

چارچوب کاهش اتلاف سیمان در ساختمان‌های مسکونی با اسکلت بتنی در شهر تهران

امیررضا ماهپور (دانشجوی دکتری)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تورنتو

محمد مهدی مرتضی* (استاد معین)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

محمد حسن سبب (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مهندسی عمران شریف، پاییز ۱۳۹۷ (درداشت نثی)
دردی ۲ - ۳۴، شماره‌ی ۳/۲، ص. ۱۰۴-۹۳ (یادداشت نثی)

به کمک پرسش‌نامه، میزان اتلاف ۴ مصالح پیکاربرد، شامل: میلگرد، بتن، سیمان و آجر در ۲۲ ساختمان مسکونی با اسکلت بتنی در شهر تهران جمع‌آوری و مشاهده شد که در ساختمان‌های مذکور، سیمان با حدود اتلاف ۸/۶٪ وزنی بیش از سایر مصالح تلف می‌شود. با استفاده از نتایج پرسش‌نامه‌ی ذکر شده و برآزش خطی چندگانه، مدل اولیه‌ی اتلاف سیمان ساخته شد. سپس با نظرسنجی از متخصصان ساخت به کمک پرسش‌نامه‌ی دوم، راهکار مشوق مالی برای کاهش اتلاف سیمان مناسب تشخیص داده شد. ساختار یک مشوق - که از نظر اقتصادی و زیست‌محیطی توجیه‌پذیر است - جهت تشویق پیمانکاران به کاهش اتلاف سیمان تدوین شد. در ادامه، مدل دوم اتلاف سیمان با لحاظ کردن پارامتر مشوق مالی بازسازی شد. علاوه بر مشوق ذکر شده، با تحلیل نتایج خروجی مدل‌های ایجاد شده و دریافت نظرات متخصصان ساخت، توسعه‌ی فرهنگ به‌کارگیری قرارداد «سرجمع» به جای قرارداد «اضافه بر هزینه» و طراحی ساختمان‌های کم مساحت‌تر با طبقات بیشتر به جای ساختمان‌های با مساحت بیشتر و کم طبقه، نسبت به سایر راهکارهای کنترل اتلاف، ارجح تشخیص داده شدند. این چارچوب می‌تواند در راستای اجرایی شدن «توسعه‌ی پایدار» پروژه‌های ساختمان‌سازی به شهرداری تهران پیشنهاد شود.

واژگان کلیدی: سیمان، کنترل اتلاف سیمان، مشوق مالی، برآزش خطی چندگانه، ساختمان‌های مسکونی بتنی «پایدار» تهران.

amirreza.mahpour@mail.utoronto.ca
mortahheb@sharif.edu
sebt@aut.ac.ir

۱. مقدمه

بسیاری مانند نیاز میرم به محل دفن^۲ ضایعات،^۱ شیوع بیماری‌هایی چون سالک،^۵ تولید گاز مضر رادون،^۶ و محروم ساختن نسل‌های آینده از منابع ملی را در پی خواهد داشت.

اطلاعات جمع‌آوری شده در نوشتار مذکور نشانگر آن است که مصالح سیمان بیش از سایر مصالح در معرض اتلاف است. با توجه به اینکه ایران پنجمین کشور بزرگ تولیدکننده‌ی سیمان است،^۷ و تولید سیمان بسیار آلاینده است و منابع زیادی مصرف می‌کند،^۸ کاهش اتلاف سیمان از اهداف پژوهش حاضر است. این موضوعات در طی چند دهه‌ی گذشته در سطح جهانی مورد توجه فراوان قرار گرفته‌اند و راهکارهای مختلفی، نظیر: وضع مشوق مالی،^۳ اخذ مالیات،^۴ کنترل و کاهش تولید ضایعات در کارگاه ساخت یا وضع قوانین محدودکننده جهت کاهش تولید ضایعات ساختمانی و اتلاف مصالحی چون سیمان اندیشیده شده است. در کشور ما توجه مناسبی به این موضوع نشده و حتی در زمینه‌ی تولید ضایعات ساختمانی، آمار دقیقی ثبت نشده و همین امر مدیریت کارآمد این ضایعات را بیش از پیش دشوار ساخته است.

ضایعات ساختمانی،^۱ در اثر اتلاف مصالح و استفاده‌ی غیربهبینه از مصالح تولید می‌شوند. کاهش میزان تولید ضایعات ساختمانی از چند جهت حائز اهمیت است: اولاً، صنعت ساخت و ضایعات ساختمانی، یکی از عوامل عمده‌ی آلودگی هواست. صنعت ساخت حدود ۳۰٪ کل آلاینده‌های گازی، مانند دی‌اکسیدکربن را منتشر می‌کند و در صورتی که بهبودی در روند آن ایجاد نشود، میزان ذکر شده در ۲۰ سال آینده، ۲ برابر خواهد شد.^{۱۱}

دوماً، ضایعات ساختمانی و تخریب، سهم زیادی از ضایعات جامد را به خود اختصاص داده‌اند. برای مثال سهم اشاره‌شده در اروپا، حدود ۳۰٪ وزنی است.^{۱۲} در شهر تهران نیز در سال ۱۳۸۲، روزانه ۱۸۵۹۶ تن ضایعات ساختمانی تولید شده است.^{۱۳} میزان زیاد ضایعات ساختمانی در صورت مدیریت ناکارآمد، مشکلات

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۳/۲۹، اصلاحیه ۱۳۹۵/۹/۱۳، پذیرش ۱۳۹۵/۱۰/۴

DOI:10.24200/J30.2018.1421

ساختار نوشتار حاضر به این شکل است که در بخش ۲، به روش‌شناسی پژوهش در بخش ۳، به مدل‌سازی میزان تولید ضایعات سیمان؛ در بخش ۴، به تعیین میزان بهینه‌ی مشوق مالی؛ در بخش ۵، به تحلیل و بررسی روابط کمی و در بخش ۶، به نتیجه‌گیری و ارائه‌ی الگویی جهت کاهش اتلاف سیمان پرداخته شده است.

۱.۱. مرور ادبیات پژوهش

ضایعات ساختمانی و تخریب، حدود ۳۵٪ ضایعات جامد،^[۹] و ۱۰ الی ۳۰ درصد ضایعات دفن‌شده در جهان را تشکیل می‌دهند.^[۱۰] نسبت ضایعات ساختمانی به ضایعات تخریب حدود ۱ به ۲ است که حاکی از اهمیت زیاد ضایعات ساختمانی،^[۱۱] و مدیریت صحیح آن‌هاست. ابزارهای مختلفی برای کنترل ضایعات ساختمانی و اتلاف مصالح وجود دارد. کتی‌سازی تولید ضایعات ساختمانی اخیراً مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته و به‌عنوان یک ابزار مناسب مدیریتی تلقی شده است، زیرا سبب تسهیل اتخاذ راهکارهای مدیریت و کنترل ضایعات ساختمانی می‌شود.^[۱۲-۱۴] در کشور ما متأسفانه کنترل اتلاف مصالح اهمیت چندانی ندارد. لذا در نوشتار حاضر تلاش شده است که به مصالح سیمان، که یکی از پرتالاف‌ترین مصالح ساختمانی در تهران است، توجه و راهکارهایی برای منظور پیشنهاد شود. در پژوهش‌های مطالعه‌شده، برخی پژوهشگران راهکار مشوق مالی را برای کاهش اتلاف مصالح از جمله سیمان پیشنهاد کرده‌اند. به‌عنوان مثال، در سال ۲۰۰۸، در چین با پیشنهاد یک مدل مشوق مالی نردبانی برای کاهش اتلاف مصالح موفق شدند ۲۳٪ از اتلاف مصالح را کاهش دهند.^[۱۵] برخی پژوهشگران (۲۰۰۲) نیز یک سیستم مبتنی بر بارکد جهت کنترل مصالح ورودی به انبار یک کارگاه ساخت مجتمع مسکونی و خروجی از آنجا در چین ایجاد کردند و موفق شدند از اتلاف مصالحی به ارزش حدود ۱۹۰۰۰ دلار آمریکا جلوگیری کنند.^[۱۶] جدول ۱، آمار مربوط به اتلاف سیمان در کشورهای مختلف را نشان می‌دهد. علی‌رغم تلاش‌هایی که در کشورهای مختلف برای کاهش اتلاف مصالح ساختمانی از جمله سیمان صورت گرفته است، طبق برآورد متخصصان صنعت ساخت کشور، که ابراز نگرانی‌های برخی اعضاء انجمن بتن ایران نیز مؤید آن است که به‌طور متوسط حدود ۳۰٪ سیمان در پروژه‌های ساخت ایران تلف می‌شود. این میزان اتلاف بسیار بالاست و با توجه به هزینه‌ی زیاد، مصرف انرژی و مواد خام فراوان و انتشار مقادیر زیادی از گازهای آلاینده، ارائه‌ی راهکارهایی برای کنترل و کاهش آن ضروری به نظر می‌رسد. در نوشتار حاضر، با توجه به محدودیت‌های زمانی موجود و غیرعملی بودن مطالعه‌ی همه‌ی انواع پروژه‌های ساخت، پروژه‌های ساختمانی مسکونی با اسکلت بتنی در شهر تهران مطالعه شده‌اند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

در نوشتار حاضر، متغیرهای^۵ تأثیرگذار در اتلاف مصالح ساختمانی شناسایی شده است، با کمک پرسشنامه‌ی ۱، داده‌های موردنیاز جمع‌آوری شدند، مصالح سیمان به‌عنوان پرتالاف‌ترین مصالح تشخیص داده شدند، اتلاف سیمان به‌صورت خطی مدل‌سازی شدند و با استفاده از مدل مذکور و نظرسنجی از متخصصان توسط پرسش‌نامه‌ی ۲ و ابزارهای ریاضی موجود، الگویی برای کاهش اتلاف سیمان در مراحل مختلف ساخت پیشنهاد داده شده است.

۱.۲. متغیرهای پژوهش

۱. متغیر وابسته،^۶ میزان اتلاف مصالح ساختمانی پیکاربرد بر حسب درصد است

جدول ۱. آمار مربوط به اتلاف سیمان در کشورهای مختلف.

ردیف	کشور	درصد اتلاف سیمان	سال	منبع
۱	اسپانیا	۰٫۶۴٪ وزنی	۲۰۱۶	[۱۷]
۲	نیجریه	۱۸٫۴۴٪ وزنی	۲۰۱۲	[۱۸]
۳	امارات	۷٫۸٪ وزنی	۲۰۱۱	[۱۹]
۴	مصر	۰٫۵٪ وزنی	۲۰۱۰	[۲۰]
۵	بوتسوانا	۱۰٫۳٪ وزنی	۲۰۰۶	[۲۱]
۶	هنگ‌کنگ	۰٫۶٪ وزنی	۲۰۰۴	[۲۲]
۷	هنگ‌کنگ	۶٫۱۵٪ وزنی	۲۰۰۴	[۲۳]
۸	انگلستان	۱۰٪ وزنی	۱۹۹۹	[۲۴]
۹	هلند	۰٫۹٪ وزنی	۱۹۹۶	[۲۵]

که با نماد $Y_{Material}$ نشان داده می‌شود. مصالح مورد مطالعه، شامل: میلگرد، بتن، سیمان و آجر است. اگر میزان اتلاف مصالح با W و میزان خرید آن با P نشان داده شود، آنگاه $Y_{Material}$ از رابطه‌ی ۱ به‌دست می‌آید:

$$Y_{Material} = \frac{W}{P} \times 100 \quad (1)$$

مقادیر متغیر وابسته برای مصالح مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

۲. متغیرهای مستقل^۷ به این شرح هستند:

الف) نوع قرارداد: از آنجایی که ضوابط هر قرارداد در میزان تلاش پیمانکار برای جلوگیری از هدررفت مصالح تأثیر می‌گذارد،^[۲۶] متغیر مذکور در پژوهش حاضر گنجانده شده است. انواع مختلفی از قرارداد در صنعت ساخت متداول است، مانند قراردادهای «فهرست‌بهای»، «سرجمع»، «اضافه‌بر هزینه» و ...^[۲۶]. متداول‌ترین انواع قرارداد برای ساختمان‌های مسکونی در ایران قرارداد «سرجمع»^۸ و قرارداد «اضافه‌بر هزینه»^۹ هستند.^[۲۷، ۱۴، ۲۷] متغیر «نوع قرارداد» با نماد X_1 نشان داده می‌شود و مقدار آن برای قرارداد «سرجمع» یک و برای قرارداد «اضافه‌بر هزینه» صفر تعریف می‌شود.

ب) زیربنای هر طبقه: در بین ایده‌های کنترل ضایعات ساختمانی، طراحی مناسب یکی از مهم‌ترین عوامل شناخته شده است.^[۲۸] زیربنای طبقه یکی از عوامل مؤثر در طراحی ساختمان است. با افزایش زیربنای طبقه، میزان خرید هر یک از مصالح و میزان اتلاف آن (مخرج و صورت کسر رابطه‌ی ۱) افزایش می‌یابد. لذا درصد اتلاف مصالح به متغیر مستقل زیربنای هر طبقه هم وابسته است. زیربنای هر طبقه با واحد مترمربع با نماد FA نشان داده می‌شود. برای اینکه ضریب متغیر مستقل مذکور در روابط کمی در حدود ضرایب سایر متغیرهای مستقل باشد، ۱٪ زیربنای هر طبقه با واحد مترمربع در روابط استفاده می‌شود و با نماد A نشان داده می‌شود (رابطه‌ی ۲):

$$A = \frac{FA}{100} \quad (2)$$

زیربنای هر طبقه از ساختمان‌های مورد مطالعه ۵۰ الی ۲۳۵ مترمربع بوده است. در نتیجه رابطه‌ی ۳ صادق است:

$$0/50 \leq A \leq 2/35 \quad (3)$$

ج) تعداد طبقات ساختمان: استانداردسازی طراحی، یکی از راهکارهای کنترل ضایعات ساختمانی شناخته شده است.^[۲۷] حساسیت‌هایی توسط شهرداری‌ها

جدول ۲. مقادیر متغیر وابسته برای مصالح مورد مطالعه.

Site No.	درصد اتلاف مصالح در سایت			
	Y _{Cement}	Y _{Brick}	Y _{Concrete}	Y _{Rebar}
۱	۵,۶۶۰	۵,۸۰۰	۲,۵۰۰	۱,۰۰۰
۲	۷,۴۰۰	۵,۶۰۰	۲,۶۷۰	۱,۳۰۰
۳	۱۶,۶۷۰	۶,۸۰۰	۲,۲۵۰	۱,۲۰۰
۴	۱۴,۵۰۰	۸,۰۰۰	۱,۲۲۰	۱,۱۰۰
۵	۶,۶۷۰	۵,۰۰۰	۶,۴۷۰	۱,۵۰۰
۶	۶,۶۷۰	۵,۷۰۰	۳,۳۵۰	۱,۶۰۰
۷	۳,۳۳۰	۶,۸۰۰	۲,۷۰۰	۱,۳۰۰
۸	۵,۲۵۰	-	۵,۴۵۰	۱,۷۵۰
۹	۱۰,۰۰۰	۴,۰۰۰	۲,۲۹۰	۱,۰۰۰
۱۰	۷,۸۰۰	۵,۰۰۰	۲,۵۰۰	۱,۸۰۰
۱۱	۶,۶۷۰	۷,۲۰۰	۵,۵۰۰	۱,۰۰۰
۱۲	-	۵,۰۰۰	۹,۳۳۰	۱,۷۳۰
۱۳	۸,۰۰۰	۳,۵۰۰	۴,۷۶۰	۱,۷۱۰
۱۴	۴,۰۰۰	۴,۰۰۰	۱,۸۱۰	۱,۲۰۰
۱۵	۷,۰۰۰	۱۵,۲۰۰	۴,۰۰۰	۱,۱۵۰
۱۶	۷,۰۰۰	-	۲,۶۵۰	۰,۵۰۰
۱۷	۵,۸۳۰	۱۱,۱۱۰	۳,۹۵۰	۱,۰۰۰
۱۸	۱۰,۰۰۰	۵,۱۰۰	۲,۴۸۰	۱,۱۴۰
۱۹	۹,۶۷۰	۱۰,۰۰۰	۴,۱۷۰	۲,۰۰۰
۲۰	-	۷,۵۰۰	۶,۰۶۰	۰,۹۰۰
۲۱	۱۰,۰۰۰	۷,۰۰۰	۳,۹۶۰	۱,۷۹۰
۲۲	۱۳,۳۳۰	۱۷,۶۰۰	۳,۷۵۰	۱,۸۰۰
۲۳	۱۳,۳۳۰	۱۰,۰۰۰	۴,۰۵۰	۲,۰۰۰
۲۴	۶,۰۰۰	-	۲,۶۵۰	۰,۷۰۰
۲۵	۶,۶۷۰	۵,۰۰۰	۶,۳۳۰	۱,۲۰۰
۲۶	۱۰,۵۰۰	۷,۶۴۰	۱,۸۵۰	۱,۱۴۰
۲۷	۶,۶۷۰	۸,۵۷۰	۵,۸۳۰	۲,۰۰۰
۲۸	-	۷,۵۱۰	۷,۷۶۰	۱,۰۰۰
۲۹	۱۲,۰۰۰	۳,۳۳۰	۴,۷۹۰	۱,۷۹۰
۳۰	۱۳,۳۳۰	۸,۵۷۰	۳,۲۰۰	۱,۷۰۰
۳۱	۹,۳۳۰	۷,۵۱۰	۳,۹۱۰	۲,۰۰۰
۳۲	۵,۳۳۰	۳,۳۳۰	۲,۵۰۰	۱,۴۰۰
متوسط	۸,۵۷۳	۷,۱۵۱	۳,۹۶۹	۱,۳۲۳

جدول ۳. متغیر متناظر با هر موقعیت منطقه‌یی.

تعداد ساختمان	موقعیت	
	متناظر	منطقه‌یی
۵	X _۲	میدان امام حسین (ع)
۵	X _۲	سعادت‌آباد
۴	X _۲	میدان شهدا
۴	X _۵	شهران
۶	X _۶	رسالت
۴	X _۷	تهران‌نو
۴	X _۸	میدان سپاه
۳۲		مجموع

مفهوم موقعیت منطقه‌یی کارگاه ساخت پرداخته و راه‌حلی برای کنترل تولید یا مدیریت ضایعات ساختمانی بعد از تولید بسته به محل تولید آن‌ها ارائه کرده‌اند.^[۲۹] به علاوه، عواملی مانند کمبود نیروی کار در یک موقعیت منطقه‌یی خاص، شرایط آب و هوایی، سطح دانش و تجربه‌ی مختلف عوامل انسانی می‌تواند در میزان تولید ضایعات ساختمانی تأثیرگذار باشد. لذا، موقعیت منطقه‌یی به‌عنوان یک متغیر مستقل در نظر گرفته شده و مطالعات در ۷ منطقه از شهر تهران، شامل: میدان امام حسین (ع)، منطقه‌ی سعادت‌آباد، میدان شهدا، منطقه‌ی شهران، منطقه‌ی رسالت، خیابان تهران‌نو و میدان سپاه انجام شده است. لذا ۷ متغیر متناظر با ۷ منطقه‌ی مذکور به‌صورت نشان داده‌شده در جدول ۳ تعریف شده است. مقدار متغیر متناظر با موقعیت منطقه‌یی هر ساختمان یک و مقدار سایر متغیرها صفر است. برای مثال، برای ساختمانی در میدان شهدا، روابط ۵ و ۶ برقرارند:

$$X_2 = 1 \quad (5)$$

$$X_2 = X_2 = X_5 = X_6 = X_7 = X_8 = 0 \quad (6)$$

ه) مقدار مشوق مالی: در ایران هیچ مکانیزم کنترلی برای ضایعات ساختمانی در نظر گرفته نشده و فقط برای ضایعات تخریب،^{۱۰} عوارض تخریب و نوسازی در نظر گرفته شده است. با توجه به اهمیت کنترل و کاهش ضایعات ساختمانی، نویسندگان بر آن شدند تا مکانیزمی برای کنترل ضایعات ساختمانی تعریف کنند. در این راستا، پرسش‌نامه‌ی دو در مقیاس لیکرت^{۱۱} طراحی شد و در اختیار متخصصان ساخت قرار گرفت تا برترین مکانیزم کنترل از دید متخصصان ساخت تشخیص داده شود. مکانیزم‌های مذکور عمدتاً مشتمل بر مشوق مالی و اخذ جریمه هستند.^[۳۰] پرسش‌نامه‌ی دو با فرض برتری مشوق مالی بر اخذ جریمه طراحی شد و چون ضریب آلفای کرونباخ^{۱۲} پرسش‌نامه بعد از نظرسنجی از ۵۴ متخصص ۰/۷۷۶ > ۰/۷ شد، پایایی پرسش‌نامه و برتری مشوق مالی بر اخذ جریمه مورد تأیید قرار گرفت. مقدار اولیه‌ی مشوق مالی معادل عوارض تخریب و بازسازی در نظر گرفته شده است که از رابطه‌ی ۷ به‌دست آمده است:

$$C = 0.2 \times K \times P \times FA \quad (7)$$

که در آن، C عوارض تخریب و نوسازی بر حسب دلار آمریکا، K ضریب تصحیح و P آخرین ارزش معاملاتی بر حسب دلار آمریکا است.^[۳۱،۳۲] یک

در این زمینه و به‌خصوص ارتفاع ساختمان وجود دارد. لذا تعداد طبقات ساختمان به‌عنوان شاخصی از ارتفاع ساختمان، به‌عنوان یکی از متغیرهای مستقل پژوهش حاضر در نظر گرفته شده و با نماد S نشان داده شده است. ساختمان‌های مورد مطالعه ۴، ۵، ۶ و یا ۷ طبقه داشتند (رابطه‌ی ۴):

$$S \in \{4, 5, 6, 7\} \quad (4)$$

د) موقعیت منطقه‌یی: برخی پژوهشگران، برای کنترل ضایعات ساختمانی به

جدول ۴. مقادیر متغیرهای مستقل.

محاسبات مشوق مالی			داده های جمع شده				ردیف
$C(K\$)$	$P(\$)$	K	موقعیت	X_1	S	$FA(m^2)$	
۰٫۲۰۴	۱۳٫۶۱۹	۰٫۷	X_T	۱	۵	۱۰۷	۱
۰٫۲۵۱	۱۳٫۵۷۸	۰٫۷	X_T	۱	۵	۱۳۲	۲
۰٫۱۲۲	۳٫۸۹۸	۰٫۸	X_T	۱	۴	۱۹۵	۳
۰٫۰۱۹	۰٫۴۴۵	۰٫۹	X_T	۱	۷	۲۳۵	۴
۰٫۲۷۷	۲۸٫۸۲۳	۰٫۶	X_T	۰	۵	۸۰	۵
۰٫۰۵۹	۵٫۲۸۲	۰٫۶	X_D	۰	۵	۹۳	۶
۰٫۳۴۵	۴۷٫۹۰۴	۰٫۶	X_T	۱	۴	۶۰	۷
۰٫۳۱۵	۶۲٫۹۹۴	۰٫۵	X_T	۰	۴	۵۰	۸
۰٫۰۳۲	۱٫۶۲۲	۰٫۷	X_T	۱	۵	۱۴۰	۹
۰٫۱۶۴	۱۱٫۱۵۹	۰٫۷	X_T	۱	۵	۱۰۵	۱۰
۰٫۳۸۷	۱۰٫۲۴۷	۰٫۹	X_F	۱	۵	۲۱۰	۱۱
۰٫۱۰۹	۱۰٫۵۶۲	۰٫۶	X_F	۰	۵	۵۶	۱۲
۰٫۰۸۲	۵٫۳۲۱	۰٫۷	X_D	۰	۵	۱۱۰	۱۳
۰٫۱۳۲	۱۲٫۶۵۳	۰٫۶	X_D	۱	۵	۸۷	۱۴
۰٫۱۰۱	۱۱٫۲۱۴	۰٫۶	X_T	۱	۴	۷۵	۱۵
۰٫۵۱۸	۲۰٫۲۳۷	۰٫۸	X_A	۱	۶	۱۶۰	۱۶
۰٫۲۲۸	۲۰٫۲۰۷	۰٫۶	X_A	۰	۵	۹۴	۱۷
۰٫۰۰۷	۰٫۳۴۶	۰٫۷	X_V	۱	۶	۱۴۰	۱۸
۰٫۱۱۴	۹٫۷۹۸	۰٫۶	X_V	۰	۵	۹۷	۱۹
۰٫۳۴۶	۱۲٫۷۳۱	۰٫۸	X_F	۱	۷	۱۷۰	۲۰
۰٫۲۶۵	۱۵٫۷۷۲	۰٫۷	X_T	۰	۵	۱۲۰	۲۱
۰٫۱۷۴	۱۰٫۹۷۴	۰٫۷	X_T	۰	۵	۱۱۳	۲۲
۰٫۱۶۹	۱۰٫۲۰۱	۰٫۷	X_T	۰	۵	۱۱۸	۲۳
۰٫۴۳۹	۱۸٫۲۸۱	۰٫۸	X_A	۱	۶	۱۵۰	۲۴
۰٫۳۰۳	۳۴٫۱۶۶	۰٫۶	X_A	۰	۴	۷۴	۲۵
۰٫۲۵۴	۹٫۸۰۰	۰٫۸	X_V	۱	۶	۱۶۲	۲۶
۰٫۱۰۲	۹٫۷۷۱	۰٫۶	X_V	۰	۵	۸۷	۲۷
۰٫۳۳۶	۱۳٫۵۷۴	۰٫۸	X_F	۱	۶	۱۵۵	۲۸
۰٫۲۷۶	۱۵٫۷۶۷	۰٫۷	X_T	۰	۵	۱۲۵	۲۹
۰٫۶۲۵	۱۵٫۷۸۳	۰٫۹	X_T	۰	۷	۲۲۰	۳۰
۰٫۲۳۴	۱۳٫۵۸۶	۰٫۷	X_T	۰	۵	۱۲۳	۳۱
۰٫۰۶۲	۵٫۸۸۹	۰٫۶	X_D	۱	۴	۸۸	۳۲
۸٫۰۱۶	-	-	-	-	-	۳۹۶۱	جمع

۳. مدل سازی میزان تولید ضایعات سیمان

با استفاده از داده های جمع آوری شده و متغیرهای محاسبه شده، میزان اتلاف سیمان در دو حالت بدون مشوق مالی و با در نظر گرفتن مشوق مالی کتی سازی شده است. برای مدل سازی حاضر لازم بود روش مناسب تعیین شود. با توجه به ماهیت پژوهش، ادبیات پژوهش مرور و متغیرهای پژوهش مناسب بودن روش برازش خطی چندگانه^{۱۳} بررسی شدند. طبق تئوری حد مرکزی^{۱۴}، در صورتی که اگر توزیع یک مجموعه داده، نرمال باشد، میانگین داده ها نیز توزیع نرمال دارد.^[۱۳] شرایط این قضیه در صورتی که سایز مجموعه داده ها بیشتر از ۲۵ باشد، با آزمون کای اسکوتر^{۱۵} ارزیابی می شود.^[۳۲] طبق آزمون مذکور، خوبی برازش

دلار آمریکا معادل ۳۵۰۰۰ ریال ایران در نظر گرفته شده است. مقادیر پارامترهای ذکر شده در جدول ۴ نشان داده شده است. شایان ذکر است که مقادیر پارامترهای « S ، X_1 و FA و موقعیت منطقه ای» که در واقع متغیرهای مستقل پژوهش هستند، با استفاده از پرسش نامه ی یک که در بند ۲ توضیح داده شده است (مطالعه ی میدانی ۳۲ ساختمان در حال ساخت با اسکلت بتنی در ۷ منطقه از شهر تهران و پرسش از پیمانکاران محترم در مورد درصد وزنی اتلاف مصالح سیمان در کارگاه ساخت مرتبط) جمع آوری شده است. مقادیر پارامترهای K و P به ترتیب از برخی پژوهش ها،^{[۳۰]، [۳۱]} استخراج و بعد از جای گذاری در رابطه ی ۷ ،^[۳۰] مقدار پارامتر C محاسبه شده است.

ج) شاخص $R_{Adjusted}^*$: هر چه شاخص به ۱ نزدیک تر باشد، برازش خطی انجام شده مناسب تر است. در مطالعات مشابه صورت گرفته توسط برخی پژوهشگران، $R_{Adjusted}^* = 0.694$ مناسب تشخیص داده شده است.^[۱۲]

د) مقدار sig : برای اینکه سطح معناداری $\alpha = 0.05$ ارضاء شود، مقدار پارامتر sig باید کمتر یا مساوی 0.05 باشد.^[۳۵، ۱۲]

ه) مقدار عدد ثابت: در منابع آماری مطالعه شده، ضابطه‌ی خاصی برای عدد ثابت در برازش خطی بیان نشده است. در برخی مطالعات مشابه، مقدار عدد ثابت تا 2.3 برابر بیشینه‌ی میزان ضایعات مشاهده شده است.^[۱۲] کلیه‌ی پارامترهای استفاده شده در جدول ۶ معرفی شده‌اند.

۲.۱.۳. راست‌نمایی^{۱۹} مدل

اختلاف مقادیر میزان ضایعات مشاهده شده در کارگاه (Y_{Site} برحسب درصد) و میزان ضایعات ساختمانی ارائه شده توسط رابطه‌ی کمی ($Y_{Material}$ ، برحسب درصد) برای بیشتر جامعه‌ی آماری نباید بیشتر از 3% باشد، تا مدل به دست آمده درست^{۲۰} باشد (رابطه‌ی ۱۳):

$$R_E = \frac{|Y_{Site} - Y_{Material}|}{Y_{Site}} \leq 3\% \quad (13)$$

و برای نمونه‌هایی که در رابطه‌ی ۱۳ برقرار نیست، بیشینه‌ی میزان خطای نسبی $R_E = 63.5\%$ قابل قبول است.^[۱۲] از آنجایی که پژوهش انجام شده‌ی در سال 2015 ،^[۱۲] بسیار مشابه پژوهش حاضر است، برخی از معیارهای ارزیابی مدل‌های استخراج شده برای اتلاف سیمان از پژوهش مذکور استخراج شده‌اند.

جدول ۶. مقادیر متغیرها و پارامترهای آماری مورد استفاده.

متغیر یا پارامتر	شرح
Y_{Cement}	میزان اتلاف بر حسب درصد وزنی
A	یک صدم زیربنای طبقه بر حسب مترمربع
S	تعداد طبقات ساختمان
X_1	ضریب نوع قرارداد (به ترتیب یک و صفر برای قرارداد «سرجم» و «اضافه بر هزینه»)
i, X_i	متغیر موقعیت منطقه‌ی. برای توضیحات بیشتر به بند ۱.۲ قسمت دال مراجعه فرمایید.
از ۲ الی ۸	
F	مقدار بحرانی توزیع با در نظر گرفتن سطح اطمینان 95% و درجات آزادی مربوط به تعداد پرسشنامه‌ها ($\nu_1 = n_1 - 1 = 31$) و تعداد متغیرها ($\nu_2 = n_2 - 1 = 10$)
t	مقدار بحرانی توزیع با در نظر گرفتن سطح اطمینان 95% و درجه آزادی مربوط به تعداد پرسشنامه‌ها ($\nu_1 - n_1 - 1 = 31$)
sig	سطح معناداری با لحاظ کردن سطح اطمینان 95%
R^2	ضریب تعیین
$R_{Adjusted}^*$	ضریب تعیین اصلاح شده

و نرمال بودن توزیع داده‌ها زمانی تأیید می‌شود که رابطه‌های ۸ الی ۱۰ برقرار باشند:

$$X_0^2 < X_{\alpha, k-s-1}^2 \quad (8)$$

$$X_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (9)$$

$$K \approx \sqrt{n} \geq 5 \quad (10)$$

که در آن‌ها، s تعداد پارامترهای تابع توزیع، α سطح خطا، n ساین نمونه، K تعداد کلاس، O_i بسامد مشاهده شده در کلاس i ، $p_i = \frac{1}{K}$ و $E_i = n.p_i$ است.^[۳۲] طبق نتایج خلاصه شده در جدول ۵، خوبی برازش و نرمال بودن داده‌ها مورد تأیید است.

۱.۳. معیارهای برازش خطی مناسب

معیارهای برازش خطی مناسب استخراج شده از منابع آماری و پژوهشی معتبر به این شرح هستند:

۱.۱.۳. اعتبارسنجی مدل^{۱۶}

این نکات می‌توانند در خصوص حصول یک رابطه‌ی کمی معتبر^{۱۷} مورد توجه واقع شوند:

الف) با توجه به مشخصات پژوهش (تعداد پرسش‌نامه و تعداد متغیرها) کمیته‌ی مقدار مجاز F محاسبه شده برای مدل طراحی شده توسط نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS، 2.15 است؛^[۳۳] لذا برای مدل خطی برازش شده باید رابطه‌ی ۱۱ صادق باشد:

$$F \geq 2.15 \quad (11)$$

ب) با توجه به مشخصات پژوهش ذکر شده در بند الف، برای هر برازش خطی، کمیته‌ی مقدار مجاز $|t|$ محاسبه شده برای مدل توسط نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS، 2.03 است؛^[۳۳] و لذا برای مدل خطی برازش شده باید رابطه‌ی ۱۲ صادق باشد:

$$|t| \geq 2.03 \quad (12)$$

جدول ۵. بررسی نرمال بودن مقادیر متغیرهای وابسته (درصد اتلاف مصالح).

سیمان	آجر	بتن	میگردد	K
۶	۶	۶	۶	میانگین اتلاف
۸,۵۷۳	۷,۱۵۱	۳,۹۵۹	۱,۳۷۳	انحراف معیار
۳,۳۲۷	۳,۲۸۹	۱,۸۳۶	۰,۴۱۹	O_1
۵	۳	۳	۴	O_2
۹	۹	۱۰	۸	O_3
۳	۴	۵	۶	O_4
۳	۶	۴	۲	O_5
۳	۴	۴	۷	O_6
۶	۳	۶	۵	X_0^2
۵,۹۶۶	۵,۵۵۲	۵,۸۷۵	۴,۳۷۸	$X_{\alpha, k-s-1}^2$
۶,۲۵۱	۶,۲۵۱	۶,۲۵۱	۶,۲۵۱	$X_0^2 < X_{\alpha, k-s-1}^2$?
بله	بله	بله	بله	آیا توزیع نرمال است؟

۳.۱.۳. راست‌نمایی خارجی

مدل استخراج‌شده باید برای ساختمان‌های مسکونی غیر از ۳۲ ساختمان مطالعه‌شده نیز صادق باشد و نتایجی با دقت قابل قبول ارائه دهد و به عبارت دیگر، ضوابط بند ۲.۱.۳ را ارضاء کند.

۲.۳. کمی‌سازی میزان اتلاف سیمان

مرحله‌ی حاضر از پژوهش، در دو مرحله‌ی: الف) بدون در نظر گرفتن تأثیر مشوق مالی و ب) لحاظ کردن تأثیر آن انجام می‌پذیرد. در هر مرحله، برای کمی‌سازی میزان اتلاف سیمان، ابتدا باید متغیرهای مستقل و وابسته تشخیص داده شوند. سپس با استفاده از مدل‌سازی خطی در نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS و روش سعی و خطا^{۲۱}، متغیرهای معنی‌دار شناسایی و برازش‌های خطی متعدد ارزیابی شوند. در نهایت مدلی که در هر مرحله معیارهای برازش خطی مناسب را ارضاء می‌کند، گزارش می‌شود.

۱.۲.۳. کمی‌سازی میزان اتلاف سیمان بدون وضع مشوق مالی

در مرحله‌ی کنونی، متغیر وابسته میزان اتلاف سیمان و متغیرهای مستقل، متغیرهای الف تا د بند ۱.۲ هستند. بعد از طی کردن روند بند ۲.۳، رابطه‌ی خطی ۱۴ به‌عنوان رابطه‌ی معتبر و درست مرحله‌ی کنونی معرفی می‌شود:

$$Y_{Cement-One} = 11/026 + 7/974A - 1/905S \\ - 2/087X_1 - 2/346X_2 - 2/471X_5 - 9/491X_6 \\ - 3/137X_8 \quad (14)$$

۲.۲.۳. کمی‌سازی میزان اتلاف سیمان با در نظر گرفتن وضع مشوق مالی

در مرحله‌ی حاضر، متغیر وابسته میزان اتلاف سیمان است. متغیرهای مستقل، شامل: متغیرهای الف، ج و ه در بند ۱.۲ هستند. موقعیت منطقه‌ی و زیربنای هر طبقه، جزء متغیرهای مستقل مرحله‌ی کنونی از کمی‌سازی ملحوظ نمی‌شوند، چون متغیر مشوق مالی تابعی از دو متغیر مذکور است. بعد از طی کردن روند بند ۲.۳، رابطه‌ی خطی ۱۵ به‌عنوان رابطه‌ی معتبر و درست مرحله‌ی حاضر معرفی می‌شود:

$$Y_{Cement-Two} = 10/956 - 3/249X_1 - 0/100S - 6/480C \quad (15)$$

۳.۳. اعتبارسنجی و راست‌نمایی روابط کمی ۱۴ و ۱۵

با توجه به جدول‌های ۷ و ۸، ضوابط الف تا ه در بند ۱.۱.۳ در معادلات ۱۴ و ۱۵ ارضاء می‌شود و در نتیجه، معادلات ذکر شده معتبر هستند. به‌علاوه طبق جدول ۹، رابطه‌ی ۱۳ در مورد معادله‌ی ۱۴ برای تمام ساختمان‌های مطالعه‌شده برقرار است. در مورد معادله‌ی ۱۵، در ۱۸ ساختمان رابطه‌ی ۱۳ برقرار است که بیشتر از نصف ساختمان‌ها را شامل می‌شود و خطای نسبی^{۲۲} سایر ساختمان‌ها کمتر از ۶۳/۵٪ است. در نتیجه، شرایط بند ۲.۱.۳ در مورد هر دو معادله‌ی ۱۴ و ۱۵ صادق است و لذا روابط مذکور درست هستند.

به‌علاوه، برای راست‌نمایی خارجی مدل استخراج‌شده، ۷ ساختمان جدید در مناطق مورد مطالعه، بررسی شد و مشابه روند پیشین، اتلاف سیمان در آن‌ها به‌دست آمد و با اتلاف پیشنهادی توسط معادله‌ی ۱۴ مقایسه شد. از آنجایی که خطای همه‌ی حالات کمتر از ۳٪ بوده است، درست بودن خارجی مدل نیز مورد تأیید است. نتایج بررسی انجام‌شده در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول ۷. اعتبارسنجی معادلات کمی ۱۴ و ۱۵ (بخش اول).

شماره‌ی معادله	۱۴	۱۵
F	۳۲/۱۱۷	۶۴/۶۸۵
sig	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
R ^۲	۰/۹۰۴	۰/۷۹۱
R ^۲ _{adjusted}	۰/۸۷۵	۰/۷۴۱
عدد ثابت (Const.)	۱۱/۰۲۶	۸/۱۵۶
بیشینه‌ی اختلاف (MOW)	۱۶/۶۷۰	۱۶/۶۷۰
Const./MOW	۰/۶۶۱	۰/۴۸۹

جدول ۸. اعتبارسنجی معادلات کمی ۱۴ و ۱۵ (بخش دوم).

شماره‌ی معادله	اجزای معادله	sig	t
عدد ثابت	عدد ثابت	۰/۰۰۰	۷/۳۶۵
A	A	۰/۰۰۰	۱۰/۲۲۰
S	S	۰/۰۰۰	-۵/۰۷۰
X _۱	X _۱	۰/۰۰۰	-۴/۷۰۹
X _۲	X _۲	۰/۰۰۱	-۳/۷۵۶
X _۵	X _۵	۰/۰۰۱	-۳/۷۲۷
X _۶	X _۶	۰/۰۰۰	-۷/۰۹۰
X _۸	X _۸	۰/۰۰۰	-۴/۹۷۳
عدد ثابت	عدد ثابت	۰/۰۲۰	۶/۹۸۱
X _۱	X _۱	۰/۰۴۰	-۶/۱۵۵
C	C	۰/۰۱۰	-۲/۹۶۷
S	S	۰/۰۵۰	-۷/۵۳۶

۴. تعیین میزان بهینه‌ی مشوق مالی

۱.۴. تحلیل کشسانی^{۲۳}

افزایش میزان مشوق مالی، راهکار مدیریتی کاهش اتلاف سیمان در نظر گرفته شده است. در این راستا، لازم است تأثیر پذیری اتلاف سیمان از افزایش مذکور تعیین شود، که با استفاده از مفهوم کشسانی صورت می‌پذیرد. حالت کشسانی اتلاف سیمان نسبت به افزایش میزان مشوق را می‌توان از رابطه‌ی ۱۶ به‌دست آورد.^[۲۴]

$$Ely_C = \frac{(\frac{\partial Y}{\partial C})}{(\frac{\partial C}{\partial C})} = \frac{(\frac{\Delta Y}{\Delta C})}{(\frac{\Delta C}{\Delta C})} = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(C_2 - C_1)} \quad (16)$$

با در نظر گرفتن ۱٪ افزایش مشوق مالی و استفاده از رابطه‌ی ۱۶، همچنین میانگین‌گیری از حالت کشسانی ساختمان‌های مطالعه‌شده و ضرب کردن آن در میانگین اتلاف سیمان در جدول ۱۱ نتیجه گرفته شد که افزایش ۱٪ مشوق مالی، منجر به کاهش ۱/۵۶٪ اتلاف سیمان می‌شود.

۲.۴. ارزیابی مشوق مالی

۱.۲.۴. ارزیابی اقتصادی مشوق مالی

برای ارزیابی اقتصادی^{۲۴} مشوق مالی، از روش نسبت فایده به هزینه^{۲۵} استفاده می‌شود. طبق معادله‌ی ۱۵، یک واحد مشوق مالی (۱۰۰۰ دلار) باعث کاهش ۶/۴۸٪ اتلاف سیمان می‌شود. طبق آخرین آمار در دسترس، سالانه در شهر تهران

جدول ۹. راست‌نمایی معادلات کمی ۱۴ و ۱۵.

ردیف	معادله‌ی ۱۵		معادله‌ی ۱۴		سایت
	$ RE $	Y_{Cement}	$ RE $	Y_{Cement}	Y_{Cement}
۱	۰٫۰۴۰	۵٫۸۸۵	۰٫۰۱۱	۵٫۶۰۰	۵٫۶۶۰
۲	۰٫۲۴۶	۵٫۵۸۱	۰٫۰۲۶	۷٫۵۹۴	۷٫۴۰۰
۳	۰٫۶۰۹	۶٫۵۱۹	۰٫۰۱۲	۱۶٫۸۶۸	۱۶٫۶۷۰
۴	۰٫۵۲۵	۶٫۸۸۵	۰٫۰۱۱	۱۴٫۳۴۳	۱۴٫۵۰۰
۵	۰٫۲۹۹	۸٫۶۶۳	۰٫۱۸۱	۷٫۸۸۰	۶٫۶۷۰
۶	۰٫۵۱۰	۱۰٫۰۷۴	۰٫۰۳۴	۶٫۴۴۶	۶٫۶۷۰
۷	۰٫۵۲۳	۵٫۰۷۲	۰٫۱۲۸	۳٫۷۵۷	۳٫۳۳۰
۸	۰٫۶۲۲	۸٫۵۱۵	۰٫۰۳۹	۵٫۰۴۷	۵٫۲۵۰
۹	۰٫۳۰۰	۷٫۰۰۱	۰٫۰۵۸	۱۰٫۵۷۸	۱۰٫۰۰۰
۱۰	۰٫۲۱۲	۶٫۱۴۴	۰٫۰۰۲	۷٫۷۸۷	۷٫۸۰۰
۱۱	۰٫۲۹۶	۴٫۶۹۷	۰٫۰۰۰	۶٫۶۶۸	۶٫۶۷۰
۱۲	-	-	-	-	-
۱۳	۰٫۲۴۱	۹٫۹۲۵	۰٫۰۲۵	۷٫۸۰۱	۸٫۰۰۰
۱۴	۰٫۵۸۸	۶٫۳۵۱	۰٫۰۳۰	۳٫۸۸۰	۴٫۰۰۰
۱۵	۰٫۰۵۰	۶٫۶۵۳	۰٫۰۴۳	۷٫۳۰۰	۷٫۰۰۰
۱۶	۰٫۴۶۴	۳٫۷۵۰	۰٫۰۱۹	۷٫۱۳۰	۷٫۰۰۰
۱۷	۰٫۵۴۰	۸٫۹۷۹	۰٫۰۰۵	۵٫۸۶۰	۵٫۸۳۰
۱۸	۰٫۲۹۴	۷٫۰۶۳	۰٫۱۳۳	۸٫۶۷۳	۱۰٫۰۰۰
۱۹	۰٫۰۰۵	۹٫۷۱۷	۰٫۰۴۵	۹٫۲۳۶	۹٫۶۷۰
۲۰	-	-	-	-	-
۲۱	۰٫۱۲۶	۸٫۷۳۹	۰٫۱۰۷	۱۱٫۰۷۰	۱۰٫۰۰۰
۲۲	۰٫۳۰۰	۹٫۳۳۱	۰٫۲۱۱	۱۰٫۵۱۲	۱۳٫۳۳۰
۲۳	۰٫۲۹۸	۹٫۳۶۴	۰٫۱۸۲	۱۰٫۹۱۰	۱۳٫۳۳۰
۲۴	۰٫۲۸۹	۴٫۲۶۴	۰٫۰۵۶	۶٫۳۳۳	۶٫۰۰۰
۲۵	۰٫۲۸۸	۸٫۵۹۰	۰٫۰۷۵	۶٫۱۷۰	۶٫۶۷۰
۲۶	۰٫۴۸۰	۵٫۴۶۱	۰٫۰۰۷	۱۰٫۴۲۷	۱۰٫۵۰۰
۲۷	۰٫۴۶۹	۹٫۷۹۵	۰٫۲۶۵	۸٫۴۳۸	۶٫۶۷۰
۲۸	-	-	-	-	-
۲۹	۰٫۲۷۸	۸٫۶۶۸	۰٫۰۴۴	۱۱٫۴۶۹	۱۲٫۰۰۰
۳۰	۰٫۵۳۴	۶٫۲۰۶	۰٫۱۴۳	۱۵٫۲۳۴	۱۳٫۳۳۰
۳۱	۰٫۰۴۲	۸٫۹۴۰	۰٫۰۳۹	۸٫۹۶۳	۹٫۳۳۰
۳۲	۰٫۲۹۵	۶٫۹۰۴	۰٫۱۰۰	۵٫۸۶۵	۵٫۳۳۰

جدول ۱۰. مشخصات ساختمان‌های مطالعه‌شده جهت راست‌نمایی خارجی مدل‌ها به‌همراه مقادیر اتلاف واقعی، برآوردشده و خطای نسبی.

ردیف	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	
$FA(m\%)$	۱۰۰	۲۱۰	۱۳۶	۹۰	۱۵۴	۸۲	۱۴۴	
مشخصات	۷	۶	۵	۵	۵	۴	۵	
ساختمان‌ها	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	
موقعیت	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	
اتلاف	Y_{model}	۱٫۲۳۲	۱۶٫۳۴۱	۱۰٫۲۵۹	۶٫۲۰۷	۴٫۲۹۰	۷٫۸۵۸	۹٫۸۴۷
سیمان	Y_{site}	۱٫۷۵۰	۱۲٫۶۰۰	۸٫۴۵۰	۸٫۳۹۰	۶٫۰۹۰	۱۰٫۵۰۰	۱۱٫۸۰۰
	$ RE (\%)$	۲۹٫۶۰۰	۲۹٫۶۹۴	۲۱٫۴۰۴	۲۶٫۰۲۴	۲۹٫۵۵۷	۲۵٫۱۶۵	۱۶٫۵۵۵

جدول ۱۱. حساسیت اتلاف سیمان به افزایش مشوق مالی.

مصلح	تغییر مشوق مالی (%)	میانگین	
		میزان حساسیت	اتلاف (%)
سیمان	+۱	-۰/۱۸۳	۸/۵۷
		۱/۵۶	

و در حالتی که کاهش اتلاف سیمان کمتر از ۱/۰۵۵٪ باشد، فقط هزینه سیمان اتلاف نشده به پیمانکار پرداخت می‌شود:

$$If CWR < 1/0.55\% \rightarrow TFI = \frac{CWR}{100} \times \frac{\$36/281}{1 Ton Cement} \times \frac{1 Ton Cement}{1 m^2 FA} \times FA (m^2) \times S = 0/0.36 \times CWR \times FA \times S \quad (24)$$

و در نهایت، تابع ۲۵ برای پرداخت مشوق مالی به پیمانکار معرفی می‌شود:

$$TFI = \begin{cases} (1 + \frac{CWR}{106}) \times 0/2 \times K \times P \times FA, & CWR \geq 1/0.55\% \\ 0/0.36 \times CWR \times FA \times S, & CWR < 1/0.55\% \end{cases} \quad (25)$$

۲.۲.۴. ارزیابی زیست محیطی مشوق مالی

با توجه به آمار استخراج شده و اینکه ۱٪ افزایش مشوق مالی باعث کاهش ۱/۰۵۶٪ اتلاف سیمان می‌شود، این میزان در سطح شهر تهران و در یک سال معادل ۷۳۳۲ تن کاهش اتلاف سیمان خواهد بود (رابطه ۲۶):

$$1/0.56\% \times \frac{1 Ton Cement}{1 m^2 FA} \times 4/7 \times 10^6 \left(\frac{m^2 FA}{Year} \right) = \frac{Ton Cement}{Year} \quad (26)$$

با توجه به جدول ۱۲، این میزان صرفه‌جویی در مصرف سیمان به ازاء ۱٪ افزایش مشوق مالی، منجر به کاهش مصرف مواد اولیه، انرژی الکتریکی و حرارتی و انتشار گازهای آلاینده طبق جدول ۱۳ خواهد شد. در نتیجه، مشوق مالی مذکور در جهت حرکت به سوی توسعه پایدار، حفاظت از محیط زیست و سلامت شهروندان است.

۵. تحلیل و بررسی روابط کمی

با توجه به روابط کمی ارائه شده و تحلیل آن‌ها، این موارد قابل استنتاج است:

الف) در صورتی که ضریب یک متغیر مستقل (A, S, X_i, C) منفی (مثبت) باشد، بدین معناست که میزان متغیر وابسته (Y_{Cement}) میزان اتلاف سیمان بر حسب درصد، با افزایش مقدار آن، متغیر مستقل کاهش (افزایش) می‌یابد. به علاوه، ضریب صفر برای یک متغیر مستقل، به معنای آن است که میزان متغیر وابسته مستقل از همان متغیر مستقل است.

جدول ۱۲. شاخص‌های مرتبط با تولید یک تن سیمان در ایران.^[۸]

واحد	متوسط	شاخص
Ton	۱/۶۴	مصرف مصالح خام
kWh	۷۷/۷۹	مصرف الکتریکی
Kcal	۸۲۷۱۹۰	انرژی حرارتی
Kg	۹۳۳/۸۰	CO _۲
Kg	۲/۴۷	NO _x
Kg	۵۲۲/۴۰	SO _۲
Kg	۹۹/۶۰	SPM

۳۵۰۳ پروانه‌ی ساخت ساختمان مسکونی صادر و ۴/۷ میلیون مترمربع ساختمان مسکونی ساخته می‌شود و سهمیه سیمان اختصاص داده شده برای ساخت ۱ مترمربع زیربنا توسط دولت، ۱۰۰ کیلوگرم است.^[۲۷] هزینه ۱ تن سیمان، کیسه‌بی ۱۲۷۰۰۰ ریال (۳۶/۲۸۱ دلار) برآورد شده است.^[۲۸] تولید هر تن سیمان، ۹۳۳/۸۰ کیلوگرم CO_۲ تولید می‌کند،^[۸] که هزینه جلوگیری از تولید هر تن آن حدود ۱۱۹ دلار تخمین زده شده است.^[۲۹] در نتیجه، هزینه (C_۱) و فایده‌ی (B_۱) تخصیص یک واحد مشوق مالی به صورت روابط ۱۷ و ۱۸ محاسبه می‌شود:

$$C_1 = \frac{Unit Cost(\$) \times Permits Number}{Total Constructed Area (m^2)} = \frac{1000 \times 3503}{4/7 \times 10^6} = \frac{\$0/745}{m^2} \quad (17)$$

$$B_1 = 6/48\% \times \frac{1 Ton Cement}{1 m^2 FA} \times \frac{933.8 Ton CO_2}{1 Ton Cement} \times \frac{\$119}{1 Ton Avoided CO_2} = \frac{\$0/720}{m^2} \quad (18)$$

از آنجایی که افزایش میزان مشوق مالی ابزار مدیریتی کاهش ضایعات سیمان در نظر گرفته شده است، لازم است افزایش هزینه (ΔC) و افزایش فایده‌ی (ΔB) ناشی از افزایش مشوق مالی به میزان x درصد طی روابط ۱۹ و ۲۰ بررسی شود. طبق جدول ۳، متوسط مشوق مالی $\frac{\$1/0.22}{m^2} = \frac{\$1/0.16 \times 1000}{3961}$ است.

$$\Delta C = \frac{x}{100} \times 2/0.23 = \frac{\$(0/0.20x)}{m^2} \quad (19)$$

$$\Delta B = \frac{x}{100} \times 1/0.56 \times \frac{1 Ton Cement}{1 m^2 FA} \times \frac{\$36/281}{1 Ton Cement} = \frac{\$(0/0.57x)}{m^2} \quad (20)$$

در نتیجه هزینه به فایده‌ی پیشنهاد مشوق مالی بعد از x درصد افزایش به صورت معادله‌ی ۲۱ به دست می‌آید. شرایط لازم برای اقتصادی بودن پیشنهاد مذکور در معادله‌ی ۲۲ نشان داده شده است:

$$\frac{Benefit}{Cost} = \frac{B_1 + \Delta B}{C_1 + \Delta C} = \frac{\frac{\$0/720}{m^2} + \frac{\$(0/0.57x)}{m^2}}{\frac{\$0/745}{m^2} + \frac{\$(0/0.20x)}{m^2}} = \frac{0/720 + 0/0.57x}{0/745 + 0/0.20x} \quad (21)$$

$$\frac{Benefit}{Cost} = \frac{0/720 + 0/0.57x}{0/745 + 0/0.20x} \geq 1 \rightarrow x \geq 0/676\% \rightarrow CWR \geq 1/0.56 \times 0/676 = 1/0.55\% \quad (22)$$

که در آن، CWR کاهش اتلاف سیمان بر حسب درصد است. اگر اتلاف سیمان بیش از ۱/۰۵۵٪ کاهش یابد، افزایش مشوق مالی متناسب با آن اقتصادی است، لذا در این حالت مشوق مالی (TFI) بر حسب دلار به پیمانکار پرداخت می‌شود (رابطه ۲۳):

$$If CWR \geq 1/0.55\% \rightarrow TFI = (1 + \frac{CWR}{1/0.56 \times 100}) \times DC = (1 + \frac{CWR}{156}) \times 0/2 \times K \times P \times FA \quad (23)$$

جدول ۱۳. کاهش شاخص‌های تولید سیمان در یک سال در تهران بر اثر افزایش یک درصد مشوق مالی پیشنهاد داده شده.

شاخص	متوسط	واحد
مصرف مصالح خام	۱۲۰ ۲۴/۴۸	Ton
مصرف الکتریکی	۰/۷۳۲	Million kWh
انرژی حرارتی	۶۱۰۶۵	Billion Kcal
انتشار CO_2	۶۸۴۶۶۲۲	Ton
آلاینده‌ی NO_x	۱۸/۱۱۰	Ton
آلاینده‌ی SO_2	۳۸۳۰/۲۳۷	Ton
هوا SPM	۷۳۰/۲۶۷	Ton

ب) ضریب متغیرهای مستقل منطقه‌ی احداث ساختمان (X_1 الی X_8) در معادله‌ی ۱۴، می‌تواند مقداری مثبت، منفی و یا صفر باشد. این بدین معناست که در شرایط کاملاً یکسان و فقط با تغییر موقعیت منطقه‌ی یک ساختمان مسکونی، میزان ضایعات سیمان به اندازه‌ی تقاضای ضرایب دو متغیر مستقل متناظر با دو منطقه در همان رابطه‌ی کمی تغییر خواهد کرد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی، با مطالعه‌ی تعداد بیشتری از ساختمان‌های در حال ساخت یا تمرکز بر یک موقعیت منطقه‌ی خاص یا مطالعه‌ی همه‌ی مناطق ۲۲ گانه، نتایج تعمیم‌یافته‌تری (مثلاً برای کل شهر تهران) استخراج شود. به علاوه، انتظار می‌رود با افزایش تعداد ساختمان‌های مورد مطالعه، تفاوت بین ضرایب موقعیت منطقه‌ی کاهش یابد. در هر حال، ذکر این نکته لازم است که در مورد ضریب موقعیت منطقه‌ی، تقاضای بین ضرایب در یک مدل مشخص، معنا و اهمیت بیشتری از مقدار مطلق این ضرایب دارد. همچنین، صفر بودن ضریب منطقه‌ی یک منطقه‌ی خاص به معنای بی‌تأثیر بودن آن منطقه بر اتلاف سیمان نیست، زیرا اولاً طبق توضیحات ذکر شده و خطی بودن برآزش صورت‌گرفته، تقاضای نسبی ضریب دو موقعیت منطقه‌ی حائز اهمیت‌تر از مقدار مطلق ضریب یک موقعیت منطقه‌ی خاص است. ثانیاً، با توجه به تنظیمات نرم‌افزار SPSS برای گزارش اعداد و ضرایب با ۳ رقم اعشار، ضرایبی که صفر به نظر می‌آیند، صفر مطلق نیستند. نکته‌ی دیگر آنکه، ضرایب غیرصفر در مدل‌های غیرمنتخب ظاهر می‌شود، ولی چون مدل‌های مذکور، ضریب تعیین بسیار پایین‌تری دارند، گزارش آن‌ها از نظر علم آمار نه فقط توجیه کافی نداشت، بلکه وجهه‌ی غیرعلمی به نوشتار حاضر می‌داد.

ج) در معادله‌ی ۱۴، ضریب متغیر مستقل زیربنای طبقه (A) مثبت است که نشان می‌دهد با افزایش زیربنای طبقه، درصد اتلاف سیمان زیاد می‌شود. این ارتباط می‌تواند ناشی از این باشد که مصالح پودری مانند سیمان بعد از تهیه شدن در محلی به‌عنوان انبار نگهداری می‌شوند و از آنجا به محل مصرف حمل می‌شوند. در حین انبار کردن، ممکن است کیسه‌ها در اثر کشیده شدن روی زمین توسط کارگران آسیب ببینند. افزایش مساحت ساختمان به معنای افزایش فاصله‌ی حمل مصالح مذکور است و با افزایش فاصله‌ی حمل، امکان آسیب دیدن کیسه‌ی سیمان یا گچ و هدررفت مصالح پودری افزایش می‌یابد.

د) در هر دو معادله‌ی ۱۴ و ۱۵، ضریب متغیر مستقل تعداد طبقات ساختمان (S) منفی است که نشان می‌دهد با افزایش تعداد طبقات ساختمان درصد اتلاف سیمان کم می‌شود. این امر بدین ترتیب قابل توجیه است که بیشترین اتلاف سیمان در حین حمل به انبار، شرایط نامناسب انبار، بارش باران بر سیمان‌هایی که

در طبقات پایین دوپوشانده و به طرز مناسبی پوشش داده نشده‌اند، دور ریختن کیسه‌های نیمه پر توسط کارگران و عموماً در طبقات پایین رخ می‌دهد و لذا شدت اتلاف سیمان در طبقات پایین بیشتر از طبقات بالاتر است که سیمان در صورت نیاز با بالا بردن این طبقات حمل می‌شود و لذا طبیعی است که با افزایش تعداد طبقات، درصد وزنی اتلاف سیمان کاهش یابد، هر چند میزان مطلق آن ممکن است افزایش یابد. لذا ضریب تعداد طبقات در مدل‌های اتلاف سیمان، منفی است.

و) ضریب متغیر مستقل نوع قرارداد (X_1) در هر دو رابطه‌ی کمی، منفی است. یعنی اینکه، میزان ضایعات سیمان در قرارداد «اضافه بر هزینه» بیشتر از قرارداد «سرجمع» است. علت این امر شرایط متفاوت پرداخت به پیمانکار در دو قرارداد است. در قرارداد «سرجمع» کارفرما صرف‌نظر از هزینه‌های پیمانکار، مبلغ مشخصی را به پیمانکار پرداخت می‌کند. در قرارداد «اضافه بر هزینه»، کارفرما تمام هزینه‌های پیمانکار به انضمام مبلغی (معمولاً به صورت درصدی از هزینه‌ها) به‌عنوان بالاسری و سود به پیمانکار پرداخت می‌کند و لذا در این نوع قرارداد اتلاف مصالح نه فقط هزینه‌ی برای پیمانکار ندارد؛ بلکه، تهیه‌ی مصالح اضافی منجر به سود بیشتر پیمانکار خواهد شد. در نتیجه در قرارداد «اضافه بر هزینه»، پیمانکار دقت چندانی برای عدم اتلاف مصالح از خود نشان نمی‌دهد.

و) منفی بودن ضریب متغیر مستقل مشوق مالی (C) در معادله‌ی ۱۵ حاکی از آن است که افزایش مشوق مالی می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش اتلاف سیمان باشد.

ز) با توجه به تحلیل کشسانی و ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی انجام شده در بندهای ۱.۴ و ۲.۴، معادله‌ی ۲۵ برای محاسبه‌ی میزان پرداخت مشوق مالی پیشنهاد می‌شود.

۶. نتیجه‌گیری

ضایعات ساختمانی، آثار مخربی در زندگی انسان و محیط‌زیست دارند، منابع و سرمایه‌های کشور را به هدر می‌دهند و حق نسل‌های آتی مبنی بر بهره‌مندی از این منابع را تضییع می‌کنند. لذا لازم است با مدیریت صحیح کاربرد مصالح، اتلاف آن‌ها را کاهش داد. این امر با راهکارهای مختلفی، مانند: وضع مشوق‌های مالی برای کاهش اتلاف مصالح، اخذ عوارض و جریمه برای تولید ضایعات ساختمانی، یا تصویب قوانین و استانداردهای زیست‌محیطی سخت‌گیرانه در سطح دنیا مورد توجه واقع شده است. اساس اتخاذ تمام تصمیمات مدیریتی کاهش اتلاف مصالح ساختمانی، داشتن آمار و اطلاعات معتبر از میزان اتلاف مصالح است. در کشور ایران، هیچ نهاد مسئولی چنین اطلاعات و آماری را جمع‌آوری نمی‌کند و همین امر مدیریت این ضایعات را دشوار کرده است. به علاوه، در کشور ایران هیچ راهکاری برای کنترل ضایعات ساختمانی اندیشیده نشده و فقط برای ضایعات مرحله‌ی تخریب عوارض تخریب و نوسازی پیش‌بینی شده است. طبق اطلاعات میدانی جمع‌آوری شده در نوشتار حاضر طی پرسش‌نامه‌های ۱ و ۲ و تحلیل‌های صورت‌پذیرفته، این نتایج به‌دست آمده است:

الف) متوسط اتلاف سیمان در پروژه‌های ساخت ساختمان مسکونی ۸/۵۷٪ است که بیش از متوسط اتلاف سایر مصالح مورد مطالعه است. این مقدار برای میلگرد، بتن و آجر به ترتیب معادل ۱/۳۲٪، ۳/۹۶٪، ۷/۱۵٪ است.

ب) آثار نوع قرارداد و موقعیت منطقه‌ی پروژه در اتلاف مصالح سیمان برای اولین بار به صورت کمی نشان داده شده‌اند. برای مثال، با توجه به تعریف و مقدار پارامتر نوع قرارداد (بند ۱.۲ قسمت الف)، در قراردادهای «اضافه بر هزینه» اتلاف سیمان ۸۷٪ بیش از قراردادهای «سرجمع» است.

ج) تفسیر ضرایب پارامترهای مختلف در مدل‌های استخراج شده:

ا) بیشترین اتلاف سیمان در حین حمل به انبار، شرایط نامناسب انبار، بارش باران بر کیسه‌های سیمانی که در طبقات پایین دپو شده‌اند و به طرز مناسبی پوشش داده نشده‌اند، دور ریختن کیسه‌های نیمه پر توسط کارگران و عموماً در طبقات پایین رخ می‌دهد و لذا شدت اتلاف سیمان در طبقات پایین بیشتر از طبقات بالاتر است که سیمان در صورت نیاز با بالا بر به این طبقات حمل می‌شود. لذا با افزایش تعداد طبقات، درصد وزنی اتلاف سیمان کاهش می‌یابد، هر چند میزان مطلق آن ممکن است افزایش یابد. لذا ضریب تعداد طبقات در مدل‌های سیمان منفی است.

ب) مصالح پودری مانند سیمان بعد از تهیه شدن در محلی به عنوان انبار نگهداری و از آنجا به محل مصرف حمل می‌شوند. در حین انبار کردن، ممکن است کیسه‌ها در اثر کشیده شدن روی زمین توسط کارگران آسیب ببینند. افزایش مساحت ساختمان به معنای افزایش فاصله‌ی حمل این مصالح است و با افزایش فاصله‌ی حمل، امکان آسیب دیدن کیسه‌ی سیمان یا گچ و هدررفت مصالح پودری افزایش می‌یابد و ضریب پارامتر زیربنای طبقه مثبت است.

ج) با افزایش میزان مشوق مالی اتلاف سیمان کمتر می‌شود، زیرا پیمانکار انگیزه‌ی بیشتری برای کاهش اتلاف سیمان خواهد داشت و لذا ضریب پارامتر مشوق مالی در مدل اتلاف سیمان منفی است.

د) $R_{Adjusted}$ معادل با ۰٫۸۷۵ و ۰٫۷۴۱، برای رابطه‌ی کمی اتلاف سیمان در دو حالت بدون در نظر گرفتن مشوق مالی (معادله‌ی ۱۴) و با در نظر گرفتن مشوق مالی (معادله‌ی ۱۵) حاکی از آن است که متغیرهای مطالعه شده، ۸۷٫۵٪ و ۷۴٫۱٪ عوامل دخیل در اتلاف سیمان را پوشش داده‌اند.

ه) طبق معادله‌ی ۱۴، ضرایب متغیرهای A و S به ترتیب $+۷٫۹۷۴$ و $-۱٫۹۰۵$ است. این بدان مفهوم است که با حفظ زیربنای کل کاهش پارامتر A و افزایش

پارامتر S باعث کاهش اتلاف سیمان می‌شود. در نتیجه، پیشنهاد می‌شود جهت کاهش اتلاف سیمان، طراحی ساختمان‌های مسکونی با مساحت زیربنای طبقه‌ی کمتر ولی با طبقات بیشتر به جای ساختمان‌های با مساحت زیربنای طبقه‌ی بیشتر و طبقات کمتر مد نظر قرار گیرد. برای مثال، طبق جدول ۱۴، با یکسان در نظر گرفتن تمام شرایط از جمله زیربنای کل ساختمان، از بین ۳ ساختمان مسکونی بررسی شده، اتلاف سیمان در ساختمان الف کمتر از ساختمان ب و در ساختمان ب کمتر از ساختمان ج است.

و) مشوق مالی بررسی شده، با نرخ $\frac{F_1 \times 48}{1K8}$ اتلاف سیمان را کاهش می‌دهد. با استفاده از این نرخ و سایر اطلاعات آماری استخراج شده، مشوق مالی طبق رابطه‌ی ۲۵ پیشنهاد شده است. مقدار مشوق مالی، تابعی از کاهش اتلاف سیمان بر حسب درصد است. طبق بند ۲.۴، توجیه‌پذیری اقتصادی و زیست‌محیطی مشوق مالی بررسی شده، مورد تأیید است.

ز) به منظور راست‌نمایی خارجی مدل اول اتلاف سیمان (بدون مشوق مالی)، ۷ ساختمان جدید در حال ساخت در ۷ منطقه‌ی مطالعه شده بررسی شدند و چون مدل مذکور در ساختمان‌های جدید منتج به اتلاف‌هایی شد که با مقادیر واقعی کمتر از ۳۰٪ اختلاف داشتند (به جدول ۱۰ مراجعه شود)، بنا به توضیحات ارائه شده برای راست‌نمایی مدل، نویسندگان متقاعد شدند که مدل اول قابلیت تعمیم را دارد. به علاوه، با در نظر گرفتن این واقعیت که ساختمان‌های موجود در یک معبر، عموماً زیربنای نزدیک به هم دارند، و ساختمان‌های مطالعه شده به گونه‌ی انتخاب شده‌اند که از تمامی معابر مختلف مناطق، دست‌کم یک ساختمان بررسی شده باشد، می‌توان عنوان کرد که ساختمان‌های مورد مطالعه با تقریب خوبی بیشتر ساختمان‌های آن منطقه را پوشش داده‌اند و مدل پیشنهادی اول به عنوان یک مدل معتبر در مناطق مذکور قابلیت مطرح شدن را دارد. در مورد مدل دوم که پیشنهاد مشوق مالی به عنوان یک پارامتر جدید مطرح می‌شود، امکان ارزیابی مدل در عمل وجود نداشت، زیرا پیاده‌سازی طرح مشوق مالی پیشنهادی فراتر از اختیارات شرکت‌های خصوصی است و فقط با مشارکت شهرداری تهران و بعد از رفع موانع زمانی، هزینه‌ی، قانونی و ... میسر می‌شود. لذا، با استناد به پژوهش‌های مشابه پیشین نظیر برخی پژوهش‌ها،^{[۱۶] [۱۵]} که اساس مشوق مالی پیشنهادی خود را در درجه‌ی اول توجیه اقتصادی و در درجه‌ی

جدول ۱۴. بررسی تاثیر تعداد طبقات و زیربنای هر طبقه روی اتلاف سیمان با ثابت ماندن زیربنای کل در قالب یک مثال.

نام ساختمان	الف	ب	ج
زیربنای هر طبقه (متر مربع، FA)	۲۰۰	۲۴۰	۳۰۰
A	۲٫۰۰	۲٫۴۰	۳٫۰۰
تعداد واحد در هر طبقه	۱	۲	۳
زیربنای هر واحد، مترمربع	۲۰۰	۱۲۰	۱۰۰
تعداد طبقات (S)	۶	۵	۴
کل زیربنا، مترمربع	۱۲۰۰	۱۲۰۰	۱۲۰۰
نوع قرارداد	سرجمع، $X_1 = ۱$		
موقعیت	میدان امام حسین (ع)، $X_2 = ۱$		
	$X_i = ۰, i = ۳, ۴, ۵, ۶, ۷, ۸$		
درصد اتلاف سیمان از معادله‌ی ۱۴	۱۳٫۱۹۸	۱۸٫۲۹۳	۲۴٫۹۸۲

جدول ۱۵. الگوی پیشنهادی برای کنترل اتلاف سیمان در تهران

مرحله	پیشنهاد
انعقاد قرارداد	انعقاد قرارداد «سرجمع» به جای قرارداد «اضافه بر هزینه»
طراحی	طراحی ساختمان‌های با زیربنای کمتر و طبقات بیشتر به جای ساختمان‌های با زیربنای بزرگتر و طبقات کمتر در پروژه‌های مسکونی آینده
ساخت	تشویق پیمانکاران به اتلاف کمتر سیمان با پرداخت مشوق مالی طبق رابطه‌ی ۲۵

پیشنهادهای ذکرشده، به خصوص در مراحل طراحی و ساخت برای پروژه‌های ساختمان‌سازی پایدار در آینده، به گونه‌ی است که بدون حمایت نهادهای دولتی امکان عملی شدن ندارند. لذا لازم است شهرداری تهران، حمایت‌های مالی و قانونی لازم از الگوی مذکور را به عمل آورد، تا با عملی شدن آن، شهر تهران به سمت کاهش اتلاف سیمان، کاهش تولید سیمان در کشور، کاهش تبعات زیست‌محیطی و اجتماعی اتلاف سیمان، و در نهایت ساخت‌وساز پایدارتر حرکت کند.

۷. محدودیت‌های پژوهش

محدودیت‌های پژوهش حاضر را می‌توان به این شرح بر شمرد:

- عدم تمایل زیاد پیمانکاران به جمع‌آوری و ارائه‌ی اطلاعات پروژه؛
- مطالعه‌ی محدود ۴ مصالح ساختمانی پرکاربرد؛
- تمرکز بر قراردادهای سرجمع و اضافه بر هزینه به عنوان متداول‌ترین قراردادهای صنعت ساخت ساختمان‌های مسکونی؛
- عدم مطالعه‌ی پارامترهایی نظیر میزان تخصص، دانش فنی؛ و مهارت عوامل انسانی؛
- مطالعه‌ی ساختمان‌های مسکونی با اسکلت بتنی.

دوم توجه زیست‌محیطی می‌دانند، ارزیابی اقتصادی و زیست‌محیطی از مدل پیشنهادی به عمل آمد و با توجه به نتایج قابل قبول ارزیابی‌های انجام‌شده، مدل دوم نیز به عنوان یک مدل معتبر تلقی شده است.

ح) در نهایت، الگوی جدول ۱۵ برای کاهش اتلاف سیمان در مراحل مختلف یک پروژه ساخت ساختمان مسکونی در شهر تهران پیشنهاد شده است. ماهیت

پانویس‌ها

1. construction waste
2. landfill
3. financial incentive
4. taxation
5. variable
6. dependent variable
7. independent variable
8. lump sum
9. cost plus
10. demolition waste
11. Likert
12. Cronbach's alpha
13. multiple linear regression
14. central limit theorem
15. Chi square
16. validation
17. valid
18. significance level
19. verification
20. verified
21. trial and error method
22. relative error
23. elasticity analysis
24. viability evaluation
25. benefit to cost ratio

منابع (References)

1. Hu, X. and Liu, C. "Managing undesirable outputs in the Australian construction industry using data envelopment analysis models", *Journal of Cleaner Production*, **101**, pp. 148-157 (2015).
2. Butera, S., Christensen, T.H. and Astrup, T.F. "Life cycle assessment of construction and demolition waste management. waste management", *Waste Management*, **44**, pp. 196-205 (2015).
3. Jafari Mansourian, H., Rajabizadeh, A. and Dolatshahi, S. "Evaluation of construction waste management, Case study of Kerman in 2008", *Environment Science and Technology*, **16**(1) (2014).
4. Tam, V.W.Y. and Hao, J.J.L. "Prefabrication as a mean of minimizing construction waste on site", *International Journal of Construction Management*, **14**(2), pp. 113-121 (2014).
5. Shokouhian, M. and NajafianRazavi, A. "Construction waste management, environmental pollution reduction and recycling", 6th National Congress on Civil Engineering, Semnan university, Semnan, Iran (2011).
6. Majedi Ardekani, M.H. "Investigation of researches on optimization of demolition waste use and impact of de-

- molition reduction on building sector properties”, BHRC Report, BHRC (2004).
7. Oh, D., Noguchi, T., Kitagaki, R. and et al. “CO₂ emission reduction by reuse of building material waste in the Japanese cement industry”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **38**, pp. 796-810 (2014).
 8. Ostad-Ahmad-Ghorabi, M.J. and Attari, M. “Advancing environmental evaluation in cement industry in Iran”, *Journal of Cleaner Production*, **41**, pp. 23-30 (2013).
 9. Llatas, C. “A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list”, *Waste Management*, **31**(6), pp. 1261-1276 (2011).
 10. Begum, R.A., Siwar, C., Pereira, J.J. and et al. “Attitude and behavioral factors in waste management in the construction industry of Malaysia”, *Resources, Conservation and Recycling*, **53**(6), pp. 321-328 (2009).
 11. Mortaheb, M.M. and Mahpour, A. “Integrated construction waste management a holistic approach”, Accepted for Publication in Scientia Iranica (2016a).
 12. Kern, A.P., Dias, M.F., Kulakowski, M.P. and et al. “Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression”, *Waste Management*, **39**, pp. 35-44 (2015).
 13. Mortaheb M.M. and Mahpour A. “Quantification of Construction Waste Production of Bulk Materials (Case Study: Residential Buildings in Tehran)”, Accepted for Publication in Sharif Journal of Science & Technology (In Persian) (2016b).
 14. Mahpour, A., Mortaheb, M.M. and Sebt, M.H. “Evaluating the effect of financial incentive on construction waste generation in Tehran’s residential buildings”, *Proceedings of the 11th International Project Management Conference*, Tehran, Iran (In Persian) (13-14 Feb., 2016).
 15. Tam, V.W.Y. and Tam, C.M. “Waste reduction through incentives: a case study”, *Building Research & Information*, **36**(1), pp. 37-43 (2008).
 16. Chen, Z., Li, H. and Wong, T.C.C. “An application of bar-code system for reducing construction wastes”, *Automation in Construction*, **11**(5), pp. 521-533 (2002).
 17. Carpio, M., Roldan-Fontana, J., Pacheco-Torres, R. and et al. “Construction waste estimation depending on urban planning options in the design stage of residential buildings”, *Construction and Building Materials*, **113**, pp. 561-570 (2016).
 18. Babatunde, Olusola, S. “Quantitative Assessment of Construction Materials Wastage in the Nigerian Construction Sites”, *Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences*, **3**, pp. 238-241 (2012).
 19. Al-Hajj, A. and Hamani, K. “Material Waste in the UAE Construction Industry: Main causes and minimization practices”, *Architectural Engineering and Design Management*, **7**(4), pp. 221-235 (2011).
 20. Gihan, L.G., Ahmed, R.A. and Adel, E.G. “Material waste in Egyptian construction industry”, Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, University of Cairo, Egypt (2010).
 21. Urio, A.F. and Brent, A.C. “Solid waste management strategy in Botswana: The reduction of construction waste”, *Journal of the South African Institute of Civil Engineering*, **48**(2), pp. 18-22 (2006).
 22. Poon, C.S., Yu, A.T.W. and Jaillon, L. “Reducing building waste at construction sites in Hong Kong”, *Construction Management and Economics*, **22**(5), pp. 461-470 (2004 (a)).
 23. Poon, C.S., Yu, A.T.W., Wong, S.W. and et al. “Management of construction waste in public housing projects in Hong Kong”, *Construction Management and Economics*, **22**(7), pp. 675-689 (2004 (b)).
 24. Guthrie, P.M., Coventry, S.J. and Woolveridge, A.C. “Waste Minimisation and recycling in construction-technical review”, Construction Industry Research and Information Association, London (1999).
 25. Bossink, B. and Brouwers, H. “Construction waste: quantification and source evaluation”, *J. Constr. Eng. Manage.*, **122**(1), pp. 55-60 (1996).
 26. Antoniou, F., Aretoulis, G.N., Konstantinidis, D. and et al. “Selection criteria used for the choice of contract type for major highway construction projects”, *Social and Behavioral Sciences*, **48**, pp. 3508-3517 (2012).
 27. Rezayi, M. “Investigation of construction waste generation in residential buildings, case study of lump sum and cost plus contracts”, M.Sc. Thesis, Faculty of civil
 28. Udawatta, N., Zuo, J., Chiveralls, K. and et al. “Improving waste management in construction projects: An Australian study”, *Resources, Conservation and Recycling*, **101**, pp. 73-83 (2015).
 29. Ghiani, G., Manni, A., Manni, E. and et al. “The impact of an efficient collection sites location on the zoning phase in municipal solid waste management”, *Waste Management*, **34**(11), pp. 1949-1956 (2014).
 30. Yuan, H., Lu, W. and Hao, J., J. “The evolution of construction waste sorting on-site”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **20**, pp. 483-490 (2013).
 31. *Charging Code for Tehran*, General Government of Tehran, Tehran (2015).
 32. *Tehran’s Buildings Trading Value Code*, Iranian National Tax Administration (INTA), Tehran (2014).
 33. Banks, J., Carson, J., Nelson, B.L. and et al., *Discrete-Event System Simulation*, 4th ed., Prentice Hall, New Jersey (2005).
 34. Walpole, R.E., Myers, R.H. and Myers, S.L., *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 6th ed., Prentice Hall, New Jersey (1998).
 35. Landau, S. and Everitt, B.S., *A Handbook of Statistical Analyses Using SPSS*, CRC, Florida (2004).
 36. Kanafani, A., *Transportation Demand Analysis*, McGraw-Hill Series in Transportation, USA (1983).
 37. Statistical Center of Iran, Available from www.amar.org.ir/english, (accessed Apr., 2016).
 38. Kavafalleh website, Available from <http://kavafalleh.com>. (accessed April 2016).
 39. Barker, D.J., Turner, S.A., Napier-Moore, P.A. and et al. “CO₂ capture in the cement industry”, *Energy Procedia*, **1**(1), pp. 87-94 (2009).