Journal of Structural and Construction Engineering, 10(6), 2023, pp. 20-33

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

# Using artificial neural network (ANN) to estimate the cost of residential building project in the feasibility phase

**Behnam Soltanian[1], Ehsanollah Eshtehardian[2]*, Mojtaba Azizi [3]**

*1- Master of Science, Faculty of Art & Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*
*2- Associate professor, Faculty of Art & Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*
*3- Assistant Professor, Faculty of Art & Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

## ABSTRACT

*Cost is considered as one of the main challenges for each project manager in the construction industry and one of the criteria that measure the success of the project is the comparison between the cost of the project with the planned budget at the beginning of the project. For this purpose, an accurate forecast in the early stages of the project can greatly assist the decisions that are taken in the feasibility phase. This accurate cost estimate will help us choose the best implementation systems in different parts of the building according to the budget we plan, and avoid the options that may not lead to our main objectives in the project. in this study, we intend to design a model to predict the cost of construction in a feasibility stage using artificial neural network (ANN) as one of the tools of artificial intelligence field, whose error is less than traditional methods and calculation time is much faster than methods such as bottom-top cost estimation. for this purpose, we have identified the most important factors that affect construction cost by experts in housing investment group and then we have collected data from the past projects. In the next stage we have used MATLAB program to build the construction cost estimation model using ANN based on data gathered from past projects on housing investment group. In the end, the model based on the obtained results has a precision of 89.56 %. Finally, a graphic user interface is designed as an EXE. file, which facilitates the use of the model for users to estimate the cost of new projects and eliminates the need for a MATLAB application to use the model.*

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

## ARTICLE INFO

**Receive Date:** 24 June 2022
**Revise Date:** 31 August 2022
**Accept Date:** 30 November 2022

**Keywords:**
*Cost Estimation*
*Artificial Neural Network*
*Construction Project*
*Feasibility Phase*
*Project Management*

**doi:** https://doi.org/10.22065/jsce.2022.340013.2803

*Corresponding author: Ehsanollah Eshtehardian
Email address: eshtehardian@modares.ac.ir

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

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

# استفاده از شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین هزینه‌های ساخت پروژه‌های مسکونی در فاز امکان سنجی

بهنام سلطانیان[۱]، احسان اله اشتهاردیان[۲*]، مجتبی عزیزی[۳]

۱ - کارشناس ارشد، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲ -دانشیار، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- استادیار، دانشکده هنر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

## چکیده

*هزینه به عنوان یکی از چالش‌های اصلی برای هر مدیرپروژه‌ای در صنعت ساخت محسوب‌شده به گونه ای که یک پیش‌بینی دقیق در مراحل ابتدایی پروژه، می‌تواند به تصمیم‌هایی که در فاز امکان‌سنجی گرفته می‌شود بسیار کمک‌کرده، تا بر اساس بودجه‌ی در نظر گرفته‌شده مناسب‌ترین سیستم‌های اجرا در بخش‌های مختلف ساختمان، انتخاب و از گزینه‌هایی که در نهایت ممکن است اهداف اصلی پروژه را محقق نسازد دوری گزیده‌شود. این پژوهش قصد دارد تا 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 نموده که درصد خطای آن از روش‌های سنتی کمتر و سرعت محاسبه آن نسبت به روش‌هایی همچون تخمین هزینه پایین‌به‌بالا بیشتر باشد. بدین منظور در ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای مهم‌ترین عواملی که بر هزینه ساخت اثر گذار بوده را شناسایی و سپس طی جلسات مصاحبه‌ای با خبرگان عواملی که می‌تواند بیشترین تاثیر را بر هزینه ساخت گذاشته و اطلاعات آنها در مرحله امکان‌سنجی در دسترس باشد انتخاب شده است، که این عوامل تا مرحله قبل از نازک‌کاری بوده و دلیل آن تنوع بالا در کیفیت مصالح نازک‌کاری و بازه اختلاف قیمتی بسیار متفاوت این فاز می‌باشد. 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 ۹۴/۵ درصد می‌باشد و در انتها برای استفاده راحت تر از مدل یک رابط گرافیکی به صورت فایل نصبی طراحی شده است. در نهایت بر اساس تجربه استفاده از مدل توسط کاربران، علاوه بر دقت و سرعت مناسب مدل که باعث صرفه‌جویی در وقت و بهینه‌تر شدن تصمیم‌گیری‌ها شده بود، محیط ساده و عدم نیاز به تجربه زیاد در زمینه برآورد هزینه به منظور استفاده از مدل به عنوان نقاط قوت آن ذکر شده‌است.*

**کلمات کلیدی: تخمین هزینه ساخت ، شبکه عصبی مصنوعی ، پروژه‌های مسکونی ، مرحله امکان سنجی ، مدیریت پروژه.**

| سابقه مقاله: | | | | | شناسه دیجیتال: |
|---|---|---|---|---|---|
| دریافت | بازنگری | پذیرش | انتشار آنلاین | چاپ | https://doi.org/10.22065/jsce.2022.340013.2803 |
| ۱۴۰۱/۰۴/۰۳ | ۱۴۰۱/۰۶/۰۹ | ۱۴۰۱/۰۹/۰۹ | ۱۴۰۱/۰۹/۰۹ | ۱۴۰۲/۰۶/۳۱ | doi: 10.22065/jsce.2022.340013.2803 |

*نویسنده مسئول: احسان اله اشتهاردیان

پست الکترونیکی: eshtehardian@modares.ac.ir

## ۱- مقدمه

صنعت ساخت به عنوان یکی از اصلی‌ترین عناصر موثر در اقتصاد هر کشوری از جهان اعم از توسعه‌یافته یا در حال‌توسعه می‌باشد که از دلایل اصلی آن می‌توان به درصد بالای اشتغال نیروی کار داخلی و همچنین سهم بالای این صنعت در تولید ناخالص داخلی، بیان نمود. همچنین تمامی زیرساخت‌های اصلی در هر کشور به این صنعت وابسته می‌باشند. جهت بهبود در این صنعت که به طور مستقیم بر اقتصاد کلان هر کشور تاثیر گذار می‌باشد، باید مدیریت پروژه‌ها در این صنعت را بهبود بخشید [1]. موفقیت هر پروژه ساختمانی توسط سه معیار اصلی بودجه، زمان و کیفیت که در ابتدای پروژه بر اساس انتظارات کارفرما یا مالک پروژه تعیین می‌گردد، ارزیابی می‌شود.[2] از بین این سه معیار که به عنوان چالش‌های اصلی هر مدیر پروژه صعنت ساختمان در نظر گرفته می‌شود، معیار هزینه پارامتری است که انتخاب استراتژی ضعیف در این حوزه توسط مدیر پروژه به راحتی می‌تواند سود مورد انتظار از پروژه را به ضرر تبدیل نماید [3] .

یک پیش‌بینی دقیق از هزینه پروژه در مراحل ابتدایی، مدیر پروژه را در فرایند تصمیم‌گیری بسیار کمک می‌نماید، به گونه‌ای که به او اجازه می‌دهد تا بهترین گزینه را انتخاب کرده و از راه‌حل‌های نامناسب دوری گزیند [۴]. در حالی که تخمین هزینه پروژه‌های ساخت در مراحل ابتدایی و آغازین آن با دقت بالا نقش بسیار مهمی را در موفقیت هر پروژه ساختمانی ایفا می‌کند [۵]. تخمین هزینه‌های ساخت معمولا کمتر از مقدار نهایی آن‌ها برآورد شده و مطالعات آماری اخیر نشان می‌دهد که خطای تخمین هزینه بر اساس روش‌های سنتی کاهش نیافته است [۶]. همچنین در سال‌های اخیر، اشتیاق زیادی جهت انتشار و استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی به خصوص شبکه عصبی مصنوعی جهت حل مسائل پیچیده این حوزه وجود داشته‌است [۷]. از طرفی ابزار شبکه عصبی مصنوعی در سال‌های اخیر کاربردهای قابل توجهی در مهندسی و مدیریت پروژه‌ها داشته، به گونه‌ای که تعداد بسیار زیادی از مقالات منتشر شده در مجلات و کنفرانس‌های معتبر، به بررسی روند و راه‌های جدید استفاده از این مدل پرداخته اند [۸].

در این مقاله پژوهشی ما قصد داریم تا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یکی از ابزارهای جدید حاوزه هوش مصنوعی و استفاده از اطلاعات پروژه‌های گذشته، به تخمین برآورد هزینه ساخت پروژه‌های مسکونی در مرحله امکان‌سنجی با درصد خطایی کمتر از روش‌های سنتی بپردازیم و در انتها یک پلتفرم طراحی نماییم که کاربران به راحتی بتوانند هزینه ساخت پروژه‌های مسکونی را با خطای بسیار کم در زمانی بسیار کوتاه محاسبه نمایند.

## ۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

هزینه تمام شده به عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای هر سرمایه‌گذاری محسوب‌شده و این امر صنعت ساختمان را هم شامل می‌شود. در مطالعات امکان‌سنجی هر پروژه سرمایه‌گذاری، ارائه یک برآورد دقیق از هزینه‌های پروژه می‌تواند باعث جلب نظر و افزایش انگیزه سرمایه‌گذاران و تصمیم‌گیران اصلی در انتخاب یک پروژه گردد. که این امر میزان اهمیت این برآورد را به عنوان ابزاری مهم در مراحل ابتدایی پروژه به خوبی نشان می‌دهد [۹].

همچنین تخمین هزینه ساخت همواره یکی از عامل‌های موثر در موفقیت نهایی پروژه و ابزاری جهت کنترل هزینه‌ها، از نظر مدیران پروژه صنعت ساخت شناخته می‌شده‌است [۱۰]. به گونه‌ای که محققان پس از بررسی‌های انجام داده بیان می‌کنند در موفقیت و شکست یک پروژه ساختمانی عوامل مختلفی دخیل هستند، ولی دقیق نبودن تخمین هزینه را به عنوان یکی از نگرانی‌های اصلی اعلام می‌کنند [۱۱]. اما از بزرگترین موانعی که در پروسه تخمین هزینه در این مرحله وجود دارد می‌توان به کمبود اطلاعات و همچنین عدم قطعیت بالا در این فاز از پروژه اشاره نمود [۳].

شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار قدرتمند که توانایی حل مسائل غیر خطی پیچده و نگاشت روابط موجود بین ورودی وخروجی‌ها را داشته شناخته می‌شود. که میزان کارایی بیشتر آن نسبت به روش و تکنیک‌های سنتی در تخمین و برآورد آینده به خصوص در شرایطی که اطلاعات و داده‌ی دقیقی موجود نمی‌باشد، همچون شرایطی که در فاز امکان‌سنجی و ابتدایی پروژه‌ها حاکم است طی

پژوهش‌های متفاوت به اثبات رسید [۱۲-۱۳]. که در ادامه به بررسی مقالاتی می‌پردازیم، که از شبکه عصبی مصنوعی به عنوان ابزاری جهت تخمین هزینه ساخت بهره برده اند.

اِمسلی[1] و همکارانش در سال ۲۰۰۲ با جمع آوری اطلاعات ۳۰۰ پروژه ساختمانی، شبکه عصبی مصنوعی را جهت تخمین هزینه ساخت ارائه کردند. در قسمت نتایج آنها بیان می‌کنند مهم‌ترین مزیت شبکه‌های عصبی مصنوعی، اعمال کردن روابط غیرخطی بین اطلاعات می‌باشد و مدل ارائه شده توسط آنها دارای متوسط قدر مطلق خطای ۱۶/۶ درصد بوده‌است[۱۴].

گونایدین و دوگان[2] در سال ۲۰۰۴ با بیان این موضوع که تخمین هزینه مسئله‌ای مهم در امر تصمیم‌گیری بوده، برای حل این مشکل در مرحله امکان‌سنجی استفاده از شبکه عصبی مصنوعی را پیشنهاد می‌دهند. که برای این منظور از اطلاعات ۳۰ پروژه مسکونی با تعداد طبقات بین ۴ الی ۸ طبقه در ترکیه استفاده کرده و در نهایت میانگین دقت مدل آن‌ها برابر با ۹۳ درصد می‌باشد[۱۵].

در پژوهشی دیگر در همان سال که توسط کیم[3] و همکارانش انجام شده‌است و آنها مقایسه‌ای بین سه روش تحلیل رگرسیون چندگانه، شبکه عصبی مصنوعی و روش استدلال موردی انجام داده‌اند. در قسمت نتایج پژوهش بیان می‌کنند که شبکه عصبی مصنوعی با متوسط قدر مطلق خطای ۲/۹۷ درصد نتایج بهتری نسبت به دو روش دیگر داشته‌است [۱۶].

آبینو[4] و همکارانش در سال ۲۰۱۱ با استفاده از شبکه عصبی و اطلاعات ۱۰۰ پروژه مدلی جهت پیش‌بینی هزینه قبل از برگزاری مناقصه انجام داده اند، که خروجی نهایی مدل از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و بیشترین مقدار خطای پیش‌بینی مدل با مقدار واقعی ۸/۲ درصد بوده‌است [۱۷].

پتروتساتو[5] و همکارانش در سال ۲۰۱۲ با بیان این موضوع که پیش‌بینی هزینه ساخت جاده‌های تونلی زیرزمینی در مرحله امکان‌سنجی مسئله‌ای مهم است، مدلی را بر اساس شبکه عصبی مصنوعی پیشنهاد داده که از اطلاعات ۳۳ پروژه تونلی استفاده کرده و نتایج مدل نهایی بسیار رضایت بخش بوده و دقت مدل در پیش‌بینی هزینه پروژه‌ها برابر با ۹۵/۳۵ درصد بوده‌است [۱۸].

کیم و همکارانش در مقاله ای دیگر در سال ۲۰۱۳ بر دقت پیش‌بینی هزینه در مرحله امکان‌سنجی به عنوان یکی از عوامل اصلی موفقیت پروژه، تاکید می‌کنند. آن‌ها سه روش تحلیل رگرسیون، ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی را به عنوان تکنیک‌های تخمین هزینه ساخت مدارس مقایسه کرده و در قسمت نتایج بیان می‌کنند علی رغم دقت مناسب هر سه روش، شبکه عصبی مصنوعی با میانگین قدر مطلق خطای ۵/۲۷ درصد از دو روش دیگر عملکرد بهتری جهت تخمین هزینه در این مرحله از فاز پروژه داشته‌است [۱۹].

آل ساوالهی و شهاتو[6] در سال ۲۰۱۴ مدلی جهت تخمین هزینه ساخت در مرحله امکان‌سنجی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ارائه داده بودند، که برای این منظور از اطلاعات ۱۶۹ پروژه ساختمانی استفاده کرده و ۱۱ متغیر را به عنوان پارامترهای ورودی مدل جهت محاسبه هزینه نهایی تعریف کرده‌اند. در نهایت بیان می‌کنند نتیجه مدل بسیار رضایت بخش بوده و میانگین خطای مدل برابر با ۶ درصد بوده‌است [۳].

در پژوهشی دیگر که توسط بالا[7] و همکارانش در سال ۲۰۱۴ انجام شده‌است، مدلی را برای تخمین هزینه ساخت ساختمان‌های صنعتی در نیجریه ارائه کرده‌اند و به منظور تعیین ورودی‌های مدل از تحقیقات مشابه که بر اساس نظر خبرگان و کارشناسان بهینه و اصلاح شده‌است، بهره برده و مدل خود را بر اساس اطلاعات ۲۶۰ پروژه آموزش داده‌اند. که در نهایت میانگین قدر مطلق خطای مدل برابر ۵/۴ درصد بوده‌است [۲۰].

[1] Emsley
[2] Günaydın & Doğan
[3] Kim
[4] Aibinu
[5] Petroutsatou
[6] El-Sawalhi & Shehatto
[7] Bala

هیاری[8] و همکاران در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۶ با استفاده از مدل شبکه عصبی به تخمین برآورد هزینه طراحی مهندسی و نظارت اجرا در پروژه‌های ساخت عمومی می‌پردازند، که به منظور آموزش شبکه از اطلاعات مربوط به پروژه‌های عمومی ساخت در کشور اردن استفاده شده‌است [۲۱].

اَلقطنی و وایت[9] در سال ۲۰۱۶ مقاله پژوهشی را ارائه کرده‌اند، که به مقایسه شبکه عصبی مصنوعی با مدل رگرسیون خطی که روشی سنتی جهت تخمین هزینه محسوب می‌شود، پرداخته‌اند و در نتایج تحقیق بیان می‌کنند شبکه عصبی مصنوعی با دقت ۹۹ درصدی نسبت به رگرسیون خطی در تخمین هزینه ساخت عملکرد بسیار بهتری از خود نشان داده‌است [۲۲].

در مقاله‌ای که توسط آل زواین و آیدان[10] در سال ۲۰۱۷ انجام شده‌است، از شبکه عصبی مصنوعی به منظور تخمین هزینه ساخت اسکلت و سازه در پروژه‌های بزرگراهی بهره برده‌اند. برای آموزش این مدل از اطلاعات پروژه‌های اجرا شده در کشور عراق استفاده شده و نتایج نهایی مدل دارای دقتی حدود ۹۳ درصد می‌باشد [۱۳].

باروس[11] و همکارانش در سال ۲۰۱۸ مقاله‌ی ارائه کرده که ضمن اشاره به مهم بودن تخمین هزینه ساخت در مرحله امکان‌سنجی و درصد بالای خطای روش‌های سنتی، از شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین هزینه ساخت بزرگراه‌ها در کشور برزیل استفاده می‌کنند. نتایج نهایی این مدل در بهترین حالت دارای دقت ۹۹ درصد می‌باشد [۶].

در پژوهشی دیگرکه توسط لزنیاک و جوزایک[12] در سال ۲۰۱۸ انجام شده است، با بیان این موضوع که هزینه‌های بالاسری سایت پروژه تاثیر به سزایی در بودجه پروژهای ساختمانی داشته و اشاره به مشکلات وقت گیر بودن یا دقت پایین روش‌های سنتی یک مدل بر اساس شبکه‌های عصبی مصنوعی جهت تخمین هزینه‌های بالاسری سایت پروژه پیشنهاد می‌دهند. این مدل که به منظور آموزش آن از اطلاعات ۱۴۳ پروژه تکمیل شده‌استفاده گردیده‌است نتایج آن نشان می‌دهد، علاوه بر اینکه پروسه پیش‌بینی توسط آن از سرعت بالایی برخوردار می‌باشد، خروجی‌های آن هم دقت قابل قبولی دارند [۲۳].

اِلموسلمی[13] در سال ۲۰۱۹ با ارائه مقاله‌ای سعی کرده تا به معرفی یک روش هوشمند جدید با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش هزینه ساخت در مرحله امکان‌سنجی بپردازد که از پروژه‌های ساخت کانال جهت تست و اعتبار این مدل استفاده کرده است [۲۴].

در مقاله پژوهشی که توسط هاشمی و کاور در سال ۲۰۱۹ ارائه شده‌است، سعی شده تا با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک به منظور تخمین برآورد هزینه ساخت پروژه‌های نیروگاهی استفاده شود. در این پژوهش از پروژه‌های گروه مپنا که یکی از شرکت‌های پیشرو ایرانی در حوزه پروژه‌های نیروگاهی می‌باشد، استفاده شده‌است. در نهایت نتایج خروجی مدل دارای دقتی در حدود ۹۵ درصد بوده‌است [۲۵].

تیجانیک[14] و همکارانش در سال ۲۰۱۹ در مقاله‌ای که ارائه نموده‌اند به منظور مشکل افزایش هزینه برنامه‌ریزی شده در پروژه‌های ساخت جاده‌ای از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین هزینه این نوع پروژه‌ها استفاده کرده اند. مدل آنها با بهره گرفتن از اطلاعات موجود از پروژه‌های گذشته توانسته جواب‌هایی با دقت میانگین خطای ۱۳ درصد ارائه نماید [۲۶].

حکمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ پژوهشی را انجام داده اند که از تخمین برآورد ساخت به عنوان یک مشکل کلیدی در کشورهای در حال توسعه همچون یمن یاد می‌کنند، آنها با اشاره به این مسئله که روش‌های سنتی ناکارآمد می‌باشند، از مدل شبکه عصبی

[8] Hyari
[9] Alqahtani & Whyte
[10] AL-Zwainy & Aidan
[11] Barros
[12] Leśniak & Juszczyk
[13] Elmousalami
[14] Tijanić

به عنوان یک ابزار مفید جهت تخمین هزینه ساخت در مراحل ابتدایی پروژه یاد می‌کنند. در نهایت مدل آموزش دیده و نهایی توانسته‌است نتایجی با درصد خطای زیر یک درصد را به دست آورد [۲۷].

در پژوهشی که توسط چاندانسیو و کامبرکار[15] در سال ۲۰۱۹ انجام شده‌است، ضمن تاکید بر مهم بودن دقت تخمین هزینه در مراحل امکان‌سنجی، جهت برآورد هزینه از شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرده که بر اساس ۷۸ پروژه مسکونی اجرا شده در شهر بمبئی کشور هند آموزش دیده است. در نهایت با توجه به نتایج مدل که از دقت خوبی برخوردار بوده‌است بیان می‌کنند که این مدل جهت مدیریت مالی به مدیر پروژه در حین چرخه حیات پروژه و همچنین به سرمایه‌گذاران و کارفرمایانی که در صنعت ساختمان قصد سرمایه‌گذاری دارند کمک شایانی خواهد نمود [۵].

در پژوهشی دیگر که توسط چنگ[16] و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام شده و ضمن تاکید بر مهم بودن پیش‌بینی یک جریان نقدینگی از پروژه در مراحل ابتدایی آن که بر مدیریت هزینه و زمان ساخت پروژه بسیار تاثیر گذار می‌باشد. از یک مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی به منظور پیش‌بینی جریان نقدینگی پروژه استفاده کرده که نتایج تست کردن این مدل روی ۱۳ پروژه ساختمانی نتایج خوبی نشان داده و در نتایج تحقیق بیان می‌کنند که این مدل ابزاری مفید برای مدیر پروژه جهت پیش‌بینی و کنترل جریان نقدینگی در پروژه‌های ساختمانی می‌باشد [۲۸].

با توجه به مقالات بررسی‌شده، می‌توان نتیجه گرفت که شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یکی از ابزارهای نوین جهت پیش‌بینی در حوزه مدیریت پروژه بسیار کارایی داشته و بسیاری از مسائل چالش‌برانگیز این حوزه را می‌توان با این تکنیک به خوبی حل نمود یا راه‌حل گذشته را بهبود بخشید. همچنین با درنظر داشتن موارد ذکر شده در مرور ادبیات و اشاره به اهمیت بالای پروسه برآورد هزینه از مهم ترین موانعی که از بهبود دقت تخمین هزینه در مرحله ابتدایی پروژه جلوگیری می‌نماید، می‌توان به کمبود اطلاعات و همچنین عدم قطعیت بالا در این فاز از پروژه اشاره نمود. که این موضوع باعث شده است پروسه تخمین هزینه در مرحله امکان سنجی به عنوان یک فرآیند چالش‌برانگیز برای صنعت ساخت طی دهه‌های گذشته باقی بماند و فرآیند تخمین را با مشکل جدی مواجه نماید، به گونه‌ای که حتی افراد خبره و با تجربه در این زمینه هم نمی‌توانند در این مرحله از پروژه یک برآورد دقیق از خود ارائه نمایند. در ادامه با در نظر گرفتن میزان کارایی شبکه عصبی مصنوعی که با استفاده از آن می‌توان بر مبنای اطلاعات پروژه‌های گذشته به پیش بینی پروژه‌های آتی با درصد خطای بسیار کمتری نسبت به روش‌های سنتی پرداخت و این موضوع در بیشتر مقالات بررسی شده مشهود می‌باشد نیاز به یک پژوهش در صنعت ساخت و مدیریت پروژه‌های مسکونی ایران به خصوص مسئله تخمین هزینه احساس می‌شود تا بتوان مدلی ارائه نمود که بتواند دقت روش‌های سنتی را بهبود بخشیده و همچنین از سرعت مناسبی برخوردار باشد.

## ۳- روش شناسی پژوهش

نوع این پژوهش از نوع کاربردی و روش تحقیق آن از نوع ترکیبی با استراتژی اکتشافی می‌باشد، که از دو قسمت اصلی کیفی و کمی تشکیل شده‌است در مرحله اول به منظور شناسایی مهم ترین فاکتورهای موثر بر تخمین هزینه، پس از مرور ادبیات و گردآوری لیستی از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر هزینه ساخت در مراحل ابتدایی پروژه، با خبرگان جلسات مصاحبه انجام‌شده، که لیست افرادی که با آنها مصاحبه شونده در جدول شماره ۱ آورده شده‌است. این مصاحبه‌ها به صورت نیمه ساختاری بوده و تنها موضوع کلی بحث که مشخص کردن فاکتورهایی که بیشترین تاثیر را بر هزینه ساخت داشته عنوان شده و از لیست عوامل گردآوری شده از مقالات صرفا به عنوان پیشنهاد استفاده شده است. اما بیشترین تلاش بر این موضوع بوده که عواملی به عنوان ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی انتخاب می‌شوند، اطلاعات آنها در مرحله امکان سنجی پروژه در دسترس باشد. که لیست نهایی این عوامل بر اساس نتایج مصاحبه‌های انجام شده و نظر خبرگان می‌باشد، در جدول شماره ۲ قسمت یافته‌ها آورده شده است.همچنین برای اعمال تورم در تخمین نهایی مدل از تعدیل قیمتی استفاده شده‌است.

[15] Chandanshive & Kambekar
[16] Cheng

جدول۱ : اسامی افراد مصاحبه شونده.

| ردیف | نام افراد | سمت سازمانی | شرکت |
|---|---|---|---|
| ۱ | سرکار خانم مهندس یگانه | مدیر تحقیق و توسعه | هلدینگ گروه سرمایه‌گذاری مسکن |
| ۲ | جناب آقای مهندس اوجی | کارشناس تحقیق و توسعه | هلدینگ گروه سرمایه‌گذاری مسکن |
| ۳ | جناب آقای دکتر دادخواه | مدیر طراحی سازه | شرکت سرمایه‌گذاری مسکن شمال غرب |
| ۴ | جناب آقای مهندس چراغی | مدیر دفتر کنترل پروژه | شرکت سرمایه‌گذاری مسکن الوند |
| ۵ | جناب آقای مهندس رحیم زاده | مدیر PMO | شرکت سرمایه‌گذاری مسکن شمال شرق |
| ۶ | جناب آقای مهندس همت پور | کارشناس فنی | شرکت سرمایه‌گذاری مسکن زاینده رود |
| ۷ | جناب آقای مهندس مشایخی | معاون فنی نوین پایدار | شرکت سرمایه‌گذاری مسکن نوین پایدار |
| ۸ | جناب آقای مهندس بمویی | کارشناس فنی | شرکت سرمایه‌گذاری مسکن جنوب |
| ۹ | جناب آقای مهندس نور بخش | مدیر دفتر فنی | شرکت سرمایه‌گذاری مسکن شمال |

در مرحله بعد به منظور ساخت مدل تخمین هزینه از تولباکس شبکه عصبی برنامه متلب ۲۰۱۹ استفاده نموده ایم که برای این منظور ۷۰ درصد اطلاعات جمع آوری شده را به عنوان آموزش شبکه، ۱۵ درصد را به عنوان اعتبار سنجی مدل و ۱۵ درصد اطلاعات هم به عنوان تست خروجی مدل آموزش دیده تنظیم شده است. به منظور مشخص کردن دقت مدل در تخمین هزینه از معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAPE)[17] ، استفاده شده که این شاخص میانگین میزان درصد خطای تمامی جواب‌ها را به دست می‌آورد و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$MAPE = \frac{100\%}{n}\sum\left|\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i}\right| \qquad (1)$$

پس از ساخته شدن مدل به منظور انجام تخمین هزینه برای پروژه‌های جدید و همچنین استفاده راحت‌تر برای کاربران یک رابط گرافیکی (GUI)[18]برای مدل شبکه عصبی طراحی شده، که در نهایت خروجی کار یک پلتفرم که به صورت فایل نصبی می‌باشد. که این پلتفرم به راحتی بر روی تمامی سیستم عامل‌ها قابلیت نصب را داشته و نیاز کاربر به برنامه متلب جهت استفاده از مدل را برطرف می‌نماید.

## ۴- تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

به منظور مشخص کردن عوامل ورودی بر اساس نظرخبرگان و جمع آوری اطلاعات پروژه‌ها جهت آموزش شبکه عصبی مصنوعی، از خبرگان و پروژه‌های شرکت گروه سرمایه گذاری مسکن استفاده شده است. گروه سرمایه‌گذاری مسکن یکی از بزرگترین و موثرترین فعالان صنعت ساختمان در کشور است. این شرکت در ششم اردیبهشت ماه سال ۱۳۶۹ به منظور پاسخگویی به نیاز مشتریان بانک مسکن تاسیس گردید. از ابتدای تاسیس تاکنون عملیات اجرایی بیش از ۶۹ هزار واحد مسکونی در قالب ۵۴۲ پروژه توسط شرکت‌های گروه سرمایه‌گذاری مسکن شروع شده و بیش از ۶۰ هزار واحد مسکونی به بهره‌برداری رسیده است. علاوه بر آن در ساخت مجتمع تجاری اداری و آموزشی و نیز ساخت آزاد راه، خطوط انتقال آب و آماده‌سازی زمین فعالیت چشمگیری انجام شده‌است. همچنین گروه سرمایه‌گذاری مسکن دارای ۱۴ شرکت زیر مجموعه است که در ۲۸ استان و ۳۶ شهر کشور، گسترده شده‌اند.

بر اساس نتایج مصاحبه با خبرگان گروه سرمایه گذاری مسکن نتایج مصاحبه‌ها، سه روش اصلی به منظور تخمین هزینه در فاز ابتدایی و اولیه پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد که این سه روش عبارتند از: ۱) تخمین هزینه به روش قیاسی ۲) تخمین هزینه به روش

[17] Mean Absolute Percentage Error
[18] Graphic User Interface

خبرگی یا بالا به پایین ۳) تخمین هزینه پایین به بالا. که با توجه به روش‌های مورد استفاده جهت تخمین هزینه در شرکت سرمایه‌گذاری، از جمله مهم‌ترین مشکلاتی که بر اساس نتایج مصاحبه‌ها وجود دارد می‌توان به دقت پایین روش قیاسی، عدم دسترسی به خبرگان و افراد با تجربه جهت تخمین در روش بالا به پایین و همچنین نیاز به اطلاعات جهت تخمین هزینه و وقت گیر بودن در روش پایین به بالا اشاره نمود. این تحقیق با استفاده از گروه سرمایه گذاری مسکن به عنوان نمونه موردی، با هدف اصلی ارائه مدلی بر اساس شبکه عصبی مصنوعی برای برطرف کردن مشکل تخمین هزینه به نحوی که در تمامی شرکت‌های تابعه گروه سرمایه‌گذاری مسکن به صورت یکپارچه مورد استفاد قرار گیرد.

در اولین قدم به منظور شناسایی مهم ترین عوامل که بر تخمین هزینه در مرحله امکان سنجی بیشترین تاثیر را داشته، جلسات مصاحبه‌ای با خبرگان گروه سرمایه گذاری انجام شد. اما نکته‌ای که باید مورد توجه قرار داد این مسئله می‌باشد که، شناسایی این عوامل بیشتر به صورت اکتشافی بوده که نتایج کلی مصاحبات و مهم‌ترین عواملی که می‌تواند به هزینه پروژه بیشترین تاثیر را داشته و از طرفی اطلاعات آن‌ها در مرحله امکان‌سنجی در دسترس باشد در جدول ۲ ذکر شده‌است.

**جدول۲ : متغیرهای ورودی مدل تخمین هزینه.**

| ردیف | نام متغیر | مقیاس اندازه گیری | محدوده | منبع استفاده شده |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | سیستم سازه | نوع | سازه | مرور ادبیات و مصاحبه |
| ۲ | تعداد طبقات | طبقه | سازه | مرور ادبیات و مصاحبه |
| ۳ | سیستم سقف | نوع | سقف | مرور ادبیات و مصاحبه |
| ۴ | مساحت سقف اجرایی (زیربنای ناخالص) | متر مربع | سقف | مرور ادبیات و مصاحبه |
| ۵ | نوع دیوار اجرایی | نوع | سفت کاری | مصاحبه |
| ۶ | مساحت دیوار خارجی | متر مربع | سفت کاری | مصاحبه |
| ۷ | مساحت دیوار داخلی | متر مربع | سفت کاری | مصاحبه |
| ۸ | سیستم اجرای نما | نوع | نما | مصاحبه |
| ۹ | مساحت نمای ساختمان | متر مربع | نما | مصاحبه |
| ۱۰ | سیستم گرمایش | نوع | تاسیسات | مرور ادبیات و مصاحبه |
| ۱۱ | سیستم سرمایش | نوع | تاسیسات | مرور ادبیات و مصاحبه |
| ۱۲ | مساحت سیستم سرمایشی و گرمایشی (جمع زیربنای خالص واحدها) | متر مربع | تاسیسات | مصاحبه |
| ۱۳ | نوع آسانسور | نوع | تاسیسات | مصاحبه |
| ۱۴ | تعداد آسانسور | تعداد | تاسیسات | مرور ادبیات و مصاحبه |
| ۱۵ | شاخص فهرست بهای ابنیه | بدون واحد | بر اساس بخشنامه‌های سازمان برنامه وبودجه | نظر استاد راهنما و شاخص های تعدیل |

در مرحله بعد بر اساس متغیرهای ورودی ذکر شده در جدول ۲، اطلاعات پروژه‌های انجام شده در شرکت‌های تابعه گروه سرمایه گذاری مسکن جمع آوری شده، که بر اساس اطلاعات پروژه‌ها و با توجه به اینکه سال ساخت اطلاعات گرد آوری شده بین بازه ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ می‌باشد، برای مقایسه صحیح هزینه‌ای بین این اطلاعات، از تعدیل قیمتی استفاده شده‌است. در نهایت تمامی هزینه‌های ساخت بر اساس سه ماهه دوم سال ۱۴۰۰ همسنگ شده‌است. همچنین برای اعمال تورم در تخمین نهایی مدل از تعدیل قیمتی استفاده می‌شود. به این صورت که علاوه بر ۱۴ پارامتر ورودی یک پارامتر دیگر که شاخص فهرست بها در زمان تخمین هزینه توسط کاربر می‌باشد، وارد گردیده و ضریبی که حاصل تقسیم این شاخص بر شاخص دو ماهه دوم سال ۱۴۰۰ می‌باشد در جواب نهایی مدل ضرب می‌شود تا تورم قیمتی در هزینه محاسبه شده توسط مدل اعمال گردد.

در انتها با توجه به اطلاعات کامل هزینه‌ای که از یک شعبه گروه سرمایه‌گذاری برای چند پروژه انجام شده در دسترس داشتیم. سایر بخش‌های ساختمان که اطلاعات آن‌ها را در مدل لحاظ نگردیده و معمولا در تمامی ساختمان‌های مسکونی مقداری ثابت می‌باشند را محاسبه کرده ایم. که لیست این عوامل در جدول ۳ ذکر شده است.

***جدول۳ : بخش‌هایی از ساختمان که ضریب ثابت برای آن‌ها محاسبه شده‌است.***

| | | |
|---|---|---|
| کرسی چینی به همراه عایق | اجرای عایق سرویس طبقات | لوله کشی برق |
| بلوکاژ و بتن کف | لوله کشی سرد و گرم و لوله کشی آب سرد داخل داکت | سیم کشی و کابل کشی برق |
| ساخت و نصب فریم درب و پنجره | لوله کشی فاضلاب و آب باران | اجرای سیستم ارتینگ |
| ساخت و نصب نعل درگاه | لوله کشی آتش نشانی | نصب تابلو مشترک و تابلو داخل واحدها |
| اجرای فوم بتن | اجرای سیستم اعلام حریق | نصب سیستم آنتن مرکزی و لوازم برقی مشاعات |
| اجرای شیب بندی و ایزوگام بام و خرپشته | نصب وسایل آتش نشانی | لوله کشی گاز |

از ۱۸ آیتم ذکر شده در جدول ۳ که در ۷ پروژه انجام شده و توسط یکی از شعبه‌های گروه سرمایه گذاری صورت گرفته است. درصد وزنی این آیتم‌ها از هزینه نهایی پروژه عبارتند از (۲۸/۳۶٪ - ۱۵,۷۷٪- ۲۳/۸۳٪ - ۲۲/۳۸٪ - ۲۶/۲۴٪ - ۲۰/۹۳ ٪ - ۱۶/۱۱ ٪) که بر اساس این نتایج میانگین درصد وزنی آن‌ها برابر با ۲۱/۹۴٪ می‌باشد. در نهایت می‌توان به منظور لحاظ کردن آیتم‌های مذکور در هزینه محاسبه شده توسط مدل، عدد خروجی مدل را در عدد ۱/۲۱۹۴ ضرب نمود.

در انتها به منظور ساخت مدل تخمین هزینه در برنامه متلب بر اساس اطلاعات ۴۰ پروژه ساختمان مسکونی به اتمام رسیده، که توسط شرکت‌های تابعه گروه سرمایه گذاری انجام شده بود استفاده نمودیم. که معماری مدل بر اساس پارامترهای ورودی مشخص شده در جدول ۲، از یک شبکه با سه لایه که دارای ۱۴ عدد ورودی در لایه اول، ۱۰ عدد نورون در لایه میانی و یک خروجی در لایه سوم بوده، تشکیل شده که در این مدل در لایه پنهان از تابع تانژانت – سیگموئید و در لایه خروجی از تابع خطی به عنوان تابع انتقال استفاده شده‌است.

بر اساس نتایج اولیه و خروجی‌های به دست آمده، به دلیل اینکه ۱۰ عدد از اطلاعاتی که جهت آموزش مدل استفاده شده بود از نظر ساختار با سایر اطلاعات تفاوت داشته و میزان خطای مدل برای آن‌ها بسیار بیشتر از سایر اطلاعات آموزش بود، حذف گردیده و مدل مجددا آموزش دیده که در نهایت بر اساس نتایج به دست آمده مدل نهایی دارای میانگین قدر مطلق خطا (MAPE) ، برابر با ۵/۵۰ درصد بوده و همچنین بیشترین میزان خطا معادل با ۱۳/۸۱ درصد و کمترین خطای مدل برابر با ۰/۳۶ درصد می‌باشد.

**جدول٤ : جدول مقایسه جواب‌های پیش‌بینی شده توسط مدل و جواب‌های واقعی.**

| ردیف | هزینه اجرای واقعی | هزینه پیش‌بینی شده توسط مدل | اختلاف هزینه پیش‌بینی شده و | درصد خطای مدل به |
|---|---|---|---|---|

| | | | مقدار واقعی | هزینه واقعی |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ریال ۳۹۲،۷۲۲،۸۷۵،۶۱۰ | ریال ۳۶۶،۱۰۸،۹۳۵،۶۱۵ | ریال -۲۶،۶۱۳،۹۳۹،۹۹۵ | %۶/۷۸ |
| 2 | ریال ۴۲۵،۴۷۸،۸۳۲،۱۳۸ | ریال ۳۸۵،۸۰۷،۰۱۱،۱۳۹ | ریال -۳۹،۶۷۱،۸۲۰،۹۹۹ | %۹/۳۲ |
| 3 | ریال ۳۷۸،۰۷۲،۷۴۵،۱۹۵ | ریال ۳۹۷،۹۷۶،۹۳۴،۳۰۸ | ریال ۱۹،۹۰۴،۱۸۹،۱۱۳ | %۵/۲۶ |
| 4 | ریال ۳۵۱،۷۵۴،۹۶۸،۳۴۰ | ریال ۳۷۳،۴۵۵،۰۲۵،۰۲۵ | ریال ۲۱،۷۰۰،۰۵۶،۶۸۵ | %۶/۱۷ |
| ۵ | ریال ۳۵۲،۸۳۱،۹۱۱،۷۹۷ | ریال ۳۷۳،۴۲۴،۰۷۹،۱۰۹ | ریال ۲۰،۵۹۲،۱۶۷،۳۱۲ | %۵/۸۴ |
| 6 | ریال ۵۴۷،۸۰۰،۸۶۹،۵۹۰ | ریال ۵۶۰،۲۲۳،۸۱۸،۷۸۳ | ریال ۱۲،۴۲۲،۹۴۹،۱۹۳ | %۲/۲۷ |
| 7 | ریال ۱۳۳،۰۳۳،۷۷۶،۴۳۱ | ریال ۱۴۰،۴۸۸،۸۱۹،۵۱۸ | ریال ۷،۴۵۵،۰۴۳،۰۸۸ | %۵/۶۰ |
| 8 | ریال ۳۱۵،۶۰۶،۴۴۷،۲۸۰ | ریال ۳۰۷،۹۰۷،۶۳۹،۵۸۹ | ریال -۷،۶۹۸،۸۰۷،۶۹۱ | %۲/۴۴ |
| 9 | ریال ۳۲۰،۳۱۳،۹۲۲،۳۸۳ | ریال ۳۱۴،۸۱۱،۱۳۵،۵۳۳ | ریال -۵،۵۰۲،۷۸۶،۸۵۰ | %۱/۷۲ |
| 10 | ریال ۱،۳۰۸،۲۹۰،۴۳۵،۲۲۸ | ریال ۱،۳۶۱،۱۴۲،۸۸۲،۴۳۲ | ریال ۵۲،۸۵۲،۴۴۷،۲۰۴ | %۴/۰۴ |
| 11 | ریال ۲۰۵،۷۲۹،۸۶۶،۱۶۸ | ریال ۲۰۶،۴۷۷،۳۸۰،۷۶۶ | ریال ۷۴۷،۵۱۴،۵۹۸ | %۰/۳۶ |
| 12 | ریال ۳۷۰،۹۹۱،۸۶۸،۳۰۴ | ریال ۳۴۶،۹۸۷،۱۷۹،۹۲۲ | ریال -۲۴،۰۰۴،۶۸۸،۳۸۱ | %۶/۴۷ |
| 13 | ریال ۳۱۲،۱۸۱،۴۰۳،۹۴۹ | ریال ۳۴۱،۰۱۹،۹۹۰،۳۷۸ | ریال ۲۸،۸۳۸،۵۸۶،۴۲۹ | %۹/۲۴ |
| 14 | ریال ۴۹۰،۳۰۸،۱۷۶،۴۰۱ | ریال ۴۴۶،۸۷۱،۴۹۴،۴۴۸ | ریال -۴۳،۴۳۶،۶۸۱،۹۵۴ | %۸/۸۶ |
| 15 | ریال ۵۸۳،۹۵۱،۲۶۵،۰۱۲ | ریال ۵۷۰،۷۸۸،۰۱۱،۳۵۹ | ریال -۱۳،۱۶۳،۲۵۳،۶۵۳ | %۲/۲۵ |
| 16 | ریال ۶۳۰،۰۳۲،۷۹۹،۷۵۳ | ریال ۶۳۴،۴۲۱،۲۸۵،۳۶۰ | ریال ۴،۳۸۸،۴۸۵،۶۰۷ | %۰/۷۰ |
| 17 | ریال ۴۳۵،۰۴۷،۱۹۴،۶۷۳ | ریال ۴۶۴،۲۱۲،۴۰۲،۹۸۰ | ریال ۲۹،۱۶۵،۲۰۸،۳۰۷ | %۶/۷۰ |
| 18 | ریال ۵۱۸،۸۸۸،۰۷۱،۹۰۳ | ریال ۴۸۴،۱۸۱،۶۲۹،۰۸۷ | ریال -۳۴،۷۰۶،۴۴۲،۸۱۵ | %۶/۶۹ |
| 19 | ریال ۳۸۰،۰۳۹،۶۰۴،۰۱۳ | ریال ۳۸۴،۳۷۷،۴۹۲،۱۷۵ | ریال ۴،۳۳۷،۸۸۸،۱۶۲ | %۱/۱۴ |
| 20 | ریال ۱۷۱،۶۳۰،۲۱۸،۰۶۱ | ریال ۱۶۹،۶۸۲،۷۵۲،۳۳۰ | ریال -۱،۹۴۷،۴۶۵،۷۳۲ | %۱/۱۳ |
| 21 | ریال ۹۹،۶۹۱،۳۷۵،۹۵۶ | ریال ۱۱۳،۳۹۲،۷۰۶،۱۰۷ | ریال ۱۳،۷۰۱،۳۳۰،۱۵۱ | %۱۳/۷۴ |
| 22 | ریال ۱۹۵،۸۵۴،۸۷۸،۳۹۷ | ریال ۲۰۲،۹۱۵،۳۸۷،۳۳۴ | ریال ۷،۰۶۰،۵۰۸،۹۳۷ | %۳/۶۰ |
| 23 | ریال ۲۳۲،۹۰۸،۶۱۴،۶۲۴ | ریال ۲۱۸،۳۳۵،۶۵۰،۱۶۳ | ریال -۱۴،۵۷۲،۹۶۴،۴۶۰ | %۶/۲۶ |
| 24 | ریال ۴۴۴،۴۷۹،۹۹۹،۲۳۵ | ریال ۴۵۴،۶۹۸،۲۵۸،۷۶۶ | ریال ۱۰،۲۱۸،۲۵۹،۵۳۱ | %۲/۳۰ |
| 25 | ریال ۵۷۹،۶۸۶،۰۰۹،۳۰۰ | ریال ۵۲۱،۴۷۳،۲۷۶،۰۰۱ | ریال -۵۸،۲۱۲،۷۳۳،۲۹۹ | %۱۰/۰۴ |
| 26 | ریال ۵۰۸،۶۴۱،۳۳۳،۹۸۷ | ریال ۵۱۸،۹۴۸،۹۲۴،۴۲ | ریال ۱۰،۳۰۷،۵۹۰،۸۵۶ | %۲/۰۳ |
| 27 | ریال ۳۱۴،۲۲۵،۴۷۴،۰۳۳ | ریال ۲۹۱،۹۰۵،۱۹۶،۰۸۱ | ریال -۲۲،۳۲۰،۲۷۷،۹۵۲ | %۷/۱۰ |
| 28 | ریال ۳۴۰،۳۱۲،۹۱۶،۵۸۶ | ریال ۳۲۶،۱۲۳،۲۲۰،۳۹۴ | ریال -۱۴،۱۸۹،۶۹۶،۱۹۲ | %۴/۱۷ |
| 29 | ریال ۱۸۶،۲۲۴،۴۹۲،۲۸۳ | ریال ۱۶۰،۵۰۹،۹۸۲،۵۵۳ | ریال -۲۵،۷۱۴،۵۰۹،۷۳۰ | %۱۳/۸۱ |
| 30 | ریال ۱۸۴،۵۹۹،۸۲۵،۳۸۸ | ریال ۱۶۷،۸۳۳،۲۵۶،۴۱۸ | ریال -۱۶،۷۶۶،۵۶۸،۹۷۰ | %۹/۰۸ |
| | | **میانگین** | | **%۵/۵۰** |

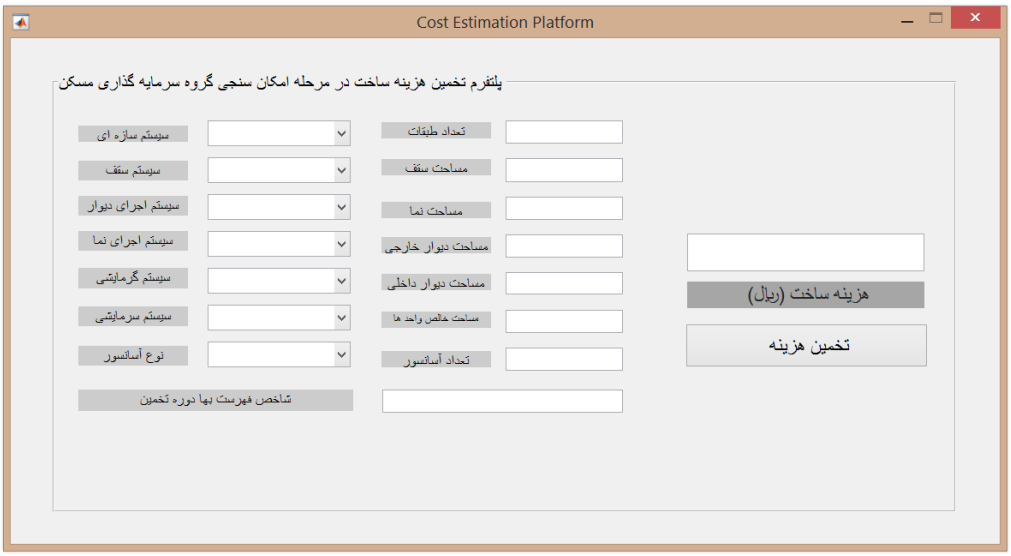
در ادامه به منظور مقایسه عملکرد مدل آموزش دیده با مدل‌های تخمین هزینه‌ای که در مقالات ذکر شده‌بود، دقت هر کدام از مدل های مذکور را در جدول شماره ۵ آورده شده‌است که بازه دقت آنها در بیشترین حالت ۱۶/۶ درصد و در کمترین حالت یک درصد می‌باشد و میانگین ۱۴ مدل بررسی شده معادل با ۶/۰۱ درصد بوده که بیانگر این موضوع می‌باشد که مدل آموزش دیده در مقایسه با مدل های پیشین دارای دقت خوبی بوده و در صورتی که در فازهای بعدی پژوهش بتوان تعداد اطلاعات آموزش را بیشتر نمود می‌توان به میزان خطای کمتری هم دست پیداکرد.

**جدول۵ : مقایسه میزان دقت خطای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در تخمین هزینه ساخت در مقالات بررسی‌شده.**

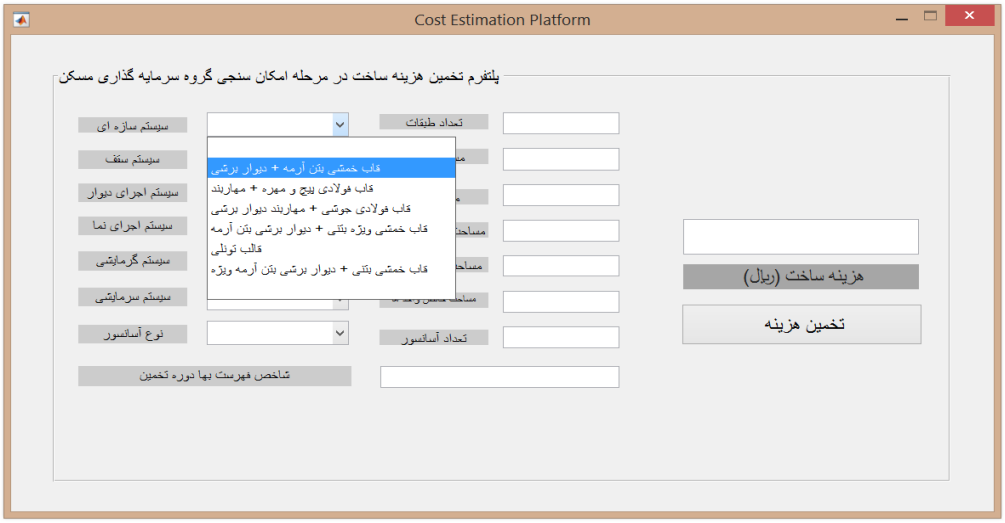
| ردیف | سال | نویسنده | میزان خطای مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین |
|---|---|---|---|

| | | | هزینه |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۰۰۲ | (امسلی و همکاران) | ۱۶/۶ درصد |
| ۲ | ۲۰۰۴ | (گونایدین و دوگان) | ۷ درصد |
| ۳ | ۲۰۰۴ | (کیم و همکاران) | ۲/۹۷ درصد |
| ۴ | ۲۰۱۱ | (آبینو و همکاران) | ۸/۲ درصد |
| ۵ | ۲۰۱۲ | (پتروتساتو و همکاران) | ۴/۶۵ درصد |
| ۶ | ۲۰۱۳ | (کیم و همکاران) | ۵/۲۷ درصد |
| ۷ | ۲۰۱۴ | (آل ساوالهی و شهاتو) | ۶ درصد |
| ۸ | ۲۰۱۴ | (بالا و همکاران) | ۵/۴ درصد |
| ۹ | ۲۰۱۶ | (آلقطنی و وایت) | ۱ درصد |
| ۱۰ | ۲۰۱۷ | (آل زواین و آیدان) | ۷ درصد |
| ۱۱ | ۲۰۱۸ | (باروس و همکاران) | ۱ درصد |
| ۱۲ | ۲۰۱۹ | (هاشمی و کاو) | ۵ درصد |
| ۱۳ | ۲۰۱۹ | (تیجانیک و همکاران) | ۱۳ درصد |
| ۱۴ | ۲۰۱۹ | (حکمی) | ۱ درصد |
| | | **میانگین خطای مدل‌های تخمین هزینه مقالات بررسی‌شده** | ۶/۰۱ درصد |

در نهایت به منظور استفاده از مدل آموزش دیده در برنامه متلب توسط کاربران، یک رابط گرافیکی طراحی گردیده‌است. که این رابط گرافیکی هم استفاده از مدل را بسیار تسهیل بخشیده و هم در استفاده از مدل تخمین هزینه احتیاج به نصب بودن برنامه متلب بر روی سیستم کاربر را بی‌نیاز می‌نماید. که در شکل ۱ و ۲ نمایی از این رابط گرافیکی نشان داده شده‌است.




**شکل ۱ : نمایی از رابط گرافیکی طراحی شده.**




**شکل۲ : نمایی از منوی بازشو جهت انتخاب سیستم‌های اجرایی رابط گرافیکی طراحی شده.**

در این رابط گرافی خروجی که توسط مدل محاسبه می‌گردد، دو عدد ضرب می‌شود که اولین ضریب نرخ تورمی بوده و دومین ضریب هم برای لحاظ کردن هزینه سایر بخش‌های ساختمان که اطلاعات آن‌ها را در مدل لحاظ نگردیده و معمولا در تمامی ساختمان‌های مسکونی مقداری ثابت می‌باشند است. که این ضریب که معادل ۱/۲۱ می‌باشد و لیست آن در جدول ۳ ذکر شده است. نکته‌ای که باید در نظر داشته باشیم این موضوع می‌باشد که این تخمین تا مرحله قبل از نازک کاری می‌باشد و دلیل این امر هم این مسئله است که کیفیت مصالح نازک کاری بسیار متنوع بوده و چون جز مراحل پایانی پروژه می‌باشد که بر سایر قسمت‌ها اثر گذار نبوده و بازه اختلاف قیمتی آن بسیار متفاوت می‌باشد از این مرحله صرف نظر کرده ایم، که شامل ( پوشش نهایی دیوار و سقف، وسایل بهداشتی، کابینت و کمد واحدها، کاشی و سرامیک کف واحد دیوار آشپزخانه و سرویس‌ها و مشاعات ساختمان) می‌شود. و مدل ارائه شده صرفا هزینه ساخت، مواردی که در جدول‌های ۲ و ۳ ذکر شده است را بر اساس تورم روز محاسبه کرده و به کاربر نشان خواهد داد.

در نهایت مدل مذکور پس از نهایی سازی در اختیار شعبه‌های گروه سرمایه گذاری مسکن قرار گرفته که در چند پروژه که مراحل ابتدایی و مطالعات فاز امکان سنجی خود را طی می‌کرده‌اند، استفاده شده‌است. مطابق نتایج، استفاده از مدل باعث شده در تصمیم‌های اتخاذ گردیده جهت انتخاب سیستم‌های سازه ای بسیار موثر باشد و در زمان بسیار صرفه جویی شود. همچنین در چند مورد هم که ساخت پروژه به صورت پیمانی بوده است، استفاده از این مدل باعث شده در عدد اولیه قرارداد و بعضی از شرایط قراردادی ذکر شده درمحدوده تجدید نظر شود و به طور کلی سازمان مذکور از نتایج حاصل شده رضایت داشته و تمایل به گسترش فازهای بعدی مدل جهت بهبود آن و استفاده در سایر مراحل پروژه را داشته است. همچنین عدم نیاز به دانش بالا در امر تخمین هزینه برای کاربرانی که از مدل استفاده می‌کنند به عنوان یکی از نقاط مثبت مدل ذکر شده‌است.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله که پژوهشی کاربردی می‌باشد، هدف اصلی آن ارائه مدلی جهت تخمین هزینه ساخت پروژه‌های مسکونی در مرحله امکان‌سنجی بوده، که بدین منظور پس از مرور ادبیات به شناسایی عواملی که می‌توانند بر هزینه ساخت اثر گذار باشند، با رویکردی اکتشافی در یکی از شرکت‌های انبوه ساز کشور مصاحبه‌هایی با خبرگان انجام شده و سعی گردیده تا عواملی که تغییر آن‌ها بیشترین تاثیر را بر هزینه نهایی ساخت دارد جهت استفاده در مدل شناسایی گردد. که یافته های مهم پژوهش در موارد ذیل اشاره شده است:

۱) مهم ترین عوامل تاثیرگذار بر تخمین هزینه بر اساس مرور ادبیات و مصاحبه با خبرگان که اطلاعات آنها در مرحله امکان‌سنجی در دسترس باشد عبارتند از: ۱- نوع سیستم سازه‌ای ۲- تعداد طبقات ۳- نوع سیستم سقف ۴- مساحت سقف اجرایی ساختمان

(زیربنای ناخالص) ۵- نوع دیوار اجرایی ۶- مساحت دیوار خارجی ۷- مساحت دیوار داخلی ۸- سیستم اجرای نما ۹- مساحت نمای ساختمان ۱۰- نوع سیستم گرمایش ۱۱- نوع سیستم سرمایش ۱۲- مساحت سیستم سرمایشی و گرمایشی (مجموع زیربنای خالص واحدها) ۱۳- نوع آسانسور ۱۴- تعداد آسانسور.

۲) همچنین برای بخش‌هایی از ساختمان همچون سیم کشی، لوله کشی و سایر بخش‌هایی که در بیشتر پروژه‌های مسکونی قیمت ثابتی داشته و لیست کامل این عوامل در جدول ۳ ذکر شده است، ضریبی معادل ۰/۲۱۹۴ هزینه محاسبه شده بر اساس ۱۴ آیتم ورودی مدل در نظر گرفته شده تا تاثیر این عوامل در هزینه پیش بینی شده نهایی لحاظ گردد.

۳) از طرفی با توجه به نرخ تورم بالای کشور که مبحث تخمین هزینه را بر اساس زمان استفاده از آن تحت تاثیر قرار می‌دهد، از تعدیل قیمتی بر اساس شاخص‌های سازمان برنامه بودجه استفاده شده که این شاخص‌ها مرجع تعدیل قیمتی بسیاری از قراردادها می باشد و به گونه‌ای مناسب می توان نرخ تورم قیمتی را در هزینه محاسبه شده توسط مدل لحاظ نمود.

۴) در ادامه بر اساس ۱۴ پارامتر مشخص شده و اطلاعات ۴۰ پروژه اجرا شده مدل تخمین هزینه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل شده، که بر اساس نتایج به دست‌آمده دقت آن معادل ۹۴/۵ درصد بوده‌است، که در مقایسه با روش های سنتی عملکرد بسیاری خوبی داشته‌است.

۵) در نهایت برای استفاده راحت‌تر از مدل توسط کاربران یک رابط گرافیکی طراحی شده که به صورت فایل نصبی بوده و استفاده از سیستم را بسیار تسهیل بخشیده‌است.

## سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از همکاری شرکت گروه سرمایه گذاری مسکن، به ویژه واحد تحقیق و توسعه شرکت مذکور که در این پژوهش همکاری‌های بسیار خوبی داشته اند، کمال سپاسگزاری را دارند

## مراجع

[1]. Mahamid, I. (2015). Factors affecting cost estimate accuracy: Evidence from Palestinian construction projects. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, *10*(2), 117-125.
[2]. Magdum, S. K., & Adamuthe, A. C. (2017). CONSTRUCTION COST PREDICTION USING NEURAL NETWORKS. *ICTACT Journal on soft computing*, *8*(1).
[3]. El-Sawalhi, N. I., & Shehatto, O. (2014). A neural network model for building construction projects cost estimating. *Journal of Construction Engineering and Project Management*, *4*(4), 9-16.
[4]. Arafa, M., & Alqedra, M. (2011). Early stage cost estimation of buildings construction projects using artificial neural networks. *Journal of Artificial Intelligence*, *4*(1).
[5]. 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.
[6]. Barros, L. B., Marcy, M., & Carvalho, M. T. (2018). Construction cost estimation of Brazilian highways using artificial neural networks. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, *7*(3), 283-289.
[7]. Kulkarni, P., Londhe, S., & Deo, M. (2017). Artificial neural networks for construction management: a review. *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, *1*(2), 70-88.
[8]. Waziri, B. S., Bala, K., & Bustani, S. A. (2017). Artificial neural networks in construction engineering and management. *International Journal of Architecture, Engineering and Construction*, *6*(1), 50-60.
[9]. Ambrule, V. R., & Bhirud, A. N. (2017). Use of artificial neural network for pre design cost estimation of building projects. *Interational Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, *5*(2), 173-176.
[10]. Dandan, T. H., Sweis, G., Sukkari, L. S., & Sweis, R. J. (2019). Factors affecting the accuracy of cost estimate during various design stages. *Journal of Engineering, Design and Technology*, *18*(4), 787-819.

[11]. Agyekum-Mensah, G. (2019). The degree of accuracy and factors that influence the uncertainty of SME cost estimates. *International Journal of Construction Management*, *19*(5), 413-426.

[12]. Yadav, R., Vyas, M., Vyas, V., & Agrawal, S. (2016). Cost estimation model (CEM) for residential building using artificial neural network. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, *5*(1), 430-432.

[13]. Al-Zwainy, F. M., & Aidan, I. A. A. (2017). Forecasting the cost of structure of infrastructure projects utilizing artificial neural network model (highway projects as case study). *Indian J. Sci. Technol*, *10*(20), 1-12.

[14]. Emsley, M. W., Lowe, D. J., Duff, A. R., Harding, A., & Hickson, A. (2002). Data modelling and the application of a neural network approach to the prediction of total construction costs. *Construction Management & Economics*, *20*(6), 465-472.

[15]. 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.

[16]. Kim, G. H., An, S. H., & Kang, K. I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. *Building and environment*, *39*(10), 1235-1242.

[17]. Aibinu, A. A., Dassanayake, D. H. A. R. M. A., & Thien, V. C. (2011, June). Use of artificial intelligence to predict the accuracy of pre-tender building cost estimate. In *Proceeding of the Conference of Management and Innovation for a Sustainable Built Environment, Amsterdam, the Netherlands*.

[18]. Petroutsatou, K., Georgopoulos, E., Lambropoulos, S., & Pantouvakis, J. P. (2012). Early cost estimating of road tunnel construction using neural networks. *Journal of construction engineering and management*, *138*(6), 679.

[19]. 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.

[20]. Bala, K., Bustani, S. A., & Waziri, B. S. (2014). A computer-based cost prediction model for institutional building projects in Nigeria: an artificial neural network approach. *Journal of Engineering, Design and Technology*.

[21]. Hyari, K. H., Al-Daraiseh, A., & El-Mashaleh, M. (2016). Conceptual cost estimation model for engineering services in public construction projects. *Journal of Management in Engineering*, *32*(1), 04015021.

[22]. Alqahtani, A., & Whyte, A. (2016). Estimation of life-cycle costs of buildings: regression vs artificial neural network. *Built Environment Project and Asset Management*.

[23]. Leśniak, A., & Juszczyk, M. (2018). Prediction of site overhead costs with the use of artificial neural network based model. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, *18*(3), 973-982.

[24]. Elmousalami, H. H. (2019). Intelligent methodology for project conceptual cost prediction. *Heliyon*, *5*(5), e01625.

[25]. Hashemi, S. T., Ebadati E, O. M., & Kaur, H. (2019). A hybrid conceptual cost estimating model using ANN and GA for power plant projects. *Neural Computing and Applications*, *31*(7), 2143-2154.

[26]. Tijanić, K., Car-Pušić, D., & Šperac, M. (2020). Cost estimation in road construction using artificial neural network. *Neural Computing and Applications*, *32*(13), 9343-9355.

[27]. Hakami, W., & Hassan, A. (2019). Preliminary Construction Cost Estimate in Yemen by Artificial Neural Network. *Baltic Journal of Real Estate Economics and Construction Management*, *7*(1), 110-122.

[28]. Cheng, M. Y., Cao, M. T., & Herianto, J. G. (2020). Symbiotic organisms search-optimized deep learning technique for mapping construction cash flow considering complexity of project. Chaos, Solitons & Fractals, 138, 109869.