مهندسی عمران شریف (زمستان ۱۳۹۶)
دوره‌ی ۲ - ۳۳، شماره‌ی ۴/۱، ص. ۱۱۳-۱۲۳، (یادداشت فنی)

Research Note

کمّی‌سازی میزان تولید ضایعات ساختمانی به تفکیک مصالح پرکاربرد در صنعت ساخت (مطالعه‌ی موردی: ساختمان‌های مسکونی شهر تهران)

محمدمهدی مرتهب (استاد معین)
امیررضا ماهپور* (دانشجوی کارشناسی ارشد)
دانشکده‌ی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

صنعت ساخت در کشورهای در حال توسعه، مصالح زیادی مصرف می‌کند. هدررفت مصالح، ماحصل استفاده‌ی ناکارآمد از مصالح است که از دیدگاه توسعه‌ی پایدار، نیازمند توجه بیشتر است. طی سال‌های گذشته، در کشور ما توجه چندانی به مسئله‌ی مذکور نشده و حتی در زمینه‌ی تولید ضایعات ساختمانی، آمار دقیقی ثبت نشده است. در نوشتار حاضر، تلاش شده است که تولید ضایعات ساختمانی براساس مطالعات موجود و با توجه به پارامترهای قابل کنترل، به‌تفکیک مصالح ساختمانی پرکاربرد، کمّی‌سازی شود. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پارامترهای موقعیت منطقه‌یی، قرارداد، زیربنا و تعداد طبقات در اتلاف مصالح مؤثر هستند. طبق نتایج، سیمان بیش از سایر مصالح مورد مطالعه اتلاف می‌شود و با انتخاب قرارداد «اضافه‌بر هزینه»، تولید ضایعات ساختمانی افزایش می‌یابد. با به‌کارگیری برازش خطی برای مدل‌سازی اتلاف مصالح، پارامترهای مطالعه شده، آثار مثبت و منفی خود را نشان می‌دهند. به‌علاوه، ضریب تعیین اصلاح شده برای مدل‌های اتلاف میلگرد، سیمان، آجر و بتن به‌ترتیب معادل ۰٫۹۰۷، ۰٫۸۷۵، ۰٫۹۲۰ و ۰٫۷۹۰ به‌دست می‌آید. بدان معنا که کمّی‌سازی صورت گرفته به‌ترتیب حدود ۹۰٪، ۸۷٪، ۹۲٪ و ۷۹٪ عوامل مؤثر در اتلاف مصالح را پوشش داده است.

واژگان کلیدی: کمّی‌سازی، ضایعات ساختمانی، مصالح پرکاربرد، ساختمان مسکونی، تهران.

mortaheb@sharif.edu
mahpour_amirreza@mehr.sharif.ir

۱. مقدمه

تولید انبوه ضایعات ساختمانی[1]، از مهم‌ترین مسائل مورد توجه توسعه‌ی پایدار[2] است.[1] به عبارت دیگر، امروزه کاهش تولید ضایعات ساختمانی، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های زیست‌محیطی است.[2,3] طبق تعریف، ضایعات ساختمانی، مصالح ساختمانی اتلاف شده حین ساخت پروژه‌های ساخت هستند.[5] اخیراً به کمّی‌سازی[3] در زمینه‌ی ضایعات ساختمانی، توجه بسیاری شده است.[6] تلاش‌هایی در کشورهای خارجی برای ارائه‌ی روابط کمّی جهت تخمین میزان تولید ضایعات ساختمانی صورت گرفته است.[7] علاوه بر پرکردن بخشی از خلاء اطلاعاتی موجود در زمینه‌ی ضایعات ساختمانی، از مهم‌ترین کاربردهای تخمین میزان تولید ضایعات ساختمانی، تسهیل پیاده‌سازی ضوابط و سیاست‌های شهری برای کمینه‌سازی[4] ضایعات تولیدی است،[8,9,10] در کشور ما، اطلاعات دقیقی از میزان تولید ضایعات ساختمانی وجود ندارد. در این راستا، در نوشتار حاضر سعی شده است میزان تولید ضایعات ساختمانی به تفکیک مصالح پرکاربرد، کمّی‌سازی شود. بدین منظور ۳۲ عدد از ساختمان‌های مسکونی با اسکلت بتنی در ۷ منطقه از شهر تهران مطالعه و با استفاده از روش پرسش‌نامه، تعداد طبقات، زیربنا، نوع قرارداد و میزان اتلاف مصالح در آن‌ها به تفکیک مصالح جمع‌آوری شده‌اند. سپس اطلاعات جمع‌آوری شده با نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری شده‌اند، تا با استفاده از روش برازش خطی[5]، یک رابطه‌ی کمّی مناسب برای بیان ارتباط متغیرها[6] پیشنهاد داده شود. روش مذکور اخیراً توسط پژوهشگران عرصه‌ی ضایعات ساختمانی استفاده شده است. استفاده از روش برازش خطی منوط به ارضاء شدن شرایط خاص خود است که با توجه به برقرار بودن شرایط ذکر شده در مدل‌های استخراج شده، استفاده از آن تأیید شده است که در ادامه توضیح داده شده‌اند.

ساختار نوشتار حاضر به این صورت است که در بخش دوم به روش‌شناسی پژوهش، در بخش سوم به ارائه‌ی معیارهای برازش خطی مناسب، در بخش چهارم به ارائه‌ی روابط کمّی، در بخش پنجم به تحلیل نتایج، در بخش ششم به بیان

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۳۹۴/۶/۲، اصلاحیه ۱۳۹۴/۱۲/۱۶، پذیرش ۱۳۹۵/۱/۲۴.

Archive of SID
www.SID.ir

محدودیت‌های تحقیق، در بخش هفتم به بیان نتایج برخی مطالعات پیشین و در بخش آخر به نتیجه‌گیری پرداخته شده است.

۱.۱. مروری بر جدیدترین کمّی‌سازی‌های صورت‌گرفته در زمینه‌ی ضایعات ساختمانی

در سال ۲۰۱۵، با استفاده از برازش خطی چندگانه، مدلی برای تولید ضایعات ساختمانی با مطالعه‌ی ۱۸ ساختمان بلندمرتبه در برزیل ارائه شده و متغیرهای مورد مطالعه‌ی آنان، میزان ضایعات تولیدی، فرایند طراحی، تعداد طبقات و زیربنای طبقه بوده است.[۲] در مطالعه‌ی دیگری در همان سال، زیربنای کل و تعداد ساکنان به‌صورت هم‌زمان در ۸ ساختمان مسکونی در حال ساخت در اسپانیا مطالعه و میزان ضایعات ساختمانی آنان استخراج و با استفاده از برازش نمایی، مدلی برای برآورد میزان ضایعات تولیدی ارائه شده است.[۴] همچنین در سال ۲۰۱۴، آثار تغییرات روش‌های طراحی و آیین‌نامه‌های ساختمانی در طی چند دهه در شهر شانگهای چین مطالعه و میزان تولید ضایعات ساختمانی به ازاء ۱ مترمربع از زیربنای ساختمان برآورد شده است.[۶] در سال ۲۰۱۳، نیز مدلی برای کمّی‌سازی تولید ضایعات ساختمانی به ازاء هر مترمربع از زیربنای ساختمان در چین ارائه شده است. کمیت مذکور با استفاده از میزان مصالح خریداری شده و نیز نرخ تولید ضایعات ساختمانی به ازاء هر مترمربع از زیربنای ساختمان محاسبه شده و نتایج به‌دست آمده در یکی از ساختمان‌های مسکونی شهر شنزن چین استفاده شده است.[۵]

همچنین در سال ۲۰۱۱، ۵ ساختمان مسکونی در یونان مطالعه شده و میزان کمّی بهینه شده برای تولید ۲۱ نوع از ضایعات ساختمانی مختلف برای ۴ دسته از ساختمان‌های مسکونی، اداری، صنعتی و تجاری به کمک یک سیستم کمک کننده برای تصمیم‌گیری بر مبنای وب و برنامه‌نویسی رایانه‌یی پیشنهاد شده است.[۱۱]

در نوشتار حاضر، میزان اتلاف مصالح پرکاربرد، به تفکیک کمّی‌سازی شده است. به‌علاوه، تأثیر نوع قرارداد و موقعیت منطقه‌یی برای اولین بار کمّی‌سازی شده است. مشابه برخی از مطالعات صورت گرفته نیز متغیرهایی مانند زیربنای طبقه و تعداد طبقات لحاظ شده است. در انتهای نوشتار، نتایج مطالعات پیشین برخی پژوهشگران ارائه و با نتایج پژوهش حاضر مقایسه شده است.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۱.۲. انتخاب متغیرهای پژوهش

۱. متغیر وابسته[۷]، میزان تولید ضایعات ساختمانی (بر حسب درصد وزنی) به ازاء هر یک از مصالح پرکاربرد است که با نماد $Y_{Material}$ نشان داده می‌شود. اگر میزان ضایعات یک مصالح با W و میزان خرید آن با P نشان داده شود، آنگاه رابطه‌ی ۱ را خواهیم داشت:

$$Y_{Material} = \frac{W}{P} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

۲. متغیرهای مستقل[۸] به این شرح هستند:

الف) نوع قرارداد: از آنجایی که ضوابط هر قرارداد در میزان تلاش پیمانکار برای جلوگیری از هدررفت مصالح تأثیر می‌گذارد،[۱۲] متغیر مذکور در پژوهش حاضر گنجانده شده است. انواع مختلفی از قرارداد در صنعت ساخت متداول است.[۷] متداول‌ترین انواع قرارداد برای ساختمان‌های مسکونی در ایران، قرارداد سرجمع[۹] و قرارداد اضافه‌بر هزینه[۱۰] است. البته علاوه بر آنها، انواع دیگری از قراردادها نیز در صنعت ساخت استفاده می‌شوند، مانند قراردادهای فهرست‌بهایی. اما از آنجایی که قراردادهای سرجمع و اضافه‌بر هزینه در ساخت ساختمان‌های مسکونی عمومیت بیشتری دارند، لذا از بین ساختمان‌های مطالعه‌شده، ۱۸ مورد به قرارداد سرجمع و ۱۴ مورد به قرارداد اضافه‌بر هزینه اختصاص یافته‌اند. این متغیر با نماد $X_۱$ نشان داده می‌شود و مقدار ۱ برای قرارداد سرجمع و مقدار صفر برای قرارداد اضافه‌بر هزینه است.

ب) زیربنای هر طبقه: در بین ایده‌های کنترل ضایعات ساختمانی، طراحی مناسب یکی از مهم‌ترین عوامل شناخته شده است.[۸] با فرض زیربنای طبقه به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در طراحی ساختمان، طبیعی است که با افزایش زیربنای هر طبقه، میزان خرید هر یک از مصالح (مخرج کسر رابطه‌ی ۱) و میزان اتلاف آن (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 AOS نشان داده می‌شود. برای اینکه ضریب متغیر مستقل مذکور در روابط کمّی در حدود ضرایب سایر متغیرهای مستقل باشد، ۰٫۰۱ زیربنای هر طبقه با واحد مترمربع در روابط استفاده می‌شود (A) (رابطه‌ی ۲):

$$A = \frac{AOS}{۱۰۰} \qquad (۲)$$

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

$$۰٫۵۰ \leq A \leq ۲٫۳۵ \qquad (۳)$$

ج) طبقات ساختمان: استانداردسازی طراحی، یکی از راهکارهای کنترل ضایعات ساختمانی شناخته شده است.[۸] حساسیت‌هایی توسط شهرداری‌ها در زمینه‌ی مذکور و به‌خصوص ارتفاع ساختمان وجود دارد. لذا تعداد طبقات ساختمان (S) به‌عنوان شاخصی از ارتفاع ساختمان به‌عنوان یکی از متغیرهای مستقل پژوهش حاضر در نظرگرفته می‌شود. ساختمان‌های مورد مطالعه ۴، ۵، ۶ و یا ۷ طبقه داشته‌اند (رابطه‌ی ۴):

$$S \in \{۴, ۵, ۶, ۷\} \qquad (۴)$$

د) موقعیت منطقه‌یی: مطالعاتی برای کنترل ضایعات ساختمانی، به مفهوم موقعیت منطقه‌یی کارگاه ساخت صورت گرفته و راه‌حل‌هایی برای کنترل تولید یا مدیریت ضایعات ساختمانی بعد از تولید بسته به محل تولید آن‌ها ارائه شده است.[۱۳،۱۴و۱۵] به‌علاوه، عواملی مانند کمبود نیروی کار در یک موقعیت منطقه‌یی خاص می‌تواند در میزان تولید ضایعات ساختمانی تأثیرگذار باشد. لذا، موقعیت منطقه‌یی به‌عنوان یک متغیر مستقل در نظرگرفته 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 داده شده در جدول ۱ تعریف شده است.

مقدار متغیر متناظر با منطقه‌ی هر ساختمان ۱ و مقدار سایر متغیرها صفر در نظرگرفته شده است. برای مثال، برای ساختمانی در میدان شهدا، روابط ۵

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. متغیر متناظر با هر موقعیت منطقه‌یی.

موقعیت منطقه‌یی	متغیر متناظر	تعداد ساختمان مسکونی
میدان امام حسین (ع)	$X_۲$	۵
سعادت‌آباد	$X_۳$	۵
میدان شهدا	$X_۴$	۴
شهران	$X_۵$	۴
رسالت	$X_۶$	۶
تهران‌نو	$X_۷$	۴
میدان سپاه	$X_۸$	۴
مجموع		۳۲

و ۶ برقرار بوده است:

$$X_۴ = ۱ \quad (۵)$$

$$X_۲ = X_۳ = X_۵ = X_۶ = X_۷ = X_۸ = ۰ \quad (۶)$$

۲.۲. داده‌های جمع‌آوری شده

داده‌ها از طریق مراجعه به کارگاه‌های ساختمانی، مشاهدات میدانی و پرسش از پیمانکاران ساخت جمع‌آوری شده است. در هر پرسش‌نامه، موقعیت جغرافیایی، تعداد طبقات، زیربنای هر طبقه، نوع قرارداد، میزان خرید هر یک از ۴ نوع مصالح (کیلوگرم)، میزان اتلاف هر یک از مصالح (کیلوگرم) از پیمانکاران محترم سوال شده و در نتیجه طبق رابطه‌ی ۱، درصد وزنی مصالح اتلاف شده (Y_{Site}) محاسبه شده است. جدول‌های ۲ و ۳، به ترتیب مقادیر متغیرهای وابسته و مستقل (نتایج گردآوری داده‌ها توسط پرسش‌نامه) ارائه شده است.

۳. معیارهای برازش خطی مناسب

معیارهای برازش خطی مناسب، مستخرج از منابع آماری و پژوهشی معتبر به این شرح هستند:

۱.۳. اعتبارسنجی[۱۱] مدل

برای حصول یک رابطه‌ی کمّی معتبر[۱۲]، توجه به این نکات ضروری است:

الف) با توجه به مشخصات پژوهش (تعداد پرسش‌نامه: ۳۲ و تعداد متغیرها: ۱۱ $(Y_{Material}, X_۸, ..., X_۱, A, S)$)، برای هر برازش خطی، کمینه‌ی مقدار مجاز F محاسبه شده برای مدل با استفاده از نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS، ۲٫۱۵ بوده است (روابط ۷ الی ۱۱):

$$n_۱ = ۳۲ \quad (۷)$$

$$n_۲ = ۱۱ \quad (۸)$$

$$v_۱ = n_۱ - ۱ = ۳۱ \quad (۹)$$

$$v_۲ = n_۲ - ۱ = ۱۰ \quad (۱۰)$$

$$F = ۲٫۱۵ \quad (۱۱)$$

جدول ۲. مقادیر متغیر وابسته برای مصالح مورد مطالعه.

ردیف	درصد وزنی اتلاف مصالح در سایت (Y_{Site})			
	Y_{Rebar}	$Y_{Concrete}$	Y_{Brick}	Y_{Cement}
۱	۱٫۰۰۰	۲٫۵۰۰	۵٫۸۰۰	۵٫۶۶۰
۲	۱٫۳۰۰	۲٫۶۷۰	۵٫۶۰۰	۷٫۴۰۰
۳	۱٫۲۰۰	۲٫۲۵۰	۶٫۸۰۰	۱۶٫۶۷۰
۴	۱٫۱۰۰	۱٫۲۲۰	۸٫۰۰۰	۱۴٫۵۰۰
۵	۱٫۵۰۰	۶٫۴۷۰	۵٫۰۰۰	۶٫۶۷۰
۶	۱٫۶۰۰	۳٫۳۵۰	۵٫۷۰۰	۶٫۶۷۰
۷	۱٫۳۰۰	۲٫۷۰۰	۶٫۸۰۰	۳٫۳۳۰
۸	۱٫۷۵۰	۵٫۴۵۰	-	۵٫۲۵۰
۹	۱٫۰۰۰	۲٫۲۹۰	۴٫۰۰۰	۱۰٫۰۰۰
۱۰	۱٫۸۰۰	۲٫۵۰۰	۵٫۰۰۰	۷٫۸۰۰
۱۱	۱٫۰۰۰	۵٫۵۰۰	۷٫۲۰۰	۶٫۶۷۰
۱۲	۱٫۷۳۰	۹٫۳۳۰	۵٫۰۰۰	-
۱۳	۱٫۷۱۰	۴٫۷۶۰	۳٫۵۰۰	۸٫۰۰۰
۱۴	۱٫۲۰۰	۱٫۸۱۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰
۱۵	۱٫۱۵۰	۴٫۰۰۰	۱۵٫۲۰۰	۷٫۰۰۰
۱۶	۰٫۵۰۰	۲٫۶۵۰	-	۷٫۰۰۰
۱۷	۱٫۰۰۰	۳٫۹۵۰	۱۱٫۱۱۰	۵٫۸۳۰
۱۸	۱٫۱۴۰	۲٫۴۸۰	۵٫۱۰۰	۱۰٫۰۰۰
۱۹	۲٫۰۰۰	۴٫۱۷۰	۱۰٫۰۰۰	۹٫۶۷۰
۲۰	۰٫۹۰۰	۶٫۶۰۶	۷٫۵۰۰	-
۲۱	۱٫۷۹۰	۳٫۹۶۰	۷٫۰۰۰	۱۰٫۰۰۰
۲۲	۱٫۸۰۰	۳٫۷۵۰	۱۷٫۶۰۰	۱۳٫۳۳۰
۲۳	۲٫۰۰۰	۴٫۰۵۰	۱۰٫۰۰۰	۱۳٫۳۳۰
۲۴	۰٫۷۰۰	۲٫۶۵۰	-	۶٫۰۰۰
۲۵	۱٫۲۰۰	۶٫۳۳۰	۵٫۰۰۰	۶٫۶۷۰
۲۶	۱٫۱۴۰	۱٫۸۵۰	۷٫۶۴۰	۱۰٫۵۰۰
۲۷	۲٫۰۰۰	۵٫۸۳۰	۸٫۵۷۰	۶٫۶۷۰
۲۸	۱٫۰۰۰	۷٫۷۶۰	۷٫۵۱۰	-
۲۹	۱٫۷۹۰	۴٫۷۹۰	۳٫۳۳۰	۱۲٫۰۰۰
۳۰	۱٫۷۰۰	۳٫۲۰۰	۸٫۵۷۰	۱۳٫۳۳۰
۳۱	۲٫۰۰۰	۳٫۹۱۰	۷٫۵۱۰	۹٫۳۳۰
۳۲	۱٫۴۰۰	۲٫۵۰۰	۳٫۳۳۰	۵٫۳۳۰
متوسط	۱٫۳۲۳	۳٫۹۶۹	۷٫۱۵۱	۸٫۵۷۳

در نتیجه، مقدار F ارائه شده برای هر برازش خطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS، باید بیشتر از ۲٫۱۵ باشد.

ب) با توجه به پارامترهای محاسبه شده در بند الف، برای هر برازش خطی، کمینه‌ی مقدار مجاز $|t|$ محاسبه شده برای مدل با استفاده از نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS، ۲٫۰۳ است،[۱۱] و لذا مقدار $|t|$ محاسبه شده برای هر برازش خطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS، باید بیشتر از ۲٫۰۳ باشد.

ج) شاخص $R^۲_{Adjusted}$: هرچه این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد، برازش خطی انجام شده مناسب‌تر است. در مطالعات مشابه صورت گرفته، $R^۲_{Adjusted} = ۰٫۶۹۴$ مناسب تشخیص داده شده است.[۲]

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. مقادیر متغیر مستقل.

ردیف	$FA(m^2)$	S	X_1	موقعیت
۱	۱۰۷	۵	۱	X_2
۲	۱۳۲	۵	۱	X_2
۳	۱۹۵	۴	۱	X_3
۴	۲۳۵	۷	۱	X_3
۵	۸۰	۵	۰	X_4
۶	۹۳	۵	۰	X_5
۷	۶۰	۴	۱	X_2
۸	۵۰	۴	۰	X_2
۹	۱۴۰	۵	۱	X_4
۱۰	۱۰۵	۵	۱	X_4
۱۱	۲۱۰	۵	۱	X_6
۱۲	۵۶	۵	۰	X_6
۱۳	۱۱۰	۵	۰	X_5
۱۴	۸۷	۵	۱	X_5
۱۵	۷۵	۴	۱	X_4
۱۶	۱۶۰	۶	۱	X_8
۱۷	۹۴	۵	۰	X_8
۱۸	۱۴۰	۶	۱	X_7
۱۹	۹۷	۵	۰	X_7
۲۰	۱۷۰	۷	۱	X_6
۲۱	۱۲۰	۵	۰	X_3
۲۲	۱۱۳	۵	۰	X_3
۲۳	۱۱۸	۵	۰	X_3
۲۴	۱۵۰	۶	۱	X_8
۲۵	۷۴	۴	۰	X_8
۲۶	۱۶۲	۶	۱	X_7
۲۷	۸۷	۵	۰	X_7
۲۸	۱۵۵	۶	۱	X_6
۲۹	۱۲۵	۵	۰	X_3
۳۰	۲۲۰	۷	۰	X_3
۳۱	۱۲۳	۵	۰	X_2
۳۲	۸۸	۴	۱	X_5

د) مقدار sig (خطای معناداری): این مقدار باید کمتر یا مساوی ۵٪ باشد.[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 ۲٫۳ برابر بیشینه‌ی میزان ضایعات مشاهده شده است.[۲]

۲.۳. راست‌نمایی[۱۳] مدل

اختلاف مقادیر میزان ضایعات مشاهده شده درکارگاه (Y_{Site})، بر حسب درصد که به‌صورت شرح داده شده در بند ۲.۲ به‌دست می‌آید) و میزان ضایعات ساختمانی ارائه شده توسط رابطه‌ی کمّی ($Y_{Material}$)، بر حسب درصد) نباید بیشتر از ۳۰ باشد،[۲] تا مدل به‌دست آمده درست[۱۴] باشد (رابطه‌ی ۱۲):

$$R_E = \frac{|Y_{Site} - Y_{Material}|}{Y_{Site}} \leq ٪۳۰ \qquad (۱۲)$$

۴. روابط کمّی میزان تولید ضایعات ساختمانی به تفکیک مصالح

اطلاعات جمع‌آوری شده برای هر یک از مصالح ساختمانی (میلگرد، بتن، آجر و سیمان) وارد نرم‌افزار SPSS می‌شوند و متغیرهای معنی‌دار برای ایجاد رابطه‌ی خطی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل شناسایی می‌شوند. برای هر یک از مصالح مذکور، برازش‌های خطی متعددی ارزیابی شده و درنهایت برازشی که معیارهای ذکرشده در بخش ۳ (اعتبارسنجی و راست‌نمایی) را ارضا می‌کرد، به‌عنوان برازش منتخب برای مدل‌سازی میزان اتلاف مصالح مورد مطالعه در ساختمان‌های مورد بررسی برگزیده شده است. در روابط و جدول‌هایی که در بخش‌های بعدی ارائه شده‌اند، متغیرهای پژوهش و پارامترهای آماری مورد استفاده به شرح جدول ۴ معرفی شده‌اند.[۱۶،۱۷] هم‌چنین شکل کلی معادلات کمّی مستخرج به‌صورت معادله‌ی ۱۳ است:

$$Y_{Material} = C + C_S \times S + C_A \times A + \sum_{i=1}^{8} C_i \times X_i \qquad (۱۳)$$

که در آن، $Y_{Material}$ درصد وزنی اتلاف مصالح مورد نظر، C عدد ثابت، C_S، C_A، C_i به‌ترتیب ضرایب متغیر تعداد طبقات، ۰٫۰۱ زیربنای طبقه و متغیر مستقل موقعیت منطقه‌یی X_i (i از ۱ الی ۸) هستند.

۱.۴. رابطه‌ی کمّی برای میلگرد

رابطه‌ی کمّی منتخب برای مصالح میلگرد به‌صورت رابطه‌ی ۱۴ است:

$$Y_{Rebar} = ۲/۱۶۳ - ۰/۰۶۸S - ۰/۵۸۹X_1 - ۰/۲۶۱X_2 - ۰/۴۷۱X_5 - ۰/۴۳۴X_6 - ۰/۶۶۲X_8 \qquad (۱۴)$$

الف) مقادیر پارامترهای مدل به این شرح به‌دست آمده‌اند (روابط ۱۵ الی ۱۸):

$$R^2 = ۰/۹۲۵ \qquad (۱۵)$$

$$R^2_{Adjusted} = ۰/۹۰۷ \qquad (۱۶)$$

$$F = ۵۱/۱۸۴ \qquad (۱۷)$$

$$Sig = ۰/۰۰۰ \qquad (۱۸)$$

ب) مقادیر پارامترهای اجزاء مدل به شرح جدول ۵ هستند.

۲.۴. رابطه‌ی کمّی برای بتن

رابطه‌ی کمّی منتخب برای مصالح بتن به‌صورت رابطه‌ی ۱۹ است:

$$Y_{Concrete} = ۶/۱۱۰ - ۱/۳۰۲A - ۱/۸۹۹X_1 - ۰/۸۲۵X_5 + ۴/۰۲۲X_6 \qquad (۱۹)$$

الف) مقادیر پارامترهای مدل به شرح روابط ۲۰ الی ۲۳ به‌دست آمده‌اند:

$$R^2 = ۰/۸۱۷ \qquad (۲۰)$$

$$R^2_{Adjusted} = ۰/۷۹۰ \qquad (۲۱)$$

$$F = ۳۰/۱۹۱ \qquad (۲۲)$$

$$Sig = ۰/۰۰۰ \qquad (۲۳)$$

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴. مقادیر متغیرها و پارامترهای آماری مورد استفاده.

متغیر یا پارامتر	شرح
$Y_{Rebar}, Y_{Concrete}, Y_{Cement}, Y_{Brick}$	میزان اتلاف میلگرد، بتن، سیمان و آجر بر حسب درصد
A	۰/۰۱ زیربنای طبقه بر حسب مترمربع
S	تعداد طبقات ساختمان
X_1	ضریب نوع قرارداد (به ترتیب ۱ و ۰ برای قرارداد سرجمع و اضافه‌بر هزینه)
X_i، i از ۲ الی ۸	متغیر موقعیت منطقه‌یی (برای توضیحات بیشتر به بند ۱.۲ـ د مراجعه شود)
F	مقدار بحرانی توزیع با درنظرگرفتن سطح اطمینان ۹۵٪ و درجات آزادی مربوط به تعداد پرسش‌نامه‌ها($v_1 = n_1 - 1 = 31$) و تعداد متغیرها ($v_2 = n_2 - 1 = 10$)
t	مقدار بحرانی توزیع با درنظرگرفتن سطح اطمینان ۹۵٪ درجات آزادی مربوط به تعداد پرسش‌نامه‌ها ($v_1 = n_1 - 1 = 31$)
sig	سطح معناداری با لحاظ کردن سطح اطمینان ۹۵٪
R^2	ضریب تعیین
$R^2_{Adjusted}$	ضریب تعیین اصلاح شده

جدول ۵. مقادیر پارامترهای اجزای مدل برای میلگرد.

پارامتر	t	sig
عدد ثابت	۱۳/۴۷۵	۰/۰۰۰۰
S	-۲/۲۸۰	۰/۰۳۱
X_1	-۱۲/۰۰۳	۰/۰۰۰
X_4	-۳/۴۴۸	۰/۰۰۲
X_5	-۶/۳۷۶	۰/۰۰۰
X_6	-۳/۱۶۶	۰/۰۰۴
X_8	-۹/۲۱۰	۰/۰۰۰

جدول ۶. مقادیر پارامترهای اجزای مدل برای بتن.

پارامتر	t	sig
عدد ثابت	۱۶/۳۷۰	۰/۰۰۰۰
A	-۴/۳۶۰	۰/۰۰۰
X_1	-۷/۵۰۱	۰/۰۰۰
X_5	-۲/۲۵۶	۰/۰۳۲
X_6	۵/۶۱۵	۰/۰۰۰

ب) مقادیر پارامترهای اجزاء مدل به شرح جدول ۶ هستند.

۳.۴. رابطه‌ی کمّی برای آجر

رابطه‌ی کمّی منتخب برای مصالح آجر به‌صورت رابطه‌ی ۲۴ است:

$$Y_{Brick} = ۷/۹۲۳ - ۱/۵۱۶X_1 - ۲/۸۷۴X_4 - ۲/۷۸۳X_5 + ۳/۷۸۰X_7 + ۸/۴۷۷X_8 \quad (۲۴)$$

الف) مقادیر پارامترهای مدل به شرح روابط ۲۵ الی ۲۸ به‌دست آمده‌اند:

$$R^2 = ۰/۹۳۴ \quad (۲۵)$$

جدول ۷. مقادیر پارامترهای اجزای مدل برای آجر.

پارامتر	t	sig
عدد ثابت	۲۴/۲۹۱	۰/۰۰۰
X_1	-۳/۹۳۵	۰/۰۰۱
X_4	-۵/۱۴۷	۰/۰۰۰
X_5	-۵/۰۳۹	۰/۰۰۰
X_7	۶/۸۴۵	۰/۰۰۰
X_8	۱۱/۰۵۸	۰/۰۰۰

$$R^2_{Adjusted} = ۰/۹۲۰ \quad (۲۶)$$

$$F = ۶۵/۱۰۸ \quad (۲۷)$$

$$Sig = ۰/۰۰۰ \quad (۲۸)$$

ب) مقادیر پارامترهای اجزاء مدل به شرح جدول ۷ هستند.

۴.۴. رابطه‌ی کمّی برای سیمان

رابطه‌ی کمّی منتخب برای مصالح سیمان به‌صورت رابطه‌ی ۲۹ است.

$$Y_{Cement} = ۱۱/۰۲۶ + ۷/۹۷۴A - ۱/۹۰۵S - ۲/۰۸۷X_1 - ۲/۳۴۶X_2 - ۲/۴۷۱X_5 - ۹/۴۹۱X_6 - ۳/۱۳۷X_8 \quad (۲۹)$$

الف) مقادیر پارامترهای مدل به شرح روابط ۳۰ الی ۳۳ به‌دست آمده‌اند:

$$R^2 = ۰/۹۰۴ \quad (۳۰)$$

$$R^2_{Adjusted} = ۰/۸۷۵ \quad (۳۱)$$

$$F = ۳۲/۱۱۷ \quad (۳۲)$$

$$Sig = ۰/۰۰۰ \quad (۳۳)$$

ب) مقادیر اجزاء مدل به شرح جدول ۸ هستند.

شایان ذکر است که طبق تنظیمات نرم‌افزار، ضرایب تا ۳ رقم اعشار گرد شده‌اند و لزوماً ضرایب متغیرهای مستقل که در مدل‌های پیشنهادی صفر هستند، صفر

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۸. مقادیر پارامترهای اجزای مدل برای سیمان.

پارامتر	t	sig
عدد ثابت	۷٫۳۶۵	۰٫۰۰۰
A	۱۰٫۲۲۰	۰٫۰۰۰
S	-۵٫۰۷۰	۰٫۰۰۰
X_1	-۴٫۷۰۹	۰٫۰۰۰
X_2	-۳٫۷۵۶	۰٫۰۰۱
X_5	-۳٫۷۲۷	۰٫۰۰۱
X_6	-۷٫۰۹۰	۰٫۰۰۰
X_8	-۴٫۹۷۳	۰٫۰۰۰

جدول ۹. نسبت بیشینه‌ی اتلاف به عدد ثابت.

شماره‌ی معادله	بیشینه‌ی اتلاف	عدد ثابت	نسبت بیشینه‌ی اتلاف به عدد ثابت
۱۴	۲٫۰۰۰	۲٫۱۶۳	۱٫۰۸۲
۱۹	۶٫۴۷۰	۶٫۱۱۰	۰٫۹۴۴
۲۴	۱۷٫۶۰۰	۷٫۹۲۳	۰٫۴۵۰
۲۹	۱۶٫۶۷۰	۱۱٫۰۲۶	۰٫۶۶۱

مطلق نیستند. به علاوه، در بسیاری از مدل‌های غیردقیق‌تر، متغیرهای مستقل مذکور با ضرایب غیرصفر ظاهر می‌شدند، ولی مدل‌های مذکور از نظر آماری دقت خیلی زیادی نداشته‌اند، مثلاً ضریب تعیین اصلاح شده‌ی خیلی کمتری از مدل‌های پیشنهادی داشته‌اند. درخصوص متغیر منطقه‌یی، عواملی مانند تفاوت نیروی کار، تفاوت فرهنگ ساخت‌وساز و قیمت زمین که متأثر از موقعیت منطقه‌یی هستند، عوامل تأثیرگذاری در میزان تولید ضایعات ساختمانی شناخته شده‌اند.[۱]

۵.۴. اعتبارسنجی و راست‌نمایی روابط کمّی

الف) اعتبارسنجی مدل: با توجه به مقادیر $R^2_{Adjusted}$، Sig، $|t|$، F در معادلات ۱۵ الی ۳۳ و جدول‌های ۵ الی ۸ مشاهده می‌شود که معیارهای الف تا ه مذکور در بند ۱.۳ برای روابط کمّی تمام مصالح و اجزاء، روابط ۳۴ الی ۳۷ (عدد ثابت و ضرایب متغیرها) صادق هستند:

$$F > ۲٫۱۵ \quad (۳۴)$$

$$|t| > ۲٫۰۳ \quad (۳۵)$$

$$Sig \leq ۰٫۰۵ \quad (۳۶)$$

$$R^2_{Adjusted} \geq ۰٫۶۹۴ \quad (۳۷)$$

به‌علاوه طبق جدول ۹، عدد ثابت در تمام روابط کمّی از ۲٫۳ برابر بیشینه‌ی میزان ضایعات مشاهده شده در سایت کمتر است. لذا تمامی روابط کمّی به‌دست آمده معتبر هستند.

ب) راست‌نمایی مدل: اختلاف مقادیرمیزان ضایعات مشاهده شده درکارگاه (Y_{Site}، بر حسب درصد) و میزان ضایعات ساختمانی ارائه شده توسط رابطه‌ی کمّی ($Y_{Material}$، بر حسب درصد) برای همه‌ی مصالح در همه‌ی موارد کمتر از ۳۰٪ بوده و در نتیجه همه‌ی روابط کمّی مذکور درست است. راست‌نمایی ذکر شده در جدول ۱۰ قابل مشاهده است. $|R_E|$ طبق رابطه‌ی ۱۲ محاسبه شده است.

جدول ۱۰. خطای نسبی مدل‌ها برای ساختمان‌های مورد مطالعه.

ردیف	$\|R_E\|$ برای مصالح			
	میلگرد	بتن	سیمان	آجر
۱	۰٫۰۲۷	۰٫۱۲۷	۰٫۰۱۱	۰٫۱۰۵
۲	۰٫۲۵۲	۰٫۰۶۷	۰٫۰۲۶	۰٫۱۴۴
۳	۰٫۰۸۵	۰٫۲۵۷	۰٫۰۱۲	۰٫۰۵۸
۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۵۶	۰٫۰۱۱	۰٫۱۹۹
۵	۰٫۰۹۹	۰٫۲۱۷	۰٫۱۸۱	۰٫۰۱۰
۶	۰٫۱۳۹	۰٫۲۱۶	۰٫۰۳۴	۰٫۰۹۸
۷	۰٫۱۹۹	۰٫۲۷۰	۰٫۱۲۸	۰٫۰۵۸
۸	۰٫۰۶۹	۰٫۰۰۲	۰٫۰۳۹	-
۹	۰٫۲۳۷	۰٫۰۴۳	۰٫۰۵۸	۰٫۱۱۷
۱۰	۰٫۰۴۶	۰٫۱۳۸	۰٫۰۰۲	۰٫۲۷۵
۱۱	۰٫۲۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۲۸۶
۱۲	۰٫۱۹۷	۰٫۰۳۴	-	۰٫۰۲۸
۱۳	۰٫۰۶۶	۰٫۱۹۱	۰٫۰۲۵	۰٫۰۳۵
۱۴	۰٫۰۲۸	۰٫۲۴۵	۰٫۰۳۰	۰٫۱۱۷
۱۵	۰٫۲۷۷	۰٫۱۹۱	۰٫۰۴۳	۰٫۰۷۹
۱۶	۰٫۰۰۸	۰٫۱۹۷	۰٫۰۱۹	-
۱۷	۰٫۱۶۱	۰٫۲۳۷	۰٫۰۰۵	۰٫۰۵۳
۱۸	۰٫۰۲۳	۰٫۰۳۷	۰٫۱۳۳	۰٫۲۸۹
۱۹	۰٫۰۸۹	۰٫۱۶۲	۰٫۰۴۵	۰٫۲۰۸
۲۰	۰٫۲۶۲	۰٫۰۰۷	-	۰٫۰۵۶
۲۱	۰٫۰۱۸	۰٫۱۴۸	۰٫۱۰۷	۰٫۱۳۲
۲۲	۰٫۰۱۳	۰٫۲۳۷	۰٫۲۱۱	۰٫۰۶۸
۲۳	۰٫۰۸۹	۰٫۱۲۹	۰٫۱۸۲	۰٫۰۱۹
۲۴	۰٫۲۸۰	۰٫۱۴۸	۰٫۰۵۶	-
۲۵	۰٫۰۲۴	۰٫۱۸۷	۰٫۰۷۵	۰٫۲۷۵
۲۶	۰٫۰۲۳	۰٫۱۳۶	۰٫۰۰۷	۰٫۰۳۷
۲۷	۰٫۰۸۹	۰٫۱۴۶	۰٫۲۶۵	۰٫۰۷۵
۲۸	۰٫۲۶۸	۰٫۱۹۹	-	۰٫۰۵۵
۲۹	۰٫۰۱۸	۰٫۰۶۴	۰٫۰۴۴	۰٫۰۸۸
۳۰	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۴	۰٫۱۴۳	۰٫۰۷۵
۳۱	۰٫۲۱۹	۰٫۱۵۳	۰٫۰۳۹	۰٫۰۵۵
۳۲	۰٫۰۷۰	۰٫۱۰۴	۰٫۱۰۰	۰٫۰۸۸
	برای همه‌ی ساختمان‌ها و مصالح: $\|R_e\| < ۳۰٪$			

ج) نتیجه‌گیری: با توجه به معتبر و درست بودن همه‌ی روابط کمّی، روابط مذکور برای تخمین میزان تولید ضایعات ساختمانی (در ساختمان‌های مطالعه شده) مورد تأیید هستند.

۵. تحلیل و بررسی روابط کمّی

کمّی‌سازی اتلاف مصالح به تفکیک آنها، ایده‌ی نوینی است و نویسندگان در مرور ادبیات پژوهش به مورد مشابهی برخورد نکرده‌اند. از آنجایی که لزوماً یک روش مدیریتی برای همه‌ی جوانب امرکارآمد نیست، در صورتی که اتلاف مصالح مختلف به‌صورت جداگانه کمّی‌سازی شود، کمک شایانی به مدیران شهری می‌شود تا بتوانند

Archive of SID

www.SID.ir

دقیق‌تر به موضوع اتلاف مصالح رسیدگی کنند و برای کنترل اتلاف هر یک از مصالح تدابیر جداگانه و منحصر به فردی بیندیشند. مثلاً برای کاهش اتلاف میلگرد بازیافت راهکار مناسبی به‌نظر می‌رسد، حال آنکه برای کاهش اتلاف آجر، بهبود شرایط حمل و یا استفاده از آجرپاره‌ها در سایر مراحل ساخت مانند جسم پله، راهکار مناسب‌تری است. البته راهکارهای دیگری نظیر وضع مشوق‌های مالی یا اخذ عوارض و ... هم قابل مطرح شدن هستند که نیازمند بررسی و مطالعات بیشتری است. به‌علاوه، برخلاف ضایعات تخریب که توده‌یی متشکل از انواع مصالح ساختمانی و عموماً به هم چسبیده (میلگرد و بتن در قطعات بتن‌آرمه‌ی تخریب شده و آجر و ملات در قطعات دیوار تخریب شده) هستند، مصالح تلف شده در مرحله‌ی ساخت به راحتی قابل تفکیک هستند یا این پتانسیل را دارند که به راحتی از هم تشخیص داده شوند. لذا به نظر می‌رسد کنترل اتلاف مصالح در مرحله‌ی ساخت به‌صورت جداگانه عملی‌تر است و مطالعه‌ی جداگانه‌ی مصالح و اتلاف آنها می‌تواند گامی به سوی استخراج تدابیر منحصر به فرد به‌منظور کنترل کاراتر اتلاف مصالح باشد. این امر نیازمند دانستن اطلاعاتی در زمینه‌ی اتلاف هر یک از مصالح است و کمّی‌سازی صورت گرفته می‌تواند گام نخست پرکردن خلاء اطلاعاتی موجود باشد. از مشکلات عمده‌ی پژوهش حاضر، فقر شدید اطلاعاتی در زمینه‌ی میزان اتلاف مصالح در پروژه‌های مسکونی و هزینه‌ی زمانی بسیار بالای جمع‌آوری اطلاعات گردآوری شده بوده و امید آن است که پژوهش حاضر، نقطه‌ی آغازی برای مطالعات آتی در زمینه‌ی کاهش اتلاف مصالح ساختمانی باشد.

با توجه به روابط کمّی ارائه شده و تحلیل آنان، این موارد قابل تأمل است:

الف) در صورتی که ضریب یک متغیر مستقل (A, S, X_i) منفی (مثبت) باشد، بدین معناست که میزان متغیر وابسته ($Y_{Material}$ ، میزان ضایعات ساختمانی مصالح بر حسب درصد)، با افزایش مقدار متغیر مستقل مذکور، کاهش (افزایش) می‌یابد.

ب) ضریب صفر برای یک متغیر مستقل (A, S, X_1) ، به معنای آن است که میزان متغیر وابسته ($Y_{Material}$ ، میزان ضایعات ساختمانی مصالح بر حسب درصد)، مستقل از همان متغیر مستقل است.

ج) ضریب متغیرهای مستقل منطقه‌ی احداث ساختمان (X_2 الی X_8) در هر یک از روابط کمّی به‌دست آمده می‌تواند مقداری مثبت، منفی و یا صفر باشد. این بدین معناست که در شرایط کاملاً یکسان و فقط با تغییر موقعیت منطقه‌یی یک ساختمان مسکونی، میزان ضایعات ساختمانی به اندازه‌ی تفاضل ضرایب دو متغیر مستقل متناظر با دو منطقه در همان رابطه‌ی کمّی تغییر خواهد کرد. مثلاً X_4 و X_5 در رابطه‌ی کمّی اتلاف میلگرد به ترتیب ۰٫۲۶۱- و ۰٫۴۷۱- است و حاکی از آن است که اگر یک ساختمان به جای میدان شهدا در شهران ساخته شود، اتلاف میلگرد به اندازه‌ی ۰٫۲۱٪ کاهش می‌یابد. طبق صحبت‌های شفاهی صورت گرفته با پیمانکاران مختلف، به دلیل تفاوت در قیمت زمین و حتی نیروی کار در مناطق مختلف در شهر تهران، رویکرد سازندگان در مواجهه با اتلاف مصالح متفاوت خواهد بود. به این صورت که امکان دارد در مناطقی که قیمت زمین با شدت بیشتری بر هزینه‌های ساخت غلبه داشته باشد، نسبت هزینه‌ی مصالح به هزینه‌ی کلی ساخت و نیز حساسیت سازندگان نسبت به اتلاف مصالح کمتر باشد و لذا انگیزه‌ی بررسی موقعیت‌های جغرافیایی مختلف در نویسندگان ایجاد شده است.

د) در یک ساختمان مسکونی با افزایش تعداد طبقات (S)، میزان خرید یا سفارش هر یک از مصالح ساختمانی (مخرج کسر رابطه‌ی ۱)، افزایش می‌یابد و به تبع آن میزان اتلاف مصالح ساختمانی (صورت کسر رابطه‌ی ۱، با همان واحد سنجش میزان خرید یا سفارش مصالح) نیز افزایش می‌یابد. اما با توجه به رابطه‌ی ۱، ممکن است درصد اتلاف مصالح افزایش یا کاهش یابد که در این حالت ضریب متغیر مستقل تعداد طبقات ساختمان (S) به‌ترتیب مثبت یا منفی خواهد بود.

ه) تحلیل ذکر شده در مورد متغیر مستقل زیربنای طبقه (A) نیز صادق است.

و) ضریب متغیر مستقل نوع قرارداد (X_1) در همه‌ی روابط کمّی منفی است. یعنی اینکه، میزان ضایعات ساختمانی مصالح در قرارداد اضافه‌بر هزینه، بیشتر از قرارداد سرجمع است. علت این امر شرایط متفاوت پرداخت به پیمانکار در ۲ قرارداد است. در قرارداد سرجمع، کارفرما صرف‌نظر از هزینه‌های پیمانکار مبلغ مشخصی را به پیمانکار پرداخت می‌کند. در قرارداد اضافه‌بر هزینه، کارفرما تمام هزینه‌های پیمانکار به انضمام مبلغی (معمولاً به‌صورت درصدی از هزینه‌ها) به‌عنوان بالاسری و سود، به پیمانکار پرداخت می‌کند و لذا در قرارداد اضافه‌بر هزینه، اتلاف مصالح نه فقط هزینه‌یی برای پیمانکار ندارد، بلکه تهیه‌ی مصالح اضافی منجر به سود بیشتر پیمانکار خواهد شد. در نتیجه در قرارداد مذکور، پیمانکار دقت چندانی برای اتلاف مصالح از خود نشان نمی‌دهد.

ز) تفسیر ضرایب تعداد طبقات ساختمان: طبیعتاً ضایعات میلگرد عمدتاً ناشی از طول وصله‌های نادرست و غیراقتصادی و عدم مهارت آرماتوربندهاست. با افزایش طبقات و در طبقات بالاتر، تراکم آرماتورها از نظر سازه‌یی کمتر می‌شود، به علاوه در پی‌ها که پایین‌ترین قسمت ساختمان هستند، عموماً تراکم آرماتور بیشتر است (آرماتورهای ستون و آرماتورهای پی در هر دو جهت). لذا انتظار می‌رود در طبقات بالاتر به دلیل تراکم کمتر آرماتورهای سقف (در صورت وجود) و تیرها و ستون‌ها و به نسبت کاهش پیچیدگی و تراکم و وصله‌های موردنیاز، اتلاف هم کمتر شود. بیشترین اتلاف سیمان نیز در حین حمل به انبار، شرایط نامناسب انبار، بارش باران بر سیمان‌هایی 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 بالابر به 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 سیمان و میلگرد منفی است. آجرها با بالابر به طبقات حمل می‌شوند که بهره‌وری بسیار بالاتری از روش‌های سنتی دارد و لذا انتظار نمی‌رود حین حمل آجر به طبقات، اتلاف چندانی رخ دهد. بیشترین اتلاف آجر حین حمل آن با کامیون و خاور و ... به کارگاه رخ می‌دهد. بتن نیز به ارتفاع توسط پمپ بتن حمل می‌شود و اتلاف بتن عمدتاً ناشی از بقایای بتن، درون لوله‌ی پمپاژ یا عملکرد ناصحیح عوامل انسانی مانند بی‌دقتی در افزایش میزان ویبره و کاهش کیفیت بتن و لزوم بتن‌ریزی دوباره است و این عوامل ارتباطی با تعداد طبقات ندارند. لذا اتلاف آجر و سیمان مستقل از تعداد طبقات است.

ح) تفسیر ضرایب زیربنای هر طبقه: بیشترین اتلاف آجر حین حمل آن توسط انسان و یا حمل آن با کامیون و خاور و ... به کارگاه رخ می‌دهد. آجر معمولاً با بالابر به نزدیکی محل مصرف (معمولاً نزدیک دیوارهای آجری در طبقات) حمل می‌شود و ممکن است در حین انتقال از آنجا به مکان موردنظر (روی دیوار) سهواً تعدادی از آجرها در اثر بی‌احتیاطی عوامل انسانی ضایع شود، اما میزان این اتلاف بسیار کمتر از ضایعات حین حمل با کامیون و تخلیه از کامیون است. لذا مساحت طبقه، تأثیر چندانی در اتلاف آجر ندارد. طبیعتاً ضایعات

Archive of SID

www.SID.ir

میلگرد عمدتاً ناشی از طول وصله‌های نادرست و غیراقتصادی و عدم مهارت آرماتوربندهاست. معمولاً طول ستون‌ها، حدود ۳ متر و طول شاخه‌های آرماتور، ۱۲ متر است. از آنجایی که ابعاد افقی پلان (طول و عرض) در ساختمان‌های مسکونی بسیار بیشتر از ۳ متر است، لذا برای آرماتوربندی تیرها، برش آرماتور و وصله‌های کمتری لازم است و آرماتورهای بریده شده هم قابلیت مصرف در سایر قسمت‌ها و یا بازیافت را دارند. برای پلانی با ابعادی متفاوت‌تر نیز همین شرایط کم و بیش صادق است. لذا اتلاف میلگرد، تأثیر چندانی از مساحت طبقه نمی‌پذیرد. ضریب متغیر مستقل مساحت ساختمان در رابطه‌ی کمّی میزان اتلاف بتن، منفی است که احتمالاً می‌تواند بدین دلیل باشد که با توجه به قابل صرف‌نظر بودن نشت بتن از قالب‌ها، عمده‌ترین اتلاف بتن از طریق باقی ماندن بتن در لوله‌ی پمپ است. هر چه ساختمان، مساحت بیشتری داشته باشد، به علت افزایش طول و تعداد تیرها، تعداد ستون‌ها و سایر اجزاء بتنی، میزان بتن بیشتری مصرف می‌شود؛ اما مقدار بتنی که در لوله‌ی پمپ می‌ماند، نمی‌تواند از حجم لوله‌ی پمپ بیشتر باشد. لذا هر چند میزان سفارش و بتن پمپ شده متناسب با افزایش مساحت طبقه افزایش می‌یابد، اما میزان اتلاف بتن (بتن باقی‌مانده در پمپ) سقف مشخصی دارد و لذا درصد اتلاف بتن کاهش می‌یابد.

مصالح پودری مانند سیمان بعد از تهیه شدن، در محلی به‌عنوان انبار نگهداری می‌شوند و از آنجا به محل مصرف حمل می‌شوند. در حین انبارکردن، 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.

ط) تفسیر ضرایب منطقه‌یی: در بررسی میزان اتلاف یک نوع مصالح، بررسی یک متغیر مستقل نه فقط مفید فایده نیست، بلکه گمراه کننده است،[۲] زیرا اتلاف مصالح، تابعی از چند متغیر مستقل است و باید برآیند اثر چند عامل به‌طور هم‌زمان بررسی شود. در پژوهش حاضر، تعداد محدودی ساختمان در یک منطقه مطالعه و تأثیرپذیری اتلاف هر مصالح از مجموعه‌ی متغیرهای مستقل مطالعه شده در روابط کمّی مستخرج نشان داده شده است. برآیند اثرات متغیرهای مستقل ذکر شده طی روابط کمّی، مقادیری از متغیرهای وابسته تولید می‌کند، که طی بررسی‌های اعتبارسنجی و راست‌نمایی انجام‌شده قابل استناد هستند، اما تفاوت در مقادیر سایر ضرایب مانند S و X_1 منجر به ایجاد ضرایب متفاوت برای پارامترهای منطقه‌یی شده است. البته چون تعداد ساختمان‌های بررسی شده محدود است، نتایج و روابط مذکور فقط برای همان ساختمان‌ها صادق‌اند. برداشت نویسندگان آن است که اگر تعداد ساختمان‌های مطالعه شده بیشتر شود، اختلاف ضرایب متغیرهای مستقل دست‌خوش تغییر خواهد شد که این نکته به‌عنوان پیشنهادی جهت مطالعات آتی در ادامه‌ی نوشتار مطرح شده است.

۶. محدودیت‌های پژوهش

محدودیت‌های پژوهش حاضر به این شرح بیان شده‌اند:

الف) فقر شدید اطلاعاتی شهر تهران در زمینه‌ی تولید ضایعات ساختمانی: علی‌رغم اهمیت مدیریت ضایعات ساختمانی، هیچ نهاد دولتی پایگاه داده‌ی منسجمی از میزان اتلاف مصالح جمع‌آوری نکرده است و چه بسا مدیران شهری، اهمیت چندانی به این مسئله مبذول نداشته‌اند.

ب) جمع‌آوری داده‌ها با پرسش‌نامه، روشی زمان‌بر و با هزینه‌ی نسبتاً بالاست.

ج) داده‌های جمع‌آوری شده، محدود به ۳۲ ساختمان مسکونی با اسکلت بتنی هستند. می‌توان با کسب حمایت‌های مالی لازم از نهادهای دولتی مانند شهرداری، کار جمع‌آوری داده‌ها در وسعت بیشتری صورت پذیرد و نتایج تعمیم‌یافته‌تری از آن استخراج کرد.

د) پیمانکاران محترم ساخت تمایل زیادی به بروز اطلاعات در مورد پروژه‌های ساخت ندارند و لازم است فرهنگ‌سازی و یا حمایت‌های مالی و معنوی مناسب جهت ترغیب بیشتر پیمانکاران برای همکاری با نهادهای علمی مانند دانشگاه انجام پذیرد.

ه) تمرکز پژوهش حاضر بر ساختمان‌های مسکونی با اسکلت بتنی (به‌عنوان یکی از رایج‌ترین سیستم‌های مورد استفاده در تهران) بوده و ساختمان‌های با اسکلت فولادی و سایر سیستم‌های نوین ساختمانی خارج از تمرکز پژوهش حاضر بوده است. لذا نتایج پژوهش حاضر برای ساختمان‌های فولادی یا سایر سیستم‌های نوین قابل استفاده نیست.

و) امکان پوشش دادن پارامترهایی نظیر میزان مهارت پرسنل، تأثیر آموزش‌های دوره‌یی و مواردی از این دست در پژوهش حاضر میسر نبوده است.

ز) با توجه به محدود بودن تعداد ساختمان‌های مطالعه شده در هر منطقه، مدل‌های استخراج شده برای همین ساختمان‌ها کاربردی هستند، نه برای کل مناطق مورد مطالعه. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، با مطالعه‌ی تعداد بیشتری از ساختمان‌های در حال ساخت یا تمرکز بر یک موقعیت منطقه‌یی خاص، نتایج تعمیم‌یافته‌تری (مثلاً برای کل شهر تهران) استخراج شود. به‌علاوه، انتظار می‌رود با افزایش تعداد ساختمان‌های مورد مطالعه، تفاوت بین ضرایب موقعیت منطقه‌یی کاهش یابد. در هر حال، ذکر این نکته لازم است که در مورد ضریب موقعیت منطقه‌یی، تفاضل بین ضرایب در یک مدل مشخص، معنا و اهمیت بیشتری از مقدار مطلق ضرایب مذکور دارد.

۷. نتایج برخی مطالعات پیشین

در مطالعه‌یی در سال ۲۰۱۵،[۲] با درنظرگرفتن متغیرهای جدول ۱۱، معادله‌ی ۳۸ برای میزان تولید ضایعات ساختمانی پیشنهاد شده است:

$$Waste(Ton) = ۵۲۰۲/۸۸۶ + ۵۱۳۸/۵۱۹FR + ۱/۴۱۱FA + ۲۲/۹۶۸ \times EIC + ۳۷۵/۱۵۵CS - ۷۸۳/۲۹۶WR + E \quad (۳۸)$$

که در آن، E میزان خطاست. در پژوهش مذکور،[۲] تمرکز روی ضایعات تخریب و میزان مطلق ضایعات بوده است. ولی در پژوهش حاضر اتلاف مصالح به‌صورت درصد وزنی صورت گرفته است. اساساً نویسندگان پژوهش حاضر، مطالعات اندکی که مشخصاً در زمینه‌ی مدل‌سازی اتلاف مصالح و ضایعات ساختمانی (نه ضایعات تخریب و ساختمانی) صورت گرفته باشد، مشاهده کرده‌اند و مطالعات در زمینه‌ی مذکور بیشتر متمرکز بر برآورد میزان اتلاف مصالح بوده است، نه مدل‌سازی اتلاف مصالح.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱۱. متغیرهای مرجع.[۲]

متغیر	مقدار
سیستم ساخت (CS)	سنتی:۱، متوسط:۲، صنعتی:۳
میزان استفاده‌ی دوباره از مصالح (WR)	درصد مصالح بازیافت شده
نسبت طبقات (FR)	نسبت تعداد طبقات همکف و بالاتر به تعداد کل طبقات با احتساب طبقات پارکینگ
ضریب اقتصادی تراکم (EIC)	$\frac{۰/۰۲\times\sqrt{FA\times\pi}}{\left(Plan\ Perimeter+\frac{Number\ of\ Eadges}{۲}\right)}$

جدول ۱۲. مقایسه‌ی میزان اتلاف مصالح مختلف در کارگاه‌های ساخت.

منبع	سال بررسی	درصد وزنی مصالح اتلاف شده				
		بتن	آجر	میلگرد	چوب	گچ
مرجع[۶] شانگهای (۲۰۱۴)	۲۰۱۱	۱/۳۳	۷	۲/۸۸	۵	-
	۲۰۱۲	۱/۵	۵	۳	۵	۲/۵
	۲۰۱۳	۱	۵	۳	-	-
پژوهش حاضر	۲۰۱۵	۳/۹۷	۷/۱۵	۱/۳۲	-	-

جدول ۱۳. مقایسه‌ی میزان اتلاف مصالح مختلف در کارگاه‌های ساختمان‌های مسکونی.

مرجع، سال، کشور	مصالح اتلاف شده (کیلوگرم بر مترمربع)				
	بتن	آجر	میلگرد	چوب	کاشی
مرجع[۱۸] (۲۰۰۷) آمریکا	۲۲/۹	-	۰/۹	۶/۴	-
مرجع[۱۹] (۲۰۰۷) نروژ	۱۹/۱۱	-	۰/۴۸	۲/۷۵	-
مرجع[۱۷] (۱۹۹۹) کره	۱۵/۸۷	۴/۵۳	۵/۱۷	۳/۸۴	۰/۳۳

در پژوهش دیگری که در سال ۲۰۱۴ انجام شده است، متوسط میزان اتلاف مصالح مختلف در چند سال اخیر در شانگهای چین در کارگاه‌های ساخت به شرح جدول ۱۲ به‌دست آمده است.[۶] همچنین، نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در آمریکا، نروژ و کره جهت برآورد میزان اتلاف مصالح به ازاء هر مترمربع از ساختمان‌های مسکونی به شرح جدول ۱۳ است.[۱۷-۲۰]

۸. نتیجه‌گیری

تولید روزافزون ضایعات ساختمانی و اثرات مخرب اقتصادی و زیست‌محیطی آن با اهداف توسعه‌ی پایدار در تناقض است. بنابراین، با توجه به ملاحظات روزافزون زیست‌محیطی لازم است با شناخت کمی و کیفی تولید ضایعات ساختمانی، انبوه راهکارهایی برای مقابله با آن اندیشیده شود. متأسفانه در کشور ما به این موضوع توجه شایسته‌یی نشده و حتی در زمینه‌ی ابتدایی‌ترین مفاهیم پدیده‌ی مذکور مانند میزان تولید ضایعات ساختمانی نیز اطلاعات و آمار دقیقی ثبت نشده است. لذا در نوشتار حاضر تلاش شده است با کمّی‌سازی میزان ضایعات تولیدی به تفکیک مصالح پرکاربرد در صنعت ساخت، گام کوچکی در این راستا برداشته شود. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که:

الف) در پروژه‌های انجام شده با قرارداد «اضافه‌بر هزینه»، نسبت به قرارداد «سرجمع» میزان بیشتری مصالح اتلاف می‌شود.

ب) در ساختمان‌سازی سنتی، مصالح سیمان بیشتر از سایر مصالح مورد مطالعه اتلاف می‌شود. میزان اتلاف مصالح سیمان به‌طور متوسط ۸/۵۷٪ است. این میزان برای مصالح میلگرد، آجر، و بتن به ترتیب معادل ۱/۳۲، ۷/۱۵ و ۳/۹۶ درصد است.

ج) پارامترهای نوع قرارداد و موقعیت منطقه‌یی برای اولین بار به طور هم‌زمان در کمّی‌سازی اتلاف مصالح استفاده شده‌اند.

د) روش برازش خطی به‌عنوان یکی از روش‌های قابل استفاده در زمینه‌ی کمّی‌سازی میزان اتلاف مصالح معرفی شده است.

ه) میزان $R^{۲}_{Adjusted}$ برای مصالح میلگرد، سیمان، آجر و بتن به‌ترتیب معادل ۰/۹۰۷، ۰/۸۷۵، ۰/۹۲۰ و ۰/۷۹۰ بوده است. بدان معنا که کمّی‌سازی صورت گرفته به ترتیب حدود ۹۰٪، ۸۷٪، ۹۲٪ و ۷۹٪ عوامل مؤثر در اتلاف مصالح را پوشش داده است.

تخمین میزان تولید ضایعات ساختمانی به تفکیک مصالح از چندین جهت حائز اهمیت است:

الف) در چند سال اخیر، تلاش‌های زیادی در دنیا برای کمّی‌سازی میزان تولید ضایعات ساختمانی انجام شده است، اما تاکنون اقدام مشابهی در کشور برای تخمین میزان تولید ضایعات ساختمانی به تفکیک مصالح در کشور انجام نشده است.

Archive of SID

www.SID.ir

ب) کمّی‌سازی میزان تولید ضایعات ساختمانی به سیاست‌گذاران شهری کمک می‌کند تا تدابیر مناسب و جداگانه‌یی برای کنترل تولید ضایعات هر یک از مصالح بیندیشند.

ج) با کمّی‌سازی میزان تولید ضایعات ساختمانی به تفکیک مصالح، می‌توان آثار مخرب زیست‌محیطی ضایعات هر یک از مصالح را نیز کمّی‌سازی کرد.

د) هر پروژه‌ی ساخت با توجه به شرایط مختلف حاکم بر آن و ارکان پروژه، مستلزم انعقاد یکی از انواع مختلف قرارداد است. روابط کمّی نشان می‌دهند که انتخاب نوع قرارداد نامناسب برای شرایط پروژه‌ی ساخت، باعث افزایش میزان تولید ضایعات ساختمانی می‌شود. به‌عبارت دیگر، قرارداد سرجمع نسبت به قرارداد اضافه‌بر هزینه، قرارداد مناسب‌تری برای کاهش میزان ضایعات تولیدی است. نهایتاً، می‌توان عنوان کرد که کمّی‌سازی به‌عنوان یک مفهوم نوین در دنیای امروز و در زمینه‌ی ضایعات ساختمانی مطرح شده است و از آن می‌توان در اتخاذ تدابیر کنترل ضایعات ساختمانی، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، مقایسه‌ی فواید هزینه‌ی مدیریت شهری و تدوین ضوابط آلودگی‌های زیست‌محیطی و توسعه‌ی پایدار بهره جست.

پانوشت‌ها

1. construction waste
2. sustainable development
3. quantification
4. minimization
5. linear regression
6. variables
7. dependent
8. independent
9. lump sum
10. cost plus
11. validation
12. valid
13. verification
14. verified

منابع (References)

1. 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 Engineering, Sharif University of Technology (2014).
2. Kern, A.P., Dias, M.F., Kulakowski, M.P. and Gomes, L.P. "Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression", *Waste Management*, **39**, pp. 35-44 (2015).
3. Udawatta, N., Zuo, J., Chiveralls, K. and Zillante, G. "Improving waste management in construction projects: An Australian study", *Resources, Conservation and Recycling*, **101**, pp. 73-83 (2015).
4. Ghiani, G., Lagana, D., Manni, E. and Triki, C. "Capacitated location of collection sites in an urban waste management system", *Waste Management*, **32**(7), pp. 1291-1296 (2012).
5. Llatas, C. "A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list", *Waste Management*, **31**(6), pp. 1261-1276 (2011).
6. Pascual-Gonz, J., Pozo, C., Guillen-Gosalbez, G. and Jimenez-Esteller, L. "Combined use of MILP and multilinear regression to simplify LCA studies", *Computers and Chemical Engineering*, **82**, pp. 34-43 (2015).
7. Saez, P.V., Porras-Amores, C. and Mercedes, Merino, M.R. "New quantification proposal for construction waste generation in new residential constructions", *Journal of Cleaner Production*, **102**, pp. 58-65 (2015).
8. Li, J., Ding, Z., Mi, X. and Wang, J. "A model for estimating construction waste generation index for building project in China", *Resources, Conservation and Recycling*, **74**, pp. 20-26 (2013).
9. Ding, T. and Xiao, J. "Estimation of building-related construction and demolition waste in Shanghai", *Waste Management*, **34**(11), pp. 2327-2334 (2014).
10. Mymrin, V.A., Alekseev, K.P., Catai, R.E., Izzo, R.L.S., Rose, J.L., Nagalli, A. and Romano, C.A. "Construction material from construction and demolition debris and lime production wastes", *Construction and Building Materials*, **79**, pp. 207-213
11. Banias, G., Achillas, C., Vlachokostas, C., Moussiopoulos, N. and Papaioannou, I. "A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste", *Waste Management*, **31**(12), pp. 2497-2502 (2011).
12. Antoniou, F., Aretoulis, G.N., Konstantinidis, D. and Kalfakakou, G.P. "Selection criteria used for the choice of contract type for major highway construction projects", *Social and Behavioral Sciences*, **48**, pp. 3508-3517 (2012).
13. Ghiani, G., Manni, A., Manni, E. and Toraldo, M. "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).
14. 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).

Archive of SID

www.SID.ir

15. Behera, M., Bhattacharyya, S.K., Minocha, A.K., Deoliya, R. and Maiti, S. "Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete - A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review", *Construction and Building Materials*, **68**, pp. 501-516 (2014).

16. Walpole, R.E., Myers, R.H. and Myers, S.L., *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Ed., 6th, pp. 387-536, Prentice Hall, New Jersey, USA (1998).

17. *SPSS Statistics Base 17.0 User's Guide*, USA, SPSS Inc., pp. 332-352 (2007). (2015).

18. Seo, S. and Hwang, Y. "An estimation of construction and demolition debris in Seoul, Korea: waste amount, type, and estimating model", *Journal of the Air and Waste Management Association*, **49**(8), pp. 980-985 (1999).

19. Cochran, K., Townsend, T., Reinhart, D. and Heck, H. "Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US", *Waste Management*, **27**(7), pp. 921-931 (2007).

20. Bergsdal, H., Bohne, R.A. and Brattebo, H. "Projection of construction and demolition waste in Norway", *Journal of Industrial Ecology*, **11**(3), pp. 27-39 (2007).

Archive of SID

www.SID.ir