

ارزیابی و پیش بینی عملکرد پروژه‌های مبتنی بر عملکرد با استفاده از تکنیک‌های

تصمیم‌گیری چند معیاره و شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی

جعفر خلجانی^۱، علیرضا جباری^۲

چکیده

ارزیابی عملکرد پروژه‌ها به عنوان یک جنبه حیاتی در مدیریت پروژه‌ها شناخته شده است. این مطالعه با هدف ارائه یک مدل جامع برای ارزیابی و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌های مبتنی بر عملکرد انجام شده است. در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر بر عملکرد پروژه‌ها از طریق مرور ادبیات شناسایی شدند و سپس پرسشنامه‌ای جامع طراحی و بین خبرگان و متخصصین حوزه مدیریت پروژه توزیع شد. این پرسشنامه شامل مجموعه‌ای از سوالات بود که به بررسی معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد پروژه‌ها می‌پرداخت. داده‌های جمع‌آوری شده از این پرسشنامه با استفاده از تحلیل عاملی و رگرسیون چندگانه تحلیل شدند تا روابط و وابستگی‌های بین معیارها مشخص شود. سپس از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی برای رتبه‌بندی پروژه‌ها بر اساس معیارهای شناسایی شده استفاده شد. این تکنیک‌ها به شناسایی و وزن‌دهی دقیق‌تر به معیارهای کلیدی کمک کردند و به ترتیب اهمیت پروژه‌ها را رتبه‌بندی نمودند. نتایج حاصل از این رتبه‌بندی به عنوان ورودی به شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی داده شدند تا با استفاده از الگوهای یادگیری ماشینی، عملکرد آینده پروژه‌ها پیش‌بینی شود. این شبکه‌های عصبی با بهره‌گیری از داده‌های آموزشی قادر به تحلیل و پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد پروژه‌ها بودند. استفاده از ترکیب تحلیل‌های آماری و تکنیک‌های هوش مصنوعی در این مدل، دقت و کارایی ارزیابی‌ها را افزایش داد و به مدیران پروژه در تصمیم‌گیری‌های بهتر و بهینه‌تر کمک کرد. نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند به طور مؤثری در ارزیابی و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها مفید باشد و بهبود مستمر فرآیندهای مدیریتی و عملکردی را تسهیل نماید.

واژگان کلیدی: ارزیابی عملکرد پروژه، پیشرفت فیزیکی پروژه، رتبه‌بندی پروژه، تصمیم‌گیری چند معیاره، پیش‌بینی عملکرد پروژه

^۱ دانشیار مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) Email:

Kheljani@must.ac.ir

^۲ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

Evaluation and Prediction of Performance-Based Project Performance Using Multi-Criteria Decision-Making Techniques and Gated Recurrent Neural Networks

Abstract : Evaluating project performance is recognized as a critical aspect of project management. This study aims to present a comprehensive model for evaluating and predicting the performance of performance-based projects. Initially, factors influencing project performance were identified through a literature review, and then a comprehensive questionnaire was designed and distributed among experts and specialists in project management. This questionnaire included a set of questions that examined various criteria for evaluating project performance. The collected data from this questionnaire were analyzed using factor analysis and multiple regression to determine the relationships and dependencies between the criteria. Then, multi-criteria decision-making techniques like TOPSIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) were used to rank projects based on the identified criteria. These techniques helped to identify and weigh the key criteria more accurately and ranked the projects in order of importance. The results of this ranking were used as input for Gated Recurrent Neural Networks (GRNN) to predict the future performance of the projects using machine learning patterns. These neural networks, utilizing the training data, were able to analyze and predict project performance more accurately. The combination of statistical analysis and artificial intelligence techniques in this model increased the accuracy and efficiency of the evaluations, helping project managers make better and more optimal decisions. The results showed that this model can effectively assist in evaluating and predicting project performance and facilitate the continuous improvement of management and operational processes. This study also suggests that the proposed combined model should be tested in various industries and projects to assess its generalizability and effectiveness under different conditions.

Keywords: Project performance evaluation, project physical progress, project ranking, multi-criteria decision-making, project performance prediction.

در سال‌های اخیر، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها به عنوان یکی از جنبه‌های حیاتی در زمینه‌های مختلف از تجارت و مهندسی تا علوم اجتماعی مطرح شده است. این ارزیابی‌ها به مدیران و تصمیم‌گیران اجازه می‌دهند تا میزان موفقیت پروژه‌ها را بر اساس معیارهای مختلف بسنجند (طهانیان و دیگران، ۱۴۰۰، ۳۰۱-۳۱۸). ارزیابی عملکرد پروژه‌ها نه تنها به اندازه‌گیری کارآمدی و کارایی مدیریت پروژه کمک می‌کند، بلکه به عنوان یک معیار برای تعیین میزان تحقق اهداف پروژه و تأثیرات طرح‌های انجام شده نیز عمل می‌کند (Radhakrishnan و دیگران، ۱۹۹۶، ۲۳-۴۹). به طور کلی، این ارزیابی‌ها به مدیران پروژه امکان می‌دهند تا نقاط قوت و ضعف پروژه‌ها را شناسایی کرده و در نتیجه، فرآیندها و عملکرد پروژه‌ها را بهبود بخشند.

اهمیت و ضرورت ارزیابی عملکرد پروژه‌ها به دلیل تأثیر مستقیم آن بر بهبود مدیریت پروژه، کاهش هزینه‌ها، افزایش کارایی و ارتقاء کیفیت پروژه‌ها بسیار بالاست. ارزیابی‌های دقیق و منظم می‌توانند به شناسایی مشکلات و چالش‌های موجود در پروژه‌ها کمک کرده و از تکرار اشتباهات در پروژه‌های آینده جلوگیری کنند (Pan و دیگران، ۲۰۲۴، ۱۰۷۲۸۵). این امر به بهبود مستمر و ارتقاء فرآیندها و عملکرد پروژه‌ها در طول زمان کمک می‌کند. ارزیابی عملکرد همچنین می‌تواند به عنوان ابزاری برای تعیین میزان تحقق اهداف استراتژیک سازمان‌ها و افزایش رضایت ذینفعان مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها نقش کلیدی در افزایش شفافیت، بهبود تصمیم‌گیری‌ها و دستیابی به نتایج بهتر در پروژه‌های مختلف دارد (Almasabha و Maabreh، ۲۰۲۴، ۴۷۲۷-۴۷۱۱).

با وجود تحقیقات گسترده در زمینه ارزیابی عملکرد پروژه‌ها، همچنان نیاز به رویکردهای نوآورانه و دقیق‌تری وجود دارد. روش‌های سنتی ارزیابی، اغلب ناکام در درک تعامل پیچیده عوامل مؤثر بر عملکرد پروژه‌ها هستند. پروژه‌های مدرن به دلیل پیچیدگی و طبیعت پویای خود نیازمند رویکردهایی هستند که بتوانند این تعاملات پیچیده را به خوبی درک و تحلیل کنند. این پیچیدگی‌ها شامل عواملی مانند تغییرات محیطی، نیازهای متغیر ذینفعان، تکنولوژی‌های نوظهور و تعاملات چندبعدی بین اعضای تیم پروژه است (Ovcina و Arslanagic-Kalajdzic، ۲۰۲۴، ۷۶-۶۳). بنابراین، توسعه روش‌های جدید و پیشرفته برای ارزیابی عملکرد پروژه‌ها ضروری است. این روش‌های جدید باید توانایی درک و تحلیل این پیچیدگی‌ها را داشته باشند و به مدیران پروژه کمک کنند تا تصمیمات بهتری بگیرند.

در مطالعات پیشین، روش‌های مختلفی مانند تحلیل سلسله مراتبی، تکنیک انتخاب بر مبنای شباهت به راه‌حل ایده‌آل و تحلیل فازی برای ارزیابی عملکرد پروژه‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Yin و دیگران، ۲۰۲۴، ۱۱۰۶۸۴). این روش‌ها به شناسایی معیارها و شاخص‌های مؤثر بر عملکرد پروژه پرداخته و از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای رتبه‌بندی پروژه‌ها استفاده کرده‌اند. در روش تحلیل سلسله مراتبی، معیارها و زیرمعیارها به صورت سلسله مراتبی سازمان‌دهی شده و اهمیت نسبی هر معیار تعیین می‌شود. در روش تاپسیس، پروژه‌ها بر اساس نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل و دوری از راه‌حل نامطلوب رتبه‌بندی می‌شوند. تحلیل فازی نیز با استفاده از منطق فازی به ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌ها پرداخته و توانایی مدیریت عدم قطعیت‌ها و ابهامات موجود در داده‌ها را دارد. اگرچه این روش‌ها به بهبود درک ما از ارزیابی پروژه‌ها کمک کرده‌اند، اما همچنان نیاز به بهبود و نوآوری در این زمینه وجود دارد تا بتوانند با پیچیدگی‌های روزافزون پروژه‌های مدرن سازگار شوند و نتایج دقیق‌تری ارائه دهند.

در این مطالعه، یک مدل جامع برای ارزیابی عملکرد پروژه‌ها با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی ارائه می‌شود. فرآیند ارزیابی با طراحی یک پرسشنامه جامع آغاز می‌شود که هدف آن جمع‌آوری داده‌های دقیق و

کاملی از خبرگان و اساتید در حوزه مدیریت پروژه است. این پرسشنامه شامل مجموعه‌ای از سوالات دقیق و مشخص است که به شناسایی معیارها و شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد پروژه‌ها می‌پردازد. این معیارها می‌توانند شامل عواملی مانند هزینه، زمانبندی، کیفیت، رضایت سهامداران، مدیریت ریسک، و تأثیرات محیطی باشند.

پس از جمع‌آوری داده‌ها از طریق پرسشنامه، این داده‌ها با استفاده از تحلیل‌های آماری دقیق بررسی می‌شوند تا ارتباطات و وابستگی‌های میان معیارها مشخص شود. در این مرحله، از تکنیک‌های مختلفی نظیر تحلیل عاملی و رگرسیون برای تحلیل داده‌ها استفاده می‌شود تا وزن و اهمیت هر یک از معیارها در ارزیابی عملکرد پروژه‌ها تعیین گردد.

مرحله بعدی شامل استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی است. این تکنیک‌ها دارای مزایای متعددی در ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌ها هستند. از جمله مزایای تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توان به امکان تحلیل دقیق و جامع معیارهای مختلف، انعطاف‌پذیری در وزن‌دهی به هر یک از معیارها، و تسهیل در شناسایی و اولویت‌بندی پروژه‌ها بر اساس معیارهای شناسایی شده اشاره کرد. در روش تاپسیس، هر پروژه بر اساس نزدیکی به حالت ایده‌آل مثبت و دوری از حالت ایده‌آل منفی رتبه‌بندی می‌شود که این امر به تعیین دقیق‌تر اولویت‌ها کمک می‌کند. در روش تحلیل سلسله مراتبی، معیارها به صورت سلسله مراتبی سازمان‌دهی می‌شوند و پروژه‌ها بر اساس وزن‌دهی به هر یک از معیارها رتبه‌بندی می‌گردند که این تکنیک به مدیران امکان می‌دهد تا تصمیمات بهتری بگیرند و منابع را بهینه‌تر تخصیص دهند (رودی و دیگران، ۱۳۹۸، ۴۱-۵۶).

در نهایت، نتایج حاصل از رتبه‌بندی پروژه‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی به منظور پیش‌بینی عملکرد آینده پروژه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی قادر به یادگیری از داده‌های گذشته و پیش‌بینی نتایج آینده با دقت بالایی هستند. این شبکه‌ها با استفاده از داده‌های آموزشی شامل مقادیر ورودی (معیارهای ارزیابی) و خروجی (رتبه‌بندی پروژه‌ها) آموزش داده می‌شوند و سپس برای پیش‌بینی عملکرد پروژه‌های جدید به کار گرفته می‌شوند (امیدی و دیگران، ۱۳۹۵، ۲۵-۳۷). به منظور دستیابی به اهداف فوق ساختار این مطالعه در پنج بخش تنظیم شده است. بخش دوم به مرور ادبیات مربوط به ارزیابی عملکرد پروژه‌ها می‌پردازد. در بخش سوم، رویکرد پیشنهادی و روش‌های مورد استفاده توضیح داده می‌شود. بخش چهارم نتایج حاصل از تحلیل‌ها را ارائه می‌دهد. در بخش پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات آینده را ارائه می‌شود. این ساختار منظم به خوانندگان کمک می‌کند تا به طور جامع و دقیق با فرآیند و نتایج تحقیق آشنا شوند.

۲- مروری بر ادبیات

ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌ها در مدیریت پروژه‌ها اساسی است و به مدیران کمک می‌کند تا میزان موفقیت و کارایی پروژه‌ها را بر اساس معیارهای مختلف بسنجند. در راستای بهبود فرآیندهای رتبه‌بندی پروژه‌ها، محققینی به ادغام داده‌های نرم صنعتی در فرآیند رتبه‌بندی پروژه‌ها پرداخته‌اند (Szilágyi و دیگران، ۲۰۲۰، ۶۶-۸۷). آنها ارزشیابی پروژه‌ها را با در نظر گرفتن عوامل سخت و نرم، از جمله تأثیرات مالی و توسعه سازمانی، ارائه کردند. محققینی دیگر یک چارچوب دو مرحله‌ای با استفاده از مجموعه‌های فازی مقادیر بازه‌ای و روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس برای رتبه‌بندی پروژه‌های ریلی پیشنهاد دادند (Macura، ۲۰۱۹، ۹۱-۱۱۲). این چارچوب به مدیران ریلی و دولت‌ها به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری ارزشمند در انتخاب پروژه‌های ریلی کمک می‌کند. محققینی دیگر روش‌های بهینه‌سازی را برای انتخاب بهترین برنامه سرمایه‌گذاری زیرساختی در بخش حمل و نقل بررسی کردند (Bonnafoous و Jensen، ۲۰۰۵، ۱۳۶-۱۳۱). مطالعه‌ی آنها نشان می‌دهد که رتبه‌بندی بهینه ممکن است با نرخ بازدهی اقتصادی متفاوتی از رتبه‌بندی اجتماعی-اقتصادی همخوانی داشته باشد.

محققینی دیگر دو دسته از روش‌های رتبه‌بندی فعالیت‌ها را برای بهبود فرآیند اقدامات اصلاحی پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت مقایسه کردند (Vaseghi و Vanhoucke، ۲۰۲۳، ۱۰۹۵۰۵). مطالعه‌ی آنها نشان می‌دهد که روش‌های تحلیلی و مبتنی بر شبیه‌سازی مانند کارلو نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری دارند، همچنین در پیش‌بینی اثرات اقدامات بر مدت زمان مورد انتظار پروژه نیز بسیار کارآمد هستند. محققینی دیگر یک مدل دو فاز اصلی برای رتبه‌بندی پروژه‌های راه‌آهن از زیرسیستم‌های مختلف ارائه کردند. این مدل به تهیه لیست رتبه‌بندی یکتا از تمام پروژه‌ها و لیست‌های رتبه‌بندی برای خوشه‌های پروژه‌ها امکان می‌دهد (Mandic و دیگران، ۲۰۱۴، ۸۸-۱۰۴). محققینی دیگر نشان دادند که شرایطی برای مقایسه دو پروژه سرمایه‌گذاری با استفاده از ارزش خالص حاضر وجود دارد و به بررسی ساختار این تابع و شرایط رتبه‌بندی آن در مقایسه با سایر پروژه‌ها پرداختند (Foster و Mitra، ۲۰۰۳، ۴۹۴-۴۹۹).

محققینی دیگر به معرفی روشی جامع برای رتبه‌بندی پروژه‌ها در بخش انرژی ارمنستان با استفاده از روش‌های چندمعیاره برای گروه‌ها پرداختند. این روش، به ترکیبی از روش‌های ELECTRE III و PROMETHEE تحت نام MURAME معروف است و به عنوان بخش اصلی یک روش یکپارچه برای رتبه‌بندی پروژه‌ها به کار می‌رود (Goletsis و دیگران، ۲۰۰۳، ۱۳۵-۱۵۷). محققینی دیگر یک روش فاز برای اولویت‌بندی پروژه‌ها در بودجه مشارکتی پیشنهاد دادند (Rutkowska و Walczak، ۲۰۱۷، ۷۰۶-۷۱۴). در مطالعه‌ی آنها روش تاپسیس فاز برای اولویت‌بندی پروژه‌های بودجه مشارکتی بر اساس مثال عملی در شهر پوزنان (لهستان) توضیح داده شده است که امکان انجام اولویت‌بندی چندمعیاره برای پروژه‌های بودجه مشارکتی را با در نظر گرفتن معیارهای غیر کمی و فازی فراهم می‌کند. محققینی دیگر عوامل مهم موفقیت در مدیریت ذی‌نفعان در پروژه‌های ساخت و ساز در پاکستان را شناسایی و رتبه‌بندی کرده‌اند. آنها با استفاده از تحلیل عاملی، این عوامل به چهار دسته اصلی مرتبط با مدیریت ذی‌نفعان تقسیم کردند و پیشنهاد دادند که این دسته‌بندی‌ها به عنوان یک چارچوب برای مدیریت موفق ذی‌نفعان در پروژه‌های ساخت و ساز به کار گرفته شوند (Rafeh و دیگران، ۲۰۲۳، ۳۵۶۹-۳۵۸۲).

یک مدل تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی پروژه‌های سرمایه‌گذاری زیست‌محیطی با استفاده از روش‌های چندمعیاره و تحلیل حساسیت وزن نیز ارائه شده است (Yan و دیگران، ۲۰۰۷، ۵۳۴-۵۳۹). در این مطالعه از روش PROMETHEE برای ارتقاء تصمیم‌گیری در مورد پروژه‌های پالایشگاه‌های فاضلاب شهری استفاده شده است. همچنین، با استفاده از مفهوم فواصل استوایی وزن، حساسیت نتایج رتبه‌بندی به اندازه مقادیر معیارها و تغییرات در ارزش وزن معیارها بررسی شده است. محققینی دیگر به بررسی پروژه‌های برق‌آبی با توجه به معیارهای پایداری پرداختند. در مطالعه‌ی آنها از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند تاپسیس برای رتبه‌بندی پروژه‌های برق‌آبی با در نظر گرفتن هشت معیار مهم انتخاب شده از ادبیات استفاده شده است (Vadhera و Shaktawat، ۲۰۲۱، ۷۵-۹۰). محققینی دیگر به بررسی دسته‌بندی و رتبه‌بندی عوامل خطر ساز در پروژه‌های بین‌المللی می‌پردازند. مطالعه‌ی آنها با استفاده از روش تاپسیس به ارتقاء رتبه‌بندی عوامل خطر در پروژه‌های بین‌المللی می‌پردازد و نتایج حاکی از اهمیت عوامل مانند خطرات سیاسی، خطرات فنی و خطرات مرتبط با طراحی در پروژه‌های بین‌المللی است (Dandage و دیگران، ۲۰۱۸، ۳۱۷-۳۳۱). محققینی دیگر به بررسی انتخاب روش تهیه پروژه در مواقعی که با عدم قطعیت مواجه هستیم پرداخته‌اند. محققان از مجموعه‌های فازی بازه‌ای برای تصمیم‌گیری در مسائل چند معیاره استفاده کردند. ابتدا، مفهوم ضریب همبستگی رتبه اسپیرمن بین دو مجموعه‌های فازی بازه‌ای معرفی شده است و سپس ضریب همبستگی رتبه اسپیرمن بین گزینه ایده‌آل و هر یک از گزینه‌ها محاسبه شده است (Su و Li، ۲۰۲۱، ۱-۲۹).

محققینی دیگر یک روش جدید برای تعیین وزن معیارها و گزینه‌ها در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با استفاده از تعداد جدیدی از متداول‌ترین شاخص‌های اعداد فازی پیشنهاد دادند. آنها از یک روش جدید برای یافتن مقادیر ویژه و بردار معیارها و گزینه‌ها استفاده کردند که بر مقادیر مورد انتظار اعداد فازی و حاصلضرب آن‌ها استوار است (Prascevic و Prascevic، ۲۰۱۷، ۱۱۲۳-۱۱۳۵).

محققینی دیگر یک چارچوب برای رتبه‌بندی روش‌های سنتی ارسال پروژه‌ها با استفاده از فازی‌سازی و ورودی-خروجی و اجزای دانه‌بندی ارائه دادند (Al Nahyan و دیگران، ۲۰۱۸، ۱۲۲-۱۴۳). همچنین داده‌های نظرسنجی مورد استفاده برای کالبره کردن مدل منطق فازی، جهت ارزیابی مؤلفه‌های فازی در مدل، استفاده شد. محققینی دیگر یک مدل یکپارچه برای انتخاب معیارها در حوزه مدیریت پروژه‌های پرتفولیو ارائه دادند. این مدل از ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای انتخاب ساده معیارها استفاده می‌کند و راهنمایی برای مشارکت موثر منابع مالی و منابع محدود به پروژه‌ها ارائه می‌دهد (Al Nahyan و دیگران، ۲۰۱۸، ۱۴۳-۱۲۲). محققینی دیگر چگونگی استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی برای رتبه‌بندی پروژه‌های انتقال آب را بررسی کردند (Razavi Toosi و دیگران، ۲۰۱۰، ۱۸۹-۱۹۷). این مطالعه نشان داد که می‌توان با استفاده از این روش‌های تصمیم‌گیری، پروژه‌های انتقال آب را بر اساس معیارهای مختلف مورد ارزیابی قرار داد و رتبه‌بندی نمود.

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در زمینه ارزیابی عملکرد پروژه‌ها، همچنان شکاف‌های تحقیقاتی مهمی در این حوزه وجود دارد که نیاز به بررسی و تحلیل دقیق‌تری دارند. روش‌های سنتی ارزیابی عملکرد پروژه‌ها مانند تحلیل سلسله مراتبی و تکنیک انتخاب بر مبنای شباهت به راه‌حل ایده‌آل، به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌اند، اما این روش‌ها غالباً در درک تعاملات پیچیده و پویای عوامل مؤثر بر عملکرد پروژه‌ها ناکام می‌مانند. این نیاز به توسعه رویکردهای نوآورانه‌تر و دقیق‌تری را نشان می‌دهد که بتوانند به شناسایی و وزن‌دهی دقیق‌تر معیارها و شاخص‌های کلیدی پردازند. علاوه بر این، استفاده از ابزارهای پیشرفته‌تر مانند شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی که توانایی پیش‌بینی و تحلیل پیچیدگی‌های غیرخطی را دارند، می‌تواند به بهبود دقت و کارایی ارزیابی‌ها کمک کند. همچنین، طراحی پرسشنامه‌های جامع‌تر و جمع‌آوری داده‌ها از منابع مختلف از جمله خبرگان و اساتید دانشگاهی، می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر عوامل مؤثر بر عملکرد پروژه‌ها کمک کند. استفاده از ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و هوش مصنوعی می‌تواند رویکرد جامع‌تری را برای ارزیابی و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها ارائه دهد و به مدیران پروژه در اتخاذ تصمیمات بهتر و بهبود مستمر فرآیندها کمک کند. به‌طور کلی، شکاف‌های تحقیقاتی موجود در این حوزه نیازمند توجه ویژه‌ای به توسعه روش‌های نوآورانه و استفاده از تکنیک‌های پیشرفته برای ارزیابی عملکرد پروژه‌ها هستند.

۳- رویکرد پیشنهادی

در سال‌های اخیر، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها به جنبه‌ای حیاتی در مدیریت پروژه‌ها تبدیل شده است. این ارزیابی‌ها به مدیران اجازه می‌دهد تا موفقیت پروژه‌ها را بر اساس معیارهای مختلف بسنجند و نقاط قوت و ضعف آن‌ها را شناسایی کنند. با این حال، روش‌های سنتی ارزیابی عملکرد پروژه‌ها با چالش‌ها و محدودیت‌های اساسی مواجه هستند. این روش‌ها معمولاً تنها به بررسی معیارهای سطحی می‌پردازند و از تحلیل‌های جامع ناتوانند. همچنین، بیشتر بر ارزیابی‌های گذشته‌نگر تمرکز دارند و ابزارهای پیش‌بینی دقیقی برای آینده ندارند، که می‌تواند منجر به تصمیم‌گیری‌های نادرست شود. پروژه‌های مدرن با پیچیدگی‌های زیادی همراه هستند که روش‌های سنتی توانایی مدیریت آن‌ها را ندارند.

در این تحقیق، یک مدل جامع برای ارزیابی و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها با ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی پیشنهاد می‌شود. این مدل می‌تواند مشکلات موجود در روش‌های سنتی را حل کند. با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی، مدل پیشنهادی به تحلیل دقیق و جامع معیارهای مختلف ارزیابی عملکرد پروژه‌ها می‌پردازد. شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی قادر به یادگیری از داده‌های گذشته و پیش‌بینی نتایج آینده با دقت بالا هستند. این مدل با ترکیب تحلیل‌های آماری و هوش مصنوعی، به درک و تحلیل تعاملات پیچیده بین عوامل مختلف کمک می‌کند و دقت ارزیابی‌ها را افزایش می‌دهد.

ساختار روش پیشنهادی این مطالعه در سه بخش تنظیم شده است. بخش اول شامل بررسی شاخص‌ها و عوامل مؤثر بر ارزیابی پروژه‌های مبتنی بر عملکرد از طریق ادبیات و طراحی پرسشنامه است. بخش دوم با استفاده از روش تاپسیس به رتبه‌بندی پروژه‌ها می‌پردازد و پروژه‌ها را در سه خوشه‌ی عملکرد عالی، متوسط و ضعیف طبقه‌بندی می‌کند. بخش سوم با بکارگیری شبکه‌ی عصبی بازگشتی گیتی به طبقه‌بندی و پیش‌بینی پروژه‌های آتی می‌پردازد. ساختار این مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار کلی مطالعه

۳-۱- شناسایی فاکتورها و پرسشنامه

این مقاله به شناسایی و ارزیابی فاکتورهای مؤثر بر پروژه‌های مبتنی بر عملکرد می‌پردازد. این فاکتورها شامل ارزیابی رضایت و روابط کاری، ارزیابی عملکرد پروژه‌ها، پیشرفت فیزیکی پروژه‌ها و استفاده از ابزارها و فناوری‌ها هستند. پرسشنامه در پنج بخش تنظیم شده است: اطلاعات فردی شامل جنسیت، رده سنی، میزان تحصیلات و آشنایی با مفاهیم نظارت بر پروژه که به تحلیل و تفسیر نتایج کمک می‌کند؛ عملکرد پروژه‌ها شامل برنامه زمان‌بندی، هزینه‌ها، مدیریت ریسک و فرآیندهای ارتباطات که به شناسایی نقاط قوت و ضعف پروژه برای بهبود وضعیت آینده کمک می‌کند؛ رضایت و روابط کاری شامل رضایت از فضای کاری، دسترسی به امکانات، همکاری و تعامل در تیم و عملکرد مدیر پروژه که به افزایش رضایت، مشارکت و کارایی کمک می‌کنند؛ پیشرفت فیزیکی پروژه‌ها شامل استفاده از معیارهای مالی و زمان‌بندی مانند CPI، SPI، TCPI، SV و CV برای ارزیابی عملکرد پروژه که به مدیران اطلاعات دقیقی از پیشرفت پروژه ارائه می‌دهند؛ و استفاده از ابزارها و فناوری‌ها شامل سؤالاتی درباره میزان استفاده از ابزارها

و فناوری‌های جدید در پروژه‌ها و تأثیر آن‌ها بر بهبود عملکرد و کیفیت پروژه‌ها. این پرسشنامه به مدیران پروژه کمک می‌کند تا عملکرد پروژه‌ها را به طور دقیق‌تری ارزیابی و بهبود بخشند.

جدول ۱. شاخص‌های پیشرفت فیزیکی

تعریف	شاخص
نسبتی است که کیفیت عملکرد مالی پروژه را نسبت به برنامه مشخص می‌کند. این شاخص میزان کارایی در استفاده از منابع مالی را نشان می‌دهد.	شاخص عملکرد هزینه ^۱
مقدار ارزشی از کاری که واقعاً انجام شده است.	ارزش کسب شده ^۲
هزینه واقعی برای انجام کار تا زمان ارزیابی.	هزینه واقعی ^۳
نسبتی است که نشان می‌دهد که پروژه در زمانبندی پیشرفت می‌کند یا نه.	شاخص عملکرد برنامه زمانبندی ^۴
ارزش برنامه‌ریزی شده کاری که باید انجام شود تا زمان ارزیابی.	ارزش برنامه ریزی شده ^۵
نشان می‌دهد که با سرعت و کارایی فعلی، چه مقدار از باقی‌مانده بودجه برای به دست آوردن اهداف پروژه نیاز است.	شاخص عملکرد برای تکمیل ^۶
مجموع بودجه پروژه.	بودجه در حال تکمیل ^۷
پیش‌بینی هزینه کل پروژه تا اتمام آن.	برآورد در تکمیل ^۸
میزان اختلاف بین پیشرفت واقعی زمانبندی پروژه و پیشرفت برنامه‌ریزی شده را نشان می‌دهد.	واریانس زمانبندی ^۹
میزان اختلاف بین عملکرد واقعی مالی پروژه و عملکرد مالی برنامه‌ریزی شده را نشان می‌دهد.	واریانس هزینه ^{۱۰}

در نهایت، سوالاتی در مورد ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده در پروژه مطرح می‌شود. ابزارها و فناوری‌ها نقش مهمی در عملکرد و کیفیت پروژه‌ها ایفا می‌کنند. این بخش از ارزیابی عملکرد پروژه به اندازه‌گیری سطح استفاده از ابزارها و فناوری‌ها، استفاده از روش‌های جدید برای بهبود فرآیندها و کارایی، تأثیر نوآوری‌ها بر کیفیت و عملکرد پروژه، و انعطاف‌پذیری ابزارها در مواجهه با تغییرات نیازها می‌پردازد. استفاده موثر از ابزارها و فناوری‌های مناسب می‌تواند به بهبود کارایی و کیفیت پروژه، کاهش هزینه‌ها و زمان مورد نیاز، و افزایش رضایت سرمایه‌گذاران کمک کند. همچنین، استفاده از روش‌ها و فناوری‌های جدید می‌تواند به بهبود فرآیندها و کارایی پروژه و افزایش توانایی رقابتی تیم منجر شود. انعطاف‌پذیری ابزارها در مواجهه با تغییرات نیازها می‌تواند به انطباق سریع تیم با موقعیت‌های جدید و جلوگیری از افت کیفیت و تأخیر در اجرای پروژه کمک کند.

پرسشنامه این تحقیق در دو مرحله به اساتید دانشگاه و متخصصین نظارت بر پروژه ارسال شد. در مرحله اول، ۸۰ نفر پرسشنامه را دریافت کردند و ۶۵ نفر پاسخ دادند. در مرحله دوم، پرسشنامه مجدداً به افرادی که در مرحله اول پاسخ داده بودند ارسال شد و ۵۵ نفر پاسخ دادند. از بین این افراد، ۲۱ نفر متخصص نظارت بر پروژه و ۳۴ نفر اساتید دانشگاهی بودند. در مرحله اول، ۶۵٪ از

¹ Cost Performance Index (CPI)

² Earned Value (EV)

³ Actual Cost (AC)

⁴ Schedule Performance Index (SPI)

⁵ Planned Value (PV)

⁶ To-Complete Performance Index (TCPI)

⁷ Budget At Completion (BC)

⁸ Estimate At Completion (EC)

⁹ Schedule Variance (SV)

¹⁰ Cost Variance (CV)

شرکت کنندگان پاسخ دادند و در مرحله دوم، ۳۸.۲٪ از پاسخ دهندگان مرحله اول، متخصصین نظارت بر پروژه و ۵۶.۳٪ اساتید دانشگاهی بودند.

۳-۲- تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

در این بخش به بررسی دو تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره که عبارتند از روش تاپسیس و روش مرتب‌سازی رتبه‌ای می‌پردازیم.

۳-۲-۱- تاپسیس^۱

هوانگ و یون در ابتدا در سال ۱۹۸۱ روش تاپسیس (تکنیک انتخاب ترجیح با شباهت به راه حل ایده‌آل) را پیشنهاد دادند. هدف این روش از ترتیب دادن به جایگزین‌ها است، با محاسبه فاصله بین هر جایگزین و راه‌حل‌های مثبت و منفی ایده‌آل برای مسائل تصمیم‌گیری و سپس تعیین بهترین گزینه. مراحل زیر رویکرد ارائه شده را توصیف می‌کنند.

مرحله ۱: ماتریس تصمیم $R = \{r_{ij}\}_s$ ، جایی که r_{ij} مقدار ویژگی j ام در جایگزین i ام است، در این مرحله شناسایی می‌شود. همچنین مقادیر $i = 1, 2, \dots, m$ و $j = 1, 2, \dots, n$ است.

مرحله ۲: تفاوت در ویژگی‌ها و ترتیب بزرگی باید در نظر گرفته شود؛ سپس، ماتریس تصمیم R نرمال‌سازی می‌شود، و ماتریس نرمال‌شده به $\hat{R} = \{\hat{r}_{ij}\}_v$ تبدیل می‌شود.

مرحله ۳: ماتریس تصمیم‌های نرمال‌شده وزن‌دار پیدا می‌شود به صورت $v_{ij} = W_j \hat{r}_{ij}$ محاسبه می‌شود.

مرحله ۴: مقادیر DIS و DNI طبق معادله ۱ محاسبه می‌شود.

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (1)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}$$

مرحله ۵: در این مرحله، نسبت نزدیکی نسبی هر جایگزین با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌شود.

$$RC_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (2)$$

مقدار نسبت نزدیکی نسبی نشان دهنده تفوق نسبی جایگزین‌ها است. یک مقدار بزرگتر برای RC_i نشان می‌دهد که جایگزین i بهتر است، در حالی که یک مقدار کوچکتر برای RC_i نشان می‌دهد که این جایگزین ضعیف‌تر است.

۳-۲-۲- روش مرتب‌سازی رتبه‌ای

¹ Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

روش مرتب‌سازی رتبه‌ای که به عنوان روش مرتب‌سازی امتیازی نیز شناخته می‌شود، عناصر را بر اساس معیارهای مشخص ارزیابی و سپس بر اساس امتیازاتشان مرتب می‌کند. ابتدا هر عنصر با توجه به معیار مورد نظر ارزیابی و امتیازدهی می‌شود. سپس عناصر بر اساس امتیازات دریافتی مرتب می‌شوند و لیست نهایی بر اساس این امتیازات به دست می‌آید. این روش به ویژه در مواردی کاربرد دارد که نیاز به اولویت‌بندی عناصر بر اساس چندین معیار مختلف وجود دارد و ترکیبی از این امتیازها برای رسیدن به ترتیب نهایی در نظر گرفته می‌شود. برای هر عنصر و هر معیار، یک امتیاز محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده ارزش آن عنصر بر اساس آن معیار است. به عنوان مثال، اگر دو معیار C_1 و C_2 تخصیص داده شود، امتیاز کلی برای هر عنصر با ترکیب خطی این امتیازات محاسبه می‌شود. این ترکیب معمولاً با استفاده از وزن‌هایی که به هر معیار تخصیص داده می‌شود، انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر، امتیاز کلی برای هر عنصر به صورت معادله‌ی ۳ محاسبه می‌شود.

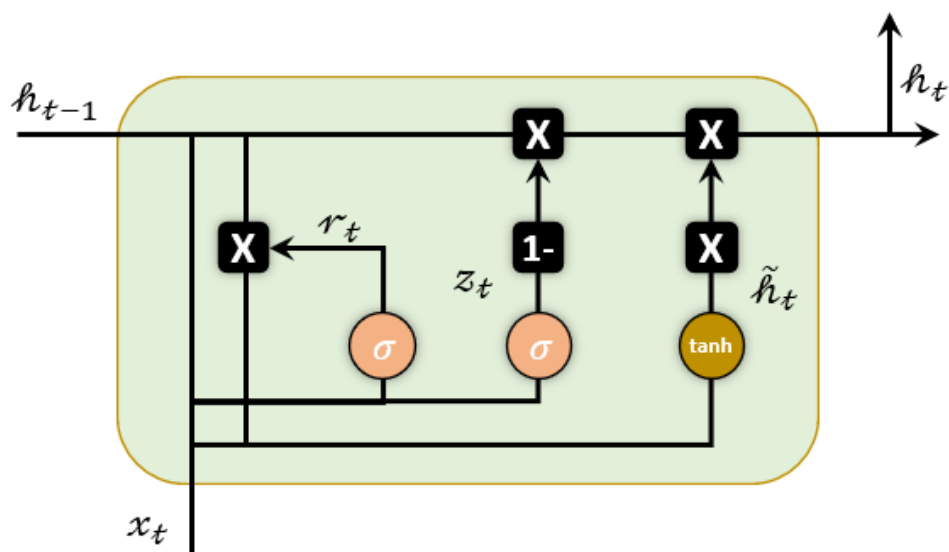
$$W_1 \times S_{i1} + W_2 \times S_{i2} + \dots + W_m \times S_{im} \quad (3)$$

در اینجا $W_1, W_2, \dots, W_m$ وزن‌های معیارها هستند که معمولاً مقادیر ثابتی هستند و نشان‌دهنده اهمیت هر معیار در ارزیابی نهایی هر عنصر است. سپس با مرتب کردن عناصر بر اساس امتیازهای کلی، لیست مرتب‌شده بدست می‌آید.

۳-۳- ارزیابی پروژه‌ها

۳-۳-۱- شبکه عصبی واحد بازگشتی گیتی^۱

شبکه عصبی واحد بازگشتی گیتی نوع پیشرفته‌ای از شبکه‌های عصبی بازگشتی است که شباهت زیادی به شبکه‌های حافظه‌ی کوتاه-بلند دارد و دارای حافظه‌ی داخلی است. این شبکه با ساختار حلقه‌ای خود می‌تواند در هر گام، خروجی گام قبلی را همراه با ورودی‌های جدید پردازش کند. این ویژگی به شبکه امکان می‌دهد تا با استفاده از اطلاعات قبلی و جدید، به خروجی مطلوب برسد. عملکرد شبکه‌ی عصبی واحد بازگشتی گیتی مشابه شبکه‌های حافظه‌ی کوتاه-بلند مدت است، اما به دلیل وجود مفهومی به نام محوشدگی گرادیان، یادگیری بلندمدت برای این شبکه دشوارتر است. تفاوت اصلی این دو شبکه در تعداد گیت‌های موجود است؛ شبکه‌ی عصبی واحد بازگشتی گیتی دارای دو گیت تنظیم مجدد و به‌روزرسانی است که در شکل ۲ نشان داده شده است.



¹ Gated recurrent units (GRUs)

شکل ۲. شبکه‌ی عصبی واحد بازگشتی گیتی

بر خلاف شبکه‌ی عصبی حافظه‌ی کوتاه-بلند مدت که در آن گیت فراموشی تصمیم به حذف یا باقی ماندن جریانی از اطلاعات می‌گرفت، در شبکه‌ی عصبی واحد بازگشتی گیتی، گیت به‌روزرسانی تصمیم می‌گیرد که چه مقدار از اطلاعات گذشته وارد شبکه شود. در گیت به‌روزرسانی، ورودی جدید x_t با مقدار حالت نهان گام قبلی h_{t-1} با وزن‌های متناظر ضرب و جمع می‌شوند و سپس از یک تابع سیگموئید عبور می‌کنند تا خروجی در بازه صفر تا یک قرار گیرد. وزن‌ها در زمان آموزش به‌روزرسانی می‌شوند تا اطلاعات مفید اضافه و سایر اطلاعات حذف شوند. خروجی حاصل از گیت به‌روزرسانی با حالت نهان قبلی ضرب نقطه‌ای می‌شود تا برای محاسبه خروجی نهایی استفاده گردد. در گیت تنظیم مجدد، مشابه گیت به‌روزرسانی، ورودی جدید x_t با مقدار حالت نهان گام قبلی h_{t-1} با وزن‌های متناظر ضرب و جمع می‌شوند و از تابع سیگموئید عبور می‌کنند. تفاوت در وزن‌های استفاده شده در این گیت‌ها منجر به تفاوت در بردارهای خروجی می‌شود. خروجی گیت تنظیم مجدد با حالت نهان قبلی ضرب نقطه‌ای شده و با ورودهای جدید که در وزن خاصی ضرب می‌شوند، جمع می‌شود و به یک تابع تانژانت هایپربولیک وارد می‌شود. این بردار حاصل برای به دست آوردن حالت نهایی جدید استفاده می‌شود. معکوس بردار خروجی گیت به‌روزرسانی با خروجی تابع تانژانت ضرب نقطه‌ای می‌شود تا گیت به‌روزرسانی اطلاعات جدید را در حالت نهان جدید ذخیره کند. تمامی این مراحل طبق معادلات ۴ تا ۷ محاسبه می‌شود.

$$z_t = \sigma (W_z \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_z) \quad (۴)$$

$$r_t = \sigma (W_r \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_r) \quad (۵)$$

$$\tilde{h}_t = \tanh (W \cdot [r_t * h_{t-1}, x_t] + b) \quad (۶)$$

$$h_t = (1 - z_t) * h_{t-1} + z_t * \tilde{h}_t \quad (۷)$$

۳-۲-۳-۲- ارزیابی مدل

برای ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی، از سه معیار میانگین مربعات خطا (MSE)، میانگین مطلق خطا (MAE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شده است که معیارهای مهمی در ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی هستند.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - x_i| \quad (۸)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2 \quad (۹)$$

$$R^2 = 1 - \frac{(\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2)/n}{(\sum_{i=1}^n (\bar{y}_l - x_i)^2)/n} \quad (۱۰)$$

۴- نتایج

در این بخش به بررسی نتایج مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود. ابتدا نتایج پرسشنامه برای امتیازدهی معیارها و شاخص‌ها تحلیل شد. سپس، رتبه‌بندی پروژه‌ها انجام شده و نشان داده می‌شود که شبکه‌ی عصبی پیچشی چگونه رتبه و خوشه پروژه‌های آینده را پیش‌بینی و طبقه‌بندی می‌کند.

پرسشنامه این تحقیق در دو مرحله به اساتید دانشگاه و متخصصین حوزه نظارت بر پروژه ارسال شد. در مرحله اول، از ۸۰ نفر شرکت کننده، ۶۵ نفر پاسخ دادند. در مرحله دوم، پرسشنامه مجدداً به افرادی که در مرحله اول پاسخ داده بودند ارسال شد و ۵۵ نفر پاسخ دادند. از این افراد، ۲۱ نفر متخصصین حوزه نظارت بر پروژه و ۳۴ نفر اساتید دانشگاهی بودند. در مرحله اول، ۶۵٪ از شرکت کنندگان پاسخ دادند و در مرحله دوم، ۳۸.۲٪ از پاسخ دهندگان مرحله اول، متخصصین نظارت بر پروژه و ۵۶.۳٪ اساتید دانشگاهی بودند.

جدول ۲. ارزیابی رضایت و روابط کاری در پروژه

معیارها	میانگین	انحراف استاندارد	درصد	میانگین رتبه	امتیاز
رضایت از فضای کاری	۵/۱۳	۱/۲۸	۳۲/۶	۳/۵۳	۰/۱۲۶
دسترسی به امکانات در محل کار	۴/۸۹	۶/۱۸	۲۷/۸	۳/۱۰	۰/۱۱۱
تعامل بین اعضای تیم	۶/۴۰	۱/۰۸	۵۸/۰	۵/۶۷	۰/۲۰۳
عملکرد مدیر پروژه	۵/۴۶	۱/۲۷	۳۹/۲	۴/۰۵	۰/۱۴۵
توزیع وظایف در تیم	۶/۱۱	۱/۲۲	۵۲/۲	۵/۰۱	۰/۱۷۹
توسعه مهارت‌ها و آموزش در حین انجام پروژه	۵/۱۵	۱/۱۶	۳۳/۰	۳/۶۴	۰/۱۳۰
در دسترس بودن امکانات در حین انجام پروژه‌ها	۴/۶۸	۵/۷۵	۲۳/۶	۳/۰۰	۰/۱۰۷

نتایج پرسشنامه نشان می‌دهد که رضایت از فضای کاری با میانگین ۵.۱۳ کمتر از متوسط است. دسترسی به امکانات در محل کار با میانگین ۴.۸۹ بالاست، اما توزیع نابرابر است. میانگین همکاری بین اعضای تیم ۶.۴۰ بوده و نشان‌دهنده تعامل بالاست. رضایت از مدیر پروژه با میانگین ۵.۴۶ نسبی است و تفاوت زیادی بین نظرات وجود ندارد. رضایت از توزیع وظایف در تیم با میانگین ۶.۱۱ مناسب است و امکانات توسعه مهارت‌ها با میانگین ۵.۱۵ در حد متوسط قرار دارد. به طور کلی، همکاری بین اعضای تیم بالاست اما رضایت از مدیر پروژه و توزیع وظایف بهبود می‌طلبد. امکانات در پروژه‌ها نسبتاً بالاست اما نیاز به استانداردسازی بیشتر دارد. نتایج آزمون فریدمن نشان می‌دهد که همکاری و تعامل، رضایت از توزیع وظایف و عملکرد مدیر پروژه بالاترین امتیازها را در ارزیابی رضایت و روابط کاری دارند.

جدول ۳. ارزیابی عملکرد پروژه‌ها

معیارها	میانگین	انحراف استاندارد	درصد	میانگین رتبه	امتیاز
تعیین برنامه زمانبندی در ابتدای پروژه	۴/۶۴	۰/۶۷	۸۲/۸	۵/۸۶	۰/۱۶۳
ایجاد هزینه‌های اضافی یا بودجه‌های فرعی در پروژه	۴/۶۶	۰/۷۶	۸۳/۲	۵/۸۴	۰/۱۶۲
مدیریت ریسک در طول اجرای پروژه	۳/۴۹	۱/۳۵	۵۹/۸	۳/۶۸	۰/۱۰۲
نیاز به تغییرات در منابع پروژه	۳/۷۰	۱/۲۸	۶۴/۰	۴/۰۰	۰/۱۱۱
ارتباطات داخلی و خارجی پروژه	۴/۳۲	۰/۸۹	۷۶/۴	۵/۰۷	۰/۱۴۱

۰/۰۹۲	۳/۳۴	۵۷/۲	۱/۴۵	۳/۳۶	فرآیند انتقال پروژه به مراحل بعدی
۰/۱۱۸	۴/۲۴	۶۹/۶	۱/۰۷	۳/۹۸	برآورد هدف‌های زمانبندی پروژه به‌طور مداوم
۰/۱۱۰	۳/۹۶	۶۲/۸	۱/۳۸	۳/۶۴	مدیریت منابع برای پیشبرد پروژه

جدول ۳ عوامل موثر در ارزیابی عملکرد پروژه‌ها را نشان می‌دهد. میانگین هزینه‌های اضافی یا بودجه‌های فرعی ۴.۶۶ با انحراف استاندارد ۰.۷۶ است، که اختلاف نظرات کمی را نشان می‌دهد. فرآیند انتقال پروژه با میانگین ۳.۳۶ و انحراف ۱.۴۵ نیاز به بهبود دارد، همچنین مدیریت موثر منابع با میانگین ۳.۶۴ بالاترین معیارها شامل ایجاد هزینه‌های اضافی (میانگین ۴.۶۶) و تعیین برنامه زمان‌بندی در ابتدای پروژه (میانگین ۴.۶۴) هستند. بیشترین تغییرات مربوط به فرآیند انتقال پروژه (انحراف ۱.۴۵) و مدیریت منابع (انحراف ۱.۳۸) است. آزمون فریدمن نشان می‌دهد که تفاوت‌های معناداری در سطح ۵ درصد وجود دارد. بر اساس میانگین رتبه، تعیین برنامه زمان‌بندی، ایجاد هزینه‌های اضافی، و فرآیند ارتباطات مهم‌ترین معیارها محسوب می‌شوند.

جدول ۴. ارزیابی پیشرفت فیزیکی پروژه‌ها

معیارها	میانگین	انحراف استاندارد	درصد	میانگین رتبه	امتیاز
سطح استفاده از CPI برای اندازه‌گیری عملکرد مالی پروژه	۳/۰۲	۱/۴۷	۵۰/۴	۳/۰۰	۰/۰۸۳
سطح استفاده از SPI برای اندازه‌گیری پیشرفت زمانبندی پروژه	۳/۸۷	۱/۲۹	۶۷/۴	۴/۵۷	۰/۱۲۷
سطح استفاده از TCPI برای پیش‌بینی نیازمندی‌های عملیاتی در راستای دستیابی به اهداف پروژه	۴/۳۶	۰/۶۴	۷۷/۲	۵/۲۳	۰/۱۴۵
سطح استفاده از SV برای ارزیابی اختلاف بین برنامه زمانبندی شده و واقعی پروژه	۳/۴۵	۱/۲۷	۵۹/۰	۳/۶۱	۰/۱۰۰
سطح استفاده از CV برای ارزیابی اختلاف بین برنامه هزینه‌ای و واقعی پروژه	۴/۷۹	۰/۵۱	۸۵/۸	۶/۵۱	۰/۱۸۱
اعمال تغییرات بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌ها	۴/۰۹	۱/۰۶	۷۱/۸	۴/۸۹	۰/۱۳۶
سطح آگاهی مسئولان پروژه از معیارهای فوق برای ارزیابی عملکرد پروژه	۳/۳۶	۱/۰۱	۵۷/۲	۳/۲۶	۰/۰۹۱
گزارشات جهت اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌های انجام شده بر اساس این معیارها	۴/۰۴	۱/۲۱	۷۰/۸	۴/۹۳	۰/۱۳۷

نتایج ارزیابی پیشرفت فیزیکی پروژه‌ها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عوامل شامل استفاده از CV برای ارزیابی اختلاف بین برنامه هزینه‌ای و واقعی پروژه، استفاده از TCPI برای پیش‌بینی نیازمندی‌های عملیاتی جهت دستیابی به اهداف پروژه، و اعمال تغییرات بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌ها است که میانگین این عوامل بین ۴ و ۵ قرار دارد. بیشترین تفاوت نظر و تغییرات نیز در استفاده از CPI برای اندازه‌گیری عملکرد مالی، SPI برای اندازه‌گیری پیشرفت زمانبندی، و SV برای ارزیابی اختلاف بین برنامه زمانبندی شده و واقعی پروژه مشاهده می‌شود. بر اساس آزمون فریدمن، رتبه‌بندی معایب آزمون‌های پیرامون مجذور کای و مقدار p کمتر از ۰.۰۵ در سطح معناداری ۵ درصد متفاوت است. در نهایت، استفاده از CV، TCPI، و گزارشات مربوط به اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌ها بالاترین امتیاز را در ارزیابی پیشرفت فیزیکی پروژه‌ها دارند.

جدول ۵. ارزیابی ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده در پروژه

معیارها	میانگین	انحراف استاندارد	درصد	میانگین رتبه	امتیاز
انتخاب ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده برای انجام پروژه	۴/۰۹	۱/۰۸	۷۱/۸	۴/۷۲	۰/۱۳۱
روش‌های جدیدی برای بهبود فرآیندها و کارایی در طول زمان انجام پروژه	۳/۷۰	۱/۳۰	۶۴/۰	۴/۲۴	۰/۱۱۸
تاثیر نوآوری‌ها و فناوری‌های جدید بر ارتقاء عملکرد و کیفیت پروژه	۳/۵۹	۱/۴۵	۶۱/۸	۴/۰۴	۰/۱۱۲
قابلیت فهم ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده	۴/۰۶	۰/۷۳	۷۱/۲	۴/۶۰	۰/۱۲۸
بهبود کارایی و کیفیت عملیاتی پروژه با استفاده از ابزارها و فناوری‌های نوین	۳/۹۸	۱/۲۹	۶۹/۶	۴/۷۱	۰/۱۳۱
سطوح ابزارها و فناوری‌های جدید در پروژه	۴/۰۰	۱/۲۳	۷۰/۰	۴/۸۴	۰/۱۳۴
انعطاف‌پذیری ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده در راستای تغییرات نیازها و الزامات پروژه	۴/۳۲	۰/۸۶	۷۶/۴	۵/۳۳	۰/۱۴۸
اقدامات انجام شده برای بهبود کارایی و کیفیت عملیاتی پروژه	۳/۵۱	۱/۱۸	۶۰/۲	۳/۵۱	۰/۰۹۷

نتایج ارزیابی ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده در پروژه‌ها نشان می‌دهد که بالاترین شاخص‌ها مربوط به انعطاف‌پذیری ابزارها و فناوری‌ها در راستای تغییرات نیازها و الزامات پروژه، انتخاب ابزارها و فناوری‌های مناسب برای انجام پروژه، و قابلیت فهم این ابزارها و فناوری‌ها است. بیشترین میزان تغییرات نیز در تاثیر نوآوری‌ها و فناوری‌های جدید بر ارتقاء عملکرد و کیفیت پروژه، بهبود فرآیندها و کارایی در طول زمان پروژه، و بهبود کارایی و کیفیت عملیاتی پروژه با استفاده از ابزارها و فناوری‌های نوین مشاهده شده است. بر اساس آزمون فریدمن، سطح رتبه‌بندی این شاخص‌ها با توجه به آماره آزمون مجذور کای و مقدار p کمتر از ۰.۰۵ در سطح معناداری ۵ درصد متفاوت است. انعطاف‌پذیری ابزارها و فناوری‌ها، سطوح ابزارها و فناوری‌های جدید، و انتخاب ابزارهای مناسب بالاترین امتیازها را در ارزیابی ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده در پروژه کسب کرده‌اند.

جدول ۶. ارزیابی شاخص‌ها

شماره شاخص	شاخص‌ها	میانگین	انحراف استاندارد	درصد	میانگین رتبه	امتیاز نهایی
۱	ارزیابی رضایت و روابط کاری در پروژه	۲/۴۰	۰/۴۳	۳۸/۰	۱/۱۰	۰/۱۱۰
۲	ارزیابی عملکرد پروژه‌ها	۳/۹۷	۰/۴۵	۶۹/۴	۳/۱۳	۰/۳۱۳
۳	ارزیابی پیشرفت فیزیکی پروژه‌ها	۳/۸۷	۰/۵۹	۶۷/۴	۲/۹۰	۰/۲۹۰
۴	ارزیابی ابزارها و فناوری‌های مورد استفاده در پروژه	۳/۹۱	۰/۵۹	۶۸/۲	۲/۸۷	۰/۲۸۷

پس از بررسی هر معیار در هر شاخص، امتیاز نهایی هر یک از شاخص‌ها طبق جدول ۶ طبقه‌بندی می‌شود که به صورت کلی میانگین معیارها در هر شاخص است. پس از بدست آوردن امتیاز هر شاخص، با استفاده از رویکرد پیشنهادی به رتبه‌بندی پروژه‌ها و ارزیابی هر پروژه می‌پردازیم. امتیاز نهایی هر یک از شاخص‌های فوق به عنوان وزن هر معیار توسط الگوریتم پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا گزینه‌ها (پروژه‌های مدنظر جهت ارزیابی) رتبه‌بندی شوند.

لازم به ذکر است پروژه‌های فوق مربوط به یک شرکت عمرانی در ایران است که به دلایل حق مالکیت معنوی این شرکت، امکان ذکر نام آن برای ما وجود ندارد. در راستای رتبه‌بندی پروژه‌های این شرکت، از مدیران پروژه و مدیران ارشد خواسته شده است که در هر معیار فوق، به این پروژه‌ها امتیاز دهند. سپس با استفاده از روش پیشنهادی پروژه‌ها رتبه‌بندی شده‌اند که در جدول ۷ قابل مشاهده است. در کنار نتایج حاصل از روش پیشنهادی، پروژه‌ها با استفاده از سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند روش بهترین-بدترین، روش ساده‌ی وزنی و فرآیند شبکه تحلیلی رتبه‌بندی شده‌اند تا یک مقایسه بین نتایج حاصل از مدل پیشنهادی و سایر روش‌ها صورت بگیرد.

جدول ۷. رتبه‌بندی شاخص‌ها

روش	پروژه ۱	پروژه ۲	پروژه ۳	پروژه ۴	پروژه ۵	پروژه ۶	پروژه ۷	پروژه ۸	پروژه ۹	پروژه ۱۰
بهترین-بدترین	۱	۶	۷	۲	۵	۸	۹	۴	۱۰	۳
فرآیند شبکه تحلیلی	۳	۶	۸	۱	۴	۱۰	۷	۵	۹	۲
تاپسیس	۱	۵	۸	۳	۴	۱۰	۷	۶	۹	۲
ساده‌ی وزنی	۱	۶	۷	۴	۳	۱۰	۸	۵	۹	۲

در ادامه از روش مرتب‌سازی رتبه‌ای برای طبقه‌بندی پروژه‌ها به سه دسته عملکرد عالی، متوسط و ضعیف استفاده شده است. پروژه‌های ۱، ۱۰ و ۳ در دسته‌ی عملکرد عالی، پروژه‌های ۴، ۵، ۸ و ۲ در دسته‌ی عملکرد متوسط و سایر پروژه‌ها در دسته‌ی عملکرد ضعیف قرار می‌گیرند. سپس با استفاده از شبکه‌ی عصبی بازگشتی گیتی، رتبه‌بندی و ارزیابی سایر پروژه‌ها پیش‌بینی می‌شود. این روش به صورت خودکار و بدون نیاز به تعیین وزن دقیق برای هر معیار، امتیاز کلی پروژه‌ها را پیش‌بینی می‌کند. شبکه‌ی عصبی با ورودی‌های مربوط به هر معیار و خروجی‌های نشان‌دهنده امتیاز کلی پروژه طراحی شده است تا روند ارزیابی را ساده‌تر و سریع‌تر انجام دهد. جدول ۷ نتایج این شبکه را نشان می‌دهد که پروژه‌های جدید را در سه دسته طبقه‌بندی کرده است.

جدول ۷. پیش‌بینی پروژه‌ها

الگوریتم	MSE	MAE	R^2
شبکه‌ی عصبی بازگشتی گیتی	۳.۲۷	۲.۹۴	۰.۹۱

در این مطالعه از روش مرتب‌سازی رتبه‌ای برای طبقه‌بندی پروژه‌ها استفاده شده است. سپس با استفاده از شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی، این مطالعه به پیش‌بینی رتبه‌بندی و ارزیابی سایر پروژه‌ها می‌پردازد. این روش امتیاز کلی پروژه‌ها را برای ارزیابی بدون نیاز به تعیین وزن دقیق برای هر معیار، پیش‌بینی می‌کند. استفاده از شبکه‌ی عصبی بازگشتی گیتی باعث ساده‌تر شدن و زمان کوتاه‌تر شدن فرایند ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌ها می‌شود. با در نظر گرفتن ورودی‌هایی که شامل مقادیر مربوط به هر یک از معیارها برای هر پروژه است و خروجی‌هایی که نشان‌دهنده امتیاز کلی پروژه است، این شبکه‌ی عصبی طراحی شده است. این شبکه‌ی عصبی با در نظر گرفتن ۳۲ معیار مختلف، به صورت ساده‌تر و در زمان کوتاه‌تر ارزیابی و رتبه‌بندی پروژه‌ها را انجام می‌دهد.

در جدول ۷، نتایج حاصل از استفاده از شبکه‌ی عصبی بازگشتی گیتی برای پیش‌بینی پروژه‌ها آورده شده است. این جدول شامل مقادیر خطاهای MAE ، MSE و R^2 است که نشان‌دهنده‌ی کارایی و دقت شبکه‌ی عصبی است. این مقادیر معمولاً باید بهینه و نزدیک به صفر باشند، و مقدار R^2 نزدیک به ۱ نشان‌دهنده‌ی خوب بودن مدل است که توانسته است عملکرد مناسبی را ارائه دهد. مقادیر MSE و MAE ، با اعداد ۳.۲۷ و ۲.۹۴ به ترتیب، اشاره به میزان خطاهای مدل دارند که به عنوان مقادیر قابل قبول در نظر گرفته می‌شوند. همچنین، مقدار بالای ۰.۹۱ برای R^2 نشان‌دهنده‌ی تطابق قابل توجهی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی است، که این موضوع به عنوان یک اندازه‌گیری از دقت و عملکرد مدل تلقی می‌شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، از روش تحقیق کمی شامل مرور ادبیات، طراحی پرسشنامه و تحلیل‌های آماری استفاده شده است. داده‌های جمع‌آوری شده از اساتید و خبرگان، برای شناسایی معیارها و شاخص‌های ارزیابی عملکرد پروژه‌ها به کار رفته و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، پروژه‌ها رتبه‌بندی شدند. سپس، شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی برای پیش‌بینی عملکرد آینده پروژه‌ها استفاده شد. این ترکیب از داده‌های کمی، تحلیل آماری و هوش مصنوعی، رویکرد جامعی برای ارزیابی و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها ارائه کرده است.

نتایج مطالعه نشان می‌دهند که عواملی نظیر تعیین برنامه زمانبندی از ابتدای پروژه، مدیریت هزینه‌های اضافی و بودجه‌های فرعی و فرآیند ارتباطات داخلی و خارجی پروژه اهمیت بالایی دارند. الگوریتم پیشنهادی برای وزن‌دهی معیارها و رتبه‌بندی پروژه‌ها نتایج قابل قبولی ارائه داده و معیارهای معینی برای ارزیابی عملکرد پروژه‌ها معرفی شده‌اند. استفاده از روش‌های آماری و مدل‌های محاسباتی به بهبود فرآیند ارزیابی و استفاده بهینه از منابع و زمان کمک می‌کند.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی ترکیب تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی بهبود قابل توجهی در دقت و کارایی ارزیابی عملکرد پروژه‌ها ایجاد می‌کند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های پیشین در این زمینه همخوانی دارد. به عنوان مثال، مطالعه‌ای نشان داد که استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مانند تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی می‌تواند به شناسایی و اولویت‌بندی دقیق‌تر پروژه‌ها کمک کند و این روش‌ها به بهبود فرآیند ارزیابی کمک می‌کنند (Dandage و دیگران، ۲۰۱۸، ۳۱۷-۳۳۱). همچنین محققینی دیگر نشان دادند که ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با تکنیک‌های هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی می‌تواند به پیش‌بینی دقیق‌تر عملکرد پروژه‌ها منجر شود (Macura، ۲۰۱۹، ۹۱-۱۱۲).

از سوی دیگر، مطالعه با یافته‌های برخی پژوهش‌های دیگر تفاوت‌هایی دارد. محققینی نشان دادند که روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به تنهایی ممکن است برای مدیریت پروژه‌های پیچیده کافی نباشند و نیاز به استفاده از روش‌های پیشرفته‌تری مانند شبکه‌های عصبی بازگشتی گیتی است تا بتوان پیچیدگی‌های پروژه‌ها را به درستی مدیریت کرد (Vaseghi و Vanhoucke، ۲۰۲۳، ۱۰۹۵۰۵). در این پژوهش نیز تأیید شد که ترکیب تحلیل‌های آماری و هوش مصنوعی می‌تواند به بهبود دقت و کارایی ارزیابی‌ها منجر شود.

به طور کلی، یافته‌های این پژوهش هم‌راستا با نتایج پژوهش‌های پیشین است و نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های ترکیبی می‌تواند به بهبود فرآیند ارزیابی و پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها کمک کند. این مدل‌ها با توجه به تغییرات محیطی و نیازهای متغیر پروژه‌ها، انعطاف‌پذیری بیشتری را در تحلیل‌ها و پیش‌بینی‌ها فراهم می‌آورند.

منابع

- Szilágyi, I., Sebestyén, Z., & Tóth, T. (2020). Project ranking in petroleum exploration. *The Engineering Economist*, 65(1), 66-87.
- Macura, D. (2019). Rail Projects Ranking under Fuzzy Environment: Serbian Rail Projects Case Study. *International journal of transport economics: Rivista internazionale di economia dei trasporti: XLVI*, 4, 2019, 91-112.
- Bonnafous, A., & Jensen, P. (2005). Ranking transport projects by their socioeconomic value or financial internal rate of return?. *Transport policy*, 12(2), 131-136.
- Vaseghi, F., & Vanhoucke, M. (2023). A comparison of activity ranking methods for taking corrective actions during project control. *Computers & Industrial Engineering*, 183, 109505.
- Mandic, D., Jovanovic, P., & Bugarinovic, M. (2014). Two-phase model for multi-criteria project ranking: Serbian Railways case study. *Transport Policy*, 36, 88-104.
- Foster, J. E., & Mitra, T. (2003). Ranking investment projects. *Economic Theory*, 22, 469-494.
- Goletsis, Y., Psarras, J., & Samouilidis, J. E. (2003). Project ranking in the Armenian energy sector using a multicriteria method for groups. *Annals of operations research*, 120, 135-157.
- Walczak, D., & Rutkowska, A. (2017). Project rankings for participatory budget based on the fuzzy TOPSIS method. *European Journal of Operational Research*, 260(2), 706-714.
- Rafeh, A., Qureshi, M. U., Hameed, A., & Rasool, A. M. (2023). Ranking and grouping of critical success factors for stakeholder management in construction projects. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 22(6), 3569-3582.
- Yan, J., Dagang, T., & Yue, P. (2007). Ranking environmental projects model based on multicriteria decision-making and the weight sensitivity analysis. *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 18(3), 534-539.
- Shaktawat, A., & Vadhera, S. (2021). Ranking of hydropower projects based on sustainability criteria in India using multicriteria decision making methods. *Croatian Operational Research Review*, 75-90.
- Dandage, R., Mantha, S. S., & Rane, S. B. (2018). Ranking the risk categories in international projects using the TOPSIS method. *International journal of managing projects in business*, 11(2), 317-331.
- Su, L., & Li, H. (2021). Project procurement method decision-making with spearman rank correlation coefficient under uncertainty circumstances. *International Journal of Decision Support System Technology (IJDST)*, 13(2), 1-29.
- Prascevic, N., & Prascevic, Z. (2017). Application of fuzzy AHP for ranking and selection of alternatives in construction project management. *Journal of civil engineering and management*, 23(8), 1123-1135.
- Al Nahyan, M. T., Hawas, Y. E., Raza, M., Aljassmi, H., Maraqa, M. A., Basheerudeen, B., & Mohammad, M. S. (2018). A fuzzy-based decision support system for ranking the delivery methods of mega projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(1), 122-143.

Zdravkovic, J., & Bogdanovic, D. (2022). DEVELOPING AN MCDA MODEL FOR CHOOSING CRITERIA USED IN PROJECT RANKING. *Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research*, 56(3).

Razavi Toosi, S. L., Samani, J. M., & Koorehpazan Dezfuli, A. (2010, April). Ranking water transfer projects using fuzzy methods. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management* (Vol. 163, No. 4, pp. 189-197). Thomas Telford Ltd.

Radhakrishnan, P., Arrow, H., & Snizek, J. A. (1996). Hoping, Performing, learning, and Predicting: Changes in the Accuracy of Self-Evaluations of Performance. *Human Performance*, 9(1), 23-49.

Pan, Y., Zhang, C. C., Lee, C. C., & Lv, S. (2024). Environmental performance evaluation of electric enterprises during a power crisis: Evidence from DEA methods and AI prediction algorithms. *Energy Economics*, 130, 107285.

Maabreh, M., & Almasabha, G. (2024). Machine Learning Regression Algorithms for Shear Strength Prediction of SFRC-DBs: Performance Evaluation and Comparisons. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 49(4), 4711-4727.

Yin, M., Huo, L., Li, N., Zhu, H., Zhu, Z., & Hu, J. (2024). Packaging performance evaluation and freshness intelligent prediction modeling in grape transportation. *Food Control*, 110684.

Ovcina, A., & Arslanagic-Kalajdzic, M. (2024). The Role of Monitoring and Evaluation and Project Implementation Management System for Non-Profit Project Performance in Developing Countries. *South East European Journal of Economics and Business*, 19(1), 63-76.

Dandage, R., Mantha, S. S., & Rane, S. B. (2018). Ranking the risk categories in international projects using the TOPSIS method. *International Journal of Managing Projects in Business*, 11(2), 317-331. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-02-2017-0019>

Macura, D. (2019). Rail Projects Ranking under Fuzzy Environment: Serbian Rail Projects Case Study. *International Journal of Transport Economics*, 46(4), 91-112. <https://doi.org/10.19272/201905704005>

Vaseghi, F., & Vanhoucke, M. (2023). A comparison of activity ranking methods for taking corrective actions during project control. *Computers & Industrial Engineering*, 183, 109505. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109505>

Omidi, M., Omidi, N., Shiri, A., & Mohammadipour, R. (1395). Expanding the Application Models Box Jenkins, Artificial Neural Network and Adjusted Exponential forecasting Social Phenomena (Case study: forecasting of marriage and divorce in Ilam). *Future study Management*, 104(26), 25-37. <http://sanad.iau.ir/fa/Article/786378>

Rodi, A. T., Shahin, A., & Tabatabae, A. N. (1398). Provide a model for developing organizational agility in the country's mining industry. *Future study Management*, 117(30), 41-56. <http://sanad.iau.ir/fa/Article/784932>

Tahanian, A., Haleh, H., Etebari, F., & Vahdani, B. (1400). Ranking Agility Factors in Project-Oriented Organizations Based on Project Management critical success factors and Sustainability Factors Applying Two-Step QFD: Case Study: Large projects of Isfahan Municipality. *Journal of Human Capital Empowerment*, 4(4), 301-318. <http://sanad.iau.ir/fa/Article/1038490>