Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

# Prediction of Residential Building Construction Costs in Mashhad Using Artificial Neural Networks

**Alireza Roufi[1], Seyyed Nasser Bashi Azghadi[2]***

*1- Master's student in Construction Management, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran*
*2- Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran*

## ABSTRACT

*Numerous Iranian construction projects are left unfinished for various reasons, one of the most significant being incorrect cost estimation, particularly during the initial design phase. Cost prediction is among the most critical stages of civil project planning and a necessary objective for project managers, as deviation from initial estimates leads to numerous issues and legal disputes. Furthermore, controlling costs while maintaining the specified quality is the single most critical factor for continuing civil project activities, considering the heightening competition among contractors and diminishing profit margins. Thus, cost prediction is a crucial tool for controlling cost deviations for all project stakeholders, ranging from the owners to the contractors. This study aims to extract main criteria influencing cost prediction using the Delphi method, and predict construction cost using artificial neural network for residential building of Mashhad city based on 70 projects data. The findings indicate that the best model trained using neural networks has a correlation coefficient of 0.87, demonstrating the satisfactory performance of the model. Additionally, principal component analysis demonstrates that parameters such as usable area per floor, ground floor area, built-up area, the total number of units, concrete volume used in the building, construction duration, exterior wall area, and land area are first-ranked factors, while the number of floors above ground level, total floors from the foundation, and building height from the foundation are second-ranked factors. Sensitivity analysis based on obtained results revealed that exterior wall area and the number of above-ground level floors were the most significant factors in this paper. Using this method can provide employers and contractors of construction projects with a quick and appropriate estimation for the initial cost of constructing residential projects.*

## ARTICLE INFO

**Receive Date:** 28 April 2025
**Revise Date:** 17 July 2025
**Accept Date:** 20 August 2025

**Keywords:**
*Artificial Neural Network*
*Machine Learning*
*Cost Prediction*
*Residential Building*
*project*

**All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.**

**doi:** 10.22065/jsce.2025.512961.3711

*Corresponding author: Seyyed Nsser Bashi Azghadi
Email address: bashinasser64@gmail.com

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی – پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

# پیش‌بینی هزینه‌های ساخت‌وساز ساختمان‌های مسکونی شهر مشهد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

**علیرضا رئوفی [۱] سیدناصر باشی ازغدی [۲*]**

*۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت ساخت، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران*
*۲-استادیار گروه مهندسی عمران، مهندسی و مدیریت ساخت، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران*

## چکیده

*بسیاری از پروژه‌های ساخت و ساز در ایران به علت‌های گوناگونی نیمه‌کاره رها می‌شوند که یکی از مهم‌ترین دلایل آن عدم تخمین صحیح هزینه، به خصوص در ابتدای طراحی است. پیش‌بینی هزینه یکی از مهم‌ترین مراحل طرح‌ریزی پروژه‌های عمرانی و از اهداف ضروری برای مدیران پروژه‌ها است، چرا که انحراف هزینه نسبت به مقادیر برآورد اولیه سبب به وجود آمدن مشکلات و دعاوی فراوانی می‌شود. بنابراین، پیش‌بینی هزینه یکی از ابزارهای مهم کنترل انحرافات هزینه برای تمامی ذینفعان یک پروژه، از مالک تا پیمانکار آن می‌باشد. هدف از این پژوهش، شناسایی معیارهای مهم اثرگذار بر پیش‌بینی هزینه با استفاده از روش دلفی و سپس پیش‌بینی هزینه ساختمان‌های مسکونی شهر مشهد با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی براساس اطلاعات ۷۰ پروژه است. نتایج حاکی از آن است که بهترین مدل آموزش داده شده با استفاده از شبکه عصبی دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۷ است که بیانگر توانایی مناسب این مدل در پیش بینی هزینه است. همچنین تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی نشان‌دهنده این است که پارامترهای مساحت مفید در هر طبقه، مساحت همکف، زیربنا، تعداد کل واحدها، حجم بتن به کار رفته در ساختمان، مدت زمان ساخت، مساحت دیوار خارجی و مساحت عرصه زمین، جزو عوامل با رتبه اول هستند. تعداد طبقه روی سطح زمین، تعداد کل طبقات از روی پی و ارتفاع ساختمان از پی جزو نیز عوامل با رتبه دوم در پیش‌بینی هزینه قرار گرفتند. آنالیز حساسیت با توجه به نتایج به دست آمده نشان داد که مساحت دیوار خارجی و تعداد طبقه روی سطح زمین مهمترین عوامل در پیش‌بینی هزینه بوده است. استفاده از این روش می‌تواند برای کارفرمایان و پیمانکاران پروژه‌های ساختمانی یک تخمین سریع و مناسب را برای برآورد اولیه هزینه ساخت پروژه‌های مسکونی فراهم آورد.*

**کلمات کلیدی: یادگیری ماشین، شبکه عصبی مصنوعی، پیش‌بینی هزینه، ساختمان مسکونی، پروژه.**

| سابقه مقاله: | | | | | شناسه دیجیتال: | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دریافت | بازنگری | پذیرش | انتشار آنلاین | چاپ | doi: | 10.22065/jsce.2025.512961.3711 |
| ۱۴۰۴/۰۲/۰۸ | ۱۴۰۴/۰۴/۲۶ | ۱۴۰۴/۰۵/۲۹ | ۱۴۰۴/۰۵/۲۹ | ۱۴۰۵/۰۱/۳۱ | | 10.22065/jsce.2025.512961.3711 |

**[*]نویسنده مسئول:** سیدناصر باشی ازغدی
**پست الکترونیکی:** bashinasser64@gmail.com

## ۱- مقدمه

برآوردهای قابل اعتماد هزینه و زمان یکی از مهمترین عوامل موفقیت در پروژه های ساختمانی است. کارشناسان ساخت و ساز از عدم اطمینان ، کمبود ، شرایط ناشناخته و روابط پیچیده ای که بر هزینه و مدت پروژه های ساختمانی تأثیر می گذارد ، آگاه هستند. [۱]. صنعت ساخت‌وساز، علی‌رغم رونق مستمر خود، همچنان با چالش‌های سنتی مانند ریسک‌های بالا، کیفیت پایین، هزینه و زمان زیاد مواجه است. سهامداران در صنعت به اتفاق آرا موافقند که موفقیت یک پروژه با محدودیت سه گانه زمان، هزینه و کیفیت تعیین می‌شود. با این حال به طور گسترده پذیرفته شده است که صنعت ساخت و ساز از نظر کارایی و بهره‌وری عقب مانده است. یکی از مشکلات موجود در این زمینه، تغییراتی است که بین هزینه تخمینی و واقعی پروژه‌های ساختمانی بزرگ رخ می‌دهد. ماهیت منحصربه‌فرد پروژه‌های ساختمانی، مشکل تغییرپذیری در هزینه‌های برآوردی و واقعی پروژه‌ها را ایجاد می‌کند و در نتیجه، اغلب پروژه‌های ساختمانی به طور معمول از براورد هزینه‌های خود فراتر می‌روند [۲]. هزینه احتمالاً اولین مورد درنظر گرفته شده برای پروژه های ساختمانی است. تخمین صحیح هزینه در یک پروژه ساختمانی یک عامل مهم در موفقیت آن است. با توجه به پیچیدگی صنعت ساخت و ساز و منحصر به فرد بودن هر پروژه ، بسیاری از عوامل ممکن است بر هزینه کلی پروژه تأثیر بگذارد. [۳]. لذا بدست آوردن تخمینی از هزینه ساخت در ابتدای پروژه‌ها که اطلاعات کمی وجود دارد، یکی از نکات اصلی در تکمیل پروژه در زمان و هزینه مصوب است [۴]. همچنین باید نکته را نیز در نظر داشت که هرچه یک پروژه پیشرفت بیشتری کند، به دلیل هزینه‌های بالای اصلاح، امکان کنترل هزینه پروژه کمتر می‌شود [۵]. هزینه یک ساختمان شامل موارد متعددی از جمله سیستم سازه، دیوارها، درها، پنجره‌ها، تاسیسات مکانیکی و ... است که وزن نسبی این اقلام برای پروژه‌های مختلف با توجه به نوع و کاربری ساختمان ها متفاوت است [۶].

در ایران نیز سالانه مبالغ زیادی جهت اجرای پروژه‌های ساختمانی هزینه می‌شود؛ اما غالب این طرح‌ها به دلایل گوناگونی با صرف هزینه‌های بیش از بودجه مصوب به پایان می‌رسد [۷]. از آنجا که برآورد هزینه پروژه ارتباط نزدیکی با سود آوری پروژه دارد [۸]، ارزیابی هزینه و مدت زمان، یک وظیفه حیاتی برای هزینه‌یابی و آماده‌سازی مناقصه برای هر پروژه ساخت ساختمانی قبل از آن‌ها است [۹]. در مرحله اولیه (امکان سنجی)، اطلاعات محدودی برای فرآیند برآورد هزینه در دسترس است و برای برآوردگران و مهندسان پروژه به یک کار بسیار دشوار تبدیل می‌شود. در چنین شرایطی، یک برآورد مناسب نقش مهمی در مدیریت مالی ایفا می‌کند که طراحی بودجه را در اختیار سرمایه‌گذاران قرار می‌دهد و از این رو می توان تصمیمات بهتری گرفت. همچنین به مدیرپروژه کمک می‌کند که منابع موجود و وجوه ذخیره نقدی خود را در طول کل مراحل اجرای پروژه مدیریت کند [۱۰]. پروژه‌هایی که هزینه به عنوان یکی از معیارهای اصلی در نظر گرفته می‌شود، برآورد هزینه تأثیر بسزایی بر موفقیت پروژه‌های مسکونی ساخت و ساز دارد. به عنوان مثال، ممکن است تأثیر جدی بر توانایی پیمانکار برای رقابت موفق با سایر پیمانکاران یا تأثیر مهمی بر سود پیمانکار داشته باشد [۱۱]. هنگامی‌که زمان و هزینه پروژه از ابتدای کار پیش‌بینی شود، پروژه در یک چارچوب معین و با هزینه و زمانی از قبل تعیین شده اجرا می‌گردد. علت اصلی نیاز به پیش‌بینی این است که مدیر بتواند به موقع هشدار دهد که لازم است عملیات اصلاحی یا پیشگیرانه در کار انجام گیرد [۱۲]. بنابراین ، با توجه به مشکلات پروژه های ساختمانی در دنیای امروز ، مدیران این پروژه ها باید از تکنیک ها و مدل هایی برای تخمین هزینه ها برای کنترل بهتر پروژه های خود استفاده کنند. که استفاده از تکنیک‌های یادگیری‌ماشین مانند روش‌های شبکه‌عصبی‌مصنوعی[1]، ماشین‌بردار پشتیبان[2]، الگوریتم فازی[3]، استدلال‌مبتنی بر مورد[4] و .... نمونه‌هایی از آن است. بدین منظور ضروری است که پس از شناسایی انواع استفاده از روش‌های یادگیری ماشین نسبت به پیش‌بینی هزینه با این روش‌ها اقدام شود تا از هزینه‌های اضافی تحمیلی جلوگیری شود و پروژه در زمان و هزینه پیش‌بینی شده خود با کیفیت مناسب به اتمام برسد.

[1] Artificial neural network
[2] Support vector machine
[3] fuzzy
[4] Cade based reasoning

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

بلادی و ساجدی(۱۳۹۶)، به ارائه مدلی برای پیش‌بینی هزینه ساخت ساختمان‌های بتن آرمه با استفاده از روش شبکه عصبی و درخت تصمیم با اطلاعات ۴۰ پروژه ساختمانی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که روش شبکه‌عصبی خطای میانگین مجذور مربعات کمتری به نسبت به درخت تصمیم دارد[۱۳].

سلطانیان و همکاران (۱۴۰۲)، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یکی از ابزارهای جدید حوزه هوش مصنوعی، مدلی جهت پیش بینی هزینه ساخت در مرحله امکان‌سنجی طراحی نمود. برای این منظور ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای، مهم‌ترین عوامل موثر بر هزینه ساخت و سپس در مصاحبه با کارشناسان گروه سرمایه‌گذاری مسکن، عواملی که بیشترین تأثیر را بر هزینه ساخت که اطلاعات آن‌ها در مرحله امکان‌سنجی در دسترس باشد، شناسایی شدند. سپس این اطلاعات از پروژه‌های اجرا شده توسط شرکت‌های زیرمجموعه گروه سرمایه‌گذاری جمع‌آوری گردید. در مرحله بعد به منظور ساخت مدل تخمین هزینه از برنامه متلب استفاده شده، که این مدل بر اساس نتایج به دست آمده دارای دقتی برابر با ۹۴.۵درصد بود. مهمترین متغیرهای در نظر گرفته شده در این تحقیق عبارت است از نوع سازه، تعداد طبقات، مساحت دیوار خارجی، زیر بنا، نوع نما، مساحت نما، نوع سیستم سرمایش وگرمایش و تعداد آسانسور[۱۴].

عثمان الشمرانی[1] (۲۰۱۷)، یک مدل رگرسیون چندگانه برای برآورد هزینه اولیه مفهومی ساختمان‌های کالج معمولی و پایدار در آمریکای شمالی را توسعه داد که می‌توانست هزینه اولیه هر فوت مربع را با دو نوع سازه ساخته شده از فولاد و بتن پیش‌بینی کند که شش متغیر نوع سازه، تعداد طبقه، مساحت کف، ارتفاع کف، سال ساخت و نوع پوشش را به عنوان ورودی‌های مدل خود برگزید[۱۵].

چاندان‌شیو[2] و کامبکار (۲۰۱۹)، با استفاده از شبکه عصبی و مجموعه داده‌ای از ۷۸ پروژه ساخت‌وساز در هندوستان، تأثیرگذارترین پارامترهای طراحی بر هزینه سازه ساختمان‌ها را به‌عنوان ورودی شناسایی و هزینه کل اسکلت سازه را به‌عنوان خروجی شبکه عصبی در نظر گرفتند. پارامترهای مؤثر در این تحقیق عبارت‌اند از: مساحت طبقه همکف، مساحت طبقه معمولی، تعداد طبقات، مساحت پارکینگ، حجم دیوار خارجی، حجم دیوار آسانسور، حجم گچ خارجی، مساحت کف‌پوش، تعداد ستون‌ها و نوع فونداسیون [۱۰].

الطوال[3] و همکاران(۲۰۲۰) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به برآورد هزینه پروژه‌های ساختمانی در مراحل اولیه طراحی در اردن پرداخت. محققان داده‌های ۱۰۴ پروژه را جمع آوردی کردند. متغیرهای کلیدی شامل مشخصات فیزیکی پروژه، سیستم‌های ساختمانی، و ویژگی‌های طراحی بودند. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی با ضریب همبستگی ۰.۹۸ قادر به پیش‌بینی هزینه است. [۱۶].

انیبیر [4]و همکاران (۲۰۲۱)، کاربرد تکنیک‌های یادگیری ماشین را در توسعه سیستماتیک یک مدل برای برآورد هزینه اولیه پروژه‌های ساختمان بلند ارائه کردند. تکنیک‌های در نظر گرفته شده شامل تحلیل رگرسیون چندخط (MLRA)، نزدیکترین همسایگان (KNN[5])، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین‌های بردار پشتیبانی (SVM) و سیستم‌های چند طبقه‌بندی‌کننده بود. دوازده مدل با استفاده از معیارهای عملکرد استاندارد توسعه و مقایسه شدند. نتایج نشان داد که بهترین مدل بر اساس یک سیستم طبقه‌بندی چندگانه با استفاده از KNN به‌عنوان طبقه‌بندی‌کننده ترکیبی، با ضریب همبستگی ۰/۸۱، ریشه میانگین مربعات خطا ۶/۰۹ و میانگین درصد خطای مطلق ۸۰/۹۵٪ است. متغیرهای در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارت‌اند از: تعداد آسانسور، زیربنا (مساحت ساختمان)، مساحت طبقه، ارتفاع ساختمان، ارتفاع طبقه، تعداد زیرزمین، تعداد فضای پارکینگ [۲].

[1] Othman Subhi Alshamrani
[2] Chandanshive & Kambekar
[3] Al-Tawal
[4] Anibier
[5] K-Nearest-Neighbors

اوجونگ[1] و همکاران (۲۰۲۲)، به بررسی جزئیات ساختمان بر روی هزینه و مدت پروژه ساخت و ساز با استفاده از سیستم عصبی مصنوعی پرداختند و مهم‌ترین متغیرهایی که در نظر گرفتند، عبارت بود از: مساحت ساختمان، نوع فونداسیون، تعداد طبقات، تعداد فعالیت‌ها، پیمانکاران و کلاس مشتریان. در این تحقیق از شبکه انتشار برگشتی پیش‌خور در توسعه مدلسازی هوشمند در متلب و معیارهای عملکرد میانگین مربعات خطا fرای دستیابی به معماری شبکه بهینه‌شده استفاده شد و نتایج محاسبه شده، همبستگی خوبی را بین مدل و نتایج واقعی نشان داد [۱۷].

وانگ[2] و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی مبتنی بر داده‌های ۱۲۸ پروژه ساختمانی در چین با تمرکز بر متغیرهایی مانند تعداد طبقات،مساحت کل ساختمان،ارتفاع ساختمان، نوع فونداسیون،نوع سازه،نوع نما و ارتفاع طبقه یک مدل ترکیبی نوآورانه از تحلیل رگرسیون و شبکه عصبی مصنوعی(RA-ANN) توسعه دادند. نتایج نشان داد این مدل ترکیبی با ضریب تعیین $R^2=0.99$ دقتی بالاتر از روش‌های مرسوم پیش‌بینی هزینه دارد[۱۸].

لاتونگ و ویسنگ[3] (۲۰۲۴) به کاربرد مدل‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی هزینه ساخت ساختمان‌های مسکونی پرداختند، در این مطالعه از پنج مدل یادگیری ماشین شامل درخت تصمیم،ماشین بردار پشتیبان،شبکه عصبی مصنوعی، جنگل تصادفی و گرادیان بوستینگ استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی با $R^2$ برابر ۰.۸۹۱ از نظر دقت از سایر مدل‌ها بهتر عمل کرده است.متغیرهای در نظرگفته شده در این تحقیق عبارتند از زیربنا، تعداد طبقات، نوع سازه، نوع فونداسیون و سال ساخت. [۱۹]. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که پیش‌بینی هزینه ساخت با استفاده از روشهای یادگیری ماشین در شهر مشهد تاکنون مورد توجه قرار نگرفته است که این تحقیق از این جنبه دارای نوآوری است.

## ۳. مواد و روش‌ها

برآورد دقیق هزینه در مراحل اولیه پروژه‌های عمرانی، به‌ویژه در شرایطی که اطلاعات محدودی در دسترس است، یکی از عوامل کلیدی موفقیت این نوع پروژه‌ها به‌شمار می‌رود. از سال ۱۹۹۰ میلادی، شبکه‌های عصبی به‌عنوان یکی از شاخه‌های هوش مصنوعی، در پیش‌بینی هزینه‌های مرتبط با پروژه‌های عمرانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مزیت اصلی این روش در آن است که نیازی به تعریف یک رابطه ریاضی مشخص میان متغیرهای ورودی و هزینه وجود ندارد، که همین امر موجب سهولت و دقت بیشتر در پیش‌بینی می‌شود. در این روش، شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر هزینه از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از شیوه‌های معتبر برای تعیین این متغیرها، بهره‌گیری از نظر خبرگان و ابزارهایی نظیر پرسشنامه می‌باشد[۴].

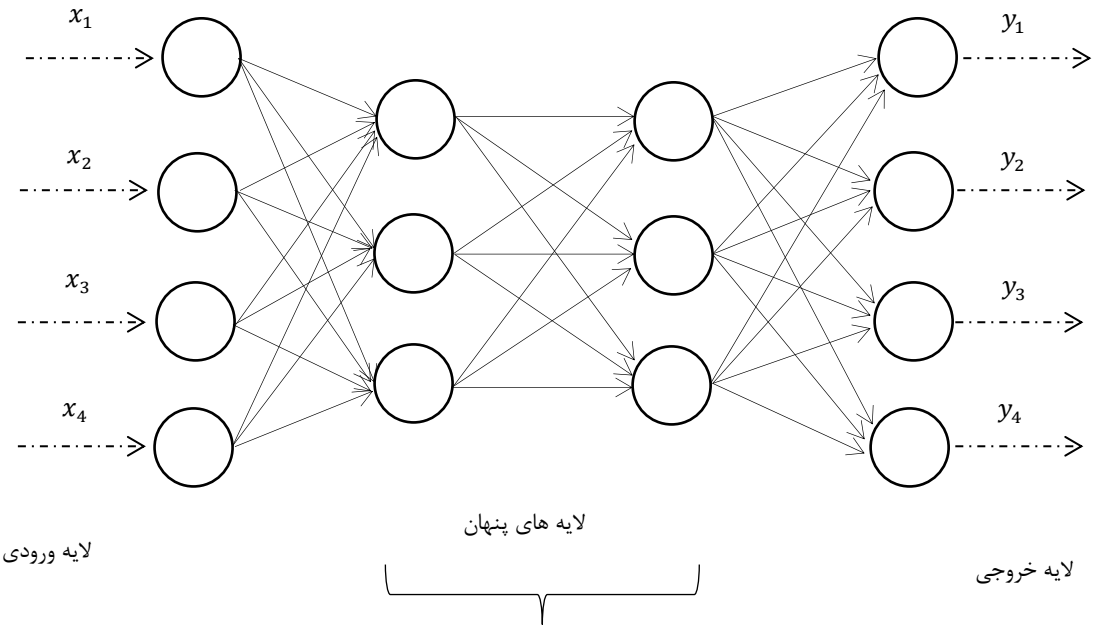
### ۳-۱. شناسایی عوامل موثر بر پیش‌بینی هزینه

در گام نخست و به‌منظور شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر پیش‌بینی هزینه، پس از مرور پیشینه تحقیق و گردآوری فهرستی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر هزینه ساخت، پرسش‌نامه‌ای طراحی شد و در اختیار متخصصان فعال در صنعت ساختمان قرار گرفت تا میزان اهمیت هر یک از متغیرها را در شهر مشهد ارزیابی نمایند. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی پاسخ‌دهندگان در جدول ۱ و پارامترهای مؤثر بر هزینه ساخت در شهر مشهد در جدول ۲ در بخش نتایج ارائه شده‌اند. در ادامه، به‌منظور تحلیل دقیق‌تر، داده‌های میدانی مربوط به این پارامترها گردآوری شد. بدین منظور اطلاعات مربوط به ۷۰ پروژه ساختمانی جمع‌آوری گردید که نتایج حاصل از آن‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

[1] Ujong
[2] wang
[3] Lathong&Wisaeng

## ۳-۲. شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی با الهام از فرآیندهای عملکردی مغز انسان توسعه یافته‌اند. این شبکه‌ها از مجموعه‌ای از گره‌ها (نورون‌های مصنوعی) تشکیل شده‌اند که در قالب لایه‌هایی به‌صورت متصل به یکدیگر سازمان‌دهی می‌شوند و ساختار کلی شبکه را شکل می‌دهند. به‌طور کلی، سه نوع لایه در این شبکه‌ها وجود دارد: لایه ورودی، لایه‌های پنهان و لایه خروجی. چنانچه ساختار شبکه تنها شامل لایه‌های ورودی و خروجی باشد، به آن شبکه عصبی تک‌لایه یا کم‌عمق گفته می‌شود. در شبکه‌های عصبی مصنوعی، هر گره در لایه ورودی به تمامی گره‌های موجود در لایه پنهان متصل است. فرآیند آموزش شبکه شامل دو مرحله اساسی به نام‌های «انتشار پیش‌خور» و «پس‌انتشار» می‌باشد. آموزش با مرحله انتشار پیش‌خور آغاز می‌گردد؛ در این مرحله، داده‌های آموزشی شامل ورودی‌ها و خروجی‌های واقعی به شبکه وارد می‌شوند. شبکه بر اساس مقادیر ورودی و وزن‌های اولیه که به‌صورت تصادفی مقداردهی شده‌اند، خروجی‌هایی تولید می‌کند. این خروجی‌ها با مقادیر واقعی مقایسه شده و میزان خطا محاسبه می‌شود. در ادامه، مرحله پس‌انتشار با هدف به‌روزرسانی وزن‌ها متناسب با سهم هر گره در میزان خطا انجام می‌پذیرد، به‌طوری‌که وزن‌ها به‌گونه‌ای تنظیم می‌شوند تا خطای خروجی کاهش یابد. این چرخه آموزش برای تمام نمونه‌های داده تکرار می‌شود تا در نهایت شبکه با یادگیری از مثال‌ها، به دقت بالاتری در پیش‌بینی دست یابد [۲۰]. شبکه عصبی یک سیستم کامپیوتری است که فرآیند یادگیری مغز انسان را شبیه‌سازی می‌کند و در صنایع گوناگون، از جمله صنعت ساخت‌وساز، کاربردهای گسترده‌ای یافته است. استفاده از شبکه‌های عصبی در حوزه ساخت‌وساز و توانایی آن‌ها در افزایش دقت برآورد هزینه، پیش‌تر مورد مطالعه قرار گرفته و یافته‌های بسیاری از پژوهش‌ها، عملکرد دقیق‌تر آن را نسبت به مدل‌های رگرسیونی تأیید کرده‌اند [۴]. شکل ۱ نمایی از یک مدل شبکه عصبی شامل نورون‌ها، ورودی‌ها، خروجی‌ها و لایه‌های پنهان را نشان می‌دهد. یکی از مزیت‌های قابل توجه این روش، توانایی آن در مدل‌سازی توابع غیرخطی پیچیده است؛ افزون بر آن، شبکه‌های عصبی محدودیتی در تعداد ویژگی‌های ورودی ندارند [۲۱].




**شکل۱: آرایش شبکه عصبی مصنوعی [۲۲].**

### ۳-۳. معیارهای ارزیابی مدل

ضریب همبستگی $R^2$ یکی از معیارهای متداول برای ارزیابی دقت مدل‌های پیش‌بینی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است. این ضریب به‌عنوان معیاری معتبر و قابل اعتماد برای ارزیابی عملکرد شبکه‌ها به‌کار می‌رود؛ اما، به‌تنهایی کافی نیست. ضریب همبستگی مقداری بین صفر و یک دارد، به‌طوری‌که هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، دقت مدل بیشتر است و هر چه به صفر نزدیک‌تر شود، دقت مدل کاهش می‌یابد. همچنین، خطای میانگین مربعات (MSE[1]) نیز مقداری بین صفر و یک است و هر چه کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده کم‌تر بودن فاصله هزینه واقعی با هزینه پیش‌بینی شده است [۱۲]. ریشه میانگین مربعات[2] و ضریب همبستگی از طریق روابط (۱) و (۲) قابل محاسبه است که در این روابط $X_i$ و Yi به ترتیب داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین داده‌ها در جامعه آماری و n تعداد نمونه‌های ارزیابی شده هستند [۲۳].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - X_i)^2} \quad (۱)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=}^{n}(X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (۲)$$

## ۴. نتایج

در گام نخست این پژوهش، مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر هزینه ساخت‌وساز که از مطالعات پیشین استخراج شده بود، در قالب پرسشنامه‌ای به ۳۶ نفر از خبرگان حوزه ساختمان ارائه شد. اطلاعات مربوط به مشخصات این افراد در جدول ۱ آورده شده است. بیشتر شرکت‌کنندگان در این بررسی، در محدوده سنی ۳۰ تا ۳۹ سال قرار داشتند، دارای ۱۰ سال سابقه کاری، مدرک تحصیلی کارشناسی‌ارشد و سطح سازمانی کارشناس بودند. نتایج حاصل از تحلیل داده‌های این بررسی پس از طی دو مرحله دلفی، در جدول ۲ نمایش داده شده است. مطابق این جدول، تمامی پارامترهایی که امتیازی بالاتر از ۳ از مجموع ۵ امتیاز ممکن کسب کرده‌اند، به‌عنوان عوامل نهایی مؤثر بر هزینه ساخت تأیید شده‌اند.

**جدول۱ : مشخصات شرکت‌کنندگان در دلفی**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| سن | ۲۹-۲۰ | ۳۹-۳۰ | ۴۹-۴۰ | ۵۹-۵۰ | +۶۰ |
| | ۷ | ۲۱ | ۵ | ۲ | ۱ |
| سابقه کار | ۱۰-۰ | ۱۵-۱۱ | ۲۰-۱۶ | ۲۵-۲۱ | +۲۵ |
| | ۱۶ | ۱۱ | ۶ | ۲ | ۱ |
| تحصیلات | دیپلم | فوق‌دیپلم | لیسانس | فوق‌لیسانس | دکترا |
| | - | - | ۱۳ | ۱۶ | ۷ |
| سطح سازمانی | مدیر عالی | مدیر | سرپرست | کارشناس | سایر |
| | ۲ | ۹ | ۱۰ | ۱۵ | - |

[1] Mean Squared Error
[2] Root Mean Squared Error

**جدول۲ : پارامترهای موثر بر هزینه ساخت و ساز از دیدگاه خبرگان**

| معیارها | میانگین | انحراف معیار | مجموع امتیاز بیشتر از سه | وضعیت تأیید |
|---|---|---|---|---|
| تعداد کل طبقات از روی پی | ۴/۴ | ۰/۲۵ | ۱۰۰ | تأیید |
| زیربنا (مساحت ساختمان) | ۳/۸ | ۱/۲۸ | ۸۰ | تأیید |
| نوع پی | ۳/۲ | ۱/۱۹ | ۷۰ | تأیید |
| تعداد طبقه روی سطح زمین | ۴ | ۰/۸۸ | ۹۰ | تأیید |
| ارتفاع ساختمان از پی | ۳/۷ | ۰/۷۷ | ۹۰ | تأیید |
| مساحت مفید هر طبقه | ۳/۴ | ۱/۱۵ | ۹۰ | تأیید |
| مساحت همکف | ۳ | ۰/۵۲ | ۶۰ | تأیید |
| نوع سازه | ۴/۳ | ۰/۴۵ | ۱۰۰ | تأیید |
| تعداد کل واحد | ۳/۱ | ۱/۱۱ | ۶۰ | تأیید |
| مساحت زمین | ۳/۷ | ۰/۹۸ | ۷۰ | تأیید |
| مدت‌زمان ساخت | ۴ | ۲/۵ | ۸۰ | تأیید |
| تعداد آسانسور | ۳ | ۱/۸۷ | ۵۰ | تأیید |
| موقعیت جغرافیایی | ۳ | ۳ | ۵۰ | تأیید |
| سال ساخت | ۳ | ۱/۹۵ | ۵۰ | تأیید |
| نوع پنجره به‌کاررفته | ۳ | ۰/۷۵ | ۶۰ | تأیید |
| مساحت دیوار خارجی | ۳ | ۰/۴۸ | ۵۰ | تأیید |
| نوع تهویه هوا | ۳ | ۱/۲۵ | ۹۰ | تأیید |
| حجم بتن | ۳ | ۱/۲۱ | ۶۰ | تأیید |
| نوع تیپ خاک | ۴ | ۰/۵ | ۱۰۰ | تأیید |
| نوع نما | ۳/۹ | ۱/۴۳ | ۸۰ | تأیید |

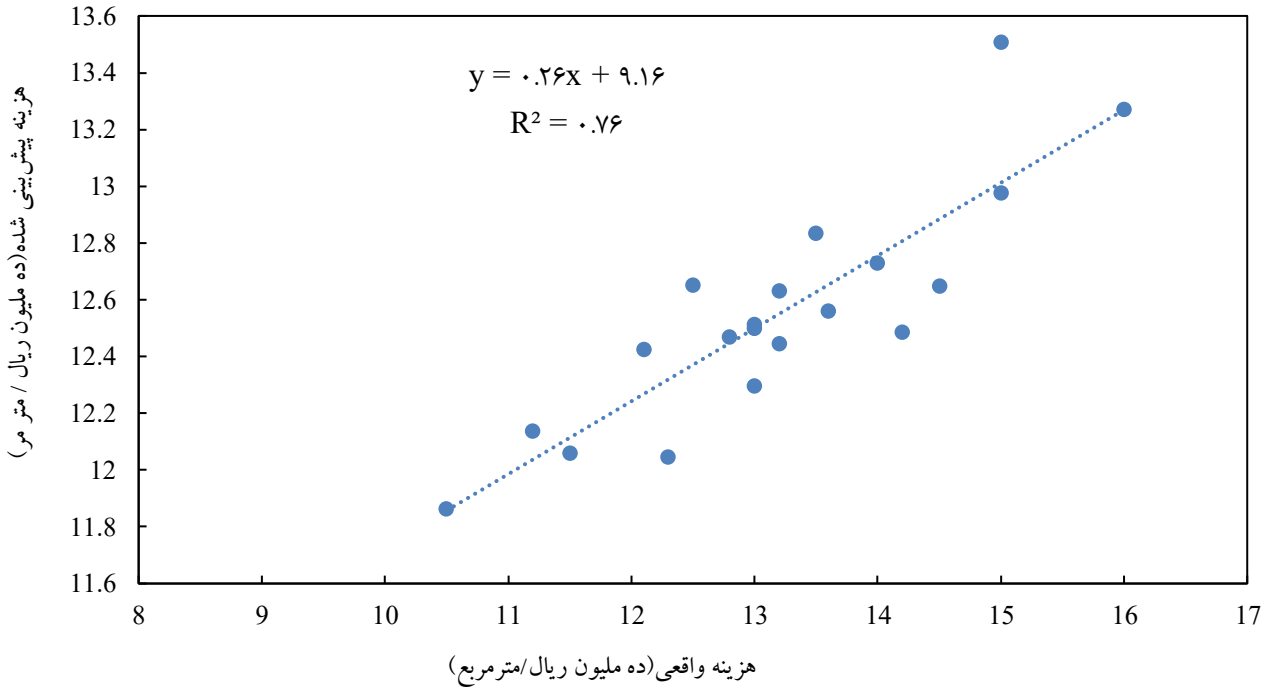
در گام بعدی پژوهش، به منظور جمع‌آوری داده‌های میدانی مرتبط با عوامل تأثیرگذار بر هزینه، پارامترهای ارائه‌شده در جدول ۲ در اختیار متخصصان صنعت ساختمان در شهر مشهد قرار گرفت. این افراد، اطلاعات مربوط به جدیدترین پروژه‌های ساختمانی خود را ارائه دادند که نتایج آن‌ها در جدول ۳ نمایش داده شده است. این داده‌ها که از ۷۰ پروژه ساختمانی گردآوری شده‌اند، به‌منظور آموزش مدل شبکه عصبی مورد استفاده قرار گرفتند. با توجه به همسان بودن مقادیر برخی متغیرها از جمله نوع سازه، سال ساخت، موقعیت جغرافیایی، تیپ خاک، تعداد آسانسور، نوع پنجره، سیستم تهویه، نوع پی و نوع نما در تمامی پرسشنامه‌ها، این عوامل از مجموعه نهایی متغیرها حذف شدند. در ادامه، داده‌های مربوط به این ۷۰ پروژه در محیط نرم‌افزار MATLAB با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) مدل‌سازی شدند. در این مرحله، اطلاعات ۵۰ پروژه جهت آموزش شبکه و داده‌های ۲۰ پروژه دیگر برای اعتبارسنجی مدل اختصاص یافت. تنظیمات انجام شده در نرم‌افزار شامل استفاده از ۴ نورون و خروجی‌گیری در قالب یک تا چهار لایه بوده است. در بررسی حالت‌های مختلف شبکه عصبی از روش نرمال‌سازی در نرم افزار متلب براساس MapMinMax و Mapstd استفاده شده است. از میان ۱۴۵۶ ترکیب خروجی، نتایجی که بر اساس شاخص‌های آماری ضریب همبستگی ($R^2$) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) بهترین عملکرد را داشتند، انتخاب شدند. تحلیل‌ها در محیط MATLAB نسخه ۲۰۱۸ b انجام شده و نتایج حاصل از مدل‌های دو و سه لایه در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. در نهایت، مدل سه‌لایه بهترین عملکرد را نشان داد که با ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۷ و مقدار RMSE معادل ۰/۹۸ میلیون ریال همراه بود. شبکه عصبی بهینه شامل سه لایه پنهان، استانداردسازی براساس mapstd، روش آموزش trainlm و روش یادگیری

learnwh است. همبستگی بدست آمده در پیش‌بینی هزینه در این پژوهش مقایسه با تحقیق لو[1] و همکاران (۲۰۰۶) با مقدار ۰/۶۶ و تحقیق جعفرزاده و همکاران (۲۰۱۴) با مقدار ۰/۷۳ حاکی از دقت قابل قبول نتایج بدست آمده دارد [۲۴و۲۵].

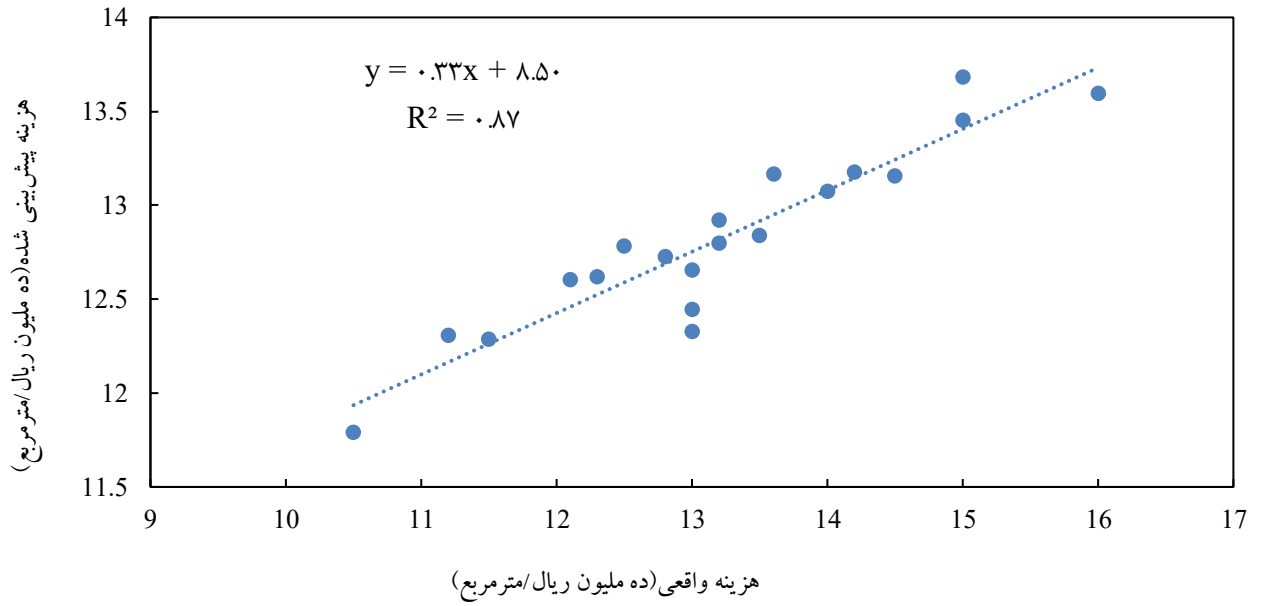
**جدول۳: نتایج بدست آمده از پرسشنامه در ۷۰ پروژه ساختمانی**

| معیارها | واحد | کمترین | بیشترین | میانگین |
|---|---|---|---|---|
| نوع سازه | - | | تماماً فولادی | |
| تعداد کل طبقات از روی پی | عدد | ۴ | ۱۲ | ۶ |
| تعداد طبقه روی سطح زمین | عدد | ۴ | ۱۰ | ۶ |
| تعداد کل واحدها | عدد | ۳ | ۵۴ | ۹.۲ |
| ارتفاع ساختمان از پی | متر | ۱۳ | ۳۹ | ۲۱/۶ |
| زیربنا (مساحت ساختمان) | متر مربع | ۳۷۰ | ۷۰۰۰ | ۱۶۹۰ |
| مساحت مفید هر طبقه | متر مربع | ۸۵ | ۶۹۰ | ۲۰۵ |
| مساحت همکف | متر مربع | ۸۵ | ۸۰۰ | ۲۲۱ |
| مساحت عرصه زمین | متر مربع | ۱۲۰ | ۷۰۰۰ | ۴۴۶ |
| مساحت دیوار خارجی | متر مربع | ۲۸۰ | ۲۵۰۰ | ۱۰۴۲ |
| حجم بتن | متر مکعب | ۱۰۰ | ۳۱۰۰ | ۴۷۰ |
| مدت زمان ساخت | ماه | ۱۰ | ۴۸ | ۱۷ |
| سال ساخت | سال | | ۱۴۰۳ | |
| موقعیت جغرافیایی | منطقه شهری | | مناطق ۱۰ و ۱۲ | |
| نوع تیپ خاک | - | | تیپ دو | |
| تعداد آسانسور | عدد | | ۱ | |
| نوع پنجره | - | | UPVC | |
| نوع تهویه هوا | - | | اسپلیت و پکیج | |
| نوع پی | - | | نواری | |
| نوع نما | - | | تمام سنگ | |
| هزینه ساخت بنا (شامل هزینه خرید زمین و اخذ مجوزات نمی‌باشد) | متر مربع میلیون ریال | ۶۰ | ۲۰۰ | ۱۲۸ |

[1] Lowe




شکل۲ : نتایج شبکه عصبی پرسپترون دو لایه برای پیش‌بینی هزینه




شکل۳ : نتایج شبکه عصبی پرسپترون سه لایه برای پیش‌بینی هزینه

در ادامه به آنالیز تحلیل عامل اکتشافی اقدام گردید. هر چه مقدار ویژه‌ی یک عامل بزرگتر باشد، آن عامل واریانس بیشتری را تبیین می‌کند. عوامل نهفته در این داده‌ها، با روش تحلیل مولفه‌های اصلی و چرخش واریماکس استخراج گردید که طبق آن دو عامل اصلی با توجه به اینکه مقادیر ویژه بالاتر از مقدار ۱ داشتند، به عنوان مولفه‌های اصلی معرفی شدند که در جدول ۴ قابل مشاهده است. سایر مولفه‌ها کمتر از یک بودند و جز عوامل اصلی قرار نخواهند گرفت که بر اساس این دسته‌بندی متغیرهای مساحت مفید در هر طبقه، مساحت همکف، زیربنا، تعداد کل واحدها، حجم بتن به کار رفته در ساختمان، مدت زمان ساخت، مساحت دیوار خارجی، مساحت عرصه زمین، مربوط به عامل اول و تعداد طبقه روی سطح زمین، تعداد کل طبقات از روی پی و ارتفاع ساختمان از پی مربوط به عامل دوم می‌باشند که در جدول ۵ قابل مشاهده است.

**جدول۴ : واریانس داده‌ها**

| مولفه‌ها | مقادیر ویژه اولیه | | | مجموع استخراج بارهای مربعی | | | مجموع چرخش بارهای مربعی | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | مجموع | واریانس | تجمعی | مجموع | واریانس | تجمعی | مجموع | واریانس | تجمعی |
| ۱ | ۸/۲۱ | ۷۴/۶۳۶ | ۷۴/۶۳۶ | ۸/۲۱۰ | ۷۴/۶۳۶ | ۷۴/۶۳۶ | ۵/۷۶۱ | ۵۲/۳۷۳ | ۵۲/۳۷۳ |
| ۲ | ۱/۱۲۸ | ۱۰/۲۵۳ | ۸۴/۸۸۹ | ۱/۱۲۸ | ۱۰/۲۵۳ | ۸۴/۸۸۹ | ۳/۵۷۷ | ۳۲/۵۱۶ | ۸۴/۸۸۹ |
| ۳ | ۰/۵۸۰ | ۵/۲۷۰ | ۹۰/۱۵۹ | | | | | | |
| ۴ | ۰/۴۰۶ | ۳/۶۸۷ | ۹۳/۸۴۶ | | | | | | |
| ۵ | ۰/۲۹۶ | ۲/۶۹۲ | ۹۶/۵۳۸ | | | | | | |
| ۶ | ۰/۱۴۴ | ۱/۳۱۱ | ۹۷/۸۴۹ | | | | | | |
| ۷ | ۰/۰۸۶ | ۰/۰۷۷۸ | ۹۸/۶۲۸ | | | | | | |
| ۸ | ۰/۰۷۷ | ۰/۰۷۰۳ | ۹۹/۳۳۰ | | | | | | |
| ۹ | ۰/۰۲۹ | ۰/۲۶۶ | ۹۹/۵۹۶ | | | | | | |
| ۱۰ | ۰/۰۲۶ | ۰/۲۴۱ | ۹۹/۸۳۷ | | | | | | |
| ۱۱ | ۰/۰۱۸ | ۰/۱۶۳ | ۱۰۰/۰۰۰ | | | | | | |

**جدول۵ : ماتریس اجزای چرخشی**

| مولفه | عامل اول | عامل دوم |
|---|---|---|
| طبقه هر مفید مساحت | ۰/۹۱۴ | ۰/۳۳۹ |
| همکف مساحت | ۰/۹۰۲ | ۰/۳۱۲ |
| زیر بنا (مساحت ساختمان) | ۰/۸۷۷ | ۰/۴۰۴ |
| واحدها کل تعداد | ۰/۸۶۵ | ۰/۳۷۷ |
| بتن حجم | ۰/۸۴۰ | |
| ساخت زمان مدت | ۰/۷۸۲ | ۰/۳۶۷ |

| | | |
|---|---|---|
| دیوار خارجی مساحت | ۰/۶۳۶ | ۰/۵۹۹ |
| زمین عرصه مساحت | ۰/۶۰۴ | ۰/۴۱۸ |
| زمین سطح روی طبقه تعداد | | ۰/۹۶۶ |
| پی روی از طبقات کل تعداد | ۰/۴۴۸ | ۰/۸۷۲ |
| پی از ساختمان ارتفاع | ۰/۵۲۶ | ۰/۸۰۵ |

در ادامه اقدام به پیش بینی هزینه با عامل اول و دوم اقدام گردید که نتایج آن مطابق جدول ۶ اســـت. مقایســـه نتایج پیش‌بینی مدل بر اســاس تاثیر عامل‌های اول و دوم با حالت تاثیر تمامی معیارها نشـان‌دهنده این اسـت که همچنان جهت پیش‌بینی هزینه پروژه‌های سـاختمانی اسـتفاده از تمامی متغیرهای مورد اسـتفاده در این تحقبق نسـبت به آنالیز pca مقادیر R2 بالاتر و RMSE پایین‌تری را گزارش کرده است. علاوه براین، از شـبکه عصـبی آبشـاری دولایه به منظور مقایسـه با نتایج شـبکه عصـبی مصـنوعی اسـتفاده گردید که مقدار ضـریب همبستگی برابر با ۰.۷۲ و مقدار RMSE برابر با ۱.۲۱ میلیون ریال بدست آمد.

**جدول۶ : نتایج ارزیابی استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی**

| روش مورد استفاده | $R^2$ | RMSE (میلیون ریال) |
|---|---|---|
| سه لایه پرسپترون بدون در نظر گرفتن عامل اول و دوم | ۰/۸۷ | ۰/۹۸ |
| سه لایه پرسپترون با درنظر گرفتن عامل اول | ۰/۶۲ | ۱/۹۷ |
| سه لایه پرسپترون با درنظر گرفتن عامل دوم | ۰/۵۱ | ۱/۶۳ |

پس از تعیین مدل سه‌لایه‌ی پرسپترون به عنوان دقیق‌ترین و مناسب‌ترین مدل پیش‌بینی، از تحلیل حساسیت برای ارزیابی میزان تأثیر هر یک از پارامترها بر پیش‌بینی هزینه سـاخت‌وسـاز اسـتفاده شـد. در این روش، با حذف تدریجی هر پارامتر از مدل نهایی و اجرای مجدد شبکه، میزان تغییر در ضریب همبستگی $R^2$ بررسی گردید تا اهمیت هر پارامتر مشخص شود. نتایج حاصل در جدول ۷ ارائه شده‌اند. بر اساس این تحلیل، مساحت دیوار خارجی و تعداد طبقات روی سطح زمین بیشـترین تأثیر را در برآورد هزینه داشـته‌اند؛ چرا که بیشـترین مقادیر شاخص حساسیت را به ترتیب با مقادیر ۰/۳۶ و ۰/۳۵ به خود اختصاص داده‌اند. در این جدول، نماد $X_1$ نشان‌دهنده مقدار $R^2$ پس از حذف هر پارامتر، Xb نمایانگر $R^2$ مدل مبنا (خروجی نهایی سه‌لایه پرسپترون) و SI بیانگر مقدار شاخص حساسیت هر پارامتر است.

**جدول۷ : نتایج بدست آمده از آنالیز حساسیت**

| پارامتر حذف شده | X1 | Xb | $SI = \frac{X_b - X_1}{X_b}$ |
|---|---|---|---|
| تعداد کل طبقات از روی پی | ۰/۷۲ | | ۰/۱۶ |
| تعداد طبقه روی سطح زمین | ۰/۵۶ | | ۰/۳۵ |
| تعداد کل واحدها | ۰/۸۱ | | ۰/۰۶ |
| ارتفاع ساختمان از پی | ۰/۶۴ | | ۰/۲۶ |
| زیربنا (مساحت ساختمان) | ۰/۶۸ | | ۰/۲۱ |
| مساحت مفید هر طبقه | ۰/۶۶ | ۰/۸۷ | ۰/۲۳ |
| مساحت همکف | ۰/۶۶ | | ۰/۲۳ |
| مساحت عرصه زمین | ۰/۶۷ | | ۰/۲۲ |
| مساحت دیوار خارجی | ۰/۵۵ | | ۰/۳۶ |
| حجم بتن به کار رفته در ساختمان | ۰/۷۸ | | ۰/۰۹ |
| مدت زمان ساخت | ۰/۶۱ | | ۰/۲۹ |

## ۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پیش‌بینی دقیق هزینه، یکی از ارکان اساسی در مطالعات امکان‌سنجی و تصمیم‌گیری‌های کلان در پروژه‌های ساخت‌وساز محسوب می‌شود. بنابراین، دقت در برآورد هزینه می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت یا شکست یک پروژه ایفا کند. استفاده از روش مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند برای کارفرمایان و پیمانکاران پروژه‌های ساختمانی یک تخمین سریع و مناسب را برای برآورد اولیه هزینه ساخت پروژه‌های مسکونی فراهم آورد. در این پژوهش، مراحل مختلفی به منظور دستیابی به مدلی دقیق برای برآورد هزینه طی شد که نتایج آن به شرح زیر قابل بیان است:

۱. این پژوهش، ابتدا به بررسی و تعیین متغیرهای اثرگذار بر هزینه ساخت طبق پیشینه پژوهش پرداخته است. سپس از طریق پرسش‌نامه خبرگان اهمیت این متغیرها تعیین گردید که در نهایت ۲۰ متغیر اصلی در شهر مشهد انتخاب شد.

۲. در مرحله بعد، این متغیرها در قالب پرسشنامه‌ای جدید به سازندگانی در سطح مشهد ارائه گردید تا اطلاعات آخرین ساختمان‌های خود را در اختیار قرار دهند و پس از جمع‌آوری داده‌ها، به پیش‌بینی هزینه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی اقدام گردید.

۳. نتایج حاکی از آن است که بهترین مدل آموزش داده شده با استفاده از شبکه عصبی دارای ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۷ است که بیانگر توانایی مناسب این مدل در پیش بینی هزینه ساخت است.

۴. همچنین آنالیز PCA نشان داد که متغیرهای مساحت مفید در هر طبقه، مساحت همکف، زیربنا، تعداد کل واحدها، حجم بتن به کار رفته در ساختمان، مدت زمان ساخت، مساحت دیوار خارجی و مساحت عرصه زمین، مربوط به عامل اول و تعداد طبقه روی سطح زمین، تعداد کل طبقات از روی پی و ارتفاع ساختمان از پی مربوط به عامل دوم در پیش‌بینی هزینه است.

۵. آنالیز حساسیت با توجه به نتایج به دست آمده نشان داد که مساحت دیوار خارجی و تعداد طبقه روی سطح زمین مهمترین عوامل در پیش‌بینی هزینه بوده است.

با توجه به اینکه نتایج این مقاله براساس اطلاعات ساختمان‌های مسکونی در سال ۱۴۰۳ بدست آمده است، بدیهی است، میزان تورم به عنوان یکی از شاخص‌های مهم در پیش‌بینی هزینه ساخت در نظر گرفته نشده است که می‌تواند در تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرد. همچنین نتایج این مقاله برای شهر مشهد بدست آمده است که بایستی برای سایر شهرها با توجه به متغیرهای اثرگذار بر هزینه ساخت در شهر مورد نظر تدقیق گردد. استفاده از سایر الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌تواند بر دقت روشهای مورد استفاده در این مقاله بیافزاید.

## مراجع

[1] Elhag, T. M. S., & Boussabaine, A. H. (1998, September). An artificial neural system for cost estimation of construction projects. In *14th Annual ARCOM Conference* (Vol. 1, pp. 219-226). University of Reading: Association of Researchers in Construction Management.

[2] Sanni-Anibire, M. O., Zin, R. M., & Olatunji, S. O. (2022). Developing a preliminary cost estimation model for tall buildings based on machine learning. In *Big Data and Information Theory* (pp. 94-102). Routledge.

[3] Roxas, C. L. C., & Ongpeng, J. M. C. (2014, March). An artificial neural network approach to structural cost estimation of building projects in the Philippines. In *DLSU Research Congress* (Vol. 2, No. 2, pp. 1-8). De La Salle University–Manila.

[4] Khandardi, M., & Shakeri, Eqbal. (2011). Presentation of a neural network model for estimating the cost of residential building projects. *7th International Conference on Project Management*.Tehran.

[5] Ji, S. H., Ahn, J., Lee, H. S., & Han, K. (2019). Cost estimation model using modified parameters for construction projects. *Advances in Civil Engineering*, *2019*(1), 8290935.

[6] Günaydın, H. M., & Doğan, S. Z. (2004). A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. *International journal of project management*, *22*(7), 595-602.

[7] Naghash Toosi, H., Sabt. M. H., & Zouichi, A.(2008). Analytical study of the continuous repetition of deviations and weak performance of projects in achieving planned goals. *Proceedings of the Fourth International Project Management Conference.* Tehran.

[8] Khalaf, T. Z., Çağlar, H., Çağlar, A., & Hanoon, A. N. (2020). Particle swarm optimization based approach for estimation of costs and duration of construction projects. *Civil Engineering Journal*, *6*(2), 384-401.

[9] Jiang, Q. (2020). Estimation of construction project building cost by back-propagation neural network. *Journal of Engineering, Design and Technology*, *18*(3), 601-609.

[10] Chandanshive, V., & Kambekar, A. R. (2019). Estimation of building construction cost using artificial neural networks. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, *3*(1), 91-107.

[11] Alshemosi, A. M. B., & Alsaad, H. S. H. (2017). Cost estimation process for construction residential projects by using multifactor linear regression technique. *Criterion*, *6*(6), 7.

[12] Peyman, F., & Fathi, A. (2016). Forecasting the cost of completing construction projects using artificial neural networks and the resulting value management method. *Dam and Hydropower Plant, 3*(10), 11-23.

[13] Baladi, S.M., & Sajedi, S. F. (2017).Providing a sustainable forecasting model for estimating the construction cost of reinforced concrete buildings.*The Second National Conference on Applied Research in Structural Engineering and Construction Management*. Tehran: Sharif University of Technology.

[14] Soltanian, B., Eshtehardian, E.A., & Azizi, M. (2023). Using Artificial Neural Network to Estimate Construction Costs of Residential Projects in the Feasibility Phase. *Structural and Construction Engineering, 10*(6), 20-33.

[15] Alshamrani, O. S. (2017). Construction cost prediction model for conventional and sustainable college buildings in North America. *Journal of Taibah University for Science*, *11*(2), 315-323.

[16] Al-Tawal, D. R., Arafah, M., & Sweis, G. J. (2021). A model utilizing the artificial neural network in cost estimation of construction projects in Jordan. *Engineering, Construction and Architectural Management, 28*(9), 2466-2488.

[17] Ujong J.A., Mbadike E.M., Alaneme G.U. (2022). Prediction of cost and duration of building construction using artificial neural network. Asian Journal of Civil Engineering, 23(7), 1117-1139 .

[18] Wang, Y., Zuo, J., Pan, M., Tu, B., Chang, R. D., Liu, S., ... & Dong, N. (2024). Cost prediction of building projects using the novel hybrid RA-ANN model. *Engineering, Construction and Architectural Management, 31*(6), 2563-2582.

[19] Lathong, K., & Wisaeng, K. (2023). *The Prediction of Low-Rise Building Construction Cost Estimation Using Extreme Learning Machine* (Doctoral dissertation, Mahasarakham University).

[20] Matel, E., Vahdatikhaki, F., Hosseinyalamdary, S., Evers, T., & Voordijk, H. (2022). An artificial neural network approach for cost estimation of engineering services. *International journal of construction management*, *22*(7), 1274-1287.

[21] Kim, G. H., Shin, J. M., Kim, S., & Shin, Y. (2013). Comparison of school building construction costs estimation methods using regression analysis, neural network, and support vector machine.

[22] Kanat, E. (2020). Determination of Optimum Artificial Neural Network in the Stock Market. *Studies Economics, Finance, Politics.* Turkish: PP 239-252

[23] Jael, A., Rashki Qale-No, M., & Zolghadr, M. (2021). Determining the Capability of Artificial Intelligence Techniques in Estimating Energy Depreciation of Stepped Spillways with Procedural Flow Regime. Amirkabir Civil Engineering Journal. 53(9), 3897-3912.

[24] Lowe D.J., Emsley M.W., Harding A. (2006). Predicting construction cost using multiple regression techniques. Journal of Construction Engineering and Management, 132(7), 750-758.

[25] Jafarzadeh R., Ingham J.M., Wilkinson S., González V., Aghakouchak A.A. (2014). Application of artificial neural network methodology for predicting seismic retrofit construction costs. Journal of Construction Engineering and Management, 140(2), 04013044 .