگذارند، نقشه شناختی فازی برای عوامل مؤثر بر تأخیر و عوامل سنجش یا همان اهداف مدیریت ترسیم می‌گردد. سپس با استفاده از الگوریتم یادگیری ترکیبی، اثرگذاری هر عامل تأخیر بر عوامل سنجش ارزیابی شده و با روش تحلیل پوششی داده‌های فازی، اولویت‌بندی عوامل انجام می‌شود. نتایج تحقیق در استان آذربایجان غربی نشان می‌دهد که عوامل "ضعف فنی دستگاه نظارت در رفع مشکلات فنی و اجرایی کارگاه"، "عدم برآورد دقیق حجم کار، تجهیزات و زمان پروژه" و "تعدد مراکز تصمیم‌گیری در اجرای پروژه" مهمترین عوامل تأخیر در پروژه‌ها هستند.

**واژگان کلیدی:** تأخیر، پروژه‌های ساختمانی، نقشه شناختی فازی، تحلیل پوششی داده‌های فازی.

---

\* کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه (نویسنده مسئول) s.yousefi@ine.uut.ac.ir

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه

\*\*\* استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه

## مقدمه

عدم توجه به بحث مدیریت پروژه و کنترل آن در گذشته، صدمات جبران ناپذیری در روند اجرای پروژه‌های عمرانی و کاهش توجه فنی اقتصادی آن‌ها داشته است. زمان، هزینه و کیفیت سه رکن اصلی و اساسی در پروژه‌ها می‌باشند که توجه فنی اقتصادی هر طرح بستگی به کنترل و اندازه‌گیری دقیق این سه عامل دارد. اگر بهره‌برداری پروژه‌ای با تأخیر مواجه شود، با توجه به اتلاف سرمایه‌های ملی، توجه فنی اقتصادی آن طرح از دست خواهد رفت. در واقع، تأخیر عبارت است از حد فاصل زمان برنامه‌ریزی شده و زمان واقعی فعالیت‌های پروژه که می‌تواند منجر به راکد ماندن سرمایه و به تعویق افتادن بازگشت سرمایه، افزایش هزینه‌های جاری پروژه، معطل ماندن منابع و عدم به کارگیری آن در سایر پروژه‌ها، اختلاف طرفین پیمان پروژه به دلیل تحمیل هزینه‌های مازاد و نارضایتی ذینفعان گردد.

از سوی دیگر، استفاده بهینه از منابع در بخش صنعت ساخت و ساز و رشد روز افزون سرمایه‌گذاری‌ها در این بخش، ضرورت انجام تحقیق در این بخش را نمایان می‌سازد. بررسی تأخیرات پروژه و چگونگی کاهش وقوع تأخیرات یکی از مواردی است که بایستی سعی گردد در هر پروژه چه به صورت موردی و یا جامع، فارغ از مکان و یا زمان خاص صورت پذیرد تا نتایجی پیشگیرانه برای پروژه‌های آتی در کشور به همراه داشته باشد. در واقع، شناسایی عوامل رکود در روند پیشرفت فیزیکی پروژه‌ها و تأخیر آن‌ها می‌تواند مدیریت پروژه‌های ساخت و ساز را بهبود بخشد. عواملی که علاوه بر اثر گذاری بر اهداف مدیریت، بر یکدیگر نیز اثر گذارند و از هم اثر می‌پذیرند. به همین دلیل شناسایی روابط میان این عوامل در فرآیند اولویت‌بندی این عوامل ضروری است. بنابراین، برای سنجش ارتباط عوامل با یکدیگر و شناسایی مؤثرترین عوامل اثرگذار بر تأخیر، استفاده از روش‌هایی نظیر نقشه شناختی<sup>۱</sup> مفید می‌باشد. در تحقیق حاضر بر خلاف اکثر تحقیقات گذشته سعی شده است با بررسی تحقیقات گذشته و اسناد پروژه‌های ساختمانی که دچار تأخیر شده‌اند، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی با در نظر گرفتن روابط علی و معلولی میان این

1- Cognitive Map (CM)

عوامل انجام شود. این اولویت‌بندی با استفاده از نظر خبرگان و روش‌های ریاضی نظیر نقشه شناختی فازی<sup>۱</sup> و روش تحلیل پوششی داده‌های فازی<sup>۲</sup> بدون خروجی انجام می‌شود. مهمترین دلیل استفاده از چنین روشی، کمک برای درک دقیق، جامع و قابل فهم از سیستم‌های پیچیده برای تصمیم‌گیرندگان در حوزه مدیریت پروژه است. به نحوی که در ابتدا، عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی شناسایی گردیده و روابط علی و معلولی میان این عوامل تعیین می‌گردد. در ادامه، با بهره‌گیری از نتایج خروجی فاز اول تحقیق، اولویت‌بندی این عوامل به صورتی انجام می‌شود تا مدیریت پروژه با اختصاص منابع مالی و زمانی محدود به رفع اثر مؤثرترین عوامل تأخیر، بهینه‌ترین نتیجه ممکن را با توجه به هدف کاهش تأخیر پروژه‌های ساختمانی کسب نماید. با توجه به این موضوع، این تحقیق در پی آن است که نتایج علمی تر و نزدیک به آنچه که در پروژه اتفاق می‌افتد را حاصل نماید. زیرا، با بررسی تحقیقات مختلف در حوزه شناسایی عوامل تأخیر پروژه‌های ساختمانی مشخص می‌شود، که اکثر این تحقیقات از پرسشنامه‌ها و روش‌های آماری برای شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تأخیر بهره برده‌اند. اما هدف این تحقیق، استفاده از روش‌های ریاضی و در نظر گرفتن روابط علی و معلولی موجود بین عوامل استخراج شده از تحقیقات پیشین، اسناد پروژه‌های واقعی و نظرات خبرگان فعال در این پروژه‌ها می‌باشد. شایان ذکر است که هیچکدام از روش‌های مورد استفاده در این تحقیق یعنی روش نقشه شناختی فازی به همراه الگوریتم‌های یادگیری ترکیبی و روش تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر متغیرهای کمکی در این حوزه استفاده نشده است. ساختار این تحقیق نیز بدین شرح است که در بخش دوم به بررسی پیشینه تحقیقات انجام شده در مقوله تأخیرات پروژه‌های عمرانی پرداخته می‌شود. در بخش سوم، بررسی روش تحقیق شامل مبانی نظری روش‌های نقشه شناختی فازی و تحلیل پوششی داده‌های فازی به همراه رویکرد پیشنهادی انجام می‌گیرد. در بخش چهارم، نتایج به دست آمده از مطالعه موردی تجزیه و تحلیل گردیده و در بخش پایانی، نتیجه‌گیری تحقیق ارائه می‌شود.

---

1- Fuzzy Cognitive Map (FCM)

2- Fuzzy Data envelopment analysis (FDEA)

### پیشینه تحقیق

در این بخش، برخی از تحقیقات انجام شده در زمینه شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های عمرانی بررسی می‌شود. عطاfer و اقبالی (۱۳۹۲) آسیب شناسی عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌های منطقه ۳ عملیات انتقال گاز ایران را از طریق مصاحبه با تعدادی از مدیران و کارشناسان سازمان مذکور و همچنین پرسشنامه و آزمون‌های آماری مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل، مؤثرترین عامل در تأخیر پروژه‌ها، عدم انجام تعهدهای پیمانکار شناخته شد. عساف و آل‌حجی<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) به بررسی عملکرد زمانی پروژه‌های مختلف ساختمانی در کشور عربستان با هدف تعیین علل تأخیر پرداختند. این تحقیق بر اساس نظرات اجزای مختلف اجرایی پروژه شامل مالک، مشاور و پیمانکار انجام شده و ۷۳ علت تأخیر شناسایی گردید که از میان این علل، تغییر ترتیب فعالیت‌ها مهمترین علت برگزیده شد. در تحقیقی مشابه، سامباسیوان و سون<sup>۲</sup> (۲۰۰۷) علل تأخیر در صنعت ساخت و ساز مالزی را با هدف شناسایی عوامل تأخیر و تعیین میزان اثرگذاری آن‌ها در اتمام پروژه بررسی نمودند. این مطالعه با اتکا بر تکمیل پرسشنامه توسط مشتریان، مشاوران و پیمانکاران انجام شده و ۱۰ عامل مهم تأخیر شناسایی گردید که برنامه‌ریزی نامناسب قراردادی، تجربه ناکافی پیمانکار و مشکلات مالی مشتری در زمان پرداخت‌ها به ترتیب در اولویت‌های اول الی سوم قرار گرفتند. در کشور اردن نیز سوايس و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده از تحقیقات میدانی و مصاحبه‌های انجام شده با مهندسين مشاور پروژه‌ها و کارفرمایان، علل تأخیر در پروژه‌های عمرانی اردن را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مشکلات مالی پیمانکاران و تغییرات سفارش به وسیله کارفرما مهمترین عواملی هستند که منجر به تأخیر در اجرای پروژه‌ها می‌شوند. در ادامه، عبدالرحمان و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۹) مشکلات مالی پروژه‌های ساخت و ساز در کشور مالزی که منجر به تأخیر در این پروژه‌ها

---

1- Assaf and Al-Hejji

2- Sambasivan and Soon

3- Sweis et al.

4- Abdul-Rahman et al.

می‌گردد را مورد بررسی قرار دادند. این بررسی از طریق تکمیل پرسشنامه توسط ۱۱۰ نفر از پیمانکاران، مشتریان، مشاوران و بانکداران انجام شده و نتایج نشان داد که مهمترین علل ریشه ای تأخیرات مربوط به مسائل مالی در پروژه‌های عمرانی مالزی، ضعف مدیریت جریان نقدی، پرداخت با تأخیر، منابع مالی ناکافی و بی ثباتی بازار مالی می‌باشند. در تحقیقی دیگر، کالبا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) تأخیرهای پروژه‌های راه‌سازی در زامبیا را مورد ارزیابی قرار دادند و عوامل اصلی مؤثر بر تأخیر این پروژه‌ها را شناسایی کردند. طبق یافته‌های این تحقیق، تأخیر در پرداخت‌های کارفرما، مشکلات مربوط به فرآیندهای مالی پیمانکار و کارفرما، تغییرات اعمال شده نسبت به اصل قرارداد مهمترین عوامل شناسایی شده بوده‌اند. در همین راستا، مطالعه‌ای کاربردی توسط محققان تایوانی با تمرکز در فاز طراحی پروژه‌ها اجرا گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر نیازهای کارفرما مؤثرترین عامل تأخیر در این فاز از پروژه‌ها بوده است (یانگ و وی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰).

همچنین، با بروز تغییر چشمگیر در ظرفیت و حجم بخش ساخت و ساز هند در دهه گذشته، تجزیه و تحلیل سیستماتیک دلایل تأخیر در پروژه‌های ساختمانی این کشور توسط دولوی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) مورد بررسی قرار داده شد. ایشان با استفاده از پرسشنامه و انجام مصاحبه، هفت عامل به عنوان عوامل بروز تأخیر در این صنعت را شناسایی نمودند که در این میان، عدم تعهد و مدیریت ناکارآمد به عنوان مؤثرترین عوامل تعیین شدند. فلاح‌نژاد<sup>۴</sup> (۲۰۱۳) نیز عوامل تأخیر در ۲۴ پروژه اجرایی شرکت ملی گاز ایران را مورد بررسی قرار داد. در این بررسی، ۴۳ عامل تأخیر از طریق پرسشنامه و با شاخص‌های تعیین شده ارزیابی گردیده و در نهایت از بین آن‌ها ۱۰ عامل اصلی تأخیر انتخاب شده‌اند. آل‌حازم<sup>۵</sup> (۲۰۱۵) با بررسی مدارک و گزارش‌های چندین پروژه تکمیل شده در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ میلادی، ۱۹ عامل تأخیر که بر روی پروژه‌های ساخت و ساز جاده‌ای مؤثر بودند را مورد شناسایی قرار داد.

---

1- Kaliba et al.

2- Yang and Wei

3- Doloi et al.

4- Fallahnejad

5- Al-Hazim

تجزیه و تحلیل نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مهمترین عامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساخت و ساز جاده‌ایی، شرایط آب و هوایی و زمین می‌باشد. همچنین، کیم و توآن<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های بیمارستانی که یک نوع از پروژه‌های ساختمانی تخصصی می‌باشند را در کشور ویتنام بررسی نمودند. بررسی عوامل توسط خبرگان در کنار استفاده از مفهوم همبستگی، اساس این مطالعه بوده است. نتایج این تحقیق نشان داد که عدم توانایی مالک و پیمانکار، عدم توانایی مشاور و پیمانکار و اثرات خارجی، مهمترین عوامل از میان ۳۳ عامل تأخیر می‌باشند. برای بررسی بیشتر در خصوص انواع علل تأخیر شناسایی شده در تحویل پروژه‌های ساختمانی می‌توان به تحقیقات شیوامبو و تووالا<sup>۲</sup> (۲۰۱۴) و دوریسامی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۵) مراجعه نمود.

### روش تحقیق و رویکرد پیشنهادی

در این بخش، به دلیل استفاده از روش‌های نقشه‌شناختی فازی و تحلیل پوششی داده‌های فازی در این تحقیق، در ابتدا بررسی این دو روش انجام شده و در نهایت رویکرد پیشنهادی برای شناسایی مؤثرترین عوامل تأخیر پروژه‌های ساختمانی ارائه می‌گردد.

### نقشه شناختی فازی

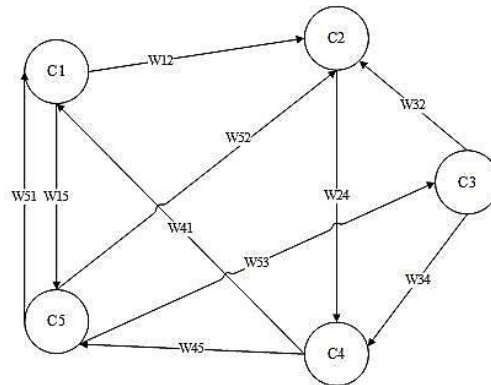
در دنیای واقعی عوامل زیادی وجود دارند که روابط پیچیده‌ای با سایر عوامل دارند؛ به طوری که از بسیاری از آن‌ها تأثیر می‌پذیرند و بر بسیاری دیگر تأثیر گذار هستند. از جمله روش‌هایی که برای نمایش این روابط وجود دارد، روش نقشه‌ی شناختی است. اجزای اصلی این نقشه شامل گره‌ها و کمان بین گره‌ها و علامت روی این کمان‌ها می‌باشد. در واقع گره‌ها بیانگر مفاهیمی هستند که سیستم را توصیف می‌کنند و کمان‌ها بیانگر روابط علت و معلولی بین

1- Kim and Tuan

2- Shivambu and Thwala

3- Doraisamy et al.

مفاهیم و علامت روی کمان‌ها بیانگر نوع علیت بین مفاهیم می‌باشد (پاپا جورجیو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶). روش نقشه شناختی فازی نیز یک نقشه شناختی است که رابطه‌ی بین اجزای یک "چشم انداز ذهنی" را می‌تواند برای محاسبه "قدرت تأثیر" روابط علی معلولی با عددی در بازه‌ی [۰، ۱] یا [۱، ۰] استفاده نماید (کاسکو<sup>۲</sup>، ۱۹۸۶). در واقع این روش برای نمایش روابط علی و معلولی، به صورت همزمان از تئوری‌های شبکه عصبی و منطق فازی استفاده می‌کند. برای ترسیم نقشه‌ی شناختی فازی می‌توان از داده‌های سری زمانی و نظرات خبرگان استفاده نمود. در روش نقشه‌ی شناختی مبتنی بر محاسبه، از داده‌های سری زمانی به عنوان ورودی استفاده شده و از منطق شبکه عصبی برای تخمین اوزان نقشه و روابط بین متغیرها بهره گرفته می‌شود. این دیدگاه را می‌توان به دو دسته‌ی اتوماتیک و شبه‌اتوماتیک دسته‌بندی کرد. در شبه‌اتوماتیک که در اغلب اوقات مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای ترسیم یک نقشه شناختی فازی به یک سری ورودی نیاز است که از دانش و تجربه‌ی فرد خبره در زمینه‌ی مورد مطالعه، به دست می‌آید که بر مبنای آن، مفاهیم و روابط علی معلولی بین مفاهیم قابل ترسیم است. در شکل (۱) نمونه نقشه‌ی شناختی فازی به همراه اجزای آن نشان داده شده است.



شکل ۱: نمونه‌ی نقشه‌ی شناختی فازی

1- Papageorgiou et al.

2- Kosko

در شکل (۱)،  $C_i$  بیانگر گره‌ها یا مفاهیم هستند که به وسیله‌ی کمان‌های وزن‌دار باهم در ارتباط می‌باشند. هر ارتباط بین دو مفهوم  $C_i$  و  $C_j$  دارای وزنی برابر  $W_{ij}$  است که بیانگر درجه‌ی علیت و نوع رابطه‌ی بین مفاهیم می‌باشد. به نحوی که  $W_{ij} > 0$  نشان‌دهنده‌ی یک ارتباط علی معلولی مثبت،  $W_{ij} < 0$  نشان‌دهنده‌ی یک ارتباط علی معلولی منفی و  $W_{ij} = 0$  نشان‌دهنده‌ی عدم وجود رابطه بین دو مفهوم مورد بررسی است. بعد از ترسیم نقشه، برای این که بتوان مدل را تحلیل کرد، بایستی آن را با فرمول‌های ریاضی مدل کرد. به نحوی که با به دست آوردن مقادیر یک گره می‌توان مقادیر سایر گره‌ها که با این گره در ارتباط هستند را با استفاده از رابطه (۱) به دست آورد:

$$A_i^{(k+1)} = f(A_i^{(k)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n W_{ij} A_j^{(k)}) \quad (1)$$

در رابطه‌ی (۱)،  $A_i^{(k+1)}$  نشانگر مقدار مفهوم  $C_i$  در تکرار  $k+1$ ،  $A_i^{(k)}$  نشانگر مقدار مفهوم  $C_i$  در تکرار  $k$  و  $f(x)$  نشان‌دهنده تابع نرمال‌سازی می‌باشد. شکل ماتریسی رابطه‌ی (۱) را می‌توان به صورت رابطه‌ی (۲) بازنویسی نمود:

$$A_{new} = f(A_{old} + \sum W \times A_{old}) \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲)،  $A$  یک بردار  $I \times N$  است که ماتریس مقادیر مفاهیم نام دارد و  $W$  نیز یک ماتریس  $N \times N$  است که بیانگر اوزان بین مفاهیم سیستم می‌باشد.  $f$  تابع نرمال‌سازی نام دارد، در صورتی که حاصل ضرب دو ماتریس بیش از مقدار تعریف‌شده برای متغیرها باشد، مقادیر به دست آمده را به حدود تعریف‌شده برمی‌گرداند. این کار باعث می‌شود که هر عدد دارای سطح معناداری خود باشد. توابع ریاضی زیادی برای تبیین تابع نرمال‌سازی وجود دارد که می‌توان به تانژانت‌هایپربولیک  $Tanh(\lambda x)$ ، توابع نمایی با ضریب  $\lambda$  مختلف  $\frac{1}{1 + \exp(-\lambda x)}$  به همراه یک سری توابع حدی گسسته اشاره کرد. محاسبات نقشه شناختی فازی با استفاده از فرمول بالا تا رسیدن به یکی از شرایط ذیل ادامه پیدا می‌کند: الف) یک حالت پایدار، یعنی تا زمانی که  $A_{old}$  با  $A_{new}$  برابر یا اختلاف کمی داشته باشند، ب) رسیدن



به رفتار آشوب‌ناکی از سیستم، ج) رسیدن به تعداد تکرار مورد نظر (پاپاجورجیو و همکاران، ۲۰۰۶).

از کاربردهای روش نقشه شناختی می‌توان به پیش‌بینی و بهینه‌سازی نوسانات بازار مسکن (آزاده و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲)، برنامه‌ریزی بازاریابی استراتژیک برای شرکت‌های صنعتی (لی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳)، برنامه‌ریزی انرژی‌های تجدیدپذیر (کایریاکاراکوس و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۴)، حداقل‌سازی عدم قطعیت در فرآیندهای تصمیم‌گیری (ساجلی و فابریزی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵) و ارائه یک سیستم تصمیم‌گیری برای برآورد سطح خروجی‌های بیمارستان (رضائی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶) اشاره نمود.

در روش ترسیم نقشه شناختی، تخمین دقیق اوزان نقشه توسط خبرگان مسأله‌ای ضروری است. در سال‌های اخیر، از الگوریتم‌های یادگیری برای افزایش دقت اوزان، همگرایی نقشه و کاهش وابستگی به نظر خبرگان استفاده شده است. این الگوریتم‌های در سه گروه الگوریتم‌های یادگیری بر اساس هیبن<sup>۶</sup>، الگوریتم‌های یادگیری بر اساس جمعیت و الگوریتم‌های ترکیبی دسته‌بندی می‌شوند (پاپاجورجیو و کاناپان<sup>۷</sup>، ۲۰۱۲). همچنین، با توجه به داده‌های این پژوهش که بر اساس نظر خبرگان می‌باشند، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ترکیبی بهترین گزینه می‌باشد. این الگوریتم‌ها ترکیبی از الگوریتم هیبن و روش‌های فراابتکاری هستند و برای اصلاح وزن نقشه‌هایی که به‌صورت ترکیبی از داده‌های سری زمانی و نظرات خبرگان تشکیل می‌شوند مناسب می‌باشند. در این تحقیق از بین الگوریتم‌های این دسته، الگوریتم یادگیری ترکیبی از هیبن غیرخطی و تکامل تفاضلی<sup>۸</sup> به دلیل این که وزن‌های غیرصفر را در تکرارهای مختلف به‌روزرسانی کرده و روابط بین مفاهیم تعیین‌شده در نقشه‌ی

1- Azadeh et al.

2- Lee et al.

3- Kyriakarakos et al.

4- Sacchelli and Fabbrizzi

5- Rezaee et al.

6- Hebbian

7- Papageorgiou and Kannappan

8- Non linear Hebbian- differential evolution (NHL-DE)

اولیه را حفظ می‌کند، استفاده می‌گردد. دلیل استفاده از الگوریتم تکاملی تفاضلی، قدرتمند و سریع بودن آن برای جستجو در دسته مسائل بهینه‌سازی در فضاها پیوسته می‌باشد (استورن و پرایس<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷). در واقع، الگوریتم تکاملی تفاضلی جهت غلبه بر عیب اصلی الگوریتم ژنتیک یعنی فقدان جستجوی محلی در این الگوریتم ارائه شده است. داشتن حافظه‌ای برای حفظ اطلاعات جواب‌های مناسب در جمعیت فعلی از مزایای این الگوریتم می‌باشد. در ادامه، گام‌های الگوریتم یادگیری ترکیبی در شکل (۲) ارائه شده است.

<p><b>مرحله اول: الگوریتم یادگیری هیبن غیرخطی</b></p> <p>گام ۱: دریافت وضعیت مفهوم ورودی <math>A^0</math> و ماتریس وزنی اولیه <math>W^0</math>،</p> <p>گام ۲: برای هر تکرار <math>(k)</math> گام‌های ۳ الی ۵ را انجام بدهید:</p> <p>گام ۳: محاسبه <math>A^{(k)}</math> با توجه به رابطه <math>A_i^{(k+1)} = f \left( A_i^{(k)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N A_j^{(k)} w_{ji}^{(k)} \right)</math></p> <p>گام ۴: به روز رسانی اوزان با توجه به رابطه ذیل:</p> $W_{ji}^{(k)} = \gamma W_{ji}^{(k-1)} + \eta A_i^{(k-1)} \left( A_j^{(k-1)} - \text{sgn}(W_{ji}^{(k+1)} A_i^{(k-1)}) \right)$ <p>گام ۵: ادامه دادن تا زمانی که شرایط خاتمه دهنده برآورده شوند (با در نظر گرفتن دو شرط برای اتمام الگوریتم).</p> <p>گام ۶: ارسال وزن نهایی <math>W_{NHL}^{(k+1)}</math> به مرحله دوم.</p>
<p><b>مرحله دوم: الگوریتم تکامل تفاضلی</b></p> <p>گام ۱: مقداردهی اولیه جمعیت الگوریتم تکامل تفاضلی در همسایگی <math>W_{NHL}^{(k+1)}</math> و در درون محدودیت‌های وزنی،</p> <p>گام ۲: تکرار برای هر حالت مفهوم ورودی <math>(k)</math>،</p> <p>گام ۳: به ازای هر جمعیت گام‌های ۴ الی ۶ را تکرار کنید:</p> <p>گام ۴: جهش<sup>۲</sup> <math>(W_i^{(k)})</math> ← بردار جهش یافته<sup>۳</sup>،</p> <p>گام ۵: ترکیب<sup>۴</sup> (بردار جهش یافته) ← بردار آزمایشی<sup>۵</sup>،</p> <p>گام ۶: اگر (بردار آزمایشی) <math>F</math> کوچکتر یا مساوی <math>F(W_i^{(k)})</math> باشد، بردار آزمایشی برای نسل بعدی پذیرفته است.</p> <p>گام ۷: ادامه دادن تا زمانی که شرط خاتمه برآورده شود.</p>

شکل ۲: شبه کد الگوریتم یادگیری ترکیبی هیبن غیرخطی-تکامل تفاضلی

- 1- Storn and Price
- 2- Mutation
- 3- Mutant\_Vector
- 4- Crossover
- 5- Trial\_Vector

در شبه کد ارائه شده،  $A^0$  بیانگر ماتریس حالت اولیه سیستم،  $W^0$  بیانگر ماتریس وزنی اولیه بین متغیرها،  $A^{(k)}$  و  $A^{(k+1)}$  بیانگر مقادیر جدید متغیرها در تکرارهای  $k$  و  $k+1$ ،  $\eta$  و  $\gamma$  بیانگر اعدادی مثبت و بسیار کوچک (نرخ یادگیری)،  $W_{ji}^{(k)}$  و  $W_{ji}^{(k+1)}$  بیانگر مقادیر به‌روزشده‌ی اوزان بین متغیرهای  $i$  و  $j$  در تکرارهای  $k$  و  $k+1$ ،  $W_{NHL}^{(k+1)}$  بیانگر ماتریس وزنی نهایی بین متغیرها در مرحله‌ی اول،  $sgn$  بیانگر تابع علامت و  $NP$  نشانگر تعداد جمعیت هستند.

### تحلیل پوششی داده‌های فازی

تحلیل پوششی داده‌ها یک رویکرد غیر پارامتری برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری<sup>۲</sup> است که در سال‌های اخیر در حوزه‌های مختلف، کاربردهای بسیاری داشته است. از جمله این کاربردها می‌توان به ارزیابی عملکرد طراحی پایدار در صنعت خودرو (هوانگ و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳)، ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین (شفیعی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۴)، مدیریت خروجی‌های نامطلوب در صنعت ساخت و ساز (هو و لیو<sup>۵</sup>، ۲۰۱۵)، ارزیابی کارایی سیستم حمل و نقل شهری (رضائی و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۶)، ارزیابی کارایی تولیدی بانک‌ها (وانکی و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۶) اشاره نمود.

در این تحقیق نیز از مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر متغیرهای کمکی<sup>۸</sup> برای اندازه‌گیری کارایی و ابرکارایی<sup>۹</sup> استفاده می‌گردد. در سال ۲۰۰۱ میلادی، مدل‌های غیرشعاعی تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر متغیرهای کمکی معرفی شد که نتایج حاصل از این

- 
- 1- Number of Population
  - 2- Decision making units (DMU)
  - 3- Hwang et al.
  - 4- Shafiee et al.
  - 5- Hu and Liu
  - 6- Rezaee et al.
  - 7- Wanke et al.
  - 8- Slack Based Model (SBM)
  - 9- Super efficiency

مدل‌ها نسبت به واحدهای اندازه‌گیری مستقل بود (تون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱). در ادامه، مدل مذکور به صورت فازی توسعه داده شد که برای محاسبه کارایی فازی هر واحد تصمیم‌گیری ( $\tilde{\delta}_k$ ) بر اساس ورودی‌ها و خروجی‌های فازی در رابطه‌ی (۳) نشان داده شده است. در این مدل،  $\tilde{X}_{ji}$  و  $\tilde{Y}_{jr}$  به ترتیب نشانگر مقادیر ورودی‌ها ( $i=1, \dots, m$ ) و خروجی‌های ( $r=1, \dots, s$ ) غیرقطعی برای واحدهای تصمیم‌گیری ( $j=1, \dots, n$ ) می‌باشند و می‌توان توسط توابع عضویت  $\mu$  و به صورت  $\mu_{\tilde{Y}_{jr}}$  و  $\mu_{\tilde{X}_{ji}}$  در مجموعه فازی محدب نمایش داده شوند. همچنین،  $S_i^-$  و  $S_r^+$  به ترتیب نشانگر متغیرهای کمکی مورد استفاده برای محدودیت‌های مدل در خصوص ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشند.  $m$ ،  $s$ ،  $q$  و  $\lambda'_j$  نیز به ترتیب برای نمایش تعداد ورودی‌ها، خروجی‌ها، تغییر متغیر و متغیر دوگان به ازای هر واحد تصمیم‌گیری به کار می‌روند.

$$\begin{aligned} \text{Min } \tilde{\delta}_k &= q - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^- / \tilde{X}_{ik} \\ \text{s.t. } 1 &= q - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s S_r^+ / \tilde{Y}_{rk} \\ q\tilde{X}_{ik} &= \sum_{j=1}^n \tilde{X}_{ik} \lambda'_j + S_i^- \quad i=1, \dots, m \\ q\tilde{Y}_{rk} &= \sum_{j=1}^n \tilde{Y}_{rk} \lambda'_j + S_r^+ \quad r=1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda'_j &= q \\ \lambda'_j &\geq 0, j=1, \dots, n, S_i^- \geq 0, i=1, \dots, m, S_r^+ \geq 0, r=1, \dots, s, q > 0. \end{aligned} \quad (۳)$$

در ادامه، مجموعه فازی ورودی و خروجی‌ها با تعریف آستانه عضویت و با استفاده از روش برش ( $\alpha$ ) به مجموعه دقیق تبدیل گردید. همچنین،  $S(\tilde{X}_{ji})$  و  $S(\tilde{Y}_{jr})$  برای حمایت از  $\tilde{X}_{ji}$  و  $\tilde{Y}_{jr}$  ایجاد شده که در آن، تعریف پشتیبانی از مجموعه عناصر با توابع عضویت بزرگتر از صفر صورت پذیرفته است. در نهایت با استفاده از روش برش آلفا،  $\tilde{X}_{ji}$  و  $\tilde{Y}_{jr}$  به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} (X_{ji})_\alpha &= \left\{ x_{ji} \in S(\tilde{X}_{ji}) \mid \mu_{\tilde{X}_{ji}}(x_{ji}) \geq \alpha \right\}, \forall j, i \\ (Y_{jr})_\alpha &= \left\{ y_{jr} \in S(\tilde{Y}_{jr}) \mid \mu_{\tilde{Y}_{jr}}(y_{jr}) \geq \alpha \right\}, \forall j, r \end{aligned} \quad (۴)$$

لازم به ذکر است که در رابطه‌ی (۴)،  $x_{ji}$  و  $y_{jr}$  به ترتیب نشانگر میزان ورودی  $i$  و میزان خروجی  $r$  به ازای واحد تصمیم‌گیری  $j$  هستند. همچنین،  $(X_{ji})_\alpha$  و  $(Y_{jr})_\alpha$  مجموعه‌های معین و معلوم به ازای مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های غیرقطعی به ازای واحدهای تصمیم‌گیری و سطوح مختلف آلفا می‌باشند. بنابراین با استفاده از برش آلفا، مقادیر ورودی و خروجی به جای مقادیر فازی به صورت بازه‌های معین به ازای سطوح مختلف آلفا (بین صفر و یک) در نظر گرفته می‌شوند. مجموعه‌ای از سطوح استاندارد آلفا در رابطه‌ی (۴) به صورت رابطه (۵) بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} (X_{ji})_\alpha &= \{x_{ji} \in S(\tilde{X}_{ji}) \mid \mu_{\tilde{X}_{ji}}(x_{ji}) \geq \alpha\} = [(X_{ji})_\alpha^L, (X_{ji})_\alpha^U], \forall j, i \\ &= \left[ \min_{x_{ji}} \{x_{ji} \in S(\tilde{X}_{ji}) \mid \mu_{\tilde{X}_{ji}}(x_{ji}) \geq \alpha\}, \max_{x_{ji}} \{x_{ji} \in S(\tilde{X}_{ji}) \mid \mu_{\tilde{X}_{ji}}(x_{ji}) \geq \alpha\} \right] \\ (Y_{jr})_\alpha &= \{y_{jr} \in S(\tilde{Y}_{jr}) \mid \mu_{\tilde{Y}_{jr}}(y_{jr}) \geq \alpha\}, \forall j, r \\ &= \left[ \min_{y_{jr}} \{y_{jr} \in S(\tilde{Y}_{jr}) \mid \mu_{\tilde{Y}_{jr}}(y_{jr}) \geq \alpha\}, \max_{y_{jr}} \{y_{jr} \in S(\tilde{Y}_{jr}) \mid \mu_{\tilde{Y}_{jr}}(y_{jr}) \geq \alpha\} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

در سطوح مختلف آلفا برای  $\{0 < \alpha \leq 1\}$  و  $\{(Y_{jr})_\alpha \mid 0 < \alpha \leq 1\}$ ، مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی را می‌توان به تحیل پوششی داده‌های دقیق<sup>۱</sup> تبدیل نمود. با توجه به تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌توان تابع عضویت کارایی را برای واحد تصمیم‌گیری  $j$  ام به صورت زیر بیان نمود (زیمرمن<sup>۱</sup>، ۱۹۷۵):

$$\mu_{E_k}(z) = \sup_{x,y} \min \left\{ \mu_{X_{ji}}(x_{ji}), \mu_{Y_{jr}}(y_{jr}), \forall j, r, i \mid z = E_k(x, y) \right\} \quad (6)$$

در رابطه‌ی (۶)، مقدار کارایی محاسبه شده در مدل سنتی تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر متغیرهای کمکی تحت مجموعه‌ای از ورودی و خروجی‌ها است. با توجه به رابطه (۶)، برای هر مقدار کارایی با ترکیب  $x_{ji}$  و  $y_{jr}$  از  $z$ ، حداقل درجه عضویت با عضویت از  $E_k$  در نقطه  $z$  برابر است. بر اساس روابط (۵) و (۶)، حدود بالا و پایین از یک برش تحت  $\mu_{E_k}$  تعیین می‌شود. همچنین، مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو مرحله‌ای را می‌توان با استفاده از

1- Crisp Data envelopment analysis  
2- Zimmermann

راه حل بهینه پارتو به مدل برنامه‌ریزی یک مرحله‌ای سنتی تبدیل نمود. بنابراین، مدل ارائه شده در رابطه (۳) را می‌توان به مدل‌های (۷) و (۸) برای محاسبه حدود کارایی در سطوح مختلف آلفا تبدیل نمود:

$$\begin{aligned} \text{Min}(\delta_k)_\alpha^U &= q - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (S_i^-)^L / (x_{ik})_\alpha^L \\ \text{s.t. } 1 &= q - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s (S_r^+)^U / (y_{rk})_\alpha^U \\ q(x_{ik})_\alpha^L &= \sum_{j=1, \neq k}^n (x_{ij})_\alpha^U \lambda_j' + (x_{ik})_\alpha^L \lambda_j' + (S_i^-)^L \quad i=1, \dots, m \\ q(y_{rk})_\alpha^U &= \sum_{j=1, \neq k}^n (y_{rj})_\alpha^L \lambda_j' + (y_{rk})_\alpha^U \lambda_j' - (S_r^+)^U \quad r=1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j' &= q \\ \lambda_j' &\geq 0, j=1, \dots, n, (S_i^-)^L \geq 0, i=1, \dots, m, \\ (S_r^+)^U &\geq 0, r=1, \dots, s, q > 0. \end{aligned} \quad (V)$$

$$\begin{aligned} \text{Min}(\delta_k)_\alpha^L &= q - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (S_i^-)^U / (x_{ik})_\alpha^U \\ \text{s.t. } 1 &= q - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s (S_r^+)^L / (y_{rk})_\alpha^L \\ q(x_{ik})_\alpha^U &= \sum_{j=1, \neq k}^n (x_{ij})_\alpha^L \lambda_j' + (x_{ik})_\alpha^U \lambda_j' + (S_i^-)^U \quad i=1, \dots, m \\ q(y_{rk})_\alpha^L &= \sum_{j=1, \neq k}^n (y_{rj})_\alpha^U \lambda_j' + (y_{rk})_\alpha^L \lambda_j' - (S_r^+)^L \quad r=1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j' &= q \\ \lambda_j' &\geq 0, j=1, \dots, n, (S_i^-)^U \geq 0, i=1, \dots, m, \\ (S_r^+)^L &\geq 0, r=1, \dots, s, q > 0. \end{aligned} \quad (A)$$

این نوع مدل دارای محدودیت حداکثر مقدار کارایی نسبی (میزان یک) است که باعث دشواری فرآیند اولویت‌بندی به دلیل بازه‌ای بودن مقادیر محاسبه شده کارایی می‌گردد. به بیان دیگر در مدل‌های معمولی تحلیل پوششی داده‌ها، امکان اولویت‌بندی کامل به دلیل تعدد واحدهای تصمیم‌گیری با کارایی برابر با ۱ وجود ندارد. به همین دلیل، مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر متغیرهای کمکی برای اندازه‌گیری ابر کارایی در تحلیل پوششی داده‌ها

توسعه داده شد و مدل ابرکارایی تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر متغیرهای کمکی<sup>۱</sup> به صورت مدل‌های (۹) و (۱۰) ارائه شد (چن و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۳):

$$\begin{aligned}
 (\tau_k)_\alpha^U &= \text{Min} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i')^L / (X_{ik})_\alpha^L \\
 \text{s.t. } 1 &= \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s (\bar{y}_r')^U / (Y_{rk})_\alpha^U \\
 (\bar{x}_i')^L &\geq \sum_{j=1, j \neq k}^n (X_{ik})_\alpha^L \lambda_j' \quad i=1, \dots, m \\
 (\bar{y}_r')^U &= \sum_{j=1, j \neq k}^n (Y_{rk})_\alpha^U \lambda_j' \quad r=1, \dots, s \\
 \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j' &= q \\
 \lambda_j' &\geq 0, j=1, \dots, n, j \neq k, (\bar{x}_i')^L \geq q(X_{ik})_\alpha^L, \\
 i=1, \dots, m, (\bar{y}_r')^U &\leq q(Y_{rk})_\alpha^U, (\bar{y}_r')^U \geq 0, r=1, \dots, s, q > 0.
 \end{aligned} \tag{۹}$$

$$\begin{aligned}
 (\tau_k)_\alpha^L &= \text{Min} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\bar{x}_i')^U / (X_{ik})_\alpha^U \\
 \text{s.t. } 1 &= \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s (\bar{y}_r')^L / (Y_{rk})_\alpha^L \\
 (\bar{x}_i')^U &\geq \sum_{j=1, j \neq k}^n (X_{ik})_\alpha^U \lambda_j' \quad i=1, \dots, m \\
 (\bar{y}_r')^L &= \sum_{j=1, j \neq k}^n (Y_{rk})_\alpha^L \lambda_j' \quad r=1, \dots, s \\
 \sum_{j=1, j \neq k}^n \lambda_j' &= q \\
 \lambda_j' &\geq 0, j=1, \dots, n, j \neq k, (\bar{x}_i')^U \geq q(X_{ik})_\alpha^U, \\
 i=1, \dots, m, (\bar{y}_r')^L &\leq q(Y_{rk})_\alpha^L, (\bar{y}_r')^L \geq 0, r=1, \dots, s, q > 0.
 \end{aligned} \tag{۱۰}$$

در مدل‌های فوق،  $(\tau_k)_\alpha^U$ ،  $(\tau_k)_\alpha^L$  نشانگر حدود بالا و پایین کارایی واحد تصمیم‌گیری  $k$  به ازای سطح  $\alpha$  می‌باشند. همچنین،  $(X_{ik})_\alpha^L$ ،  $(X_{ik})_\alpha^U$ ،  $(Y_{rk})_\alpha^L$  و  $(Y_{rk})_\alpha^U$  نشان دهنده‌ی مقادیر حدود بالا و پایین ورودی‌ها و خروجی‌ها به ازای واحدهای تصمیم‌گیری  $r$  و سطوح  $\alpha$  مختلف هستند. همانطور که قبلاً ذکر شد، این تحقیق سعی دارد از مدل تحلیل پوششی

1- Super Fuzzy Slack Based Model (Super-FSBM)

2- Chen et al.

داده‌های فازی بدون خروجی بهره‌گیرد. دلیل این امر این است که معیارهای ارزیابی مورد استفاده در این تحقیق، اهدافی هستند که مدیریت به دنبال کاهش میزان آن‌ها می‌باشد و نقش ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها را دارند. استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های بدون خروجی روشی متداول است که در مسائل ارزیابی عملکرد که واحدهای تصمیم‌گیری آن صرفاً دارای چندین ورودی می‌باشند، قابلیت استفاده دارد (لاول و پاستور<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹؛ باقری و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۶). بنابراین در این تحقیق، به دلیل اینکه مقادیر ورودی‌های روش مذکور به صورت فازی می‌باشند، از مدل‌های ارائه شده در این بخش، با فرض خروجی ثابت برابر یک استفاده می‌شود.

مقادیر کارایی نسبی محاسبه شده با مقادیر محاسبه شده روش تحلیل پوششی داده‌های سنتی که در آن‌ها اعداد فازی وجود دارد، متفاوت است. حال، مشکل نحوه اولویت‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری با توجه به مقادیر بازه‌ای کارایی به دست آمده به ازای سطوح مختلف آلفا است. برای حل این مشکل، رابطه‌ای معرفی شد که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است (چن و کلین<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷):

$$I(\tilde{E}_k, R)_{m \rightarrow \infty} = \frac{\sum_{i=0}^m [(E_k)_{\alpha_i}^U - c]}{\sum_{i=0}^m [(E_k)_{\alpha_i}^U - c] - \sum_{i=0}^m [(E_k)_{\alpha_i}^L - d]} \quad (11)$$

در رابطه‌ی (۱۱)،  $k$  شمارنده واحدهای تصمیم‌گیری و  $i$  شمارنده سطوح مختلف  $\alpha_i$  ( $i=0, \dots, m$ ) و  $(E_k)_{\alpha_i}^L$  و  $(E_k)_{\alpha_i}^U$  به ترتیب نشانگر میزان کران بالا و پایین کارایی واحد تصمیم‌گیری  $k$  به ازای سطح  $\alpha_i$  می‌باشند. مقادیر  $c$  و  $d$  به ترتیب برابر با  $\min_{i,k} \{(E_k)_{\alpha_i}\}$  و  $\max_{i,k} \{(E_k)_{\alpha_i}\}$  می‌باشد. با توجه به رابطه‌ی (۱۱)، بالا بودن شاخص  $I(\tilde{E}_k, R)$  به این معنی است که واحد تصمیم‌گیری مورد ارزیابی، اولویت بالاتری را داراست.

1- Lovell and Pastor

2- Bagheri et al.

3- Chen and Klein



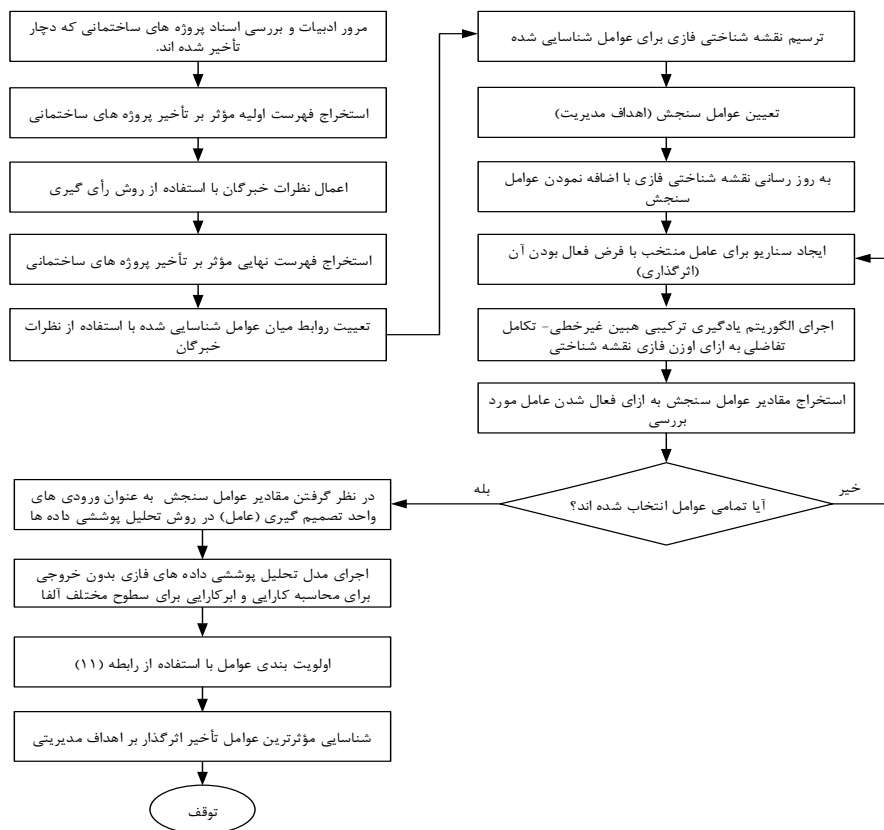
## رویکرد پیشنهادی

در این تحقیق سعی بر آن است تا با بررسی موردی پروژه‌های ساختمانی استان آذربایجان غربی، عوامل تأخیر در این پروژه و پروژه‌های مشابه شناسایی شود. به بیان دیگر، اولویت‌بندی این عوامل از لحاظ اثرگذاری بر اهداف مدیریت نظیر تأخیر انجام گردیده و عوامل ریشه‌ای تأخیر نیز شناسایی گردند. بدین منظور در فاز اول تحقیق با بررسی تحقیقات پیشین و اسناد پروژه‌های ساختمانی، اغلب عوامل ایجاد تأخیر در پروژه‌های بزرگ ساختمانی شناسایی شده است. پس از شناسایی این عوامل، از آنجایی که در این تحقیق هدف استفاده از پرسشنامه به شکل آماری نبوده، از یک فرم نظرخواهی جهت اعلام نظر خبرگان برای شناسایی مهمترین عوامل استفاده شده است. سپس با تجمع نظرات خبرگان با استفاده از روش تصمیم‌گیری رأی‌گیری، عوامل اولیه غربال گردیده و فهرست نهایی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی استخراج شده که به عنوان ورودی اولیه روش نقشه شناختی فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در ادامه‌ی فاز اول، پس از شناسایی عوامل اصلی مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی به دلیل این که این عوامل بر یکدیگر نیز اثرگذارند، از نقشه شناختی فازی برای نمایش و در نظر گرفتن روابط میان آن‌ها استفاده می‌گردد. دلیل استفاده از این روش، شناسایی روابط علی و معلولی بین عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی و چگونگی اثرگذاری هر عامل بر تأخیر پروژه و سایر اهداف مورد نظر مدیریت است. حال، برای استفاده از روش نقشه شناختی نیاز به تعیین مفاهیم و روابط میان این مفاهیم می‌باشد. در همین راستا، عوامل شناسایی شده به همراه اهدافی که مدیریت به دنبال سنجش آن‌ها می‌باشد (عوامل سنجش)، به عنوان مفاهیم نقشه شناختی در نظر گرفته می‌شوند. تعیین روابط علی و معلولی بین مفاهیم در نقشه شناختی و وزندهی به روابط شناسایی شده توسط خبرگان موضوع یعنی برخی از کارشناسان شرکت‌های کارفرما، پیمانکار و مشاور پروژه‌های در حال اجرای استان آذربایجان غربی صورت می‌گیرد. پس از ترسیم نقشه شناختی مذکور، با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری سعی می‌گردد تا با هوشمندسازی سیستم، میزان اثرگذاری هر کدام از عوامل تأخیر بر عوامل

چهارگانه سنجش اندازه‌گیری گردد. میزان اثرگذاری هر عامل با فرض فعال بودن یا مؤثر بودن عامل شناسایی شده در نقشه شناختی و اجرای الگوریتم یادگیری حاصل می‌گردد که نشان دهنده‌ی میزان اثرگذاری هر عامل بر اهداف مدیریتی (عوامل سنجش) است.

همچنین به دلیل این که یکی از اهداف تحقیق، اولویت‌بندی عوامل شناسایی شده است، از روش تحلیل پوششی داده‌های فازی به دلیل فازی بودن معیارهای ارزیابی و کاهش وابستگی به نظرات خبرگان استفاده می‌شود. دلیل این امر این است که با اجرای الگوریتم یادگیری ترکیبی با فرض فعال بودن یک عامل تأخیر، چهار مقدار به عنوان میزان اثرگذاری عامل مذکور بر عوامل سنجش به دست می‌آید. در نتیجه برای اولویت‌بندی عوامل تأخیر، نیاز به استفاده از نوعی روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که در آن میزان اثرگذاری عامل تأخیر بر هر عامل سنجش، به عنوان معیار ارزیابی و عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی به عنوان گزینه‌های مورد بررسی فرض گردند. به بیان دیگر، در روش تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر متغیرهای کمکی بدون خروجی که در فاز دوم این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقادیر عوامل سنجش به دست آمده از الگوریتم یادگیری ترکیبی به ازای هر عامل فعال و عوامل مؤثر بر تأخیر (خروجی فاز اول تحقیق) به ترتیب به عنوان معیارهای ارزیابی و گزینه‌های تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده و اولویت‌بندی انجام می‌شود. برای جمع‌بندی مطالب بیان شده، رویکرد پیشنهادی تحقیق در شکل (۳) ارائه شده است. در ادامه با استفاد از رویکرد پیشنهادی، شناسایی و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی استان آذربایجان غربی انجام شده و نتایج آن ارائه می‌شود.



شکل ۳: رویکرد پیشنهادی تحقیق

### بحث و یافته‌های تحقیق

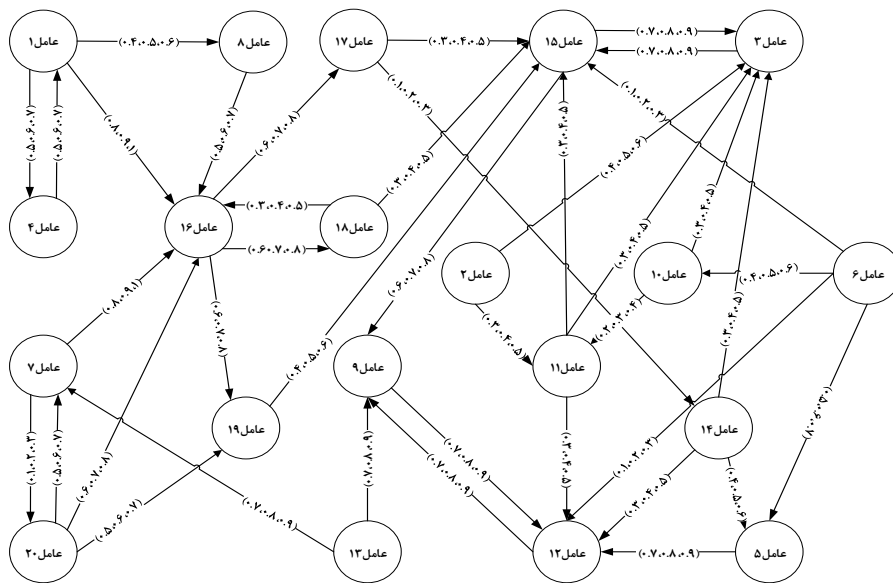
این تحقیق به بررسی پروژه‌های ساختمانی احداث شده توسط چند شرکت بزرگ ساختمانی در استان آذربایجان غربی پرداخته است. با توجه به اینکه اکثر پروژه‌های بزرگ ساختمانی تاکنون با رویکرد سه عاملی (قرار داد ساخت) احداث شده‌اند و بیشتر مشکلات و تأخیرات در مرحله اجرا به وقوع پیوسته‌اند، فاز اجرا جهت بررسی مورد انتخاب قرار گرفته است. لازم به توضیح است، بازه زمانی اجرای این پروژه‌ها به مدت ۴ سال از سال ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۳ می‌باشد. همانطور که در بخش قبل بیان گردید، در گام نخست اسناد و مدارک بخش‌های ذینفع شامل گزارشات ماهانه پروژه، مکاتبات پروژه، رویه برنامه‌ریزی و کنترل پروژه،

گزارشات بخش‌های مهندسی و دستورالعمل‌های کنترل و پیگیری روند پیشرفت پروژه نمونه‌های مطالعه موردی، بررسی گردیده و حاصل این مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی منجر به شناسایی ۷۰ عامل اثرگذار بر تأخیر پروژه شده است. این عوامل در ۶ دسته ذیل طبقه بندی شده‌اند: عوامل مربوط به قوانین و مقررات (شامل ۵ عامل)، عوامل مربوط به قرارداد (شامل ۵ عامل)، عوامل مربوط به کارفرما (شامل ۱۵ عامل)، عوامل مربوط به مشاور (شامل ۱۶ عامل)، عوامل مربوط به پیمانکار (شامل ۱۴ عامل) و عوامل مربوط به تجهیزات و مصالح و موارد متفرقه (شامل ۱۵ عامل). سپس برای دستیابی به عوامل اصلی تأخیرات با ۱۰ نفر از کارشناسان و مدیران شرکت‌های مطرح در حوزه مهندسی و مدیریت پروژه‌های ساختمانی در سطح کشور و استان آذربایجان غربی اعم از کارفرما، مشاور و پیمانکار به عنوان خبرگان تحقیق، مصاحبه‌هایی به عمل آمده و داده‌ها از طریق یک فرم نظر خواهی از آن‌ها گردآوری شده است. در ادامه، با تجزیه و تحلیل فرم‌های تکمیلی به وسیله روش تصمیم‌گیری رأی‌گیری بر اساس دو سیستم بیشترین مجموع آراء و اکثریت، ۲۰ عامل به عنوان عوامل اصلی اثرگذار بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی استان مذکور به شرح جدول (۱) مورد شناسایی قرار گرفتند.

جدول ۱: عوامل شناسایی شده مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی

شماره	عنوان عامل	شماره	عنوان عامل
۱	ضعف قوانین و مقررات مربوط به ارجاع کار	۱۱	تعدد مراکز تصمیم‌گیری در اجرای پروژه
۲	عدم استفاده از قراردادهای نوین مهندسی	۱۲	تأخیر در تأیید نقشه‌ها، مدارک و مجوزهای پیمانکار
۳	مشکلات هماهنگی بین ارکان مختلف پروژه	۱۳	عدم برآورد دقیق حجم کار، تجهیزات و زمان پروژه
۴	عدم پیش‌بینی جرایم و تشویقات برای قرارداد	۱۴	انجام مراحل مطالعه و اجرا به طور همزمان
۵	ضعف فنی مشاور در کنترل مطالعات انجام شده	۱۵	ضعف فنی دستگاه نظارت در رفع مشکلات فنی و اجرایی کارگاه
۶	تعجیل در افتتاح به دلیل مسائل سیاسی-اجتماعی	۱۶	عدم توانایی کافی مالی، تدارکاتی و اجرایی پیمانکار
۷	تخصیص ناکافی و تأمین بودجه در زمان نامناسب	۱۷	عدم توجه به تذکرات مشاور در رعایت مشخصات فنی
۸	انتخاب نادرست پیمانکار و قیمت‌دهی نامناسب پیمانکاران	۱۸	مشکلات پیمانکاران به جز کمبود کارگران ماهر و آموزش دیده
۹	عدم اطلاع کافی کارشناسان کارفرما از مدیریت پروژه و ضعف مشاور در تهیه برنامه زمانبندی	۱۹	کمبود تجهیزات و فرسودگی ماشین‌آلات و مشکلات ناشی از افراد ناوارد در استفاده از آن‌ها
۱۰	مشکلات معارض و تحویل زمین برای اجرا	۲۰	مشکلات اقتصادی مثل تحریم و شرایط بد مالی بازار

در گام ابتدایی، نقشه اولیه شناختی فازی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی با اضافه نمودن چهار عامل سنجش: تغییرات زمان از میزان پیش بینی شده (عامل ۲۱)، تغییرات هزینه از میزان پیش بینی شده (عامل ۲۲)، تغییرات کیفیت از میزان مورد نظر (عامل ۲۳) و میزان کاهش ارزش اقتصادی (عامل ۲۴)، اصلاح شده و ماتریس روابط علی و معلولی میان این ۲۴ عامل تشکیل می‌شود. درایه‌های این ماتریس، اعداد فازی هستند که با توجه به جمع نظرات خبرگان تکمیل شده و نشانگر میزان اثرگذاری هر عامل بر عامل دیگر است. در این تحقیق برای وضوح بیشتر در نقشه شناختی، تنها اوزان روابط علی و معلولی ۲۰ عامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌ها، مطابق شکل (۴) نمایش داده شده است. در این شکل، گره‌ها نشانگر مفاهیم مورد بررسی یا عوامل مؤثر بر تأخیر و کمان‌های ترسیم شده نشان دهنده روابط علی و معلولی میان این عوامل می‌باشند. روابط اوزان فازی سایر عوامل با عوامل سنجش در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل ۴: نقشه شناختی فازی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی

جدول ۲: روابط علی و معلولی میان عوامل سنجش و عوامل مؤثر بر تأخیر

عامل	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴
۱	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶)	-	-	-
۲	-	-	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	(۰/۱، ۰/۲، ۰/۳)
۳	-	-	-	-
۴	-	-	(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)	-
۵	-	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	-
۶	-	-	(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)	-
۷	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	-	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	-
۸	-	-	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	-
۹	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	-	-	-
۱۰	-	-	-	-
۱۱	-	-	-	-
۱۲	(۰/۶، ۰/۷، ۰/۸)	-	-	-
۱۳	(۰/۸، ۰/۹، ۱)	(۰/۷، ۰/۸، ۰/۹)	-	-
۱۴	-	-	-	-
۱۵	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	-	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	-
۱۶	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶)	-
۱۷	-	-	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶)	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶)
۱۸	-	-	-	-
۱۹	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	-	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	-
۲۰	-	-	-	-
۲۱	-	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶)	(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)
۲۲	-	-	-	(۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)
۲۳	-	(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)	-	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)
۲۴	-	-	(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶)	-

حال با استفاده از الگوریتم یادگیری ترکیبی سعی می‌گردد تا نحوه اثرگذاری عوامل بیست‌گانه بر روی عوامل سنجشی که توسط مدیریت انتخاب شده ارزیابی گردد. برای این امر، سناریوهایی تعریف شده و فرض می‌شود تنها یکی از عوامل بیست‌گانه به عنوان عامل

مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی است. این عمل منجر به فعال شدن یا اثرگذار بودن عامل مورد بررسی بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی شده و با در نظر گرفتن اوزان نقشه شناختی فازی، الگوریتم یادگیری ترکیبی هبیین غیرخطی - تکامل تفاضلی به وسیله نرم‌افزار *MATLAB* اجرا می‌گردد. اجرای این الگوریتم برای ۲۰ عامل و به ازای سه ماتریس وزنی کران بالا، میانه و پایین صورت می‌گیرد. پس از اجرای هر سناریو با توجه به ماتریس وزنی، ساختار پایدار سیستم با تغییر مقادیر مفاهیم به دست می‌آید. مقادیر چهار عامل سنجش ۲۱، ۲۲، ۲۳ و ۲۴ در هر سناریو به عنوان معیارهایی برای اولویت‌بندی عوامل مورد استفاده قرار می‌گیرد که مقادیر آن‌ها به صورت فازی در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: مقادیر عوامل سنجش چهارگانه محاسبه شده به ازای هر عامل فعال

عامل فعال	عامل سنجش ۲۱			عامل سنجش ۲۲			عامل سنجش ۲۳			عامل سنجش ۲۴		
	پایین	میانه	بالا	پایین	میانه	بالا	پایین	میانه	بالا	پایین	میانه	بالا
۱	۰/۹۴۹	۰/۹۸۰	۰/۹۸۸	۰/۷۷۸	۰/۷۹۲	۰/۹۱۸	۰/۸۹۳	۰/۹۸۲	۰/۹۹۰	۰/۵۰۵	۰/۵۰۷	۰/۵۲۲
۲	۰/۹۵۴	۰/۹۷۸	۰/۹۸۹	۰/۵۰۲	۰/۵۲۹	۰/۸۷۸	۰/۹۵۱	۰/۹۷۸	۰/۹۹۰	۰/۵۰۷	۰/۵۳۱	۰/۶۵۰
۳	۰/۹۵۴	۰/۹۷۴	۰/۹۹۱	۰/۵۰۶	۰/۸۰۹	۰/۸۶۴	۰/۹۳۶	۰/۹۸۱	۰/۹۹۱	۰/۴۹۴	۰/۵۰۴	۰/۶۲۳
۴	۰/۹۵۷	۰/۹۷۷	۰/۹۹۰	۰/۵۷۲	۰/۶۷۶	۰/۸۵۳	۰/۹۵۰	۰/۹۸۰	۰/۹۹۰	۰/۴۷۲	۰/۵۰۰	۰/۷۲۰
۵	۰/۹۵۷	۰/۹۷۵	۰/۹۸۸	۰/۵۶۱	۰/۸۱۶	۰/۸۳۴	۰/۹۵۳	۰/۹۸۵	۰/۹۸۹	۰/۴۹۲	۰/۴۹۷	۰/۵۱۸
۶	۰/۹۶۲	۰/۹۸۰	۰/۹۸۸	۰/۵۰۵	۰/۵۵۰	۰/۸۵۰	۰/۹۳۱	۰/۹۷۹	۰/۹۸۹	۰/۴۲۶	۰/۶۷۷	۰/۸۶۸
۷	۰/۹۶۷	۰/۹۸۰	۰/۹۸۷	۰/۶۲۴	۰/۷۹۲	۰/۸۷۴	۰/۹۴۰	۰/۹۷۳	۰/۹۸۹	۰/۵۰۰	۰/۵۲۳	۰/۶۷۵
۸	۰/۹۶۲	۰/۹۷۶	۰/۹۸۹	۰/۵۶۰	۰/۷۰۴	۰/۸۶۶	۰/۹۲۸	۰/۹۷۱	۰/۹۹۱	۰/۴۹۵	۰/۴۹۵	۰/۵۰۲
۹	۰/۹۴۷	۰/۹۷۶	۰/۹۹۰	۰/۵۲۹	۰/۷۲۶	۰/۸۲۹	۰/۹۴۹	۰/۹۷۶	۰/۹۸۸	۰/۴۹۸	۰/۵۰۳	۰/۷۰۶
۱۰	۰/۹۵۳	۰/۹۷۲	۰/۹۸۸	۰/۵۰۱	۰/۷۱۰	۰/۸۹۴	۰/۹۴۹	۰/۹۸۳	۰/۹۹۰	۰/۴۸۷	۰/۴۹۵	۰/۶۷۷
۱۱	۰/۹۳۷	۰/۹۷۹	۰/۹۹۰	۰/۵۱۱	۰/۵۴۷	۰/۸۱۰	۰/۹۴۹	۰/۹۷۸	۰/۹۸۹	۰/۴۸۶	۰/۷۱۷	۰/۸۳۸
۱۲	۰/۹۵۵	۰/۹۷۹	۰/۹۸۶	۰/۷۳۰	۰/۸۶۵	۰/۸۷۳	۰/۹۰۶	۰/۹۷۳	۰/۹۹۱	۰/۴۶۷	۰/۴۹۱	۰/۵۵۵
۱۳	۰/۹۶۱	۰/۹۸۰	۰/۹۸۹	۰/۵۵۱	۰/۸۲۶	۰/۸۸۳	۰/۹۳۹	۰/۹۸۰	۰/۹۹۲	۰/۴۷۱	۰/۵۲۵	۰/۶۹۵
۱۴	۰/۹۵۵	۰/۹۷۴	۰/۹۹۱	۰/۷۷۱	۰/۸۲۶	۰/۹۰۷	۰/۹۱۱	۰/۹۷۴	۰/۹۸۹	۰/۴۸۸	۰/۴۹۲	۰/۵۱۱
۱۵	۰/۹۴۵	۰/۹۷۷	۰/۹۹۰	۰/۵۰۳	۰/۸۰۶	۰/۸۹۲	۰/۹۳۸	۰/۹۷۸	۰/۹۹۱	۰/۵۰۹	۰/۵۳۱	۰/۷۵۱

۰/۵۳۷	۰/۵۱۰	۰/۴۹۳	۰/۹۹۰	۰/۹۸۰	۰/۹۳۸	۰/۹۰۸	۰/۸۱۹	۰/۵۵۶	۰/۹۸۷	۰/۹۷۶	۰/۹۶۷	۱۶
۰/۵۵۱	۰/۴۹۷	۰/۴۸۹	۰/۹۹۰	۰/۹۷۵	۰/۹۴۱	۰/۸۸۷	۰/۸۵۶	۰/۴۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۷۹	۰/۹۵۱	۱۷
۰/۷۳۷	۰/۵۱۱	۰/۵۱۱	۰/۹۸۸	۰/۹۷۲	۰/۹۳۷	۰/۸۸۴	۰/۸۷۱	۰/۴۹۰	۰/۹۸۹	۰/۹۷۴	۰/۹۶۳	۱۸
۰/۵۱۰	۰/۵۰۱	۰/۴۹۸	۰/۹۹۱	۰/۹۷۸	۰/۹۵۱	۰/۸۴۶	۰/۷۸۱	۰/۵۴۳	۰/۹۸۵	۰/۹۸۳	۰/۹۶۵	۱۹
۰/۷۸۳	۰/۶۲۳	۰/۴۷۴	۰/۹۹۱	۰/۹۷۶	۰/۹۳۱	۰/۸۸۲	۰/۶۳۴	۰/۵۵۹	۰/۹۹۰	۰/۹۶۸	۰/۹۵۵	۲۰

حال، اولویت‌بندی این عوامل با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی بدون خروجی مبتنی بر متغیرهای کمکی و با توجه به مقادیر معیارهایی حاصل از نقشه شناختی فازی (ارائه شده در جدول ۳) صورت می‌گیرد. به دلیل اینکه عوامل سنجش، اهدافی هستند که مدیریت به دنبال کاهش آن‌ها می‌باشد، نقش ورودی‌های روش تحلیل پوششی داده‌ها را دارند. همچنین در این تحقیق، به دلیل اینکه مقادیر ورودی‌های روش مذکور به صورت فازی می‌باشند، از مدل‌های ارائه شده در بخش تحلیل پوششی داده‌ها و با فرض خروجی ثابت استفاده می‌شود. با استفاده از مدل‌های (۷) الی (۱۰) به ازای سطوح مختلف آلفا (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱) و استفاده از رابطه‌ی (۱۱)، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی استان آذربایجان غربی در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴: اولویت‌بندی عوامل شناسایی شده مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی

عامل فعال	کارایی ( $\alpha=0$ )		کارایی ( $\alpha=0,2$ )		کارایی ( $\alpha=0,4$ )	
	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	بالا
۱	۰/۸۲۰۳	۱/۰۰۵۳	۰/۸۵۶۱	۱/۰۰۳۶	۰/۸۸۶۷	۱/۰۰۱۹
۲	۰/۷۸۶۰	۱	۰/۸۳۱۸	۱/۰۰۳۸	۰/۸۸۲۶	۱/۰۱۱۰
۳	۰/۷۹۴۹	۱	۰/۸۳۱۷	۱	۰/۸۶۵۳	۱
۴	۰/۷۷۳۸	۱	۰/۸۱۵۷	۱/۰۰۰۲	۰/۸۵۶۷	۱/۰۰۲۶
۵	۰/۸۳۵۸	۱	۰/۸۶۹۴	۱	۰/۸۹۹۴	۱
۶	۰/۷۶۵۵	۱/۰۰۳۷۹	۰/۷۹۹۹	۱/۰۰۲۰۵	۰/۸۲۷۵	۱/۰۰۲۶
۷	۰/۷۸۱۵	۱	۰/۸۱۸۳	۱	۰/۸۵۲۵	۱
۸	۰/۸۳۶۳	۱	۰/۸۷۵۲	۱	۰/۹۱۴۱	۱/۰۰۲۰
۹	۰/۷۸۱۸	۱	۰/۸۲۱۱	۱/۰۰۰۳	۰/۸۵۸۸	۱/۰۰۰۳
۱۰	۰/۷۷۷۱	۱	۰/۸۱۸۸	۱/۰۰۰۴	۰/۸۵۹۱	۱/۰۰۲۴
۱۱	۰/۷۶۱۴	۱/۰۰۳۳	۰/۷۹۸۸	۱/۰۰۳۱	۰/۸۳۴۳	۱/۰۰۲۴



۱/۰۰۷۹	۰/۸۸۱۲	۱/۰۰۹۶	۰/۸۵۰۷	۱/۰۰۱۵	۰/۸۱۵۶	۱۲
۱	۰/۸۴۳۱	۱	۰/۸۰۹۷	۱	۰/۷۷۴۱	۱۳
۱/۰۰۰۱	۰/۸۹۶۳	۱	۰/۸۶۲۳	۱	۰/۸۲۶۱	۱۴
۱/۰۰۰۲	۰/۸۳۳۱	۱	۰/۷۹۸۰	۱/۰۰۱۷	۰/۷۶۱۵	۱۵
۱	۰/۸۸۱۷	۱	۰/۸۵۱۷	۱	۰/۸۱۶۴	۱۶
۱	۰/۸۸۰۲	۱	۰/۸۵۰۱	۱/۰۰۱۴	۰/۸۱۵۲	۱۷
۱	۰/۸۳۵۶	۱	۰/۸۰۱۵	۱/۰۰۴۷	۰/۷۶۶۱	۱۸
۱	۰/۹۰۳۲	۱	۰/۸۷۱۶	۱	۰/۸۳۷۰	۱۹
۱/۰۰۰۵	۰/۸۳۳۰	۱	۰/۷۹۵۸	۱	۰/۷۵۶۹	۲۰

ادامه‌ی جدول ۴: اولویت‌بندی عوامل شناسایی شده مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی

رتبه	امتیاز	کارایی ( $\alpha=1$ )		کارایی ( $\alpha=0.8$ )		کارایی ( $\alpha=0.6$ )		عامل فعال
		بالا	پایین	بالا	پایین	بالا	پایین	
۱۴	۰/۵۸۴۸	۰/۹۵۰۶	۰/۹۵۰۶	۱	۰/۹۲۵۸	۱/۰۰۰۴	۰/۹۰۴۶	۱
۲۰	۰/۶۵۳۸	۱/۰۵۸۸	۱/۰۵۸۸	۱/۰۴۹۳	۱	۱/۰۳۴۰	۰/۹۳۸۳	۲
۸	۰/۵۵۹۸	۰/۹۵۷۱	۰/۹۵۷۱	۱	۰/۹۰۵۶	۱	۰/۸۸۴۹	۳
۱۰	۰/۵۷۱۹	۱/۰۰۰۶	۱/۰۰۰۶	۱/۰۰۱۳	۰/۹۲۲۳	۱/۰۰۱۴	۰/۸۸۷۶	۴
۱۶	۰/۶۰۳۳	۰/۹۶۰۹	۰/۹۶۰۹	۱	۰/۹۳۶۹	۱	۰/۹۱۷۰	۵
۴	۰/۵۳۴۴	۰/۹۳۶۳	۰/۹۳۶۳	۱/۰۰۰۶	۰/۸۹۴۶	۱/۰۰۱۶	۰/۸۵۸۸	۶
۵	۰/۵۴۴۲	۰/۹۴۹۸	۰/۹۴۹۸	۱	۰/۸۹۷۲	۱	۰/۸۷۴۰	۷
۱۹	۰/۶۴۲۷	۱/۰۰۳۲	۱/۰۰۳۲	۱/۰۰۲۴	۰/۹۶۷۷	۱/۰۰۲۳	۰/۹۴۰۰	۸
۹	۰/۵۶۳۹	۰/۹۷۹۰	۰/۹۷۹۰	۱	۰/۹۱۴۷	۱	۰/۸۸۵۳	۹
۱۲	۰/۵۷۳۵	۱/۰۰۰۹	۱/۰۰۰۹	۱/۰۰۱۳	۰/۹۱۹۸	۱/۰۰۱۱	۰/۸۸۷۹	۱۰
۳	۰/۵۲۳۸	۰/۹۳۱۳	۰/۹۳۱۳	۱/۰۰۰۴	۰/۸۹۲۳	۱/۰۰۱۴	۰/۸۶۱۶	۱۱
۱۵	۰/۶۰۲۶	۱/۰۰۰۸	۱/۰۰۰۸	۱/۰۰۳۱	۰/۹۲۵۵	۱/۰۰۵۴	۰/۸۹۸۲	۱۲
۲	۰/۵۲۲۶	۰/۹۱۷۵	۰/۹۱۷۵	۱	۰/۸۸۷۱	۱	۰/۸۶۴۲	۱۳
۱۸	۰/۶۱۶۵	۱/۰۰۰۹	۱/۰۰۰۹	۱/۰۰۰۸	۰/۹۴۰۸	۱/۰۰۰۵	۰/۹۱۷۶	۱۴
۱	۰/۵۱۷۵	۰/۹۲۵۹	۰/۹۲۵۹	۱	۰/۸۸۴۵	۱	۰/۸۵۷۵	۱۵
۱۱	۰/۵۷۲۴	۰/۹۴۳۴	۰/۹۴۳۴	۱	۰/۹۱۶۹	۱	۰/۸۹۵۶	۱۶
۱۳	۰/۵۷۵۶	۰/۹۵۰۸	۰/۹۵۰۸	۱	۰/۹۲۰۷	۱	۰/۸۹۵۴	۱۷
۶	۰/۵۴۸۲	۱/۰۰۰۱	۱/۰۰۰۱	۱	۰/۸۸۴۸	۱	۰/۸۵۸۸	۱۸
۱۷	۰/۶۰۸۳	۰/۹۶۳۳	۰/۹۶۳۳	۱	۰/۹۴۰۹	۱	۰/۹۲۱۳	۱۹
۷	۰/۵۴۸۹	۱/۰۰۲۲	۱/۰۰۲۲	۱/۰۰۱۷	۰/۹۰۱۱	۱/۰۰۱۱	۰/۸۶۰۶	۲۰

همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود مقادیر حدود بالا و پایین کارایی به ازای برش‌های مختلف آلفا نمایش داده شده است که در نهایت با استفاده از رابطه‌ی (۱۱)، به یک امتیاز در جهت اولویت‌بندی تبدیل شده‌اند. همانطور که در بخش تحلیل پوششی داده‌ها بیان گردید، برای کاهش دشواری موجود در فرآیند اولویت‌بندی و ایجاد تمایز میان واحدهای تصمیم‌گیری به دلیل بازه‌ای بودن مقادیر محاسبه شده کارایی می‌توان از مفهوم ابر کارایی بهره برد. در نتیجه، نحوه اجرای مدل‌های مذکور بدین شرح است که در ابتدا مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر متغیرهای کمکی بدون خروجی به ازای حدود بالا و پایین کارایی (مدل‌های ۷ و ۸ با فرض میزان خروجی برابر یک) برای واحدهای تصمیم‌گیری به وسیله نرم افزار بهینه‌سازی GAMS مورد اجرا قرار گرفته و سپس در صورتی که میزان کارایی به دست آمده به ازای کران‌های بالای کارایی برخی از واحدهای تصمیم‌گیری مورد ارزیابی برابر ۱ باشد، مدل ابر کارایی تحلیل پوششی داده‌های فازی مبتنی بر متغیرهای کمکی بدون خروجی (مدل‌های ۹ و ۱۰ با فرض میزان خروجی برابر با یک) برای این دسته از واحدهای تصمیم‌گیری با هدف اولویت‌بندی کامل آن‌ها مورد اجرا قرار می‌گیرد. با توجه به جدول (۴) بایستی این نکته را بیان کرد، زمانی که یک عامل مورد بررسی در مقایسه با عوامل دیگر دارای امتیاز بالاتری باشد؛ بدین معنی است که دارای رتبه پایین‌تری می‌باشد. یعنی عاملی که کمترین امتیاز کارایی را به دست آورد دارای رتبه اول بوده و اولویت رسیدگی بالاتری را می‌طلبد. دلیل این امر این است که در روش تحلیل پوششی داده‌های بدون خروجی، افزایش میزان ورودی‌ها باعث کاهش کارایی می‌شود. به عبارت دیگر، اثرگذاری بیشتر یک عامل بر روی عوامل سنجش با افزایش میزان ورودی‌ها، کاهش امتیاز کارایی و افزایش اولویت رسیدگی همراه است. بنابراین، عاملی که دارای پایین‌ترین امتیاز کارایی است، بالاترین رتبه را در میان عوامل بیست‌گانه خواهد داشت.

با توجه به مطالب بیان شده، عامل شماره ۱۵ یعنی "ضعف فنی دستگاه نظارت در رفع مشکلات فنی و اجرایی کارگاه" بیشترین اثرگذاری را بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی استان آذربایجان غربی داشته است. همچنین، عامل "عدم برآورد صحیح از حجم کار، تجهیزات و

زمان پروژه " (عامل ۱۳)، "تعدد مراکز تصمیم‌گیری در ایجاد پروژه" (عامل ۱۱)، "تعجیل در افتتاح به دلیل مسائل سیاسی-اجتماعی" (عامل ۶) و "تخصیص ناکافی و تأمین بودجه در زمان نامناسب" (عامل ۷) به ترتیب در اولویت‌های دوم الی پنجم قرار گرفته‌اند. لازم به توضیح است که نتایج حاصل شده با دیدگاه افرادی که مستقیماً در پروژه‌های ساختمانی استان مورد مطالعه فعال هستند (کارشناسانی از شرکت‌های کارفرما، پیمانکار و مشاور)، همخوانی مناسبی داشته و با توجه به مشکلات و فضای حاکم در پروژه‌های ساختمانی استان مذکور، مورد تأیید قرار گرفت. بنابراین، سیاست‌گذاران و مدیران این پروژه‌ها با برگزاری جلساتی با خبرگان این امر قادر هستند تا با ارائه برنامه‌هایی نظام‌مند برای کاهش اثر مؤثرترین عوامل تأخیر و نه تمامی عوامل شناسایی شده، از اتلاف سرمایه‌های ملی جلوگیری نموده و با کاهش تأخیر و اجتناب از هزینه‌های ناشی از آن، منجر به توجیه فنی اقتصادی طرح‌های جاری در استان گردند.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، پس از بررسی تحقیقات پیشین و اسناد چندین پروژه که در فاصله زمانی ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۳ دچار تأخیر شده‌اند، شناسایی اولیه عوامل مؤثر بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی استان آذربایجان غربی انجام گردیده است. در ادامه، برای دستیابی به عوامل اصلی تأخیرات از ۱۰ نفر از کارشناسان بخش‌های مهندسی و مدیریت پروژه‌های ساختمانی نظرخواهی شده است. از آنجایی که در واقعیت، عوامل بیست‌گانه دارای روابط علی و معلولی هستند، از روش نقشه شناختی فازی برای در نظر گرفتن این روابط استفاده شده است. سپس، با در نظر گرفتن اهداف چهارگانه که مدیریت به دنبال کاهش آن‌ها می‌باشد، ساختار نقشه شناختی اصلاح گردیده و وزن‌دهی روابط میان عوامل با توجه به نظرات خبرگان انجام شده است. برای دستیابی به چگونگی اثرگذاری عوامل بر روی اهداف مدیریتی که مهمترین آن "تأخیر" می‌باشد، از الگوریتم یادگیری ترکیبی بهره گرفته می‌شود. به نحوی که در هر مرتبه فرض می‌شود که یکی از عوامل، مؤثرترین عامل تأخیر بوده و پس از اجرای الگوریتم مذکور،

اثرگذاری آن بر عوامل سنجش ارزیابی می‌گردد. در نهایت با توجه به نتایج حاصل شده و استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های فازی، اولویت‌بندی این عوامل انجام گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که عامل "ضعف فنی دستگاه نظارت در رفع مشکلات فنی و اجرایی کارگاه" بیشترین اثرگذاری را بر تأخیر پروژه‌های ساختمانی داشته است. رتبه‌بندی و خوشه‌بندی عوامل تأخیر با استفاده از روش‌های ترکیبی تصمیم‌گیری و مدلسازی ساختاری تفسیری و همچنین بررسی موضوع در مناطق مختلف کشور با انجام مطالعات موردی در سایر استان‌ها از پیشنهادات توسعه این تحقیق می‌باشد.

## منابع

- عطافر، علی، اقبالی، محمد. (۱۳۹۲). آسیب شناسی عوامل مؤثر بر تأخیر در پروژه‌های منطقه ۳ عملیات انتقال گاز ایران. *مجله مدیریت صنعتی دانشگاه تهران*، سال پنجم، شماره دوم، ۸۵-۱۰۲.
- Abdul-Rahman, H., Takim, R., & Min, W. S. (2009). Financial-related causes contributing to project delays. *Journal of Retail & Leisure Property*, 8(3), 225-238.
- Al-Hazim, N. (2015). Delay and cost overrun in road construction projects in Jordan. *International Journal of Engineering & Technology*, 4(2), 288-293.
- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International journal of project management*, 24(4), 349-357.
- Azadeh, A., Ziaei, B., & Moghaddam, M. (2012). A hybrid fuzzy regression-fuzzy cognitive map algorithm for forecasting and optimization of housing market fluctuations. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 298-315.
- Bagheri, M., Yousefi, S., & Rezaee, M. J. (2016). Risk measurement and prioritization of auto parts manufacturing processes based on process failure analysis, interval data envelopment analysis and grey relational analysis. *Journal of Intelligent Manufacturing*, DOI: 10.1007/s10845-016-1214-1.
- Chen, C. B., & Klein, C. M. (1997). A simple approach to ranking a group of aggregated fuzzy utilities. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 27(1), 26-35.
- Chen, Y. C., Chiu, Y. H., Huang, C. W., & Tu, C. H. (2013). The analysis of bank business performance and market risk—Applying Fuzzy DEA. *Economic Modelling*, 32, 225-232.
- Doloi, H., Sawhney, A., Iyer, K. C., & Rentala, S. (2012). Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of Project Management*, 30(4), 479-489.
- Doraisamy, S. V., Akasah, Z. A., & Yunus, R. (2015). An Overview on the Issue of Delay in the Construction Industry. In *InCIEC 2014*, Springer Singapore, 313-319.
- Fallahnejad, M. H. (2013). Delay causes in Iran gas pipeline projects. *International Journal of Project Management*, 31(1), 136-146.

Hu, X., & Liu, C. (2015). Managing undesirable outputs in the Australian construction industry using Data Envelopment Analysis models. *Journal of Cleaner Production*, 101, 148-157.

Hwang, S. N., Chen, C., Chen, Y., Lee, H. S., & Shen, P. D. (2013). Sustainable design performance evaluation with applications in the automobile industry: Focusing on inefficiency by undesirable factors. *Omega*, 41(3), 553-558.

Kaliba, C., Muya, M., & Mumba, K. (2009). Cost escalation and schedule delays in road construction projects in Zambia. *International Journal of Project Management*, 27(5), 522-531.

Kim, S. Y., & Tuan, K. N. (2016). Delay factor analysis for hospital projects in Vietnam. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(2), 519-529.

Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of man-machine studies*, 24(1), 65-75.

Kyriakarakos, G., Patlitzianas, K., Damasiotis, M., & Papastefanakis, D. (2014). A fuzzy cognitive maps decision support system for renewables local planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 209-222.

Lee, K. C., Lee, H., Lee, N., & Lim, J. (2013). An agent-based fuzzy cognitive map approach to the strategic marketing planning for industrial firms. *Industrial Marketing Management*, 42(4), 552-563.

Lovell, C. K., & Pastor, J. T. (1999). Radial DEA models without inputs or without outputs. *European Journal of Operational Research*, 118(1), 46-51.

Papageorgiou, E. I., & Kannappan, A. (2012). Fuzzy cognitive map ensemble learning paradigm to solve classification problems: Application to autism identification. *Applied Soft Computing*, 12(12), 3798-3809.

Papageorgiou, E. I., Stylios, C., & Groumpos, P. P. (2006). Unsupervised learning techniques for fine-tuning fuzzy cognitive map causal links. *International Journal of Human-Computer Studies*, 64(8), 727-743.

Rezaee, M. J., Izadbakhsh, H., & Yousefi, S. (2016). An improvement approach based on DEA-game theory for comparison of operational and spatial efficiencies in urban transportation systems. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(4), 1526-1531.

Rezaee, M. J., Yousefi, S., & Hayati, J. (2016). A decision system using fuzzy cognitive map and multi-group data envelopment analysis to estimate hospitals' outputs level. *Neural Computing and Applications*, DOI: 10.1007/s00521-016-2478-2.

Sacchelli, S., & Fabbri, S. (2015). Minimisation of uncertainty in decision-making processes using optimised probabilistic Fuzzy Cognitive Maps: A case study for a rural sector. *Socio-Economic Planning Sciences*, 52, 31-40.

Sambasivan, M., & Soon, Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of project management*, 25(5), 517-526.

Shafiee, M., Lotfi, F. H., & Saleh, H. (2014). Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach. *Applied Mathematical Modelling*, 38(21), 5092-5112.

Shivambu, X., & Thwala, W. D. (2014). The causes of delays in the delivery of construction projects: a review of literature. In *Proceedings of the 17th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate*, Springer Berlin Heidelberg, 715-720.

Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11(4), 341-359.

Sweis, G., Sweis, R., Hammad, A. A., & Shboul, A. (2008). Delays in construction projects: The case of Jordan. *International Journal of Project Management*, 26(6), 665-674.

Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 130(3), 498-509.

Wanke, P., Barros, C. P., & Emrouznejad, A. (2016). Assessing productive efficiency of banks using integrated Fuzzy-DEA and bootstrapping: A case of Mozambican banks. *European Journal of Operational Research*, 249(1), 378-389.

Yang, J. B., & Wei, P. R. (2010). Causes of delay in the planning and design phases for construction projects. *Journal of Architectural Engineering*, 16(2), 80-83.

Zimmermann, H. J. (1975). Description and optimization of fuzzy system. *International Journal of General System*, 2(1), 209-215.