

Project Manager Selection using a hybrid Neural Network–Genetic Algorithm Recommender System

Roya Soltani*, 

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khatam University, Tehran, Iran

Ali Nobakhti 

MSc in industrial Engineering, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khatam University, Tehran, Iran

Abstract

In this paper, a recommender system based on a multilayer feedforward artificial neural network (ANN) trained by Levenberg–Marquardt backpropagation algorithm, optimized using a genetic algorithm (GA) to fine-tune both network structure and weights, is proposed to predict the competency and recommend project managers in project-oriented organizations. The system considers both hard and soft skills, which are essential for sustainable development. The performance of the proposed system was evaluated by a case study within the Iranian construction industry, utilizing the experience of 10 senior managers and experts from the Ministry of Roads and Urban Development of Iran. The results demonstrate the high accuracy of the proposed system in identifying competent project managers. To validate the system, its performance was compared with existing methods in the literature, showing superior accuracy in terms of MSE and RMSE metrics.

Keywords: Construction Projects, Recommender System, Project Managers' Competence, Soft Skills, Hard Skills, Artificial Neural Network, Genetic Algorithm

* Corresponding Author: r.soltani@khatam.ac.ir

How to Cite: xxxxxxxx

Introduction

In today's dynamic business environment, projects operate within a VUCA context—characterized by volatility, uncertainty, complexity, and ambiguity—that significantly influences managerial decision-making and project outcomes. Rapid technological advancements, economic fluctuations, the complex nature of stakeholder interactions, and resource constraints have made project management an increasingly challenging undertaking. Consequently, the competence of project managers to address a wide range of human resource, technical, and economic challenges, along with their ability to build effective communication and collaboration networks, are crucial determinants of project success (Omoush, ۲۰۲۰). To ensure successful project delivery, project managers must demonstrate a sound understanding of environmental dynamics and make informed, adaptive decisions that integrate both hard and soft managerial skills—skills that are now more critical than ever for achieving sustainable development. Such abilities reflect the professional competence and strategic agility required for timely and effective decision-making (Karki & Hadikusumo, ۲۰۲۳).

Selecting competent project managers through a data-driven recommender system that matches the desired managerial skills can substantially enhance the effectiveness of project-based organizations. Such a system can transform the manager selection process from subjective judgments to evidence-based decision-making. This approach not only improves the precision of identifying qualified managers but also contributes to better human resource allocation, reduced managerial risk, and enhanced overall project performance. Ultimately, adopting a data-driven recommender framework enables project-based organizations to strengthen their managerial capabilities and achieve a sustainable competitive advantage.

Research Question(s)

۱. How can a smart recommender system be designed—by integrating ANN and GA—to accurately identify competent project managers in project-based organizations?
۲. To what extent can optimizing the parameters of an ANN using a GA enhance the accuracy of the recommender system?

Literature Review

In the literature, various data-driven methods have been developed using machine learning approaches to enhance decision-making, resolve conflicts, and improve project performance, productivity, safety, and workflow in the field of project management. A comprehensive review of the literature reveals that existing predictive models in the field of project management have predominantly focused on forecasting various project outcomes such as quality (Najafi Zangeneh et al., ۲۰۲۰; Fan, ۲۰۲۵), infrastructure costs (Soltanian et al., ۲۰۲۳; Dan, ۲۰۲۴; Chen, ۲۰۲۴; Effat, ۲۰۲۵; Al-Gahtani et al., ۲۰۲۵), dispute occurrences and litigation outcomes (Ayhan et al., ۲۰۲۱), delays (Awada et al., ۲۰۲۱), and construction crew productivity (Sadatnya et al., ۲۰۲۳) through the application of diverse classification algorithms (see Table ۱). Despite these advances, the literature lacks studies that aim to develop a predictive model capable of accurately assessing project manager competency using a hybrid framework that combines ANN with metaheuristics. Employing such an approach could provide a robust mechanism for identifying competent project managers and, consequently, enhance the likelihood of successful project delivery in complex and dynamic construction environments.

However, in the literature, the combination of ANN with metaheuristics, has been employed to improve prediction accuracy across various domains. These domains include stock market forecasting (Sharma et al., ۲۰۲۲), electricity consumption demand prediction (Azadeh et al., ۲۰۰۷), and patient mortality prediction (Dybowski et al., ۱۹۹۶) (see Table ۲).

Methodology

The steps of the proposed recommender system for identifying competent project managers are as follows:

۱. Data Preparation: First, a database, comprising data related to competency is established and quantified based on the experience of senior managers and specialists. Subsequently, data cleaning is performed, and records with missing values, outliers, or inconsistencies

are removed from the database. Finally, ۷۰٪ of the data are randomly selected for training and ۳۰٪ for testing.

۲. Neural Network Architecture Design: A feedforward multilayer ANN is designed based on the number of hidden layers (i.e. ۱, ۲, or ۳) and the number of neurons per layer (i.e. ۲, ۴, or ۸). The network is trained using the Levenberg–Marquardt algorithm. After training and testing, the optimal network structure is selected based on MSE and RMSE metrics.

۳. Optimization of Neural Network Weights Using Genetic Algorithm: The weights of the designed ANN are optimized using a GA to improve the network’s predictive performance.

۴. Training and Testing the ANN-GA Recommender System: The ANN optimized by the GA is first trained and then tested. The performance of the proposed ANN-GA recommender system in identifying competent project managers is evaluated based on the MSE and RMSE criteria.

Results

The ANN model with a three-hidden-layer architecture and ۲ neurons per layer, demonstrated the best performance in terms of MSE and RMSE, with values of ۰,۳۵۱ and ۰,۵۹۳, respectively. This indicates that the designed network effectively predicts project manager competency. To further enhance prediction accuracy, the network weights were optimized using a GA. The resulting ANN-GA recommender system achieved an MSE of ۰,۰۹۴ and RMSE of ۰,۳۰۷, showing significantly higher accuracy in identifying competent project managers compared to the non-optimized network (MSE = ۰,۳۵۱, RMSE = ۰,۵۹۳) (Figure ۸). These findings highlight the effectiveness of combining ANN with GA for data-driven competency assessment.

To validate the proposed recommender system for identifying competent project managers, its prediction error was compared with the algorithms reported by Karki and Hadikusumo (۲۰۲۳). As shown in Table ۱۲, the proposed system demonstrates superior accuracy, highlighting its effectiveness over the existing methods.

Discussion

Effective project management in the construction industry, a complex and high-risk sector, requires managers capable of making informed decisions under VUCA conditions. Instead of subjective judgments, experiential biases, and unstructured evaluations, the proposed recommender system can help project-based companies use data-driven, intelligent tools to identify more competent managers, improving project productivity while significantly reducing costs associated with poor managerial decisions. Additionally, the proposed system can serve as a decision-support tool for hiring new project managers or promoting existing ones by analyzing past performance and predicting their potential success in future projects.

Conclusion

The proposed recommender system integrates an ANN with a GA to identify and select competent project managers with high accuracy. Leveraging historical data and uncovering hidden patterns, the optimized ANN accurately predicts managerial competencies based on defined criteria. Validation against existing approaches demonstrates that the GA significantly enhances predictive accuracy, highlighting the system's potential to improve managerial selection and project outcomes in practice.

شناسایی مدیران پروژه شایسته با استفاده از یک سیستم توصیه‌گر مبتنی بر ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک

استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خاتم، تهران، ایران

رویا سلطانی *^{ID}

کارشناس ارشد رشته مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خاتم، تهران، ایران

علی نوبختی ^{ID}

چکیده

عملکرد یک پروژه تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که تغییرات آنها می‌تواند باعث تأخیر در اجرا، افزایش هزینه و کاهش کیفیت شود. شایستگی مدیر پروژه در بکارگیری مهارت‌های نرم و مهارت‌های سخت، نقش اساسی در تکمیل موفقیت آمیز یک پروژه ایفا می‌کند. از این رو، طراحی و توسعه یک سیستم توصیه‌گر داده‌محور که قادر باشد جایگزین قضاوت‌های فردی در فرآیند انتخاب مدیران پروژه شایسته گردد و با دقت بالا مدیران پروژه شایسته را پیشنهاد و معرفی نماید، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. سیستم توصیه‌گر پیشنهاد شده در این مقاله مبتنی بر شبکه‌های عصبی پیش‌خور چند لایه با الگوریتم یادگیری پس‌انتشار از نوع لونی‌برگ-مارکوارت می‌باشد که از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی ساختار و وزن‌های شبکه عصبی بهره می‌برد. نتایج نشان می‌دهد که سیستم توصیه‌گر مبتنی بر شبکه عصبی بهینه شده، با دقت بالا می‌تواند مدیران پروژه شایسته را شناسایی و معرفی نماید به طوری که با کاهش مقادیر MSE (از ۰/۳۵۱ به ۰/۰۹۴) و RMSE (از ۰/۵۹۳ به ۰/۳۰۷) نسبت به شبکه عصبی بهینه نشده، عملکرد بهتری ارائه می‌دهد. این کاهش در خطا بیانگر آن است که الگوریتم ژنتیک توانسته با تنظیم بهینه پارامترهای شبکه عصبی، عملکرد سیستم را ارتقا داده و منجر به شناسایی دقیق‌تر مدیران پروژه شایسته شود.

کلیدواژه‌ها: پروژه ساخت و ساز، سیستم توصیه‌گر، شایستگی مدیران پروژه، مهارت‌های نرم، مهارت‌های سخت، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم ژنتیک

* نویسنده مسئول: r.soltani@khatam.com

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع دانشگاه خاتم با راهنمایی دکتر رویا سلطانی می‌باشد.

مقدمه

در فضای پویای امروزی، پروژه‌ها در محیطی مملو از نوسان‌پذیری، عدم قطعیت، پیچیدگی و ابهام (VUCA¹) اجرا می‌شوند؛ محیطی که تصمیم‌گیری‌های مدیریتی را دشوار و نتایج پروژه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. تغییرات سریع فناوری، ناپایداری اقتصادی، پیچیدگی تعاملات ذی‌نفعان و محدودیت منابع از جمله عواملی هستند که فرایند مدیریت پروژه را بیش از پیش دشوار ساخته است. عملکرد یک پروژه تحت تأثیر عوامل متعددی قرار دارد که تغییرات مکرر آنها می‌تواند باعث تأخیر در اجرا، افزایش هزینه و نقص کیفیت شود. بنابراین، ظرفیت و توانمندی مدیر پروژه در مواجهه با طیف گسترده‌ای از مسائل مرتبط با منابع انسانی، چالش‌های فنی و محدودیت‌های اقتصادی، و همچنین توانایی او در برقراری تعاملات مؤثر، از اهمیت بسزایی برخوردار است (Omoush, ۲۰۲۰). جهت تکمیل موفقیت آمیز یک پروژه، مدیران پروژه می‌بایست در مواجهه با چالش‌های به‌وجودآمده در پروژه‌ها، ضمن درک پویایی‌های محیطی، تصمیم‌هایی آگاهانه، انعطاف‌پذیر و مبتنی بر مهارت‌های متنوع مدیریتی شامل مهارت‌های سخت و به‌ویژه مهارت‌های نرم که امروز بیش از هر زمان دیگری برای توسعه پایدار کشور ضروری هستند، اتخاذ نمایند. این امر بازتابی از شایستگی حرفه‌ای و توانمندی مدیران پروژه در تصمیم‌گیری به‌موقع و مؤثر است (Karki & Hadikusumo, ۲۰۲۳).

در ادبیات نیز مقالات متعددی به اهمیت نقش شایستگی مدیران پروژه در موفقیت پروژه‌ها پرداخته‌اند. به عنوان نمونه، Abbasi و Khalilzadeh (۲۰۲۱) نشان دادند که در سازمان‌های پروژه‌محور ایران، ضعف در مدیریت منابع انسانی، مدیریت تیم و برقراری ارتباطات مؤثر یکی از عوامل اصلی عدم موفقیت پروژه‌هاست. Fathalizadeh و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند موانع مختلفی مانند کمبود منابع مالی، ضعف در همکاری و هم‌افزایی میان نهادهای تحقیقاتی و اجرایی، و فقدان رویکردی نظام‌مند و یکپارچه در پروژه‌های ساخت‌وساز ایران وجود دارد. این موانع بر توانایی مدیران پروژه برای اجرای موفق پروژه‌ها تأثیر می‌گذارند و نیازمند شایستگی‌های خاصی از سوی مدیر پروژه مانند مدیریت ریسک، مدیریت تعارض و حل مساله، و هماهنگی ارتباطات بین‌سازمانی هستند. Derakhshanalavijeh و Teixeira (۲۰۱۷)، افزایش هزینه‌ها در پروژه‌های نفت و گاز

¹ Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity

ایران را به دلیل ضعف در مدیریت پروژه گزارش کردند که بخشی از آن به کمبود شایستگی‌های مدیریتی نسبت داده می‌شود. Amani و Safarzadeh (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای در مورد پروژه‌های کوچک ساخت‌وساز در ایران، نشان دادند تنها کمتر از یک‌سوم پروژه‌ها از مدیریت ریسک سیستماتیک استفاده می‌کنند، که نشان‌دهنده کمبود شایستگی‌های مدیریتی در این حوزه است.

در این تحقیق، پروژه‌های ساخت‌وساز تحت نظارت وزارت راه و شهرسازی یا سازمان‌های مرتبط با آن مانند شرکت‌های پیمانکاری یا مشاور فعال در پروژه‌های زیرساختی (مانند راه‌سازی، پل‌سازی، یا ساختمان‌سازی) مورد بررسی قرار می‌گیرند که به دلیل مقیاس بزرگ، پیچیدگی‌های فنی و محدودیت‌های منابع (مالی، انسانی، فناوری و غیره)، نیازمند مدیرانی با شایستگی‌های چندگانه در حوزه مهارت‌های سخت (شامل زمینه‌های فنی و تخصصی) و مهارت‌های نرم (مانند مدیریت ارتباطات، مدیریت تعارض و حل مساله، مدیریت پایداری و غیره) هستند. با این حال، فرآیندهای فعلی انتخاب مدیران پروژه در این سازمان‌ها اغلب غیرنظام مند بوده و به معیارهای ذهنی و تجربی وابسته است. این موضوع منجر به انتخاب مدیرانی می‌شود که ممکن است در مهارت‌های کلیدی مانند ارتباطات، مدیریت پایداری، یا استفاده از فناوری‌های نوین ضعف داشته باشند. برخلاف روش‌های سنتی که عمدتاً به ارزیابی‌های کیفی و قضاوت‌های تجربی وابسته‌اند و اغلب با سوگیری‌های انسانی همراه هستند، در این تحقیق یک سیستم توصیه‌گر داده‌محور مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی چندلایه پیش‌خور^۱ (ANN) با الگوریتم یادگیری لوبز-مارکواردت^۲ که وزن‌های آن توسط الگوریتم ژنتیک (GA) بهینه شده است، جهت پیشنهاد مدیران پروژه شایسته به سازمان‌های پروژه محور، ارائه می‌شود. این تحقیق به دنبال پاسخگویی به سوالات زیر است:

- (۱) چگونه می‌توان با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک، یک سیستم توصیه‌گر هوشمند طراحی کرد که با دقت بالا، توانایی شناسایی و ارزیابی مدیران پروژه شایسته در سازمان‌های پروژه محور را با توجه به چالش‌های بومی صنعت ساخت‌وساز ایران داشته باشد؟

^۱ Multi-layer feedforward neural network

^۲ Levenberg-Marquardt backpropagation learning algorithm

۲) بهینه‌سازی پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم ژنتیک به چه میزان می‌تواند دقت سیستم در معرفی مدیران پروژه شایسته در سازمان‌های پروژه محور را بهبود بخشد؟

ادامه مقاله به صورت زیر ساختاردهی شده است: در بخش ۲، تحقیقات پیشین مرتبط با بکارگیری رویکرد یادگیری ماشین در حوزه مدیریت پروژه از جمله شناسایی مدیران پروژه شایسته و همچنین تحقیقات مرتبط با بکارگیری ترکیب روش‌های هوش مصنوعی و الگوریتم‌های فراابتکاری در حوزه‌های مختلف بررسی می‌شوند. در بخش ۳، رویکرد تحقیق ارائه شده و فرآیند اجرای مدل تشریح می‌گردد. در این بخش پس از تشریح ساختار پایگاه داده، معماری و نحوه آموزش مدل شبکه عصبی تشریح و در ادامه، نحوه پیاده سازی الگوریتم فراابتکاری ژنتیک جهت بهینه‌سازی پارامترهای شبکه عصبی ارائه می‌شود. در بخش ۴ نتایج حاصل از اجرای مدل و عملکرد سیستم پیشنهادی مورد تحلیل قرار گرفته و با روش‌های موجود در ادبیات اعتبارسنجی می‌شود. در نهایت، در بخش ۵، نتیجه گیری کلی از پژوهش انجام شده، ارائه و پیشنهاداتی برای تحقیقات آینده مطرح می‌گردد.

پیشینه پژوهش

مدل‌ها و روش‌های داده محور مختلفی با استفاده از رویکردهای یادگیری ماشینی برای بهبود تصمیم‌گیری، حل اختلافات، بهبود عملکرد، بهره‌وری، ایمنی و گردش کار پروژه‌ها در حوزه مدیریت پروژه توسعه داده شده‌اند. Uddin و همکاران (۲۰۲۲) یک چارچوب داده‌محور مبتنی بر یادگیری ماشین برای مسائل مرتبط با تجزیه و تحلیل پروژه پیشنهاد دادند. Gowda و Jayaram (۲۰۲۴) با توسعه مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین (رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی) به پیش‌بینی دقیق مدت زمان تکمیل پروژه‌های ساختمانی پرداخته و نشان دادند که این مدل‌ها، می‌توانند جایگزینی برای روش‌های سنتی مانند CPM و PERT باشد و با دقت بالا، فرآیند پیش‌بینی را ساده‌تر و سریع‌تر و بدون نیاز به محاسبات پیچیده و زمان‌بر کند. Awada و همکاران (۲۰۲۱) از یادگیری ماشینی برای ادغام موارد ارسالی میدانی در زمان‌بندی پروژه و پیش‌بینی تأخیر در میانه پروژه استفاده کردند. آنها از الگوریتم جنگل تصادفی برای پیش‌بینی احتمال پذیرش درخواست‌های ریختن بتن به عنوان نمونه‌ای از جریان داده‌های سایت بهره بردند. Karki و Hadikusumo

(۲۰۲۳) از الگوریتم‌های طبقه بندی یادگیری ماشینی برای شناسایی مدیران پروژه‌های شایسته برای پروژه‌های ساخت و ساز در نپال استفاده کردند. آنها نشان دادند در بین هفت روش طبقه بندی کننده، دقت ارائه شده توسط الگوریتم SMO در هر دو درصد تقسیم بندی و k-fold بالاتر از سایر الگوریتم‌های طبقه بندی است.

در خصوص بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی می توان به تحقیقات زیر اشاره کرد که جهت رویارویی با انواع مسائل پیش بینی مطرح در حوزه مدیریت پروژه بکار گرفته شده است. فرزاد و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از شبکه عصبی LSTM به پیش بینی زمان بندی پروژه‌های عمرانی پرداختند تا بتوان مشکلات زمان بندی پروژه‌ها را تا حدودی مرتفع نمود. سلطانیان و همکاران (۱۴۰۲) از شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش بینی و تخمین هزینه های ساخت پروژه های مسکونی در فاز امکان سنجی استفاده کردند. Akinyokun و همکاران (۲۰۲۴) چارچوبی با استفاده از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و تحلیل درخت تصمیم (DTA) در فرآیند برنامه ریزی و کنترل پروژه ها ارائه داده و بهترین عملکرد شبکه عصبی را در زمان بندی پروژه های با محدودیت منابع مشاهده کردند. آنها از درخت تصمیم جنگل تصادفی برای شناسایی متغیرهای کلیدی پروژه (مانند تعداد منابع محدود، اندازه پروژه، ارزش روش مسیر بحرانی و هزینه مستقیم پروژه) به عنوان ورودی و متغیرهای خروجی شامل حداکثر طول مسیر باقی مانده پروژه (MPRL)، آخرین زمان تکمیل (LFT) و کل هزینه پروژه (TCOST) استفاده کرده و نشان دادند که ابزارهای هوش مصنوعی در مقایسه با ابزارهای سنتی، کارایی بیشتری در برنامه ریزی و کنترل پروژه ها دارند. Effat (۲۰۲۵) از سه مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش بینی هزینه های سربار سایت^۱ به صورت یک رویکرد سه مرحله ای در پروژه های ساخت و ساز مصر استفاده کرده و با هدف بهبود دقت پیش بینی هزینه های سربار سایت، سعی در شناسایی عوامل تأثیرگذار بر هزینه های سربار سایت (مانند نوع پروژه، مکان، مدت زمان، و شاخص های اقتصادی)، توسعه مدل های پیش بینی و ارائه ابزار دقیق برای تخمین هزینه ها نموده است. Al-Gahtani و همکاران (۲۰۲۵) با توسعه یک مدل پیش بینی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به تخمین هزینه نهایی ساخت (FCC^۲) در مراحل اولیه یک پروژه ساختمانی پرداخته و مدل را در دو مرحله ی بهبود داده ها و ساخت مدل براساس معماری شبکه عصبی (برای یادگیری الگوهای

^۱ Site overhead costs

^۲ Final Construction Cost

موجود در داده‌ها و پیش‌بینی (FCC) توسعه دادند. آنها توانستند هزینه نهایی ساخت را با دقت خوبی ($MAPE=8.7\%$) پیش‌بینی کرده و با بهبود داده‌ها و حذف داده‌های غیرعادی، نشان دهند که این مدل عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های قبلی داشته و ابزاری کاربردی را برای مدیریت مالی و ریسک در پروژه‌های ساختمانی فراهم کند. Liu (۲۰۲۵) با ارائه یک مدل مبتنی بر شبکه عصبی پس‌انتشار^۱ (BPNN) توانست ریسک‌های ایمنی مرتبط با ساخت تونل را با دقت بسیار بیشتری نسبت به روش‌های سنتی، پیش‌بینی کند. وی نشان داد که با افزایش زمان آموزش مدل، دقت پیش‌بینی BPNN، بهبود یافته و مدل با داده‌های بیشتر و زمان محاسباتی طولانی‌تر می‌تواند الگوهای دقیق‌تری را یاد بگیرد. همچنین میانگین خطای ۰/۰۱۸۶ نشان‌دهنده انطباق بالای پیش‌بینی‌های مدل با نتایج واقعی بوده و مدل در مقایسه با دو روش متداول دیگر، یعنی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و شبکه بیزی^۲، عملکرد بهتری را داشته باشد.

در حوزه ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های فراابتکاری می‌توان به مقاله Dan (۲۰۲۴) اشاره کرد که از مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم انتخاب ویژگی ReliefF برای بهبود دقت پیش‌بینی هزینه‌های پروژه‌های ساخت‌وساز و معدن استفاده کردند. آنها از الگوریتم ReliefF برای انتخاب ویژگی‌های مرتبط و مهم از مجموعه داده و از الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی وزن‌ها و پارامترهای شبکه عصبی استفاده کردند تا دقت پیش‌بینی را بهبود دهند. آنها نشان داد که مدل ترکیبی مذکور عملکرد بهتری نسبت به روش‌های سنتی مانند PSO-DNN (شبکه‌های عصبی عمیق بهینه‌شده با PSO) ارائه می‌دهد.

Joseph و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از یک مدل شبکه عصبی مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی (EG-NN^۳) که از سیستم بینایی الهام گرفته شده به پیش‌بینی جریان نقدینگی پروژه‌های ساختمانی پرداخته و نشان دادند که این مدل می‌تواند به مدیران پروژه

^۱ Back Propagation Neural Network

^۲ Bayesian Network

^۳ Evolutionary Gravity Neocognitron Neural Network

کمک کند تا جریان نقدی را بهتر پیش‌بینی و مدیریت کنند و در نهایت به کنترل هزینه‌ها و بهبود مدیریت پروژه منجر شود.

علاوه بر شبکه‌های عصبی مصنوعی، از شبکه‌های عصبی عمیق (DNN)^۱ نیز در ادبیات مدیریت پروژه استفاده شده است. به عنوان نمونه، Chen (۲۰۲۴) از الگوریتم‌های یادگیری عمیق، به‌ویژه شبکه‌های عصبی عمیق (DNN)، برای بهینه‌سازی کنترل مدیریت پروژه‌های ساخت‌وساز، به‌ویژه در زمینه کنترل هزینه کل فرآیند و مدیریت پویای پروژه^۲ استفاده کرده است. Fan (۲۰۲۵) با استفاده از مدل ترکیبی منطق فازی^۳ و شبکه عصبی عمیق (DNN) به پیش‌بینی کیفیت ساخت پروژه‌های ساخت‌وساز پرداخته و توانست با هدف شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر کیفیت ساخت (شامل ۲۵ عامل کلیدی ساخت در دسته‌های انسان، مواد، ماشین، روش و مدیریت) با دقت بالا کیفیت ساخت پروژه‌ها را پیش‌بینی کرده و به مدیران پروژه کمک کند تا نقاط ضعف را شناسایی و اقدامات اصلاحی انجام دهند.

بررسی ادبیات نشان می‌دهد مدل‌های پیش‌بینی موجود در ادبیات عمدتاً جهت پیش‌بینی کیفیت (نجفی زنگنه و همکاران، ۱۳۹۹؛ Fan، ۲۰۲۵)، هزینه زیرساخت (سلطانیان و همکاران، ۱۴۰۲؛ Dan، ۲۰۲۴؛ Chen، ۲۰۲۴؛ Effat، ۲۰۲۵؛ Al-Gahtani و همکاران، ۲۰۲۵)، وقوع اختلافات و نتایج دادرسی (Ayhan و همکاران، ۲۰۲۱)، تأخیر (Awada و همکاران، ۲۰۲۱) و بهره‌وری خدمه ساخت و ساز (Sadatnya و همکاران، ۲۰۲۳) با استفاده از چندین الگوریتم طبقه‌بندی توسعه داده شده‌اند، اما پژوهشی با هدف توسعه مدلی که شایستگی مدیران پروژه را با دقت بالا با استفاده از رویکرد ترکیبی شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های فراابتکاری پیش‌بینی کند، وجود ندارد. لذا شناسایی مدیران پروژه شایسته با استفاده از چنین رویکردی، تکمیل پروژه با نرخ موفقیت بالا را تضمین می‌کند. در جدول (۱) خلاصه‌ای از مرور ادبیات مرتبط با پژوهش و کاربرد روش‌های یادگیری ماشین به ویژه شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های فراابتکاری در حوزه پروژه‌های عمرانی، آورده شده است.

^۱ Deep Neural Network

^۲ Dynamic Management

^۳ Fuzzy Logic

جدول ۱. خلاصه مرور ادبیات

نویسنده یا نویسندگان مقاله	سال	زمینه مطالعاتی	روش	عوامل در نظر گرفته شده
فرزاد و همکاران	۱۴۰۲	پیش بینی مسائل مربوط به زمان بندی پروژه های عمرانی	شبکه عصبی LSTM	زمان
سلطانیان و همکاران	۱۴۰۲	پیش بینی هزینه های ساخت پروژه های مسکونی	شبکه عصبی مصنوعی	هزینه
Karki & Hadikusumo	۲۰۲۳	شناسایی مدیران پروژه های شایسته برای پروژه های ساخت و ساز	یادگیری ماشین (الگوریتم طبقه بندی SMO)	عوامل شایستگی مدیران پروژه (مهارت های رهبری، ویژگی های شخصی، توسعه تیم و تفویض اختیار، مهارت های ارتباطی، مهارت های فنی، مهارت های حل مسئله/مقابله با موقعیت و مهارت های مدیریت ارتباط با ذینفعان)
Agostinelli و همکاران	۲۰۲۲	پیش بینی رویدادهای غیرمنتظره و کاهش تاخیرهای زمانی پروژه	یادگیری ماشین	تاخیرهای زمانی
Uddin و همکاران	۲۰۲۲	تجزیه و تحلیل پروژه	چارچوب داده محور مبتنی بر یادگیری ماشین (ماشین بردار پشتیبان، رگرسیون لجستیک، k-نزدیک ترین همسایه، جنگل تصادفی، مدل تجمیع پشته ای ^۱ و ANN)	مواد، نیروی کار و قراردادها

^۱ Stacking Ensemble

نویسنده یا نویسندگان مقاله	سال	زمینه مطالعاتی	روش	عوامل در نظر گرفته شده
Awada و همکاران	۲۰۲۱	زمان‌بندی و پیش‌بینی تأخیر پروژه	یادگیری ماشین	زمان
Ribeiro و همکاران	۲۰۲۱	شناسایی مدیران پروژه شایسته	کیفی	عوامل شایستگی‌مدیر پروژه شامل عوامل فنی (دانش و مهارت‌های مرتبط با فناوری‌های جدید)، عوامل رفتاری (مانند رهبری، ارتباطات مؤثر، انعطاف‌پذیری و مدیریت تغییر) و عوامل موقعیتی (توانایی درک و مدیریت پیچیدگی‌های محیط‌های پویا)
Ayhan و همکاران	۲۰۲۱	پیش‌بینی وقوع اختلافات در صنعت ساخت‌وساز	الگوریتم‌های یادگیری ماشین (شامل ماشین بردار پشتیبان (SVM)، درخت تصمیم و جنگل تصادفی)	ویژگی‌های پروژه (موقعیت پروژه، ارزش مالی پروژه، مدت زمان برنامه‌ریزی‌شده پروژه)، مهارت‌ها، تغییرات پروژه و تأخیرات پروژه
Sadatnya و همکاران	۲۰۲۳	پیش‌بینی بهره‌وری گروه‌های کاری در پروژه‌های ساختمانی	مدل‌های یادگیری ماشینی	پیشرفت عملیات، شرایط آب‌وهوایی، تعداد و ترکیب منابع (نیروی انسانی و تجهیزات) و مشخصات پروژه
Akinyokun و همکاران	۲۰۲۴	بهبود فرآیندهای برنامه‌ریزی و کنترل پروژه‌ها	ترکیب تحلیل درخت تصمیم (DTA) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	منابع، هزینه‌ها و زمان‌بندی
Dan	۲۰۲۴	پیش‌بینی و ارزیابی هزینه‌های پروژه‌های ساخت‌وساز و معدن	ترکیب ANN، الگوریتم PSO و الگوریتم انتخاب ویژگی ReliefF	هزینه و ریسک
Chen	۲۰۲۴	بهینه‌سازی هزینه کل فرآیند و مدیریت پویای پروژه	شبکه‌های عصبی عمیق (DNN)	هزینه فرایند

نویسنده یا نویسندگان مقاله	سال	زمینه مطالعاتی	روش	عوامل در نظر گرفته شده
Joseph و همکاران	۲۰۲۴	پیش‌بینی جریان نقدینگی پروژه	مدل شبکه عصبی گرانشی تکاملی الهام گرفته شده از سیستم بینایی (EG-NN)	هزینه‌ها و درآمدهای پروژه در بازه‌های زمانی مختلف، عناصر متوالی (مانند مراحل پیشرفت پروژه) و عناصر غیرمتوالی (مانند تغییرات بازار، شرایط اقتصادی یا تصمیمات مدیریتی) و ویژگی‌های پروژه (مانند مقیاس، نوع پروژه، زمان و سطح پیچیدگی)
Jayaram Gowda و	۲۰۲۴	پیش‌بینی مدت زمان تکمیل پروژه‌های ساختمانی	مدل‌های مبتنی بر یادگیری ماشین (رگرسیون چندمتغیره و شبکه عصبی مصنوعی)	تعداد کل فعالیت‌ها، فعالیت‌های بحرانی در مرحله برنامه‌ریزی، تعداد فعالیت‌های غیربحران، و حداکثر و حداقل مدت زمان فعالیت‌های بحرانی
Effat	۲۰۲۵	پیش‌بینی هزینه‌های سربار	مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	هزینه‌های مستقیم و سربار، نوع پروژه، مکان، مدت زمان، نوع قرارداد، نوع کارفرما، طبقه‌بندی شرکت، شاخص‌های اقتصادی (تورم، نرخ بهره، نرخ ارز)
Al-Gahtani و همکاران	۲۰۲۵	پیش‌بینی هزینه نهایی ساخت	شبکه عصبی مصنوعی (ANN)	هزینه و مدت قرارداد و نوع پروژه
Liu	۲۰۲۵	شناسایی و پیش‌بینی ریسک‌های ایمنی	شبکه عصبی پس‌انتشار (BPANN)	عوامل زمین شناختی، محیطی، انسانی و مدیریتی
Fan	۲۰۲۵	پیش‌بینی کیفیت ساخت پروژه‌ها	مدل ترکیبی منطق فازی و شبکه عصبی عمیق	عوامل کلیدی ساخت (در دسته‌های انسان، مواد، ماشین، روش و مدیریت)

در ادبیات روش‌های مختلف یادگیری ماشین جهت پیش‌بینی انواع مسائل در حوزه پروژه بکار گرفته شده است. در حوزه ارزیابی شایستگی مدیران پروژه، روش‌های سنتی موجود اغلب مبتنی بر رویکردهای کیفی و قضاوت‌های ذهنی هستند. از جمله می‌توان به مقاله Ribeiro و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد که به صورت کیفی شایستگی مدیران را بررسی کرده‌اند که در مقایسه با روش‌های یادگیری ماشین از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. بدین منظور در مقاله حاضر، از یک رویکرد داده‌محور استفاده می‌شود که با تحلیل داده‌های ورودی (مانند مهارت‌های فنی، مدیریتی، و رفتاری) و ارائه پیش‌بینی‌های با دقت بالا با بکارگیری مدل شبکه عصبی چندلایه پیش‌خور بهینه شده با الگوریتم ژنتیک، و ایجاد یک سیستم توصیه‌گر به انتخاب دقیق مدیران پروژه شایسته می‌پردازد و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر داده را جایگزین روش‌های سنتی مبتنی بر قضاوت‌های فردی و تجربی می‌کند.

جهت نشان دادن کارایی ترکیب شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوریتم‌های فراابتکاری، در جدول (۲) تعدادی از مقالات موجود در ادبیات که از ترکیب شبکه‌های عصبی مصنوعی با الگوریتم‌های فراابتکاری به منظور افزایش دقت پیش‌بینی در حوزه‌های مختلف بهره‌برده‌اند، آورده شده است. این حوزه‌ها عبارتند از: پیش‌بینی بازار سهام (Sharma و همکاران، ۲۰۲۲)، پیش‌بینی تقاضای مصرف انرژی الکتریکی (Azadeh و همکاران، ۲۰۰۷)، پیش‌بینی مرگ‌ومیر بیماران (Dybowski و همکاران، ۱۹۹۶).

جدول ۲. پیشینه مقالات ترکیب شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های فراابتکاری در حوزه‌های مختلف

نویسنده	سال	زمینه مطالعاتی	روش	نتیجه
Sharma و همکاران	۲۰۲۲	پیش‌بینی بازار سهام آمریکا	ترکیب ANN و GA	دقت مدل ترکیبی ANN و GA، هم در کوتاه مدت و هم در بلندمدت بیشتر از تکنیک تکی شبکه عصبی مصنوعی پسانتشار (BPANN) است.
Ding و همکاران	۲۰۱۱	انواع مسائل پیش‌بینی	ترکیب ANN و GA	روش شبکه عصبی پسانتشار (BPANN) بهینه شده با GA در مقایسه با الگوریتم BP تکی و روشی که فقط از GA برای یادگیری وزن‌ها استفاده می‌کند، بهتر عمل می‌کند.
Venkatesan و همکاران	۲۰۰۹	پیش‌بینی نتایج فرآیندهای ماشین‌کاری	ترکیب ANN و GA	ترکیب ANN و GA در مقایسه با رویکردهای سنتی، دقت پیش‌بینی و عملکرد بهتری دارد و می‌تواند به طور مؤثری در بهینه‌سازی فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد.
Azadeh و همکاران	۲۰۰۷	پیش‌بینی تقاضای مصرف انرژی الکتریکی	ترکیب ANN و GA	روش ANN بهینه شده با GA در مقایسه با روش‌های سنتی (مانند رگرسیون و سری زمانی)، دقت بیشتری در پیش‌بینی مصرف برق داشته است.
Leung و همکاران	۲۰۰۳	پیش‌بینی لکه‌های خورشیدی	ترکیب ANN و GA بهبودیافته	ترکیب یک GA بهبودیافته با یک ANN که ساختار انعطاف‌پذیری دارد، می‌تواند به بهینه‌سازی خودکار شبکه‌های عصبی و پیدا کردن بهترین ترکیب ساختار و پارامترهای شبکه‌ی عصبی کمک کند.
Dybowski و همکاران	۱۹۹۶	پیش‌بینی مرگ‌ومیر بیماران در طول بستری در بیمارستان	ترکیب ANN و GA	ترکیب ANN و GA می‌تواند ابزاری قدرتمند برای پیش‌بینی دقیق‌تر نتایج بیماران بدحال باشد و پتانسیل بهبود تصمیم‌گیری بالینی را دارد.

روش (سیستم توصیه گر پیشنهادی)

این بخش چارچوب سیستم توصیه گر پیشنهادی مبتنی بر روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای شناسایی مدیران پروژه شایسته در پروژه‌های ساخت و ساز را توضیح می‌دهد. مراحل اجرای سیستم توصیه گر پیشنهادی در شکل ۱ نمایش داده شده است. این چارچوب شامل مراحل آماده‌سازی داده‌ها، طراحی معماری شبکه عصبی، بهینه‌سازی وزن‌ها با الگوریتم ژنتیک، آموزش و آزمایش مدل، و در نهایت نمایش نتایج می‌باشد. شبه کد روش ترکیبی پیشنهادی نیز در پیوست ۱ آورده شده است.

آماده انتشار

شکل ۱. مراحل اجرای سیستم توصیه گر پیشنهادی

- ۱) ایجاد پایگاه داده از معیارهای شایستگی شامل مهارت های نرم و مهارت های سخت
- ۲) آماده سازی داده ها: داده ها شامل ۷ معیار شایستگی ورودی و یک خروجی باینری، از قایل اکسل توسط نرم افزار متلب فراخوانی شده و با استفاده از تابع dividerand در متلب، داده ها به صورت تصادفی به مجموعه های آموزشی (۷۰٪) و آزمایشی (۳۰٪) تقسیم می شوند.
- ۳) ایجاد معماری شبکه های عصبی: با بکارگیری توابع trainlm و feedforwardnet در نرم افزار متلب، شبکه های عصبی چندلایه پیش خور به ترتیب با ۱، ۲ و ۳ لایه پنهان (هر کدام شامل ۲ نرون) با الگوریتم یادگیری از نوع لونیگ-مارکووارت ایجاد می شود.
- ۴) آموزش و آزمایش شبکه عصبی ایجاد شده: شبکه عصبی ساخته شده، روی داده های آموزش، آموزش داده شده و سپس عملکرد آنها روی داده های آموزش و آزمایش با معیارهای MSE و RMSE ارزیابی و بهترین معماری شبکه عصبی مشخص می شود.
- ۵) بهینه سازی وزن های شبکه عصبی ساخته شده (ANN) با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک (GA): وزن های شبکه عصبی ایجاد شده با هدف کمینه سازی MSE، توسط الگوریتم ژنتیک و با بهره گیری از تابع gaoptimset در نرم افزار متلب، بهینه می شود.
- ۶) آموزش و آزمایش روش ترکیبی ANN-GA: شبکه عصبی با وزن های بهینه شده، آموزش داده می شود و عملکرد آن با معیارهای MSE و RMSE مورد ارزیابی قرار می گیرد.
- ۷) مقایسه نتایج و اعتبارسنجی: عملکرد مدل ANN با مدل ترکیبی ANN-GA پیشنهادی با استفاده از معیارهای MSE و RMSE مقایسه شده و با روش های موجود در ادبیات و نظر خبرگان اعتبارسنجی می گردد.

جمع آوری اطلاعات و تشکیل پایگاه داده از معیارهای شایستگی

اولین مرحله در طراحی سیستم توصیه گر مدیران پروژه شایسته پیشنهادی، تشکیل یک پایگاه داده بومی از معیارهای شایستگی با استفاده از داده های واقعی بدست آمده از مدیران و کارشناسان ارشد وزارت راه و شهرسازی ایران، به منظور آموزش شبکه عصبی مصنوعی می باشد. این پایگاه داده، شامل داده های مرتبط با معیارهای شایستگی شامل مهارت های سخت (مانند مهارت های فنی و تخصصی، آشنایی با فناوری و ابزارهای نوین مدیریت پروژه، مدیریت قراردادها و مسائل قانونی، مهارت های مالی و بودجه بندی) و مهارت های نرم (مانند

مهارت‌های مدیریتی و رهبری، مهارت‌های ارتباطی و مدیریت محیطی و پایداری) می باشد که متناسب با چالش‌های خاص صنعت ساخت‌وساز ایران (مانند محدودیت‌های اقتصادی، پیچیدگی‌های قانونی، و الزامات زیست‌محیطی و توسعه پایدار)، با بررسی ادبیات و مصاحبه با خبرگان در نظر گرفته شده اند.

- مهارت‌های مدیریتی و رهبری، مهارت‌های نرم هستند که به مجموعه توانایی و صلاحیت‌های مدیر پروژه برای برنامه‌ریزی، سازماندهی، رهبری و هدایت تیم‌های کاری، مدیریت استرس و تاب آوری و تصمیم‌گیری سریع در شرایط بحرانی، مدیریت ریسک و مهارت‌های تفکر تحلیلی و استراتژیک، اشاره دارد.
- مهارت‌های ارتباطی مهارت‌های نرم هستند که توانایی مدیر پروژه در انتقال اطلاعات، ایجاد هماهنگی و مدیریت تعاملات با ذینفعان و مدیریت تعارضات را شامل می‌شود.
- مهارت نرم مدیریت محیطی و پایداری، توانایی مدیر پروژه در ایجاد فرهنگ پایداری و مسئولیت‌پذیری اجتماعی (توجه به اثرات محیطی و اجتماعی پروژه) می باشد و شامل توجه به کاهش اثرات زیست محیطی (مانند کاهش آلودگی یا پسماند)، ترویج و فرهنگ سازی رعایت مقررات زیست محیطی در ایران، و توجه به توسعه پایدار (از طریق اقداماتی نظیر طراحی پایدار و استفاده از مصالح سبز، کاهش ردپای کربن و بهینه‌سازی مصرف انرژی و منابع) را شامل می‌شود.
- مهارت‌های سخت شامل مهارت‌های فنی و تخصصی هستند که به مجموعه دانش، توانایی‌ها و تجربیات مدیر پروژه در انجام جنبه‌های فنی شامل دانش مهندسی و فنی، مدیریت فرایندهای فنی پروژه، آشنایی با استانداردها و مقررات، کاربرد فناوری‌های نوین و حل مسائل فنی پروژه‌ها، اشاره دارد.
- آشنایی با فناوری و ابزارهای نوین مدیریت پروژه از مهارت‌های سخت یک مدیر پروژه می باشد و به دانش و توانایی مدیر پروژه در بکارگیری فناوری‌ها، نرم‌افزارها و ابزارهای پیشرفته همچون استفاده از نرم‌افزارهای مدیریت پروژه، مدل‌سازی اطلاعات ساخت (BIM)، نرم‌افزارهای طراحی و مهندسی، تکنولوژی‌های نوین ساخت، دیجیتال‌سازی و اتوماسیون، مدیریت و تحلیل داده‌ها و آگاهی از فرایندهای نوین جهانی، اشاره دارد.

- مهارت‌های مالی و بودجه‌بندی از دیگر مهارت‌های سخت یک مدیر پروژه می باشد که شامل توانایی مدیر پروژه در مدیریت منابع مالی پروژه، برنامه‌ریزی بودجه، مدیریت جریان نقدینگی، مدیریت ریسک‌های مالی و کنترل هزینه‌های پروژه می‌باشد.

- مهارت سخت مدیریت قراردادها و مسائل قانونی، به توانایی مدیر پروژه در تدوین، نظارت و اجرای قراردادها و نیز رعایت و مدیریت الزامات حقوقی و قانونی مرتبط با پروژه‌ها، اشاره دارد.

این معیارهای شایستگی بر اساس نظرات ۸۰ نفر از مدیران و کارشناسان ارشد وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران که دارای تجربه در حوزه مسکن و شهرسازی با سابقه کاری حداقل ۱۰ سال و مدرک لیسانس و بالاتر هستند، اعتبارسنجی شدند.

مطابق جدول (۳)، معیارهای شایستگی شناسایی شده به عنوان متغیرهای ورودی شبکه عصبی مصنوعی و شایسته یا عدم شایسته بودن مدیران به عنوان متغیر خروجی در نظر گرفته می‌شوند. داده‌های ورودی مرتبط با معیارهای شایستگی، از طریق پرسشنامه‌های ساختاریافته که توسط خبرگان صنعت و ساز ایران طراحی شده بود، بر اساس نظر ۸۰ نفر از مدیران و کارشناسان ارشد وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران و سازمان‌های وابسته جمع آوری شدند. بدین ترتیب که. برای هر معیار شایستگی، طیف لیکرت پنج‌گانه (۱= بسیار ضعیف، ۵= بسیار قوی) بکار برده شد تا مقادیر کیفی به مقادیر کمی تبدیل شوند. این مقیاس به دلیل سادگی، قابلیت اطمینان، و استفاده گسترده در ارزیابی شایستگی‌ها انتخاب شد (Sullivan & Artino, ۲۰۱۳; Likert, ۱۹۳۲). خروجی باینری (شایسته/غیرشایسته) نیز بر اساس اجماع خبرگان و معیارهای استاندارد شایستگی در صنعت ساخت‌وساز ایران تعیین شد. فرآیند کمی‌سازی شامل ارزیابی هر مدیر توسط گروهی از خبرگان (مدیران و کارشناسان ارشد) بود که بر اساس تجربه و عملکرد مشاهده‌شده، امتیازات را تخصیص دادند. پس از جمع آوری داده‌های مرتبط با معیارهای شایستگی، در اولین قدم، اقدام به پاک‌سازی داده‌ها می‌شود. منظور از پاک‌سازی داده‌ها این است که داده‌های دارای مقدار گم شده^۱، داده‌های پرت^۲ و داده‌های ناسازگار^۳ از پایگاه داده مورد

^۱ Missing Values

^۲ Outliers

^۳ Inconsistent Data

نظر حذف می شوند تا پایگاه داده آماده استفاده در مرحله آموزش شبکه عصبی مصنوعی باشد.

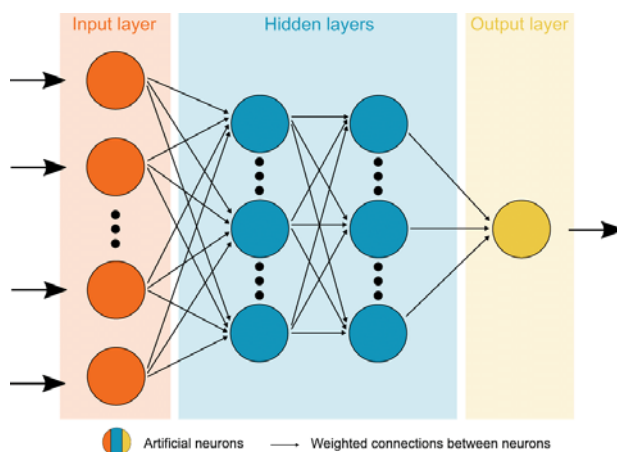
جدول (۳) متغیرهای ورودی و خروجی مدل

نام متغیر	نوع متغیر	دامنه متغیر
مهارت‌های فنی و تخصصی (مهارت سخت)	متغیر ورودی	[۵-۱]
مهارت‌های مدیریتی و رهبری (مهارت نرم)	متغیر ورودی	[۵-۱]
مهارت‌های ارتباطی (مهارت نرم)	متغیر ورودی	[۵-۱]
مدیریت قراردادها و مسائل قانونی (مهارت سخت)	متغیر ورودی	[۵-۱]
مهارت‌های مالی و بودجه‌بندی (مهارت سخت)	متغیر ورودی	[۵-۱]
آشنایی با فناوری و ابزارهای نوین مدیریت پروژه (مهارت سخت)	متغیر ورودی	[۵-۱]
مدیریت محیطی و پایداری (مهارت نرم)	متغیر ورودی	[۵-۱]
شناختگی مدیر پروژه	متغیر خروجی	[۱-۰]

معماری شبکه عصبی مصنوعی

در پژوهش حاضر، یک شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پیشخور با توجه به تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورون‌های هر لایه، طراحی می‌شود که نمونه ای از آن در شکل (۲) نمایش داده شده است. این شبکه عصبی با استفاده از الگوریتم لونیبرگ - مارکواریت آموزش داده می‌شود. الگوریتم لونیبرگ - مارکواریت یکی از قدرتمندترین روش‌ها برای آموزش شبکه‌های عصبی چند لایه با اندازه متوسط است که از ترکیب الگوریتم‌های گرادیان نزولی و نیوتن در بهینه‌سازی کلاسیک بوجود آمده است. در این مقاله، تعداد لایه‌های پنهان بین ۱ الی ۳ و اندازه هر لایه مقادیر ۲، ۴ و ۸ در نظر گرفته شده است تا بتوان مناسب‌ترین ترکیب برای ساختار شبکه عصبی را براساس دقت حاصل شده پیشنهاد نمود.

شکل ۲. نمونه ای از شبکه عصبی مصنوعی چند لایه پیشخور (Taniguchi و همکاران، ۱۹۹۸)



الگوریتم فراابتکاری ژنتیک

برای بهبود عملکرد و بهینه‌سازی وزن‌های شبکه‌های عصبی، شبکه عصبی طراحی شده با یک الگوریتم تکاملی به نام الگوریتم ژنتیک ترکیب می‌شود تا با در اختیار گذاشتن وزن‌های بهینه به شبکه عصبی مصنوعی، دقت پیش‌بینی شایستگی مدیر پروژه را بالا برد. جهت اجرای الگوریتم ژنتیک پیش از هر چیز باید مکانیزمی برای نمایش جواب و تبدیل جواب مسئله به یک کروموزوم تعریف کرد. مجموعه‌ای از این کروموزوم‌ها که در حقیقت مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله هستند به عنوان جمعیت و ژن‌های موجود در هر کروموزوم نیز به عنوان وزن‌ها و پارامترهای مورد نیاز شبکه عصبی برای یادگیری و پیش‌بینی دارد در نظر گرفته می‌شوند. بعد از ایجاد جمعیت، کروموزوم‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. عمل ارزیابی براساس معیار میانگین مجذور خطا (MSE) یا ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) مطابق روابط (۱) و (۲)، که به عنوان تابع هدف تعریف می‌شود، انجام می‌شود.

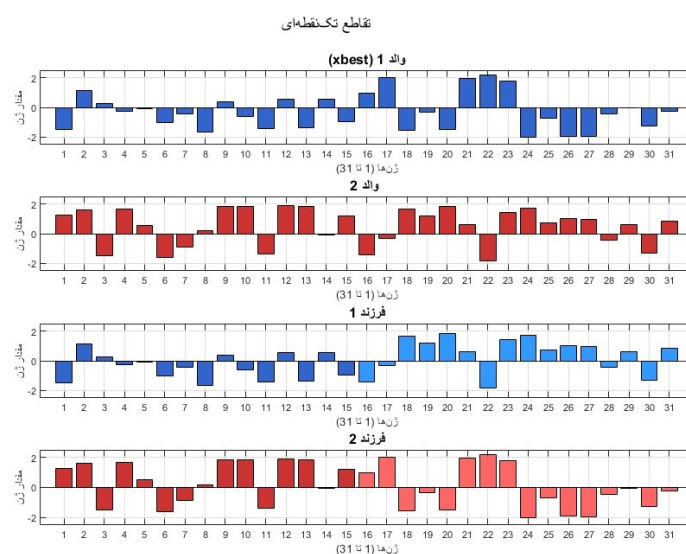
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (2)$$

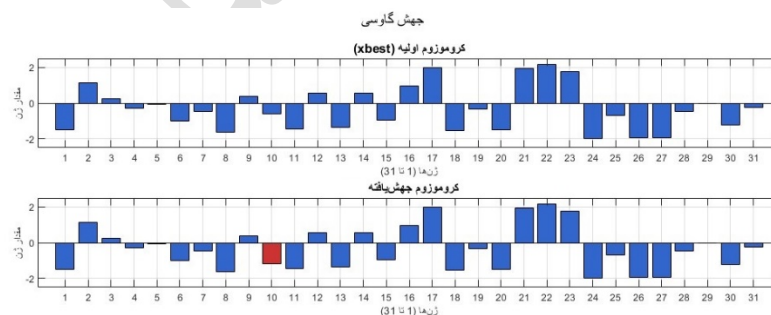
در این روابط، i شمارنده، n تعداد پیش‌بینی‌ها یا نظرات جمع آوری شده و e_i خطای پیش‌بینی است که از تفاوت مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی به دست می‌آید.

جهت تولید جواب‌های جدید و جستجوی نقاط دیگر از فضای حل، با به کارگیری عملگرهای تقاطع و جهش، کروموزوم‌های جدید ایجاد می‌شوند که نمونه‌ای از این عملگرها در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده‌اند. همچنین نقشه حرارتی یک نسل شامل یک جمعیت با ۵۰ کروموزوم هر یک حاوی ۳۱ ژن، در شکل ۵ نمایش داده شده است.

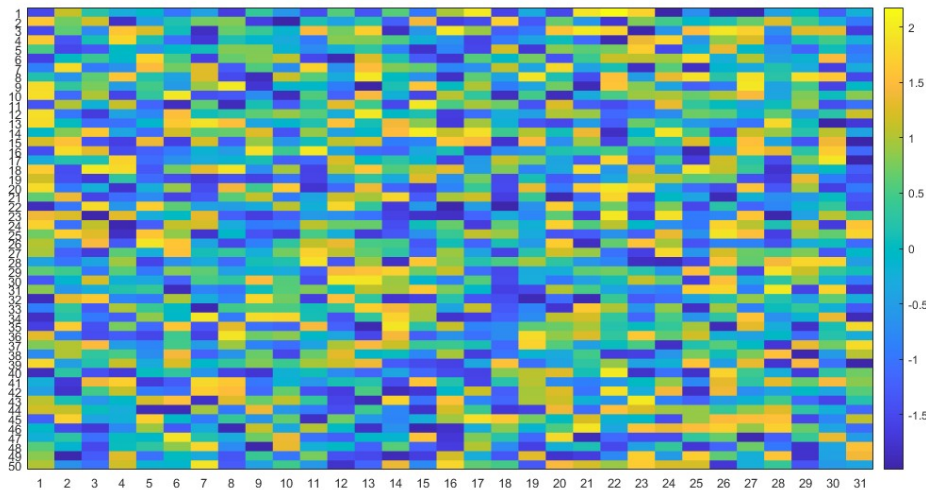
شکل ۳. نمونه ای از عملگر تقاطع در الگوریتم ژنتیک براساس داده‌های پژوهش



شکل ۴. نمونه ای از عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک براساس داده‌های پژوهش



شکل ۵. نمونه ای از نقشه حرارتی برای یک جمعیت با ۵۰ کروموزوم هر یک شامل ۳۱ ژن در GA



جهت تشکیل جمعیت برای نسل بعد، از استراتژی نخبه گرایی استفاده می شود و فرایند انتخاب، مبتنی بر مقدار برازندگی هر کروموزوم است. بر این اساس، پس از تکرار چند نسل، بهترین نسل که شامل وزن های بهینه یا نزدیک به بهینه مسئله است حاصل خواهد شد.

با پیاده سازی الگوریتم ژنتیک بر تمام لایه های پنهان مدل شبکه عصبی، وزن های بهینه محاسبه شده و در اختیار شبکه عصبی قرار می گیرد. مدل شبکه عصبی با وزن های بهینه شده، ابتدا آموزش و سپس آزمایش می شود تا بر اساس متغیرهای ورودی، متغیر خروجی شایسته یا عدم شایسته بودن مدیران را پیش بینی کند. به منظور بررسی مناسب بودن پیش بینی حاصل از معماری های مختلف شبکه عصبی پیشنهادی، از معیارهای میانگین مجذور خطا (MSE) و ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) با استناد به منابع معتبر (Haykin, ۲۰۰۹) (Goodfellow et al., ۲۰۱۶) استفاده می شود.

یافته‌ها و نتایج تحقیق

در این بخش ابتدا عملکرد شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده بررسی و سپس با عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک مقایسه می‌گردد.

بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده

جهت بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده، پس از جمع‌آوری داده‌ها براساس نظرات ۸۰ نفر از مدیران و کارشناسان ارشد وزارت راه و شهرسازی جمهوری اسلامی ایران، آن‌ها را آماده‌سازی کرده و سپس به طور تصادفی ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها برای تست انتخاب و وارد شبکه عصبی مصنوعی طراحی شده در نرم‌افزار MATLAB با معماری‌های مختلف می‌شود. در این مقاله، تعداد لایه‌های پنهان ۱، ۲ و ۳ و تعداد نورون‌های هر لایه ۲، ۴ و ۸ در نظر گرفته شده و با ترکیب حالت‌های مختلف، مناسب‌ترین معماری شبکه عصبی براساس دقت حاصل شده، پیشنهاد می‌شود. تعداد ۷ متغیر ورودی به عنوان معیارهای شایستگی و ۱ متغیر خروجی برای شناسایی مدیران پروژه شایسته در پروژه‌های ساخت و ساز در سیستم پیشنهادی در نظر گرفته شده است. با در نظرگیری تعداد لایه‌های پنهان مختلف و تغییر تعداد نورون‌های هر لایه پنهان، معماری‌های مختلفی برای شبکه عصبی مورد نظر حاصل می‌شود که دقت حاصل از هر یک، با در نظر گرفتن متغیرهای ورودی و متغیر خروجی برآورد می‌شود. نتایج در جداول ۵ الی ۷ به ترتیب برای شبکه عصبی تک لایه، شبکه عصبی دو لایه و شبکه عصبی سه لایه نمایش داده شده است. با توجه به نتایج، مدل شبکه عصبی با معماری ۳ لایه پنهان هر یک با اندازه ۲ نورون، و با تعداد ۱۴ وزن (شامل ۷ ورودی، ۶ نورون در لایه‌های پنهان و یک خروجی)، بهترین نتایج از لحاظ مقدار MSE و RMSE را نشان می‌دهد.

شکل (۶) در محور افقی تعداد تکرارها و در محور عمودی، میانگین مربعات خطا را برای معماری منتخب شبکه عصبی مصنوعی (که مبتنی بر شبکه عصبی سه لایه با تعداد دو نورون در هر لایه و الگوریتم یادگیری پس‌انتشار از نوع لونبرگ - مارکوارت می‌باشد) نشان می‌دهد، که در آن فرآیند آموزش پس از ۹ تکرار متوقف شده است. این توقف

نشان‌دهنده آن است که مدل پس از این تعداد تکرار به حد مطلوبی از یادگیری رسیده و دیگر نیازی به تکرارهای اضافی نداشته است. همچنین، پس از ۱۵ تکرار، هیچ بهبودی در خروجی مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده رسیدن مدل به یک وضعیت پایدار است. در این معماری از شبکه عصبی، مقادیر خطای میانگین مربعات (MSE) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای داده‌های آزمایشی به ترتیب ۰/۳۵۱ و ۰/۵۹۳ می‌باشند که نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل شبکه عصبی طراحی شده در پیش‌بینی شایستگی مدیران پروژه است.

جدول ۵. نتایج دقت حاصل از معماری شبکه عصبی پیش‌خور تک لایه پنهان

ردیف	سایز نوروها	مقدار MSE برای داده‌های آموزش	مقدار MSE برای داده‌های آزمایش	مقدار RMSE برای داده‌های آموزش	مقدار RMSE برای داده‌های آزمایش
۱	۲	۰/۳۴۱	۱/۱۱۵	۰/۷۹۵	۱/۰۷۷
۲	۴	۰/۱۷۰	۰/۵۷۰	۰/۴۱۳	۰/۷۵۴
۳	۸	۰/۱۰۲	۰/۳۱۵	۰/۳۵۶	۰/۵۶۱

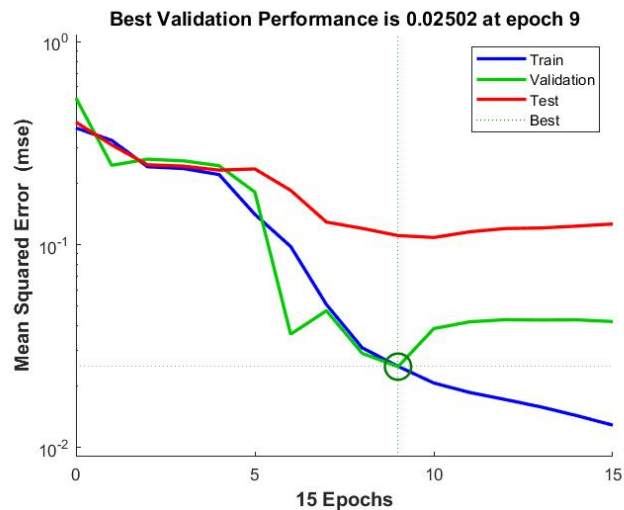
جدول ۶. نتایج دقت حاصل از معماری شبکه عصبی پیش‌خور دو لایه پنهان

ردیف	سایز نوروها	مقدار MSE برای داده‌های آموزش	مقدار MSE برای داده‌های آزمایش	مقدار RMSE برای داده‌های آموزش	مقدار RMSE برای داده‌های آزمایش
۱	۲	۰/۲۸۱	۰/۴۳۰	۰/۵۳۰	۰/۶۵۶
۲	۴	۰/۰۱۸	۱/۱۰۶	۰/۱۳۴	۱/۰۵۲
۳	۸	۰/۰۲۸	۵/۷۹۱	۰/۱۶۸	۲/۴۰۶

جدول ۷. نتایج دقت حاصل از معماری شبکه عصبی پیش خور سه لایه پنهان

ردیف	سایز نوروها	مقدار MSE برای داده‌های آموزش	مقدار MSE برای داده‌های آزمایش	مقدار RMSE برای داده‌های آموزش	مقدار RMSE برای داده‌های آزمایش
۱	۲	۰/۰۴۹	۰/۳۵۱	۰/۲۲۳	۰/۵۹۳
۲	۴	۰/۲۳۰	۰/۹۳۵	۰/۴۸۰	۰/۹۶۶
۳	۸	۰/۸۵۵	۶/۵۷۱	۰/۹۲۵	۲/۵۶۳

شکل ۶. نمودار مربعات خطا داده‌های آموزش و آزمایش شبکه عصبی پیش خور سه لایه (با تعداد ۲ نرون و با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ-مارکوارت)



بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک

جهت بررسی عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک، ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد داده‌ها برای تست (آزمایش) به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. پارامترها و متغیرهای استفاده شده در الگوریتم ژنتیک در جدول (۸) قابل مشاهده است. با در نظر گیری تعداد لایه‌های پنهان مختلف و تغییر تعداد نوروهای هر لایه پنهان، نتایج دقت

حاصل از معماری‌های مختلف شبکه عصبی با لحاظ ۷ متغیر ورودی و یک متغیر خروجی در مدل شبکه عصبی چندلایه پیش خور با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ-مارکوارت برآورد شد. نتایج در جداول (۹) الی (۱۱) به ترتیب برای شبکه عصبی یک لایه، شبکه عصبی دو لایه و شبکه عصبی سه لایه بهینه شده با الگوریتم ژنتیک نمایش داده شده است. با توجه به نتایج، معماری شبکه عصبی با تعداد ۳ لایه پنهان با سایز ۲ نورون و تعداد ۳۱ وزن بهترین نتایج از لحاظ مقادیر MSE و RMSE را نشان می‌دهد. تعداد وزن‌ها براساس تعداد وزن‌های اتصال ورودی (۱۴) وزن برای اتصال ۷ متغیر ورودی به هر یک از ۲ نورون لایه پنهان اول و تعداد وزن‌های اتصال لایه‌های پنهان (۴) وزن برای اتصال نورون‌های لایه پنهان اول به نورون‌های لایه پنهان دوم، ۴ وزن برای اتصال نورون‌های لایه پنهان دوم به لایه پنهان سوم و ۲ وزن برای اتصال نورون‌های لایه پنهان سوم به خروجی و تعداد وزن‌های بایاس (۷) وزن برای نورون‌های لایه‌های اول، دوم، سوم و خروجی، محاسبه شده است.

تعداد وزن‌ها در الگوریتم ژنتیک، براساس تعداد وزن‌ها در بهترین معماری شبکه عصبی مصنوعی (تعداد ۳ لایه پنهان با اندازه ۲ نورون) برابر ۳۱ وزن در نظر گرفته شده است. نتایج حاصل از این ترکیب نشان می‌دهد که مقدار MSE و RMSE برای داده‌های آزمایشی به ترتیب به ۰/۰۹۴ و ۰/۳۰۷ کاهش یافته است. این کاهش در خطا بیانگر آن است که الگوریتم ژنتیک توانسته با تنظیم بهینه پارامترهای شبکه عصبی، عملکرد مدل را ارتقا دهد و منجر به شناسایی دقیق‌تر مدیران پروژه شایسته شود.

از منظر کارایی، کاهش مقادیر خطا نشان می‌دهد که مدل ترکیبی قادر است با دقت بالاتری مدیران پروژه شایسته را از غیرشایسته تفکیک کند. این موضوع اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا انتخاب صحیح مدیران پروژه می‌تواند تأثیر مستقیمی بر موفقیت پروژه‌های ساخت‌وساز داشته باشد. مدل ارائه شده می‌تواند به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری هوشمند برای سازمان‌ها و شرکت‌های فعال در این حوزه مورد استفاده قرار گیرد و از انتخاب‌های غیرمستند و مبتنی بر حدس و گمان جلوگیری کند.

جدول ۸. مشخصات مربوط به الگوریتم فراابتکاری ژنتیک

نام پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد متغیرها	براساس وزن‌ها در معماری‌های مختلف شبکه عصبی مصنوعی
تعداد نسل‌ها	۱۰۰
اندازه جمعیت	۵۰
محدوده پایین وزن‌ها	-۲
محدوده بالا وزن‌ها	۲

جدول ۹. نتایج دقت حاصل از شبکه عصبی تک لایه پنهان بهینه شده با الگوریتم ژنتیک

ردیف	سایز نورون‌ها	مقدار MSE برای داده‌های آموزش	مقدار MSE برای داده‌های آزمایش	مقدار RMSE برای داده‌های آموزش	مقدار RMSE برای داده‌های آزمایش
۱	۲	۷/۹۹۹	۱۸/۶۶۵	۲/۲۸۲	۴/۳۲۰
۲	۴	۱۴/۷۲۰	۳۴/۳۴۶	۳/۸۳۶	۵/۸۶۰
۳	۸	۱/۷۵۲	۴/۰۸۹	۱/۳۲۳	۲/۰۲۲

جدول ۱۰. نتایج دقت حاصل از شبکه عصبی دو لایه پنهان بهینه شده با الگوریتم ژنتیک

ردیف	سایز نورون‌ها	مقدار MSE برای داده‌های آموزش	مقدار MSE برای داده‌های آزمایش	مقدار RMSE برای داده‌های آموزش	مقدار RMSE برای داده‌های آزمایش
۱	۲	۳/۳۲۳	۷/۷۵۳	۱/۸۲۲	۲/۷۸۴
۲	۴	۲۰/۶۶۲	۴۸/۲۱۳	۴/۵۴۵	۶/۹۴۳
۳	۸	۱/۲۹۴	۳/۱۳۷۷	۱/۱۳۷۷	۱/۷۳۷۹

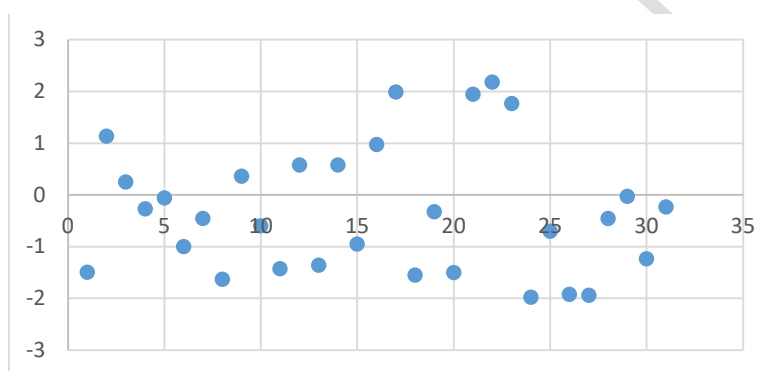
جدول ۱۱. نتایج دقت حاصل از شبکه عصبی سه لایه پنهان بهینه شده با الگوریتم ژنتیک

ردیف	سایز نورون‌ها	مقدار MSE برای داده‌های آموزش	مقدار MSE برای داده‌های آزمایش	مقدار RMSE برای داده‌های آموزش	مقدار RMSE برای داده‌های آزمایش
۱	۲	۰/۰۴۰	۰/۰۹۴	۰/۲۰۱	۰/۳۰۷
۲	۴	۱/۸۴۷	۴/۳۱۱	۱/۳۵۹	۲/۰۷۶

۳/۵۵۴	۲/۳۲۷	۱۲/۶۳۷	۵/۴۱۶	۸	۳
-------	-------	--------	-------	---	---

تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که معیارهایی نظیر توانایی رهبری، مهارت‌های تصمیم‌گیری، تجربه کاری، و توانایی مدیریت منابع، بیشترین تأثیر را در ارزیابی شایستگی مدیران پروژه دارند. این معیارها با استفاده از مدل الگوریتم ژنتیک، وزن‌دهی و اولویت‌بندی شدند که منجر به بهبود دقت ارزیابی سیستم توصیه‌گر پیشنهادی گردید.

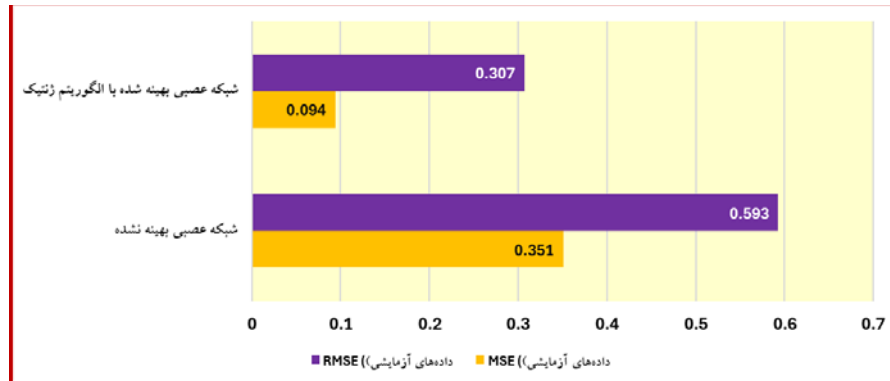
شکل ۷. وزن‌های حاصل از معماری شبکه عصبی پیش‌خور سه لایه پنهان (با تعداد ۲ نورون با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ-مارکوارت) بهینه شده با الگوریتم ژنتیک



مقایسه نتایج شبکه عصبی مصنوعی بهینه نشده و شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک

شکل (۸) عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک را نسبت به عملکرد شبکه عصبی مصنوعی بهینه نشده مقایسه می‌کند. نتایج نشان می‌دهد، سیستم توصیه‌گر پیشنهادی (مبتنی بر شبکه عصبی ۳ لایه با تعداد ۲ نورون با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ - مارکوارت بهینه شده با الگوریتم ژنتیک) (با $MSE = ۰/۰۹۴$ و $MSE = ۰/۳۰۷$ $RMSE =$ نسبت به شبکه عصبی (۳ لایه با تعداد ۲ نورون با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ - مارکوارت) بهینه نشده (با $MSE = ۰/۳۵۱$ و $RMSE = ۰/۵۹۳$) دقت بالاتری دارد.

شکل ۸. مقایسه دقت حاصل از شبکه عصبی بهینه نشده و شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک



اعتبارسنجی سیستم توصیه گر پیشنهادی

به منظور اعتبارسنجی سیستم توصیه گر پیشنهادی جهت شناسایی مدیران پروژه شایسته در پروژه‌های ساخت و ساز، میزان خطای پیش‌بینی حاصل از این سیستم، با الگوریتم‌های موجود در ادبیات پیشنهاد شده در مقاله Karki و Hadikusumo (۲۰۲۳) مقایسه می‌گردد، که نتایج حاصله در جدول (۱۲) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد، سیستم توصیه گر پیشنهادی (مبتنی بر شبکه عصبی ۳ لایه پنهان با تعداد ۲ نورون با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ - مارکوارت بهینه شده با الگوریتم ژنتیک)، نسبت به الگوریتم‌های پیشنهادی در مقاله Karki و Hadikusumo (۲۰۲۳) دقت بالاتری دارد.

مقادیر $MSE = 0/094$ و $RMSE = 0/307$ مدل شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک، نشان‌دهنده بهبود قابل توجه در دقت پیش‌بینی نسبت به روش‌های موجود در ادبیات (مانند SMO با $RMSE = 0/322$) است. این مقادیر با توجه به پیچیدگی مسئله طبقه‌بندی باینری و داده‌های بومی در محدوده قابل قبول برای کاربردهای عملی قرار دارند (Goodfellow et al., ۲۰۱۶).

جدول ۱۲. اعتبارسنجی عملکرد سیستم توصیه گر پیشنهادی و الگوریتم های موجود در ادبیات

مقدار RMSE	مرجع	عنوان روش
۰/۳۲۴۸	مقاله Karki و Hadikusumo (۲۰۲۳)	NATIVE BAYES
۰/۳۷۱۳	مقاله Karki و Hadikusumo (۲۰۲۳)	Multilayer perceptron
۰/۳۲۲	مقاله Karki و Hadikusumo (۲۰۲۳)	SMO
۰/۵۹۳	تحقیق حاضر	شبکه عصبی بهینه نشده (۳ لایه پنهان هر یک با تعداد نورو ۲ با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ - مارکوارت)
۰/۳۰۷	تحقیق حاضر	شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک (۳ لایه پنهان هر یک با تعداد ۲ نورو با الگوریتم یادگیری پس انتشار از نوع لونبرگ - مارکوارت)

بحث و نتیجه گیری

مدیریت پروژه موفق در صنعت ساخت و ساز، به عنوان یکی از صنایع پیچیده و پرریسک، نیازمند مدیرانی شایسته و کارآمد است که توانایی تصمیم گیری در شرایط پرنوسان، پیچیده و غیرقطعی و مبهم (VUCA) را داشته باشند. پژوهش حاضر با هدف شناسایی و معرفی مدیران پروژه شایسته در این حوزه، یک سیستم توصیه گر مبتنی بر رویکرد شبکه عصبی مصنوعی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک را ارائه می دهد. شبکه عصبی مصنوعی به دلیل توانایی یادگیری از داده های گذشته و استخراج الگوهای پنهان، ابزاری قدرتمند برای شناسایی و ارزیابی مدیران پروژه است. نتایج نشان داد که شبکه های عصبی قادر به پیش بینی توانمندی های مدیران پروژه با دقت بالا بر اساس معیارهای مشخص شده هستند. با این حال، الگوریتم ژنتیک نقش کلیدی در بهبود دقت پیش بینی شبکه های عصبی داشته است. این پژوهش با ارائه یک سیستم توصیه گر، می تواند گامی مؤثر در جهت ارتقای فرآیند انتخاب و ارزیابی مدیران پروژه در صنعت ساخت و ساز در نظر گرفته شود. نتایج این تحقیق می تواند به شرکت های پروژه محور کمک کند تا با استفاده از ابزارهای هوشمند و مبتنی بر داده، مدیرانی شایسته تر را

انتخاب کرده و از این طریق، علاوه بر افزایش بهره‌وری پروژه‌ها، هزینه‌های مرتبط با تصمیم‌گیری اشتباه در انتخاب مدیران را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده و مزیت رقابتی پایدار ایجاد کنند. بدین منظور نیاز است شاخص‌هایی استاندارد برای ارزیابی شایستگی مدیران پروژه تعریف و تدوین شود. این شاخص‌ها می‌توانند شامل معیارهای کمی و کیفی مانند توانایی حل مسئله، مدیریت زمان، تصمیم‌گیری استراتژیک، و تجربه پروژه‌ای باشند. استانداردسازی این معیارها امکان مقایسه بهتر مدیران را فراهم می‌کند. با این حال، این سیستم می‌تواند به صورت پویا و مبتنی بر داده‌های جدید، نتایج را به‌روزرسانی کند. علاوه بر این، سیستم توصیه‌گر پیشنهادی می‌تواند به عنوان یک ابزار تصمیم‌یار در فرآیند استخدام مدیران پروژه جدید یا ارتقای مدیران فعلی به کار گرفته شود و قادر است عملکرد گذشته مدیران را تحلیل کرده و پتانسیل آن‌ها برای موفقیت در پروژه‌های آینده را پیش‌بینی کنند. همچنین، می‌توان با بررسی تاثیر شاخص‌ها در رتبه بندی، ضعف‌ها و نیازهای آموزش مدیران پروژه شناسایی، و دوره‌های آموزشی هدفمند برای بهبود مهارت‌های آن‌ها طراحی شود. به عنوان نمونه، اگر تحلیل داده‌ها نشان دهد که بسیاری از مدیران در مدیریت ریسک ضعف دارند، برگزاری دوره‌های آموزشی در این حوزه می‌تواند موثر باشد. در پژوهش‌های آتی می‌توان سیستم توصیه‌گر پیشنهادی را برای ارزیابی و انتخاب مدیران پروژه شایسته در سایر صنایع مانند فناوری اطلاعات، انرژی، یا بهداشت و درمان نیز با در نظر گرفتن معیارهای شایستگی مرتبط شامل ویژگی‌های کیفی (مانند سبک رهبری، هوش هیجانی، و توانایی‌های ارتباطی) و ویژگی‌های کمی (مانند تعداد پروژه‌های موفق و زمان تحویل پروژه‌ها) بکار برد.

تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Roya Soltani  <https://orcid.org/0000-0002-1473-0337>

Ali Nobakhti  <https://orcid.org/0009-0000-0801-6640>

منابع

سلطانیان، بهنام، اشتیاردیان، احسان اله، عزیزی، مجتبی. (۱۴۰۲). استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین هزینه‌های ساخت پروژه‌های مسکونی در فاز امکان سنجی. مهندسی سازه و ساخت، ۱۰(۶)، ۲۰-۳۳.

<https://doi.org/10.22060/jsce.2022.340013.2803>

فرزاد، عرفان، دهقان منشادی، هادی، دشتی رحمت آبادی، محمدعلی. (۱۴۰۲). پیش‌بینی مسائل مربوط به زمان‌بندی پروژه‌های عمرانی با استفاده از شبکه عصبی LSTM (حافظه طولانی کوتاه مدت). نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۵(۹)، ۱۷۵۳-۱۷۶۴.

<https://doi.org/10.22060/ceej.2023.21383.7701>

نجفی زنگنه، سعید، شمس قارنه، ناصر، عزیزی، پرنیان، و اشراق نیای جهرمی، عبدالحمید. (۱۳۹۹). بهینه‌سازی کیفیت پروژه‌های عمرانی از طریق تئوری پایایی سیستم‌ها با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه گان کمینه بیشینه بهبودیافته. مهندسی سازه و ساخت، ۷(ویژه نامه ۱ (پیاپی ۳۰)).

<https://doi.org/10.22060/jsce.2018.126873.1036>

References

Abbasi F, Khalilzadeh M. (۲۰۲۱). The model of human resource management strategies for Iranian project-based construction organizations. *Jordan Journal of Civil Engineering*. ۲۰۲۱; ۱۵(۲).

Agostinelli, S., Cumo, F., Marzo, R., & Muzi, F. (۲۰۲۲, September). Digital construction strategy for project management optimization in a building renovation site: Machine learning and big data analysis. In *International Conference on Trends on Construction in the Post-Digital Era*, ۲۰-۳۵.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-20241-4_2

Akinyokun, O. T., Onifade, M. K., & Adegoke, M. A. (۲۰۲۴, April). An Artificial Intelligence Framework for Project Planning and Control using Decision Tree Analysis and Artificial Neural Network. In ۲۰۲۴ International Conference on Science, Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals (SEB4SDG), ۱-۱۰.

<https://doi.org/10.1109/SEB4SDG60871.2024.10630126>

- Al-Gahtani, K. S., Alsugair, A. M., Alsanabani, N. M., Alabduljabbar, A. A., & Almohsen, A. S. (۲۰۲۵). ANN prediction model of final construction cost at an early stage. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, ۲۴(۲), ۷۷۵-۷۹۹.
<https://doi.org/10.1080/134670581.2023.2294883>
- Amani, N., & Safarzadeh, K. (۲۰۲۲). Project risk management in Iranian small construction firms. *Journal of Engineering and Applied Science*, ۶۹(۱), ۷.
<https://doi.org/10.1186/s44147-021-00050-8>
- Awada, M., Srour, F. J., & Srour, I. M. (۲۰۲۱). Data-driven machine learning approach to integrate field submittals in project scheduling. *Journal of Management in Engineering*, ۳۷(۱), ۱-۱۳.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000873](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000873)
- Ayhan, M., Dikmen, I., Birgonul, M. T. (۲۰۲۱). Predicting the occurrence of construction disputes using machine learning techniques. *Journal of Construction Engineering and Management*, ۱۴۷(۴).
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002027](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002027)
- Azadeh, A., Ghaderi, S.F., Tarverdian, S., & Saberi, M. (۲۰۰۷). Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption. *Applied Mathematics and Computation*, ۱۸۶, ۱۷۳۱-۱۷۴۱.
<https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.08.093>
- Chen, X., (۲۰۲۴). Optimization Control of Construction Engineering Management Projects Based on Deep Learning Algorithms. *Asia-Pacific Conference on Software Engineering, Social Network Analysis and Intelligent Computing (SSAIC)*, New Delhi, India, ۴۸۹-۴۹۵.
<https://doi.org/10.1109/ICTEI70496.2023.00102>
- Dan, S., (۲۰۲۴). An Artificial Neural Networks with Particle Swarm Optimization using ReliefF for Construction Cost Evaluation. *International Conference on Integrated Intelligence and Communication Systems (ICIICS)*, Kalaburagi, India, ۱-۵.
<https://doi.org/10.1109/ICIICS73763.2024.10860188>
- Derakhshanalavijeh, R., & Teixeira, J. M. C. (۲۰۱۷). Cost overrun in construction projects in developing countries, Gas-Oil industry of Iran as a case study. *Journal of Civil Engineering and Management*, ۲۳(۱), ۱۲۵-۱۳۶.
<https://doi.org/10.3846/13923730.2014.992467>

- Ding, S., Su, C., & Yu, J. (۲۰۱۱). An optimizing BP neural network algorithm based on genetic algorithm. Artificial intelligence review, ۳۶(۲), ۱۵۳-۱۶۲.
<https://doi.org/10.1007/s10462-011-9208-z>
- Ding, S., Xu, X., Zhu, H., Wang, J., & Jin, F. (۲۰۱۱). Studies on optimization algorithms for some artificial neural networks based on genetic algorithm (GA). Journal of Computers, ۶(۵), ۹۳۹-۹۴۶.
<https://doi.org/10.4304/jcp.6.5.939-946>
- Dybowski, R., Gant, V., Weller, P., & Chang, R. (۱۹۹۶). Prediction of outcome in critically ill patients using artificial neural network synthesised by genetic algorithm. The Lancet, ۳۴۷(۹۰۰۹), ۱۱۴۶-۱۱۵۰.
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(96\)9069-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(96)9069-1)
- Effat, A., (۲۰۲۵), Predicting the Indirect Cost of Construction Projects in Egypt: An Artificial Neural Network Approach. American University in Cairo, Master's Thesis. AUC Knowledge Fountain.
<https://fount.aucegypt.edu/etds/۲۴۰۲>
- Fan, C., (۲۰۲۵). Predicting the Construction Quality of Projects by Using Hybrid Soft Computing Techniques. Computer Modeling in Engineering & Sciences (CMES), ۱۴۲(۲), ۱۹۹۵-۲۰۱۷.
<https://doi.org/10.32604/cmes.۲۰۲۵.۰۵۹۴۱۴>
- Fathalizadeh, A., Hosseini, M. R., Silvius, A. G., Rahimian, A., Martek, I., & Edwards, D. J. (۲۰۲۱). Barriers impeding sustainable project management: A Social Network Analysis of the Iranian construction sector. Journal of Cleaner Production, ۳۱۸, ۱۲۸۴۰۵.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.۲۰۲۱.۱۲۸۴۰۵>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (۲۰۱۶). Deep Learning. MIT Press.
<https://www.deeplearningbook.org/>
- Haykin, S. (۲۰۰۹). Neural Networks and Learning Machines (۳rd ed.). Pearson Education.
<https://dai.fmph.uniba.sk/courses/NN/haykin.neural-networks.3ed.۲۰۰۹.pdf>
- Jayaram, M.A., Gowda, B., (۲۰۲۴). Machine Learning-Based Surrogate Models for Construction Project Duration Prediction. ۱۴th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence), Noida, India, ۵۴۴-۵۴۸.
<https://doi.org/10.1109/Confluence6۰۲۲۳,۲۰۲۴,۱۰۴۶۳۴۵۸>

- Joseph, X.F., Selvaraj, G., Babu, M.A., Banu, A.S., Bhuvanesh, A., Keerthanadevi. R., (۲۰۲۴). A Robust Evolutionary Gravity Neocognitron Neural Network Model for Construction Cash Flow Prediction in Complex Project Management. IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), Chennai, India, ۱۴۰-۱۴۴.
<https://doi.org/10.1109/WIECON-ECE61449,2024,10915020>
- Karki, S., & Hadikusumo, B. (۲۰۲۳). Machine learning for the identification of competent project managers for construction projects in Nepal. Construction Innovation, ۲۳(۱), ۱-۱۸.
<https://doi.org/10.1108/CI-08-2020-0139>
- Kuo, Y. C., & Lu, S. T. (۲۰۱۳). Using fuzzy multiple criteria decision-making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. International Journal of Project Management, ۳۱(۴), ۶۰۲-۶۱۴.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.10.003>
- Leung, F.H.F., Lam, H.K., Ling, S.H., & Tam, P.K.S. (۲۰۰۳). Tuning of the structure and parameters of a neural network using an improved genetic algorithm. IEEE Transactions on Neural networks, ۱۴ (۱).
<https://doi.org/10.1109/TNN.2002.804317>
- Likert, R. (۱۹۳۲). A technique for the measurement of attitudes. Archives of Psychology, ۲۲(۱۴۰), ۱-۵۵.
<https://psycnet.apa.org/record/1933-01880-001>
- Liu, Q. (۲۰۲۵). Application of BP neural network model algorithm in safety risk identification of tunnel construction. International Journal of System Assurance Engineering and Management, ۱-۱۳.
<https://doi.org/10.1007/s13198-024-02701-4>
- Omoush, M. M. (۲۰۲۰). Assessing and prioritizing the critical success factors and delays of project management implementation: Empirical evidence at construction projects in Jordan. International Journal of Business and Management, ۱۵(۱۰), ۱۱۷.
[DOI: 10.5539/ijbm.v15n10.p117](https://doi.org/10.5539/ijbm.v15n10.p117)
- Ribeiro, A., Amaral, A., & Barros, T. (۲۰۲۱). Project Manager Competencies in the context of the Industry ۴.۰. Procedia computer science, ۱۸۱, ۸۰۳-۸۱۰.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.233>
- Sadatnya, A., Sadeghi, N., Sabzekar, S., Khanjani, M., Tak, A. N., & Taghaddos, H. (۲۰۲۳). Machine learning for construction

- crew productivity prediction using daily work reports. *Automation in construction*, ۱۵۲, ۱۰۴۸۹۱.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104891>
- Sharma, D. K., Hota, H. S., Brown, K., & Handa, R. (۲۰۲۲). Integration of genetic algorithm with artificial neural network for stock market forecasting. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, ۱۳(۲), ۸۲۸-۸۴۱.
<https://doi.org/10.1007/s13198-021-01299-0>
- Sullivan, G. M., & Artino Jr, A. R. (۲۰۱۳). Analyzing and interpreting data from Likert-type scales. *Journal of graduate medical education*, ۵(۴), ۵۴۱.
<https://doi.org/10.43۰۰/JGME-۵-۴-۱۸>
- Taniguchi, M., Haft, M., Hollmén, J., & Tresp, V. (۱۹۹۸). Fraud detection in communication networks using neural and probabilistic methods. In *Proceedings of the ۱۹۹۸ IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP'۹۸*, ۲, ۱۲۴۱-۱. <https://doi.org/10.11۰۹/ICASSP.1۹۹۸.۶۷۵۴۹۶۲۴۴>
- Uddin, S., Ong, S., & Lu, H. (۲۰۲۲). Machine learning in project analytics: a data-driven framework and case study. *Scientific reports*, ۱۲(۱), ۱۵۲۵۲.
<https://doi.org/10.1038/s41۵۹۸-022-۱۹۷۲۸-x>
- Venkatesan, D., Kannan, K., & Saravanan, R. (۲۰۰۹). A genetic algorithm-based artificial neural network model for the optimization of machining processes. *Neural Computing and Applications*, ۱۸(۲), ۱۳۵-۱۴۰.
<https://doi.org/10.10۰۷/s۰۰۵۲۱-۰۰۷-۰۱۶۶-y>

References in Persian

- Soltanian, B., Eshtehardian, E., & Azizi, M. (۲۰۲۳). Using artificial neural network (ANN) to estimate the cost of residential building project in the feasibility phase. *Journal of Structural and Construction Engineering*, ۱۰(۶), ۲۰-۳۳. (In Persian)
<https://doi.org/10.22۰۶۵/jsce.2022.34۰۰۱3,2۸.3>
- Farzad, E., Dehghan Manshadi, H. and dashti rahmatabadi, M. A. (۲۰۲۳). Predicting construction project scheduling issues using LSTM neural network (long-term short-term memory). *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, ۵۴(۹), ۱۷۵۳-۱۷۶۴. (In Persian)
<https://doi.org/10.22۰۶۰/ceej.2023.2۱3۸3,۷۷.۱>

Najafi Zanganeh, S., Shams Gharneh, N., Azizi, P., & Eshraghniaye Jahromi, A. H. (۲۰۲۰). Optimizing the quality of construction projects based on system reliability theory using improved Min-Max ant colony algorithm. *Journal of Structural and Construction Engineering*, ۱(Special Issue ۱), ۵۳-۷۳. (In Persian)
<https://doi.org/10.22065/jsce.2018.126873.1036>

پیوست ۱: شبه کد الگوریتم سیستم توصیه گر پیشنهادی (مبتنی بر شبکه عصبی بهینه شده با الگوریتم ژنتیک)

MainProcedure: Data driven recommender system based on hybrid ANN-GA

Begin

```
[X_train,Y_train,X_test,Y_test]=Prepare_Data(dataset); //subprocedure ۱
ANN_model = Initialize_ANN(); //subprocedure ۲
[Y_train_pred,Y_test_pred ]= Train_ANN(ANN_model, X_train, Y_train, X_test, Y_test); //subprocedure ۳
[ANN_GA_model,best_weights]=Optimize_ANN_with_GA(ANN_model,X_train, Y_train); //subprocedure ۴
[Y_train_pred_GA,Y_test_pred_GA]=Train_and_Test_ANN_GA(ANN_GA_model, X_train, Y_train, X_test, Y_test) //subprocedure ۵
Display_Results (Y_train_pred_GA,Y_test_pred_GA, MSE_train_GA, MSE_test_GA, RMSE_train_GA, RMSE_test_GA)
```

End.

Subprocedure ۱: Data preparation

Function Prepare_Data(dataset)

- ۱) Read dataset of n samples,
 - dataset=xlsread ('ProjectManagerData');
 - X=dataset(:,۲:۸); * $\forall$ input competency criteria*
 - Y= dataset(:,۹:۹); * output binary criterion*
 - data=[X Y];
- ۲) Randomly split dataset into training ($\forall\%$) and testing ($\exists\%$)
 - [train_Ind,val_Ind,test_Ind] = dividerand(size(data,۱),۰,۷,۰,۰,۳);


```

- Xtrain=data(train_Ind,1:Y);           //o samples
- Ytrain=data(train_Ind,end);
- Xtest=data(test_Ind,1:Y);             //Y samples
- Ytest=data(test_Ind,end);

```

Return X_train, Y_train, X_test, Y_test;

Subprocedure 1: Define ANN structure

Function Initialize_ANN()

```

1) Initialize input layer with Y neurons and output layer with 1 neuron,
2) Initialize Y hidden layers each with Y neurons,
- hiddenLayerSize = [Y Y Y];
3) Initialize weights and biases randomly,
4) Set training algorithm to Levenberg-Marquardt (LM) backpropagation,
- trainFcn = 'trainlm';
5) Set activation functions to Sigmoid for hidden layers and Linear for output
layer,
6) Define Multi-layer Perceptron network,
- ANN_model = feedforwardnet(hiddenLayerSize,trainFcn);

```

Return ANN_model;

Subprocedure 2: Train and Test ANN model

Function Train_ANN(ANN_model, X_train, Y_train, X_test, Y_test)

```

1) Train the Network with training data using Levenberg-Marquardt until
convergence
- [ANN_Trained, tr]=train (ANN_model, X_train, Y_train);
2) Predict and evaluate the predictions
- Y_train_pred = ANN_Trained (X_train);           //Training predictions
- Y_test_pred = ANN_Trained (X_test);             //Testing predictions
- Calculate MSE_train, MSE_test, RMSE_train, RMSE_test;

```

Return ANN_Trained, Y_train_pred, Y_test_pred, MSE_train, MSE_test, RMSE_train, RMSE_test;

Subprocedure ۴: Optimize ANN with GA

Function Optimize_ANN_with_GA(ANN_Trained, X_train, Y_train)

۱) Set lowerbound and upperbound for all weights

– ub=۲ , lb=-۲

۲) Set GA parameters,

– opts =**gaoptimset**('PopulationSize', ۵۰, 'Generations', ۱۰۰, 'CrossoverFraction', ۰.۸, 'MutationFcn', ۰.۱);

۳) get weights of the trained ANN model

– weights = **getwb**(ANN_ Trained);

۴) Define cost function

– cost_function = @(weights) compute_MSE(weights, ANN_Trained, X_train, Y_train);

۵) Optimize weights with GA,

[best_weights,minMSE]=**ga**(@cost_function,numel(weights),[],[],[],[],lb,ub,[],opts);
// individual with lowest MSE

۶) Set best_weights to ANN_model,

– ANN_GA_model =**setwb**(ANN_ Trained, best_weights);

Return ANN_GA_model;

Subprocedure ۵: Train and Test hybrid ANN-GA model

Function Train_and_Test_ANN_GA(ANN_GA_model, X_train, Y_train, X_test, Y_test)

۱) Train ANN_GA_model on X_train, Y_train using Levenberg-Marquardt

– [ANN_GA_trained, tr]=**train** (ANN_GA_model, X_train, Y_train);

۲) Predict and evaluate the predictions

– Y_train_pred_GA = **ANN_GA_trained**(X_train);

– Y_test_pred_GA = **ANN_GA_trained**(X_test);

– Calculate performance metrics MSE_train_GA, MSE_test_GA, RMSE_train_GA, RMSE_test_GA;

Return Y_train_pred_GA, Y_test_pred_GA, MSE_train_GA, MSE_test_GA, RMSE_train_GA, RMSE_test_GA;