

یادداشت فنی: تعیین میزان تأثیر عوامل اتلاف هزینه در هزینه کل پروژه‌های ساخت

آپارتمانهای مسکونی

مهدی محمدی قاضی محله^{۱*}، محمود گلابچی^۲

۱- دکترای مدیریت پروژه، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استاد، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

افزایش هزینه یکی از مباحثی است که همواره بر موفقیت پروژه اثر منفی داشته و به دو قسمت سرریز هزینه و اتلاف هزینه تقسیم می‌شود. سرریز هزینه به معنای تفاوت حاصل از قیمت واقعی و قیمت تخمینی پروژه می‌باشد و منظور از اتلاف هزینه، هزینه‌هایی است که در قبال فعالیت‌ها و رخدادهایی داده می‌شود که هیچ نقش مثبتی در فرآیند پروژه نداشته و ارزش افزوده‌ای ایجاد نمی‌کنند. این پژوهش به مقوله دوم یعنی اتلاف هزینه در ساخت آپارتمان‌ها پرداخته و ضمن جستجو و بررسی عمیق مقالات و پژوهش‌های با موضوع افزایش هزینه، توسط مصاحبه با خبرگان و تحلیل تم به سه عامل اصلی دوباره‌کاری، بیکاری نیروی انسانی و ضایعات مصالح رسید. اما منحصربه‌فرد بودن این مقاله مربوط به قسمتی است که میزان تأثیر این عوامل نسبت به هزینه کل تعیین شده است. منظور از هزینه کل، هزینه تولید ساختمان است و هزینه‌های مربوط به مجوزها و قیمت زمین را دربر نمی‌گیرد. با توجه به عدم وجود مستندات که هزینه‌های ساختمانی در آن به‌درستی ثبت شده باشد، تنها منبع جمع‌آوری داده مدیران پروژه هستند که داده‌های موردنیاز با پرسشنامه‌ای حاوی چهار سؤال از ۱۳۰ مدیر پروژه اخذ گردید. خاطرنشان می‌شود سه سؤال پرسشنامه جواب بلی یا خیر داشت و تنها سؤال آخر نیازمند تخمین مدیر پروژه بود در نتیجه پرسشنامه ارائه شده با توجه به معیارهای تدوین پرسشنامه، بسیار مطلوب و کارا بود. روش مورد استفاده نیز مدل رگرسیون خطی لاسو انتخاب گردید که با توجه به هدف مقاله، نوع داده‌ها و احتمال وجود خطا در تخمین، یکی از گزینه‌های مطلوب و کاملاً سازگار با شرایط مسأله بود. در نهایت از بین سه عامل، دوباره‌کاری به‌عنوان مهم‌ترین عامل اتلاف هزینه به دست آمد و در صورت وجود هر سه عامل در پروژه مقدار اتلاف هزینه‌ای ۳/۱۲٪ هزینه کل پروژه محاسبه گردید.

کلمات کلیدی: افزایش هزینه، اتلاف هزینه، عوامل اتلاف، آپارتمان‌های مسکونی، هزینه کل، روش لاسو.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:			
10.22065/jsce.2017.80772.1122	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
doi: 10.22065/jsce.2017.80772.1122	۱۳۹۷/۱۰/۳۰	۱۳۹۶/۰۴/۳۱	۱۳۹۶/۰۴/۳۱	۱۳۹۶/۰۲/۲۸	۱۳۹۶/۰۱/۰۲
مهدی محمدی قاضی محله maghazi@ut.ac.ir				*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

Evaluating the impact of cost waste causes in residential buildings construction total cost

Mahdi Mohammadi Ghazimahalleh^{1*}, Mahmood Golabchi²

1- PhD, project management, Faculty of school of architecture, Tehran University, Tehran, Iran

2- Professor, School of Architecture, College of Fine Arts, Tehran university, Tehran, Iran

ABSTRACT

Cost increase is one of important factors that always have a negative effect on project success. Cost increase is divided in two parts: cost overrun and cost waste. Cost overrun is the difference between the actual and estimated cost of project and money waste is the cost that paid for non-value-added activities that are no positive effect on project process. This paper has researched on cost waste causes in building construction. In addition to the articles in-depth review, by semi-structured interview with experts and thematic analysis, this paper has identified 3 main causes that are reworks, material waste and labor inaction. But the uniqueness of this paper is related to the numerical calculation of the impact of these cause on total cost. Total cost is cost of building production without costs related to permits and land price. Required data were collected from 130 project manager by using a questionnaire containing four questions. The answer of three questions in questionnaire were Yes or No and just one last question requires estimation of the project manager. As a result, according to criteria codification, the efficient questionnaire was provided. Lasso regression Model were used that according to the type of data and the possibility of error in estimating was fully compatible with the problem. Finally, among three causes, rework were obtained as the most important cause and If there is any loss in the case of presenting three causes in project, costs waste was estimated 3.12% of the total cost.

ARTICLE INFO

Received: 02/02/2017

Revised: 15/06/2017

Accepted: 08/07/2017

Keywords:

Cost increase,
Cost waste ,
waste cause,
Residential building,
Total cost,
LASSO method

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2017.80772.1122

*Corresponding author: Mahdi Mohammadi Ghazimahalleh

Email address: maghazi@ut.ac.ir

۱- مقدمه

برنامه‌ریزی و کنترل صحیح هزینه یکی از ارکان موفقیت هر پروژه بالأخص پروژه‌های ساختمانی است. با توجه به نقش کلیدی پروژه‌های ساختمانی در اقتصاد کشورها افزایش هزینه اهمیت ویژه‌ای پیدا خواهد کرد و همین امر، سبب انجام پژوهش‌های زیادی در این حوزه شده است [۱]. افزایش هزینه پروژه به دو بخش سرریز هزینه^۱ و اتلاف هزینه^۲ تقسیم می‌شود. سرریز هزینه یکی از مشکلات اصلی صنعت ساخت [۲] و مورد بحث پژوهش‌های زیادی بوده و مقالات فراوانی به تعریف آن پرداخته‌اند. به‌طور مثال آن را تفاوت بین هزینه تخمین زده‌شده و هزینه واقعی پروژه [۳] یا هزینه اضافه نسبت به آنچه در قرارداد قید شده است [۴] و یا آن را تفاوت بین هزینه نهایی زمانی که تولید محصول پروژه به پایان رسید و مقداری که در قرارداد مورد توافق کارفرما و پیمانکار بوده و امضاء شده است [۱] تعریف کرده‌اند. همگی این تعریف‌ها یک معنا را مدنظر قرار داده و آن تفاوت قیمت تخمینی و قیمت واقعی پروژه است. این دو قیمت هرگز نمی‌توانند یکی باشند زیرا هزینه ساخت را نمی‌توان به‌صورت دقیق پیش‌بینی نمود و زمانی قیمت واقعی ساخت به دست خواهد آمد که پروژه تمام شده باشد [۵]. نکته اساسی سرریز هزینه این است که این امر یک اتفاق در پروژه نیست که گاهی واقع شود و گاهی واقع نشود بلکه به‌صورت یک ویژگی و طبیعت پروژه درآمده است [۶] زیرا همواره تخمین با خطا روبرو است [۵]. در ساخت آپارتمان‌ها تخمین هزینه حدود ۳۰٪ خطا دارد که رقم قابل توجهی است [۷]. از عوامل سرریز قیمت پروژه می‌توان به تورم، نوسان قیمت ارز و خزش محدوده اشاره کرد. اما بخش بعدی که البته کمتر مورد توجه واقع شده اتلاف هزینه در فرآیند ساخت است به این معنا که در ساخت آپارتمان، فعالیت‌ها و رویدادهایی وجود دارد که باعث هدر دادن منابع مالی می‌شود و هیچ ارزش‌افزوده‌ای ایجاد نمی‌کند [۸، ۹]. این فعالیت‌ها و رویدادها در درون فرآیند پروژه وجود دارند و باعث هدر رفتن بودجه می‌شوند و همچنین به علت ایجاد اختلال در فرآیند ساخت، کاهش کیفیت محصول نهایی را سبب خواهند شد [۱۰]. به‌طور مثال یکی از این اتلاف‌ها، بیکاری نیروی انسانی است که با وجود دریافت دستمزد، فعالیتی نداشته و فرآیند ساخت را به جلو نمی‌برد. لذا هزینه‌ای که بابت ساعت‌های بیکاری نیرو داده می‌شود اتلاف است. نکته حائز اهمیت این است که اگر اتلاف هزینه رقم قابل توجهی باشد مستقیماً باعث افزایش هزینه گردیده و تخمین‌ها را تحت تأثیر جدی قرار می‌دهد و در نتیجه حتماً باید اقدامات پیشگیرانه‌ای جهت کنترل این عوامل انجام داد اما در مقالات جستجو شده به مقوله اتلاف کمتر پرداخته شده و به دست آوردن میزان اتلاف به‌ندرت مشاهده گردید. لذا هدف این پژوهش، پاسخ به این سؤال مهم است که اتلاف‌ها در پروژه‌های ساختمانی مسکونی چند در صد هزینه کل را به خود اختصاص می‌دهند؟

برای پاسخ به این سؤال نیاز است ابتدا عوامل اتلاف هزینه‌ها شناسایی گردد که این امر با بررسی مقالات مختلف و همچنین با مصاحبه از افراد خبره و تحلیل تم، انجام شده و عوامل به‌دست‌آمده در سه دسته دوباره‌کاری‌ها، ضایعات مصالح و بیکاری نیروی انسانی قرار گرفت. لازم به ذکر است عوامل به‌دست‌آمده دارای سه ویژگی اساسی هستند. اولین ویژگی آن است که در فرآیند اجرای ساختمان حضور داشته باشند که از ابتدای گودبرداری تا انتهای ساخت آپارتمان را شامل می‌شود و مواردی مانند کسب مجوزها و طراحی ساختمان، در نظر گرفته نشد. دومین ویژگی تأثیر مستقیم بر هزینه است. یعنی عواملی مورد بررسی قرار گرفتند که بی‌واسطه باعث اتلاف هزینه هستند و می‌توان آن‌ها را به‌صورت یک متغیر با واحد پول تعریف کرد. به‌طور مثال ضایعات مصالح به‌صورت مستقیم روی هزینه تأثیر می‌گذارد اما عامل بی‌تجربگی نیروی انسانی هرچند باعث اتلاف هزینه می‌شود اما به‌صورت مستقیم تأثیرگذار نیست. ویژگی سوم و آخر، قابل کنترل بودن عوامل است. عواملی مانند تورم یا نوسان قیمت ارز در کنترل مدیر پروژه نیست اما با برنامه‌ریزی، می‌توان مقدار بیکاری نیروی انسانی را کاهش داد. مرحله بعد تعیین میزان اتلافی است که توسط هرکدام از این عوامل در پروژه‌ها به وجود می‌آید که پرداختن به آن باعث یکتایی این مقاله گردیده است. با توجه به اینکه اسناد و مدارک مالی که بتوان از آن‌ها میزان اتلاف را به دست آورد در پروژه‌های آپارتمان‌های مسکونی کشور وجود ندارد تنها راه به دست آوردن اطلاعات، افرادی هستند که اطلاعات جامعی راجع به هزینه‌های پروژه دارند و معمولاً در دسته

¹ Cost overrun

² Cost waste

مدیران پروژه قرار می‌گیرند و می‌توانند اتلاف‌های حاصل از سه عامل را در پروژه خود تخمین بزنند. لذا در سطح تهران آپارتمان‌های ۵ تا ۷ طبقه‌ای که به تازگی به اتمام رسیده بودند شناسایی گردید و بین مدیران پروژه آن‌ها پرسشنامه توزیع شد که در مجموع ۱۳۰ پاسخنامه به دست آمد. دلیل انتخاب آپارتمان‌های مسکونی ۵ تا ۷ طبقه، تعداد و پراکندگی بسیار بالای این نوع آپارتمان‌ها در سطح تهران بود. مرحله بعد تحلیل و پردازش داده‌ها بود که در آن از روش رگرسیون لاسو استفاده شد. این روش با داشتن تابعی موسوم به تنظیم‌کننده ضمن کاهش خطای برازش از پدیده بیش‌برازش نیز جلوگیری می‌کند و در نتیجه تابع به دست آمده از آن قابلیت پیش‌بینی قابل‌اعتمادی را ارائه می‌دهد.

۲- اهداف تحقیق

۱. شناسایی عوامل اتلاف هزینه
۲. اولویت‌بندی عوامل
۳. به دست آوردن میزان اتلاف ایجادشده توسط این عوامل

۳- پیشینه موضوع

همان‌طور که در مقدمه بیان شد، تحقیقات زیادی با موضوع دلایل افزایش هزینه پروژه انجام شده است که بررسی آن‌ها باهدف یافتن عوامل اتلاف هزینه انجام گردید و حاصل آن در جدول ۱ آمده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که از بین عوامل شناخته‌شده دوباره‌کاری در بیش‌تر پژوهش‌ها به‌عنوان یک عامل اساسی مطرح شده [۱۱، ۱۲] و در دو مقاله تأثیر منفی آن به‌صورت کمی موردبررسی قرار گرفته است. پژوهش‌ها در تعریف دوباره‌کاری اتفاق نظر دارند به‌طور مثال آن را تکرار فعالیت به علت عدم تطابق با الزامات [۱۲] یا تکرار یک فرآیند یا فعالیت به علت انجام نادرست آن در اولین مرتبه تعریف کرده‌اند [۱۳]. سایر تعاریف با دو تعریف ذکرشده تطابق دارد. اثر منفی دوباره‌کاری در صنعت ساخت بین ۲٪ تا ۶٪ کل هزینه تخمین زده شده که اتفاق نظر روی ۵٪ است [۱۲] و در پروژه‌های آپارتمانی، این تخمین ۵/۲۹٪ می‌باشد [۱۱]. در مقاله دیگر، مقدار دوباره‌کاری در پروژه‌های ساخت ساختمان‌های صنعتی و مسکونی را ۳/۱۴٪ هزینه کل یافته است [۱۴]. مؤسسه صنعت ساخت آمریکا مقدار دوباره‌کاری را به‌طور متوسط معادل ۵٪ هزینه کل پروژه‌های ساخت ذکر کرده است که این مقدار در مقاله دیگری نیز برای پروژه‌های ساخت بزرگراه‌ها تکرار شده است [۱۵]. عامل بعدی ضایعاتی است که به علت دورریز مصالح در اثر بریدن، شکستن، خراب شدن و یا اضافه ماندن باعث اتلاف هزینه می‌شود [۱۶]. هرچند دو مقاله بر این عامل تأکید اساسی داشتند اما تخمینی در میزان هزینه ارائه نکردند. عامل دیگر اتلاف، بیکاری نیروی انسانی است که در کارگاه حضور دارند و مزد خود را دریافت می‌کنند اما به علت تداخل کاری، کمبود مصالح، کمبود تجهیزات و یا سایر عوامل، کاری انجام نمی‌دهند. در این زمینه نیز در مقالات موردبررسی، تخمینی ارائه نگردیده است.

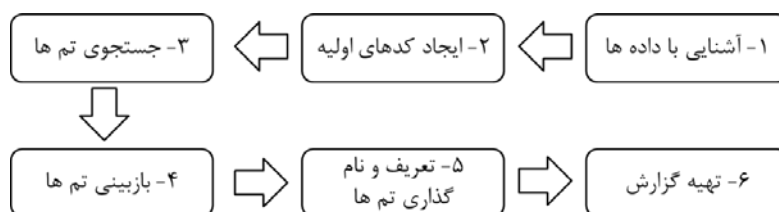
جدول ۱: شناسایی عوامل افزایش هزینه در مقاله‌های بررسی شده

منابع	عامل افزایش هزینه
[5], [8], [9], [10], [13], [14], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]	دوباره‌کاری
[16], [17]	ضایعات مصالح
[16], [17], [23], [24], [25]	بیکاری یا ناکارآمدی نیروی انسانی

۴- روش تحقیق

روش تحقیق این پژوهش شامل دو بخش مصاحبه و تحلیل تم و بخش دوم پرسشنامه و استفاده از روش رگرسیون لاسو است. به‌منظور شناسایی عوامل اتلاف هزینه در پروژه‌های ساختمانی ایران از روش مصاحبه و تحلیل تم استفاده شد که در آن منبع اصلی جمع‌آوری داده‌ها، افراد خبره مشغول به کار در صنعت آپارتمان‌سازی بودند. روش جمع‌آوری داده‌ها، مصاحبه حضوری بوده و به علت اکتشافی بودن تحقیق، مصاحبه به‌صورت نیمه ساختاریافته انجام گرفته است. روش نمونه‌گیری در مصاحبه، غیر تصادفی یا عمدی بود که با توجه به شاخص انتخاب توسط پژوهش‌گر انجام گرفت. شاخص‌های اصلی در انتخاب افراد به شرح زیر است:

۱. جامعیت و تسلط به‌کل فرآیند ساخت آپارتمان: چون این مقاله به بررسی کل فرآیند ساخت پرداخته است، افرادی مناسب‌ترند که دیدی جامع و مشرف بر فرآیند داشته و بدون تعصب به قسمتی خاص، نظرات خود را ارائه دهند.
 ۲. تجربه کافی: با توجه به آشنایی پژوهش‌گر به فضای پروژه ساختمانی و افراد خبره در این زمینه، افرادی مورد مصاحبه قرار گرفتند که در سمت مدیر پروژه بوده و تعداد پروژه‌های انجام‌شده توسط آن‌ها بیش‌تر از پنج عدد بود ضمن این‌که در زمان انجام تحقیق، مشغول به اجرای پروژه بودند.
- سؤال اصلی مصاحبه این بود که در فرآیند اجرای ساختمان، چه عواملی به‌صورت مستقیم باعث اتلاف هزینه می‌شوند که این قابلیت را دارند که تقلیل یابند یا حذف شوند.
- تجزیه و تحلیل یافته‌ها از طریق روش تحلیل تم انجام گرفته است. این تحلیل شامل رفت و برگشت مستمر بین مجموعه داده‌ها و خلاصه‌های کدگذاری شده و تحلیل داده‌ها است و همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده، دارای شش مرحله می‌باشد [۲۶].



شکل ۱: مراحل اجرای تحلیل تم

در بخش دوم برای تعیین میزان اتلاف هزینه‌ای هرکدام از عوامل اتلاف از پرسشنامه و روش رگرسیون لاسو استفاده گردید. در پرسشنامه طراحی شده تنها چهار سؤال وجود داشت که آپارتمان به اتمام رسیده را مورد پرسش قرار می‌داد. سؤالات پرسشنامه به شرح زیر است:

۱. آیا عامل دوباره‌کاری در پروژه وجود داشت؟
۲. آیا عامل ضایعات مصالح در پروژه وجود داشت؟

۳. آیا عامل بیکاری نیروی انسانی در پروژه وجود داشت؟

۴. عواملی که در بالا «بله» گرفتند، چند درصد هزینه کل است؟ (منظور از هزینه کل، هزینه ساخت دستگاه آپارتمان فارغ از مجوزها و قیمت زمین است).

جواب سؤال اول تا سوم، صفر و یک است که امکان خطا را در پاسخ‌گویی به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای پایین می‌آورد و تنها سؤال چهارم به پردازش مدیر پروژه و پاسخ عددی نیازمند است. با توجه به معیارهای تدوین پرسشنامه مانند کوتاهی و سادگی سؤال‌ها، پرسشنامه تهیه‌شده دارای امتیاز بالایی از نظر تدوین بود. داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه، به‌عنوان اطلاعات ورودی در مدل رگرسیون لاسو مورد استفاده قرار گرفت. این روش جزو روش‌های انقباضی^۳ است که از تغییرپذیری زیاد تأثیر نمی‌گیرد در نتیجه کارایی آن در تفسیر و پیش‌بینی بر مبنای داده‌های تخمینی بالاست. این روش با حفظ زیرمجموعه‌ای از پیش‌بینی‌کننده‌ها و کنار گذاشتن بقیه‌ی آن‌ها، مدلی را تولید می‌کند که قابل تفسیر است و احتمالاً خطای پیش‌بینی کمتری نسبت به مدل کامل دارد. ویژگی دیگر این روش که با وجود خطی بودن، آن را از روش‌های دیگر متمایز می‌کند قابلیت آن در تخصیص درجه اهمیت به عوامل مؤثر در اتلاف هزینه‌ها است [۲۷]. در ادامه به جزئیات این روش و چگونگی استفاده از آن در این مسأله پرداخته خواهد شد.

روش رگرسیون لاسو

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، هدف از به کار بردن مدل ریاضی لاسو عبارت است از اولویت‌بندی عوامل اتلاف هزینه و بررسی میزان تأثیر این عوامل بر هزینه کل. دلایل انتخاب روش رگرسیون لاسو این است که ضمن ارائه تابع خطی، اولویت‌بندی متغیرها را نیز دربر دارد. دیگر اینکه تابع به‌دست‌آمده از این روش در برابر داده‌هایی که ایجاد اختلال می‌کنند، از مقاومت مطلوبی برخوردار است. با توجه به آن که یکی از داده‌های پرسشنامه (سؤال چهارم) نیازمند تخمین پاسخ‌دهندگان است جزو داده‌هایی است که در آن اختلال وجود دارد، لذا روش رگرسیون لاسو یک انتخاب بهینه برای حل مسأله می‌باشد.

مسأله در حالت کلی به‌صورت یک تابع خطی که در رابطه ۱ نشان داده‌شده تعریف می‌شود که در آن X_j مربوط به متغیر مستقل، n تعداد متغیر مستقل و مؤثر بر متغیر وابسته y و β_j ضرایب تابع و مجهولات مسأله هستند. مفروضات مسأله آن است که X_j و y متعلق به مجموعه اعداد حقیقی هستند، هم‌چنین توزیع احتمالاتی X ثابت ولی مجهول است. هدف مسأله آن است که با داشتن m داده مختلف از X و y ، تابعی خطی از X به y برازش داده شود، طوری که با داشتن هر نمونه جدید از X ، بتوان y را با حداقل خطا پیش‌بینی کرد. منظور از خطا میزان انحرافی است که بین داده واقعی و داده پیش‌بینی‌شده به وجود می‌آید و در روش لاسو تابعی که مقدار زیان حاصل از خطا را می‌سنجد خطای میانگین جذر مربعات^۴ است که با علامت اختصاری MSE نشان داده می‌شود.

(۱)

$$y = f(x) = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j X_j$$

داده‌های آموزشی^۵ یا ورودی‌های مسأله به‌صورت $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)\}$ هستند که در آن $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]$ نتیجه یک اندازه‌گیری است. در مسأله این مقاله، $n = 3$ ، x_{i1} وجود عامل دوباره‌کاری، x_{i2} وجود عامل بیکاری نیروی انسانی و x_{i3} وجود عامل ضایعات مصالح است که مقدار این سه متغیر یا ۱ به معنای وجود و یا صفر به معنای عدم وجود است. y_i نیز مقدار اتلاف به

^۳ Shrinkage Methods

^۴ Mean Square Error (MSE)

^۵ Training set

وجود آمده در هزینه کل است که توسط مدیران پروژه به صورت تخمینی به درصد بیان می‌گردد. به طور مثال اگر پاسخ یکی از پرسشنامه‌ها به سؤالات زیر به صورت زیر باشد:

۱. آیا عامل دوباره کاری در پروژه وجود داشت؟ بله
۲. آیا عامل بیکاری نیروی انسانی در پروژه وجود داشت؟ خیر
۳. آیا عامل ضایعات مصالح در پروژه وجود داشت؟ بله
۴. اتلاف هزینه در اثر عواملی که در بالا (بله) گرفتند، چند درصد هزینه کل است؟ ۲/۸۶٪

x_{i1} ، x_{i2} و x_{i3} به ترتیب ۱، ۰ و ۱ می‌شود و مقدار y نیز ۲/۸۶٪ خواهد شد.

در روش لاسو تابعی انتخاب می‌شود که مجموع مربعات خطاهای باقیمانده آن حداقل باشد. اگر $\beta = \{\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n\}$ باشد، مجموع مربعات خطاهای باقیمانده عبارت است از [۲۸]:

$$RSS(\beta) = \sum_{i=1}^m (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^m (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^n x_{ij}\beta_j)^2 \quad (2)$$

رابطه ۲ را به صورت ماتریسی می‌توان به صورت رابطه ۳ بیان نمود:

$$RSS(\beta) = (\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta)^T (\mathbf{y} - \mathbf{X}\beta) \quad (3)$$

که در آن \mathbf{X} و \mathbf{y} ماتریس‌های دربردارنده داده‌های ورودی هستند به طوری که هر ردیف آن‌ها داده‌های مربوط به یک نمونه را نشان می‌دهد. برای حداقل سازی خطا، باید مشتق تابع رابطه ۳ را نسبت به ضرایب مجهول β برابر صفر قرارداد [۲۸] که در نتیجه رابطه ۴ جهت به دست آوردن ضرایب حاصل خواهد شد.

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{y} \quad (4)$$

که در آن $\hat{\beta}$ مقدار بهینه ضرایب مجهول، و \mathbf{X}^T ترانپوز^۶ ماتریس \mathbf{X} می‌باشد.

همان‌طور که در رابطه ۴ مشاهده می‌شود، تمامی متغیرهای مستقل در جواب نهایی در نظر گرفته شده و این معادله تنها به حداقل سازی خطاهای باقیمانده می‌پردازد. هیچ تضمینی وجود ندارد که جواب به دست آمده بهترین جواب ممکن باشد، چراکه برخی از x_i ها می‌توانند بی‌ارتباط با متغیر وابسته باشند یا به دلایل دیگر مانند وجود بیش از حد اختلال^۷ در آن‌ها، موجب افزایش خطا شوند. لذا باید تا حد امکان از وجود این گونه متغیرهای مستقل در تابع برازش جلوگیری کرد. یکی از راه‌های پیدا کردن بهترین تابع، حل مسأله برای تمامی ترکیبات ممکن حضور یا عدم حضور متغیرهای مستقل است [۲۷]. هرچند که این روش به یافتن بهترین جواب منجر می‌شود، ولی در عمل کارایی چندانی ندارد زیرا با افزایش متغیرهای مستقل تعداد ترکیبات به صورت تصاعدی بالا رفته و در نتیجه محاسبات نیازمند زمان طولانی خواهد شد. روش مهم دیگری در این مورد که در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته روش تنظیم داده‌های پراکنده است. ویژگی مهم این روش که آن را از روش‌های پیشین متمایز می‌کند به کار بردن تابع دیگری علاوه بر RSS است. هدف این تابع موسوم به تنظیم‌کننده^۸، اعمال جریمه برای حضور هر یک از متغیرهای مستقل در تابع برازش‌گر است تا ضمن کاهش خطا از پدیده بیش‌برازش^۹ جلوگیری نماید. بیش‌برازش پدیده نامطلوبی است که در آن درجه آزادی مدل بسیار بیش‌تر از درجه آزادی واقعی انتخاب شده و در نتیجه اگرچه تابع برازش

⁶ Transpose

⁷ noise

⁸ regularizer

⁹ Overfitting

داده شده روی داده‌های موجود کمترین خطا را دارد اما به هیچ وجه برای پیش‌بینی مطلوب نیست و بر روی داده‌های جدید دارای خطای زیادی است. روش لاسو، مدل ریاضی است که بین کاهش خطا و بیش برآزش تعادل برقرار نموده و در نتیجه بهترین جواب را جهت پیش‌بینی در بر خواهد داشت. مفهوم بیان شده را می‌توان به شکل ریاضی رابطه ۵ بیان نمود [۲۷، ۲۹].

$$\hat{\beta}^{lasso} = \arg \min_{\beta} \left\{ \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^n x_{ij} \beta_j)^2 + \lambda \sum_{j=1}^n |\beta_j| \right\} \quad (5)$$

که در آن $\sum_{j=1}^n |\beta_j|$ تابع پنالتی یا تنظیم‌کننده بوده و λ پارامتر تنظیم‌کننده^{۱۰} است که تعیین‌کننده میزان جریمه می‌باشد. $\hat{\beta}^{lasso}$ نیز

مقدار بهینه ضرایب مجهول به روش لاسو است. با معلوم بودن λ ، مسأله بهینه‌سازی (۵) را می‌توان به روش شیب از مبدأ^{۱۱} حل نمود [۳۰]. برای به دست آوردن مقدار بهینه λ نیز از اعتبارسنجی متقابل^{۱۲} استفاده می‌شود. اعتبارسنجی متقابل یک روش ارزیابی است که مشخص می‌کند نتایج یک تحلیل آماری بر روی یک مجموعه داده تا چه اندازه قابل تعمیم است. این روش به‌طور ویژه در کاربردهای پیش‌بینی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا مشخص نماید مدل مورد نظر تا چه اندازه در عمل مفید خواهد بود. این روش شامل افزایش داده‌ها به دو مجموعه مکمل، انجام تحلیل بر روی یکی از زیرمجموعه‌های موسوم به داده‌های آموزشی و اعتبارسنجی تحلیل با استفاده از داده‌های زیرمجموعه دیگر موسوم به داده‌های آزمایش است.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

در مرحله اول تحقیق، از طریق مصاحبه با دوازده نفر و تحلیل تم، همان سه عامل معرفی شده پیشینه تحقیق به عنوان عوامل اصلی اتلاف هزینه به دست آمد که شامل دوباره‌کاری، ضایعات مصالح و بیکاری نیروی انسانی بودند و عامل جدیدی اضافه نگردید. خاطر نشان می‌شود که داده‌ها با مصاحبه از دهمین نفر به حد اشباع رسید و داده‌های نفر یازدهم و دوازدهم صد درصد تکراری بود. به‌منظور به دست آوردن میزان تأثیر عوامل اتلاف روی هزینه کل، همان‌طور که قبلاً بیان شد از پرسشنامه و روش رگرسیون لاسو استفاده گردید. تعداد ۱۳۰ پاسخنامه از پرسشنامه‌ها به دست آمد که تعداد آن برای به دست آوردن تابع پیش‌بینی به روش لاسو کافی و مطلوب است [۲۷]. جنسیت تمامی پرسش‌شوندگان مرد و شغل آن‌ها مدیریت پروژه بود. توزیع فراوانی سنی، مدرک تحصیلی و سابقه اجرایی پرسش‌شوندگان به ترتیب در جداول ۱، ۲ و ۳ بیان گردیده است و شکل ۲ این آمار توصیفی را نشان داده است.

جدول ۱: توزیع فراوانی گروه سنی پرسش‌شوندگان

سن	فراوانی	درصد فراوانی نسبی	درصد فراوانی تجمعی
کم‌تر از ۳۵ سال	۶	۴	۴
از ۳۵ تا ۴۵ سال	۴۹	۳۸	۴۲
بیش‌تر از ۴۵ سال	۷۵	۵۸	۱۰۰
کل	۱۳۰	۱۰۰	—

¹⁰ regularization parameter

¹¹ proximal gradient

¹² cross validation

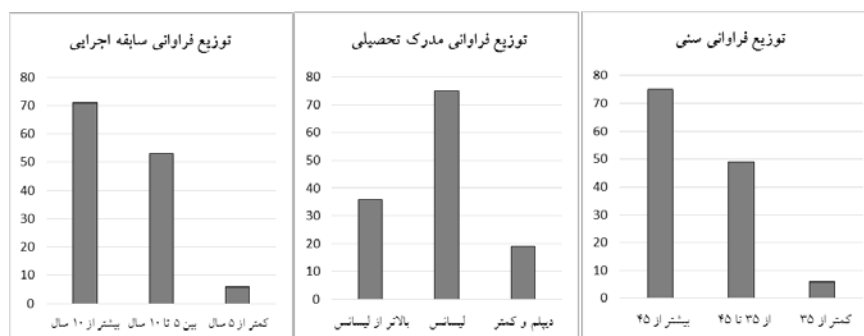
جدول ۲: توزیع فراوانی تحصیلات پرسش شوندهگان

مدرک تحصیلی	فراوانی	درصد فراوانی نسبی	درصد فراوانی جمععی
دیپلم و کمتر	۱۹	۱۵	۱۵
لیسانس	۷۵	۵۷	۷۲
بالتر از لیسانس	۳۶	۲۸	۱۰۰
کل	۱۳۰	۱۰۰	—

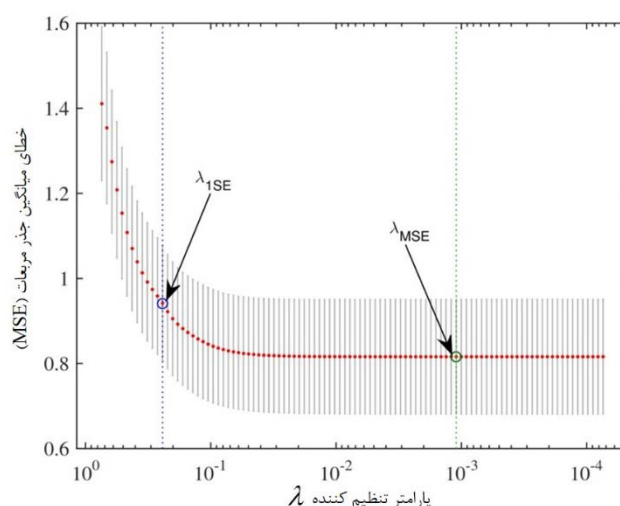
جدول ۳: توزیع فراوانی سابقه اجرایی پرسش شوندهگان

مدرک تحصیلی	فراوانی	درصد فراوانی نسبی	درصد فراوانی جمععی
کمتر از ۵ سال	۶	۵	۵
بین ۵ تا ۱۰ سال	۵۳	۴۰	۴۵
بیشتر از ۱۰ سال	۷۱	۵۵	۱۰۰
کل	۱۳۰	۱۰۰	—

برای بررسی روایی سؤالها از نظر خبرگان استفاده شد به این ترتیب که پرسشنامه پس از تدوین در اختیار پنج نفر از خبرگان قرار گرفت و در مورد نوع سؤالها و کیفیت پاسخگویی نظرات جمع شده و تصحیحات لازم اعمال شد. به منظور بررسی پایایی پرسشنامه از آلفای کرونباخ استفاده گردید و مقدار آن ۰/۸۹۵ به دست آمد که از ۰/۷ بالاتر بوده و در نتیجه پایایی پرسشنامه مورد تأیید است [۳۱]. در مرحله دوم داده‌های به دست آمده از پرسشنامه‌ها با توجه به روش لاسو برازش شدند که نتایج آن در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. شکل ۳ نتایج مربوط به اعتبارسنجی متقابل به منظور یافتن مقدار بهینه پارامتر تنظیم کننده را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، کاهش مقدار این پارامتر در ابتدا موجب کاهش خطای پیش‌بینی شده و از حدود 10^{-1} کاهش آن در بهبود دقت برازش تقریباً بی‌تأثیر خواهد بود.



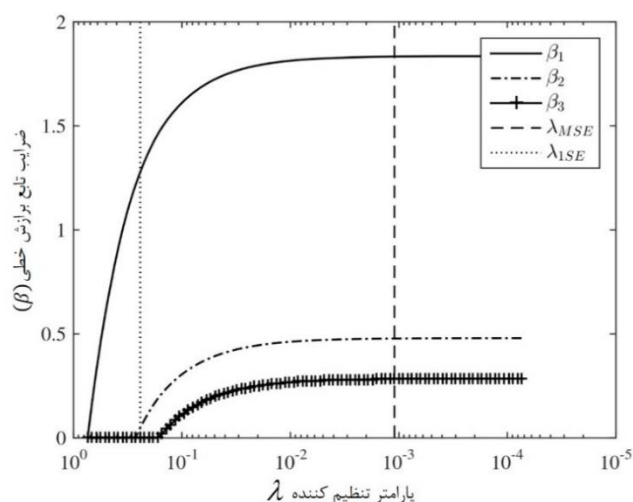
شکل ۲: آمار توصیفی پرسش شوندهگان



شکل ۳: نتیجه روش اعتبارسنجی متقابل برای مقادیر مختلف پارامتر تنظیم‌کننده

شکل ۴ تغییرات مقدار بهینه ضرایب مجهول β را به ازای مقادیر مختلف λ نشان می‌دهد و β_1 ، β_2 و β_3 به ترتیب ضرایب مربوط به دوباره‌کاری، بیکاری نیروی انسانی و ضایعات مصالح هستند. مقدار λ متناظر با بهترین برازش (λ_{MSE}) به معنای کم‌ترین مقدار خطا و نیز λ ی متناظر با برازشی با پیچیدگی^{۱۳} کم‌تر (λ_{1SE}) ولی خطایی بیش از بهترین برازش نشان داده شده است. خطای مدل دوم (λ_{1SE}) به اندازه یک انحراف معیار تمامی خطاها از مدل اول (λ_{MSE}) بیش‌تر است که در مسائل عملی معمولاً از این مدل استفاده می‌شود [۲۷]. با توجه به شکل ۴ هیچ‌کدام از ضرایب قبل از رسیدن به خط عمودی نشان‌دهنده λ_{1SE} صفر نشده‌اند. لذا اتلاف هزینه‌ای به هر سه عامل وابسته است. نکته حائز اهمیت در این شکل ترتیب به صفر رسیدن ضرایب مجهول با افزایش مقدار جریمه است که اولویت‌بندی عوامل را از نظر اهمیت نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال β_3 اولین ضریبی است که با افزایش λ به صفر می‌رسد. این اتفاق بیانگر آن است که اثر عامل ضایعات مصالح در بهبود جواب‌ها از دو عامل دیگر کم‌تر است. در نتیجه با توجه به شکل ۴ از سمت راست به چپ، ترتیب اهمیت مشخص می‌گردد و عامل سوم با عنوان ضایعات مصالح به‌عنوان کم‌اهمیت‌ترین، عامل دوم با عنوان بیکاری نیروی انسانی به‌عنوان بااهمیت متوسط و عامل اول با عنوان دوباره‌کاری به‌عنوان مهم‌ترین عامل شناخته می‌شود. مطلب بعدی که در روش لاسو به‌دست‌آمده این است که با مشخص شدن ترکیب وجود عوامل می‌توان به میزان اتلاف حاصله پی برد که در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به وجود سه عامل در اتلاف و این مهم که هر عامل در پروژه می‌تواند دو وضعیت داشته باشد یعنی وجود داشته باشد یا نداشته باشد ترکیبات حاصله 2^3 یعنی ۸ ترکیب خواهد شد که مقدار اتلاف حاصل از این ترکیبات در جدول ۴ نشان داده شده است. طبق جدول ۴، در صورتی که هر سه عامل در پروژه اتفاق بیفتد، مقدار اتلاف به عدد ۳/۱۲٪ خواهد رسید.

^{۱۳} Complexity



شکل ۴: مسیرهای لاسو برای ضرایب مجهول β

جدول ۴: میزان اتلاف برحسب درصد کل هزینه با توجه به ترکیب عوامل

ترکیبات	هزینه دوباره کاری (X1)	هزینه بیکاری (X2)	هزینه ضایعات (X3)	اتلاف هزینه بر مبنای λ_{MSE}
ترکیب ۱	۰	۰	۰	۰
ترکیب ۲	۱	۰	۰	۲/۷۵
ترکیب ۳	۰	۱	۰	۱/۴۶
ترکیب ۴	۰	۰	۱	۱/۲۶
ترکیب ۵	۱	۱	۰	۳/۰۳
ترکیب ۶	۱	۰	۱	۲/۸۴
ترکیب ۷	۰	۱	۱	۱/۵۴
ترکیب ۸	۱	۱	۱	۳/۱۲

۶- نتایج و پیشنهادات

با توجه به اهمیت افزایش هزینه در پروژه‌ها، یکی از موضوعات کلیدی، کشف عواملی است که به‌عنوان اتلاف باعث این افزایش شده و امکان حذف یا تقلیل آن‌ها وجود دارد. با مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین مصاحبه و تحلیل تم، سه عامل اصلی اتلاف که دارای سه ویژگی حضور در مرحله اجرا، تأثیر مستقیم بر هزینه و قابلیت کنترل هستند، شناسایی شدند. این سه عامل شامل دوباره‌کاری، بیکاری نیروی انسانی و ضایعات مصالح می‌باشند. مرحله دوم تحقیق اولویت‌بندی این عوامل و همچنین بررسی میزان تأثیر هر هزینه کل است که با استفاده از روش رگرسیون لاسو این امر محقق گشت. با توجه به نتایج حاصله، میزان اتلاف به هر سه عامل وابسته بوده و در نتیجه هر سه عامل در اتلاف نقش دارند. به‌وسیله روش اتخاذشده، اولویت‌بندی سه عامل نیز انجام شد و مهم‌ترین عامل اتلاف، دوباره‌کاری و کم‌اهمیت‌ترین عامل ضایعات مصالح به دست آمدند.

یکی از اهداف اصلی این مقاله به دست آوردن میزان اتلافی بود که این سه عامل می‌توانستند ایجاد نمایند که باعث یکتایی مقاله گردیده است. با توجه به پروژه‌های مورد بررسی که همگی ساختمان‌های ۵ تا ۷ طبقه در تهران بودند این پیش‌بینی به دست آمد که اگر در پروژه‌های مشابه هر سه عامل مذکور وجود داشته باشد میزان اتلاف به وجود آمده ۳/۱۲٪ هزینه کل ساختمان خواهد شد. این در حالی

است که عامل دوباره کاری به تنهایی میزان اتلاف ۲/۷۵٪ را سبب خواهد شد که نسبت به دو عامل بیکاری نیروی انسانی و ضایعات مصالح با اتلاف‌های ۱/۴۶٪ و ۱/۲۶٪ رقم قابل ملاحظه‌ای است. یکی از مواردی که مورد توجه محافل عمومی و تخصصی و رسانه‌ها است ضایعات مصالح می‌باشد که با توجه به عدد به دست آمده رقم قابل ملاحظه‌ای نیست و به نظر می‌رسد موضوع نخاله‌های ساختمانی حاصل از تخریب ساختمان‌های قدیمی و موضوع ضایعات مصالح حاصل از اجرای ساختمان‌های جدید با هم در نظر گرفته می‌شود که این امر صحیح نیست و این دو موضوع باید به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. در نهایت ارقام به دست آمده معیار بسیار خوبی برای پاسخ به این سؤال است که آیا حذف یا تقلیل این عوامل از نظر مالی ارزش اقدام عملی را دارد یا خیر که مدیران پروژه می‌توانند با توجه به آن تصمیم نهایی خود را مبنی بر کنترل این عوامل و یا بی تفاوتی نسبت به آن‌ها اتخاذ نمایند.

پیشنهاد می‌گردد با پایش دقیق چند آپارتمان از ابتدا تا انتهای مرحله اجرا، هزینه‌های کاملاً حقیقی ثبت گردیده و میزان اتلاف‌های واقعی موجود تحت تأثیر عوامل مذکور به دست آید و با نتایج به دست آمده از تخمین مدیران پروژه که در این مقاله ذکر گردید مقایسه گردد.

مراجع

- [1] K. Amoa-abban and S. Allotey, "Cost overruns in Building Construction Projects : A Case Study of a Government of Ghana Project in Accra," *Dev. Ctry. Stud.*, vol. 4, no. 24, pp. 54–65, 2014.
- [2] P. Reina and W. J. Angelo, "Megaprojects need more study up front to avoid cost overruns," *ENR*, vol. 249, no. 3, 2002.
- [3] I. Avotos, "Cost-relevance analysis for overrun control," *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 1, no. 3, pp. 142–148, 1983.
- [4] R. M. Wideman, "A Guide to Managing Project Risk and Opportunities," *Proj. Manag. Inst. Inc*, 1992.
- [5] P. E. D. Love, R. Y. C. Tse, and D. J. Edwards, "Time – cost relationships in Australian building construction projects," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 131, no. 2, pp. 187–194, 2005.
- [6] B. Flyvbjerg, M. S. Holm, and S. Buhl, "Underestimating costs in public works projects: Error or lie?," *J. Am. Plan. Assoc.*, vol. 68, no. 3, pp. 279–295, 2002.
- [7] C. Stoy and H. Schalcher, "Residential Building Projects : Building Cost Indicators and Drivers," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 133, no. 2, pp. 139–145, 2007.
- [8] L. Koskela, "Lean construction," in *Proceedings of the National Construction and Management Conference, Sydney, Australia, February 17-18 1994*, 1994, p. 205.
- [9] L. Koskela, "Application of the new production philosophy to construction," 1992. .
- [10] L. Koskela, *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Technical Research Centre of Finland, 2000.
- [11] L. O. Oyewobi, O. T. Iboronke, B. O. Ganiyu, and A. W. Ola-Awo, "Evaluating rework cost-A study of selected building projects in Niger State, Nigeria," *J. Geogr. Reg. Plan.*, vol. 4, no. 3, p. 147, 2011.
- [12] B.-G. Hwang, S. R. Thomas, C. T. Haas, and C. H. Caldas, "Measuring the Impact of Rework on Construction Cost Performance," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 135, no. 3, pp. 187–198, 2009.
- [13] P. E. D. Love, "Auditing the indirect consequences of rework in construction: a case based approach," *Manag. Audit. J.*, vol. 17, no. 3, pp. 138–146, 2002.
- [14] P. E. D. Love and H. Li, "Quantifying the causes and costs of rework in construction," *Constr. Manag. Econ.*, vol. 18, no. 4, pp. 479–490, 2000.
- [15] A. H. Memon and I. A. Rahman, "Analysis of cost overrun factors for small scale construction projects in Malaysia using PLS-SEM method," *Mod. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 8, pp. 78–88, 2013.
- [16] G. Polat, F. Okay, and E. Eray, "Factors affecting cost overruns in micro-scaled construction companies," *Procedia Eng.*, vol. 85, no. 1, pp. 428–435, 2014.
- [17] D. S. Tejale, S. D. Khandekar, and J. R. Patil, "Analysis of Construction Project Cost Overrun by Statistical Method," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Manag. Stud.*, vol. 3, no. 5, pp. 349–355, 2015.
- [18] Y. Rosenfeld, "Root-cause analysis of construction-cost overruns," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 140, no. 1, p. 4013039, 2013.

- [19]P. Love, Z. Irani, and D. J. Edwards, "Learning to reduce rework in projects: analysis of firm's organisational learning and quality practices," 2003.
- [20]A. R. Fayek, M. Dissanayake, and O. Campero, "Measuring and classifying construction field rework: A pilot study," Res. Rep.(May), 2003.
- [21]A. S. Faridi and S. M. El-Sayegh, "Significant factors causing delay in the UAE construction industry," Constr. Manag. Econ., vol. 24, no. 11, pp. 1167–1176, 2006.
- [22]P. A. Koushki, K. Al Rashid, and N. Kartam, "Delays and cost increases in the construction of private residential projects in Kuwait," Constr. Manag. Econ., vol. 23, no. 3, pp. 285–294, 2005.
- [23]H. M. P. Moura, J. M. C. Teixeira, and B. Pires, "Dealing with cost and time in the Portuguese construction industry," 2007.
- [24]A. Hameed Memon, I. Abdul Rahman, A. A. Abdul Aziz, and N. H. Abdullah, "Using structural equation modelling to assess effects of construction resource related factors on cost overrun," World Appl. Sci. J., vol. 21, no. SPECIAL ISSUE1, pp. 6–15, 2013.
- [25]G. D. Creedy, "Risk factors leading to cost overrun in the delivery of highway construction projects," 2006.
- [26]V. Braun and V. Clarke, "Using thematic analysis in psychology," Qual. Res. Psychol., vol. 3, no. 2, pp. 77–101, Jan. 2006.
- [27]J. Friedman, T. Hastie, and R. Tibshirani, The elements of statistical learning, vol. 1. Springer series in statistics Springer, Berlin, 2001.
- [28]J. Rice, Mathematical statistics and data analysis. Nelson Education, 2006.
- [29]R. Tibshirani, "Regression shrinkage and selection via the lasso," J. R. Stat. Soc. Ser. B, pp. 267–288, 1996.
- [30]I. Daubechies, M. Defrise, and C. De Mol, "An iterative thresholding algorithm for linear inverse problems with a sparsity constraint," Commun. pure Appl. Math., vol. 57, no. 11, pp. 1413–1457, 2004.
- [31]K. Habibpour Gatabi and R. Safari Shali, Comprehensive Manual for using SPSS in survey researches. Tehran: Looyeh, 2015.