

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

محمد مهدی مرثب (استاد معین)

امیررضا ماهپور\* (دانشجوی کارشناسی ارشد)  
دانشکده‌ی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

مهندسی عمران شریف، زمستان ۱۳۹۶ (۱۳۹۶)  
دوری ۲ - ۳۳، شماره ۱/۴، ص. ۱۱۳-۱۲۳، (پادداست شی)

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، به تفکیک مصالح ساختمانی پرکاربرد، کمی سازی شود. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پارامترهای موقعیت منطقه‌ی، 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 «اضافه بر هزینه»، تولید ضایعات ساختمانی افزایش می‌یابد. با به کارگیری برازش خطی برای مدل سازی اتلاف مصالح، پارامترهای مطالعه شده، آثار مثبت و منفی خود را نشان می‌دهند. به علاوه، ضریب تعیین اصلاح شده برای مدل‌های اتلاف میلگرد، سیمان، آجر و بتن به ترتیب معادل ۰/۹۰۷، ۰/۸۷۵، ۰/۹۲۰ و ۰/۷۹۰ به دست می‌آید. بدان معنا که کمی سازی صورت گرفته به ترتیب حدود ۹۰٪، ۸۷٪، ۹۲٪ و ۷۹٪ عوامل مؤثر در اتلاف مصالح را پوشش داده است.

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

mortaheb@sharif.edu  
mahpour\_amirreza@mehr.sharif.ir

## ۱. مقدمه

تولید انبوه ضایعات ساختمانی<sup>۱</sup>، از مهم ترین مسائل مورد توجه توسعه‌ی پایدار<sup>۲</sup> است.<sup>۱</sup> به عبارت دیگر، امروزه کاهش تولید ضایعات ساختمانی، یکی از مهم ترین دغدغه‌های زیست محیطی است.<sup>۳،۴</sup> طبق تعریف، ضایعات ساختمانی، مصالح ساختمانی اتلاف شده حین ساخت پروژه‌های ساخت هستند.<sup>۵</sup> اخیراً به کمی سازی<sup>۳</sup> در زمینه‌ی ضایعات ساختمانی، توجه بسیاری شده است.<sup>۶</sup> تلاش‌هایی در کشورهای خارجی برای ارائه‌ی روابط کمی جهت تخمین میزان تولید ضایعات ساختمانی صورت گرفته است.<sup>۷</sup> علاوه بر پرکردن بخشی از خلاء اطلاعاتی موجود در زمینه‌ی ضایعات ساختمانی، از مهم ترین کاربردهای تخمین میزان تولید ضایعات ساختمانی، تسهیل پیاده‌سازی ضوابط و سیاست‌های شهری برای کمی‌سازی<sup>۴</sup> ضایعات تولیدی است.<sup>۸،۹</sup> 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

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 کمی، 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.

محدودیت های تحقیق، در بخش هفتم به بیان نتایج برخی مطالعات پیشین و در بخش آخر به نتیجه گیری پرداخته شده است.

## ۱.۱. مروری بر جدیدترین کمی سازی های صورت گرفته در زمینه ضایعات ساختمانی

در سال ۲۰۱۵، با استفاده از برآزش خطی چندگانه، مدلی برای تولید ضایعات ساختمانی با مطالعه ۱۸ ساختمان بلندمرتبه در برزیل ارائه شده و متغیرهای مورد مطالعه ای آنان، میزان ضایعات تولیدی، فرایند طراحی، تعداد طبقات و زیربنای طبقه بوده است.<sup>[۱]</sup> در مطالعه دیگری در همان سال، زیربنای کل و تعداد ساکنان به صورت هم زمان در ۸ ساختمان مسکونی در حال ساخت در اسپانیا مطالعه و میزان ضایعات ساختمانی آنان استخراج و با استفاده از برآزش نمایی، مدلی برای برآورد میزان ضایعات تولیدی ارائه شده است.<sup>[۲]</sup> همچنین در سال ۲۰۱۴، آثار تغییرات روش های طراحی و آیین نامه های 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.<sup>[۳]</sup> در سال ۲۰۱۳، نیز مدلی برای کمی سازی 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 به دست آمده در یکی از ساختمان های مسکونی شهر شنزن چین استفاده شده است.<sup>[۴]</sup>

همچنین در سال ۲۰۱۱، ۵ ساختمان مسکونی در یونان مطالعه شده و میزان کمی بهینه شده برای تولید ۲۱ نوع از ضایعات ساختمانی مختلف برای ۴ دسته از ساختمان های مسکونی، اداری، صنعتی و تجاری به کمک یک سیستم کمک کننده برای تصمیم گیری بر مبنای وب و برنامه نویسی رایانه ای پیشنهاد شده است.<sup>[۵]</sup> در نوشتار حاضر، میزان اتلاف مصالح پرکاربرد، به تفکیک کمی سازی شده است. به علاوه، تأثیر نوع قرارداد و موقعیت منطقه ای برای اولین بار کمی سازی 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. روش شناسی پژوهش

### ۱.۲. انتخاب متغیرهای پژوهش

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

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

۲. متغیرهای مستقل<sup>۸</sup> به این شرح هستند:

الف) نوع قرارداد: از آنجایی که ضوابط هر قرارداد در میزان تلاش پیمانکار برای جلوگیری از هدررفت مصالح تأثیر می گذارد،<sup>[۱۲]</sup> متغیر مذکور در پژوهش حاضر گنجانده شده است. انواع مختلفی از قرارداد در صنعت ساخت متداول است.<sup>[۷]</sup> متداول ترین انواع قرارداد برای ساختمان های مسکونی در

ایران، قرارداد سرجمع<sup>۹</sup> و قرارداد اضافه بر هزینه<sup>۱۰</sup> است. البته علاوه بر آنها، انواع دیگری از قراردادها نیز در صنعت ساخت استفاده می شوند، مانند قراردادهای فهرست بهایی. اما از آنجایی که قراردادهای سرجمع و اضافه بر هزینه در ساخت ساختمان های مسکونی عمومیت بیشتری دارند، لذا از بین ساختمان های مطالعه شده، ۱۸ مورد به قرارداد سرجمع و ۱۴ مورد به قرارداد اضافه بر هزینه اختصاص یافته اند. این متغیر با نماد  $X_1$  نشان داده می شود و مقدار ۱ برای قرارداد سرجمع و مقدار صفر برای قرارداد اضافه بر هزینه است.

ب) زیربنای هر طبقه: در بین ایده های کنترل ضایعات ساختمانی، طراحی مناسب یکی از مهم ترین عوامل شناخته شده است.<sup>[۸]</sup> با فرض زیربنای طبقه به عنوان یکی از عوامل مؤثر در طراحی ساختمان، طبیعی است که با افزایش زیربنای هر طبقه، میزان خرید هر یک از مصالح (مخرج کسر رابطه ی ۱) و میزان اتلاف آن (صورت کسر رابطه ی ۱) افزایش می یابد. لذا درصد اتلاف مصالح به متغیر مستقل زیربنای هر طبقه هم وابسته است. زیربنای هر طبقه با واحد مترمربع با نماد  $AOS$  نشان داده می شود. برای اینکه ضریب متغیر مستقل مذکور در روابط کمی در حدود ضرایب سایر متغیرهای مستقل باشد،  $0.1 \leq A$  زیربنای هر طبقه با واحد مترمربع در روابط استفاده می شود ( $A$ ) (رابطه ی ۲):

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

زیربنای هر طبقه از ساختمان های مورد مطالعه،  $50$  الی  $235$  مترمربع بوده است. در نتیجه رابطه ی ۳ صادق است:

$$0.50 \leq A \leq 2.35 \quad (3)$$

ج) طبقات ساختمان: استانداردسازی طراحی، یکی از راهکارهای کنترل ضایعات ساختمانی شناخته شده است.<sup>[۸]</sup> حساسیت هایی توسط شهرداری ها در زمینه ی مذکور و به خصوص ارتفاع ساختمان وجود دارد. لذا تعداد طبقات ساختمان ( $S$ ) به عنوان شاخصی از ارتفاع ساختمان به عنوان یکی از متغیرهای مستقل پژوهش حاضر در نظر گرفته می شود. ساختمان های مورد مطالعه ۴، ۵، ۶ و ۷ طبقه داشته اند (رابطه ی ۴):

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

د) موقعیت منطقه ای: مطالعاتی برای کنترل ضایعات ساختمانی، به مفهوم موقعیت منطقه ای کارگاه ساخت صورت گرفته و راه حل هایی برای کنترل تولید یا مدیریت ضایعات ساختمانی بعد از تولید بسته به محل تولید آن ها ارائه شده است.<sup>[۱۳، ۱۴، ۱۵]</sup> به علاوه، عواملی مانند کمبود نیروی کار در یک موقعیت منطقه ای خاص می تواند در میزان تولید ضایعات ساختمانی تأثیرگذار باشد. لذا، موقعیت منطقه ای به عنوان یک متغیر مستقل در نظر گرفته شده و مطالعات در ۷ منطقه از شهر تهران شامل: میدان امام حسین (ع)، منطقه ی سعادت آباد، میدان شهدا، منطقه ی شهران، منطقه ی رسالت، خیابان تهران نو و میدان سپاه انجام شده است. لذا  $Y$  متغیر متناظر با  $Y$  منطقه ی مذکور به صورت نشان داده شده در جدول ۱ تعریف شده است.

مقدار متغیر متناظر با منطقه ی هر ساختمان ۱ و مقدار سایر متغیرها صفر در نظر گرفته شده است. برای مثال، برای ساختمانی در میدان شهدا، روابط ۵

جدول ۲. مقادیر متغیر وابسته برای مصالح مورد مطالعه.

ردیف	درصد وزنی ائتلاف مصالح در سایت ( $Y_{Site}$ )			
	$Y_{Cement}$	$Y_{Brick}$	$Y_{Concrete}$	$Y_{Rebar}$
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	۶,۶۰۶	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 ۱. متغیر متناظر با هر موقعیت منطقه‌یی.

تعداد ساختمان مسکونی	متغیر متناظر	موقعیت منطقه‌یی
۵	$X_2$	میدان امام حسین (ع)
۵	$X_3$	سعادت‌آباد
۴	$X_4$	میدان شهدا
۴	$X_5$	شهران
۶	$X_6$	رسالت
۴	$X_7$	تهران‌نو
۴	$X_8$	میدان سپاه
۳۲		مجموع

و ۶ برقرار بوده است:

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

$$X_2 = X_3 = X_5 = X_6 = X_7 = X_8 = 0 \quad (6)$$

### 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 ائتلاف هر یک از مصالح (کیلوگرم) از پیمانکاران محترم سوال شده و در نتیجه طبق رابطه ۱، درصد وزنی مصالح ائتلاف 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 مدل

برای حصول یک رابطه‌ی کمی معتبر<sup>۱۲</sup>، توجه به این نکات ضروری است:

الف) با توجه به مشخصات پژوهش (تعداد پرسش‌نامه: ۳۲ و تعداد متغیرها: ۱۱)  $(Y_{Material}, X_1, \dots, X_8, A, S)$ ، 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):

$$n_1 = 32 \quad (7)$$

$$n_2 = 11 \quad (8)$$

$$v_1 = n_1 - 1 = 31 \quad (9)$$

$$v_2 = n_2 - 1 = 10 \quad (10)$$

$$F = 2/15 \quad (11)$$

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<sup>[۱۱]</sup> و لذا مقدار  $|t|$  محاسبه شده برای هر برازش خطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS، باید بیشتر از ۲/۰۳ باشد.

ج) شاخص  $R^2_{Adjusted}$ : هرچه این شاخص به ۱ نزدیک‌تر باشد، برازش خطی انجام شده مناسب‌تر است. در مطالعات مشابه صورت گرفته،  $R^2_{Adjusted} = 0/694$  مناسب تشخیص داده شده است.<sup>[۲]</sup>

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	$X_2$
۴	۲۳۵	۷	۱	$X_2$
۵	۸۰	۵	۰	$X_2$
۶	۹۳	۵	۰	$X_5$
۷	۶۰	۴	۱	$X_2$
۸	۵۰	۴	۰	$X_2$
۹	۱۴۰	۵	۱	$X_2$
۱۰	۱۰۵	۵	۱	$X_2$
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	$X_2$
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	$X_2$
۲۲	۱۱۳	۵	۰	$X_2$
۲۳	۱۱۸	۵	۰	$X_2$
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	$X_2$
۳۰	۲۲۰	۷	۰	$X_2$
۳۱	۱۲۳	۵	۰	$X_2$
۳۲	۸۸	۴	۱	$X_5$

#### ۴. روابط کمی 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 در نهایت برازشی که معیارهای ذکر شده در بخش ۳ (اعتبارسنجی و راست‌نمایی) را ارضا می‌کند، 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.<sup>[۱۷] [۱۶]</sup> هم‌چنین شکل کلی معادلات کمی مستخرج به‌صورت معادله‌ی ۱۳ است:

$$Y_{Material} = C + C_S \times S + C_A \times A + \sum_{i=1}^n C_i \times X_i \quad (13)$$

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،  $1/0^\circ$  زیربنای طبقه و متغیر مستقل موقعیت منطقه‌ی  $X_i$  ( $i$  از ۱ الی ۸) هستند.

#### ۱.۴. رابطه‌ی کمی برای میلگرد

رابطه‌ی کمی منتخب برای مصالح میلگرد به‌صورت رابطه‌ی ۱۴ است:

$$Y_{Rebar} = 2/163 - 0/068S - 0/589X_1 - 0/261X_2 - 0/471X_5 - 0/434X_6 - 0/662X_8 \quad (14)$$

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

$$R^2 = 0/925 \quad (15)$$

$$R_{Adjusted}^2 = 0/907 \quad (16)$$

$$F = 51/184 \quad (17)$$

$$Sig = 0/000 \quad (18)$$

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

#### ۲.۴. رابطه‌ی کمی برای بتن

رابطه‌ی کمی منتخب برای مصالح بتن به‌صورت رابطه‌ی ۱۹ است:

$$Y_{Concrete} = 6/110 - 1/302A - 1/899X_1 - 0/825X_5 + 4/022X_6 \quad (19)$$

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

$$R^2 = 0/817 \quad (20)$$

$$R_{Adjusted}^2 = 0/790 \quad (21)$$

$$F = 30/191 \quad (22)$$

$$Sig = 0/000 \quad (23)$$

د) مقدار sig (خطای معناداری): این مقدار باید کمتر یا مساوی ۰/۵ باشد.<sup>[۱۲]</sup>

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.<sup>[۲]</sup>

#### ۲.۳. راست‌نمایی ۱۳ مدل

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

$$RE = \frac{|Y_{Site} - Y_{Material}|}{Y_{Site}} \leq 30\% \quad (12)$$

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
$A$	۱٪ زیربنای طبقه بر حسب مترمربع
$S$	تعداد طبقات ساختمان
$X_1$	ضریب نوع قرارداد (به ترتیب ۱ و ۰ برای قرارداد سرجمع و اضافه بر هزینه)
$X_i, i$ از ۲ الی ۸	متغیر موقعیت منطقه‌یی (برای توضیحات بیشتر به بند ۱.۲- د مراجعه شود)
$F$	مقدار بحرانی توزیع با در نظر گرفتن 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 در نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵٪
$sig$	درجات آزادی مربوط به تعداد پرسش‌نامه‌ها ( $v_1 = n_1 - 1 = 31$ )
$R^2$	سطح معناداری با لحاظ کردن سطح اطمینان ۹۵٪
$R^2$	ضریب تعیین
$R^2_{Adjusted}$	ضریب تعیین اصلاح شده

جدول ۷. مقادیر پارامترهای اجزای مدل برای آجر.

پارامتر	$t$	$sig$
عدد ثابت	۲۴٫۲۹۱	۰٫۰۰۰۰
$X_1$	-۳٫۹۳۵	۰٫۰۰۰۱
$X_2$	-۵٫۱۴۷	۰٫۰۰۰۰
$X_5$	-۵٫۰۳۹	۰٫۰۰۰۰
$X_7$	۶٫۸۴۵	۰٫۰۰۰۰
$X_8$	۱۱٫۰۵۸	۰٫۰۰۰۰

جدول ۵. مقادیر پارامترهای اجزای مدل برای میلگرد.

پارامتر	$t$	$sig$
عدد ثابت	۱۳٫۴۷۵	۰٫۰۰۰۰۰
$S$	-۲٫۲۸۰	۰٫۰۰۳۱
$X_1$	-۱۲٫۰۰۳	۰٫۰۰۰۰
$X_2$	-۳٫۴۴۸	۰٫۰۰۰۲
$X_5$	-۶٫۳۷۶	۰٫۰۰۰۰
$X_6$	-۳٫۱۶۶	۰٫۰۰۰۴
$X_8$	-۹٫۲۱۰	۰٫۰۰۰۰

$$R^2_{Adjusted} = ۰٫۹۲۰ \quad (۲۶)$$

$$F = ۶۵٫۱۰۸ \quad (۲۷)$$

$$Sig = ۰٫۰۰۰ \quad (۲۸)$$

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

#### ۴.۴. رابطه‌ی کمتی برای سیمان

رابطه‌ی کمتی منتخب برای مصالح سیمان به صورت 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 به دست 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 اعشارگرد شده‌اند و لزوماً ضرایب متغیرهای مستقل که در مدل‌های پیشنهادی صفر هستند، صفر

جدول ۶. مقادیر پارامترهای اجزای مدل برای بتن.

پارامتر	$t$	$sig$
عدد ثابت	۱۶٫۳۷۰	۰٫۰۰۰۰۰
$A$	-۴٫۳۶۰	۰٫۰۰۰۰
$X_1$	-۷٫۵۰۱	۰٫۰۰۰۰
$X_5$	-۲٫۲۵۶	۰٫۰۰۳۲
$X_6$	۵٫۶۱۵	۰٫۰۰۰۰

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

#### ۳.۴. رابطه‌ی کمتی برای آجر

رابطه‌ی کمتی منتخب برای مصالح آجر به صورت رابطه‌ی ۲۴ است:

$$Y_{Brick} = ۷٫۹۲۳ - ۱٫۵۱۶X_1 - ۲٫۸۷۴X_2 - ۲٫۷۸۳X_5 + ۳٫۷۸۰X_7 + ۸٫۴۷۷X_8 \quad (۲۴)$$

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

$$R^2 = ۰٫۹۳۴ \quad (۲۵)$$

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 <sub>۱</sub>	-۴٫۷۰۹	۰٫۰۰۰
X <sub>۲</sub>	-۳٫۷۵۶	۰٫۰۰۱
X <sub>۵</sub>	-۳٫۷۲۷	۰٫۰۰۱
X <sub>۶</sub>	-۷٫۰۹۰	۰٫۰۰۰
X <sub>۸</sub>	-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 می‌شوند، ولی مدل‌های مذکور از نظر آماری دقت خیلی زیادی نداشته‌اند، مثلاً ضریب تعیین اصلاح شده‌ی خیلی کمتری از مدل‌های پیشنهادی داشته‌اند. درخصوص متغیر منطقه‌ی، عواملی مانند تفاوت نیروی کار، تفاوت فرهنگ ساخت‌وساز و قیمت زمین که متأثر از موقعیت منطقه‌ی هستند، عوامل تأثیرگذاری در میزان تولید ضایعات ساختمانی شناخته شده‌اند.<sup>[۱]</sup>

#### ۵.۴. اعتبارسنجی و راست‌نمایی روابط کمی

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

$$F > ۲٫۱۵ \quad (۳۴)$$

$$|t| > ۲٫۰۳ \quad (۳۵)$$

$$Sig \leq ۰٫۰۵ \quad (۳۶)$$

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

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

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

جدول ۱۰. خطای نسبی مدل‌ها برای ساختمان‌های مورد مطالعه.

ردیف	$ RE $ برای مصالح		
	سیمان	بتن	میلاگرد
۱	۰٫۱۰۵	۰٫۱۱	۰٫۱۲۷
۲	۰٫۱۴۴	۰٫۲۶	۰٫۲۵۲
۳	۰٫۰۵۸	۰٫۱۲	۰٫۲۵۷
۴	۰٫۱۹۹	۰٫۱۱	۰٫۰۵۶
۵	۰٫۱۰	۰٫۱۸۱	۰٫۲۱۷
۶	۰٫۰۹۸	۰٫۳۴	۰٫۲۱۶
۷	۰٫۰۵۸	۰٫۱۲۸	۰٫۲۷۰
۸	-	۰٫۳۹	۰٫۰۰۲
۹	۰٫۱۱۷	۰٫۵۸	۰٫۰۴۳
۱۰	۰٫۲۷۵	۰٫۰۰۲	۰٫۱۳۸
۱۱	۰٫۲۸۶	۰٫۰۰۰	۰٫۲۰۰
۱۲	۰٫۰۲۸	-	۰٫۰۳۴
۱۳	۰٫۰۳۵	۰٫۰۲۵	۰٫۱۹۱
۱۴	۰٫۱۱۷	۰٫۰۳۰	۰٫۲۴۵
۱۵	۰٫۰۷۹	۰٫۰۴۳	۰٫۱۹۱
۱۶	-	۰٫۱۹	۰٫۱۹۷
۱۷	۰٫۰۵۳	۰٫۰۰۵	۰٫۲۳۷
۱۸	۰٫۲۸۹	۰٫۱۳۳	۰٫۰۳۷
۱۹	۰٫۲۰۸	۰٫۰۴۵	۰٫۱۶۲
۲۰	۰٫۰۵۶	-	۰٫۰۰۷
۲۱	۰٫۱۳۲	۰٫۱۰۷	۰٫۱۴۸
۲۲	۰٫۰۶۸	۰٫۲۱۱	۰٫۲۳۷
۲۳	۰٫۰۱۹	۰٫۱۸۲	۰٫۱۲۹
۲۴	-	۰٫۰۵۶	۰٫۱۴۸
۲۵	۰٫۲۷۵	۰٫۰۷۵	۰٫۱۸۷
۲۶	۰٫۰۳۷	۰٫۰۰۷	۰٫۱۳۶
۲۷	۰٫۰۷۵	۰٫۲۶۵	۰٫۱۴۶
۲۸	۰٫۰۵۵	-	۰٫۱۹۹
۲۹	۰٫۰۸۸	۰٫۰۴۴	۰٫۰۶۴
۳۰	۰٫۰۷۵	۰٫۱۴۳	۰٫۰۱۴
۳۱	۰٫۰۵۵	۰٫۰۳۹	۰٫۱۵۳
۳۲	۰٫۰۸۸	۰٫۱۰۰	۰٫۱۰۴

برای همه‌ی ساختمان‌ها و مصالح:  $|RE| < ۳۰\%$

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

#### ۵. تحلیل و بررسی روابط کمی

کمی‌سازی 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 امر کارآمد نیست، در صورتی که اتلاف مصالح مختلف به‌صورت جداگانه کمی‌سازی شود، کمک شایانی به مدیران شهری می‌شود تا بتوانند

میزان اتلاف مصالح ساختمانی (صورت کسر رابطه ی ۱، با همان واحد سنجش میزان خرید یا سفارش مصالح) نیز افزایش می‌یابد. اما با توجه به رابطه ی ۱، ممکن است درصد اتلاف مصالح افزایش یا کاهش یابد که در این حالت ضریب متغیر مستقل تعداد طبقات ساختمان ( $S$ ) به ترتیب 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 همه ی روابط کمی منفی است. یعنی اینکه، میزان ضایعات ساختمانی مصالح در قرارداد اضافه بر هزینه، بیشتر از قرارداد سرجمع است. علت این امر شرایط متفاوت پرداخت به پیمانکار در ۲ قرارداد است. در قرارداد سرجمع، کارفرما صرف نظر از هزینه های پیمانکار مبلغ مشخصی را به پیمانکار پرداخت می‌کند. در قرارداد اضافه بر هزینه، کارفرما تمام هزینه های پیمانکار به انضمام مبلغی (معمولاً به صورت درصدی از هزینه ها) به عنوان بالاسری و سود، به پیمانکار پرداخت می‌کند و لذا در قرارداد اضافه بر هزینه، اتلاف مصالح نه فقط هزینه یی برای پیمانکار ندارد، بلکه تهیه ی 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 وصله های نادرست و غیراقتصادی و عدم مهارت آرماتوربندهاست. با افزایش طبقات و در طبقات بالاتر، تراکم آرماتورها از نظر سازه یی کمتر می‌شود، به علاوه در پی‌ها که پایین ترین 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 وصله های مورد نیاز، اتلاف هم کمتر شود. بیشترین اتلاف سیمان نیز در حین حمل به انبار، شرایط نامناسب انبار، بارش باران بر سیمان‌هایی که در طبقات پایین دو شده اند و به طرز مناسبی پوشش داده نشده اند، دور ریختن کیسه های 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 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 مدل های سیمان و میلگرد منفی است. آجرها با بالا بر به طبقات حمل می‌شوند که بهره‌وری بسیار بالاتری از روش های 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 لوله ی پمپاژ یا عملکرد ناصحیح عوامل انسانی مانند بی‌دقتی در افزایش میزان و بیره 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 بالا بر به نزدیکی محل مصرف (معمولاً نزدیک دیوارهای آجری در طبقات) حمل می‌شود و ممکن است در حین انتقال از آنجا به مکان مورد نظر (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

دقیق تر 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 با یافت راهکار مناسبی به نظر می‌رسد، حال آنکه برای کاهش اتلاف آجر، بهبود شرایط حمل و یا استفاده از آجر پاره‌ها 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. به علاوه، 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 مرحله ی 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 مرحله ی ساخت به صورت جداگانه عملی تر است و مطالعه ی جداگانه ی مصالح و اتلاف آنها می‌تواند گامی به سوی استخراج تدابیر منحصر به فرد به منظور کنترل کاراتر اتلاف مصالح باشد. این امر نیازمند دانستن اطلاعاتی در زمینه ی اتلاف هر یک از مصالح است و کمی‌سازی صورت گرفته می‌تواند گام نخست پرکردن خلاء اطلاعاتی موجود باشد. از مشکلات عمده ی پژوهش حاضر، فقر شدید اطلاعاتی در زمینه ی میزان اتلاف مصالح در پروژه‌های مسکونی و هزینه ی زمانی بسیار بالای جمع‌آوری اطلاعات گردآوری شده بوده و امید آن است که پژوهش حاضر، نقطه ی آغازی برای مطالعات آتی در زمینه ی کاهش اتلاف مصالح ساختمانی باشد.

با توجه به روابط کمی 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 کمی به دست 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 اندازه ی تقاضا ضرایب دو متغیر مستقل متناظر با دو منطقه در همان رابطه کمی تغییر خواهد کرد. مثلاً  $X_2$  و  $X_5$  در رابطه ی کمی اتلاف میلگرد به ترتیب  $-0.261$  و  $-0.471$  است و حاکی از آن است که اگر یک ساختمان به جای میدان شهدا در شهران ساخته شود، اتلاف میلگرد به اندازه ی  $21\%$  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 هزینه ی مصالح به هزینه ی کلی ساخت و نیز حساسیت سازندگان نسبت به اتلاف مصالح کمتر باشد و لذا انگیزه ی 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 رابطه ی ۱)، افزایش می‌یابد و به تبع آن

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،<sup>[۲]</sup> با در نظر گرفتن متغیرهای جدول ۱۱، معادله‌ی ۳۸ برای میزان تولید ضایعات ساختمانی پیشنهاد شده است:

$$Waste(Ton) = 5202/886 + 5138/519FR + 1/411FA + 22/968 \times EIC + 375,155CS - 783/296WR + E \quad (38)$$

که در آن،  $E$  میزان خطاست. در پژوهش مذکور،<sup>[۲]</sup> 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.

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 کمی 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 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.

ط) تفسیر ضرایب منطقه‌یی: در بررسی میزان اتلاف یک نوع مصالح، بررسی یک متغیر مستقل نه فقط مفید فایده نیست، بلکه گمراه‌کننده است،<sup>[۱]</sup> 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 کمی مستخرج نشان داده شده است. برآیند اثرات متغیرهای مستقل ذکر شده طی روابط کمی، 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



جدول ۱۱. متغیرهای مرجع. [۲]

مقدار	متغیر
سنتی: ۱، متوسط: ۲، صنعتی: ۳ درصد مصالح بازیافت شده	سیستم ساخت (CS) میزان استفاده‌ی دوباره از مصالح (WR)
نسبت تعداد طبقات همکف و بالاتر به تعداد کل طبقات با احتساب طبقات پارکینگ	نسبت طبقات (FR)
$\frac{0.02 \times \sqrt{FA} \times \pi}{(Plan Perimeter + \frac{Number of Badges}{4})}$	ضریب اقتصادی تراکم (EIC)

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

منبع	سال بررسی	درصد وزنی مصالح اتلاف شده			
		بتن	آجر	میلگرد	چوب
مرجع [۶] شانگهای (۲۰۱۴)	۲۰۱۱	۱٫۳۳	۷	۲٫۸۸	۵
	۲۰۱۲	۱٫۵	۵	۳	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

توجه شایسته‌ی نبوده 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 کمی‌سازی 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 منطقه‌ی برای اولین بار به‌طور هم‌زمان در کمی‌سازی اتلاف مصالح استفاده شده‌اند.

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

ه) میزان  $R_{Adjusted}$  برای مصالح میلگرد، سیمان، آجر و بتن به ترتیب معادل ۰٫۸۷۵، ۰٫۹۰۷، ۰٫۸۷۵، ۰٫۹۲۰ و ۰٫۷۹۰ بوده است. بدان معنا که کمی‌سازی 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 کمی‌سازی 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.

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 به‌ازاء 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

نوع قرارداد نامناسب برای شرایط پروژه ساخت، باعث افزایش میزان تولید ضایعات ساختمانی می شود. به عبارت دیگر، قرارداد سرجمع نسبت به قرارداد اضافه بر هزینه، قرارداد مناسب تری برای کاهش میزان ضایعات تولیدی است. نهایتاً، می توان عنوان کرد که کمی سازی به عنوان یک مفهوم نوین در دنیای امروز و در زمینه ضایعات ساختمانی مطرح شده است و از آن می توان در اتخاذ تدابیر کنترل ضایعات ساختمانی، تصمیم گیری های مدیریتی، مقایسه ی فواید هزینه ی مدیریت شهری و تدوین ضوابط آلودگی های زیست محیطی و توسعه ی پایدار بهره جست.

ب) کمی سازی میزان تولید ضایعات ساختمانی به سیاست گذاران شهری کمک می کند تا تدابیر مناسب و جداگانه یی برای کنترل تولید ضایعات هر یک از مصالح ببیند.

ج) با کمی سازی میزان تولید ضایعات ساختمانی به تفکیک مصالح، می توان آثار مخرب زیست محیطی ضایعات هر یک از مصالح را نیز کمی سازی کرد.

د) هر پروژه ی ساخت با توجه به شرایط مختلف حاکم بر آن و ارکان پروژه، مستلزم انعقاد یکی از انواع مختلف قرارداد است. روابط کمی نشان می دهند که انتخاب

### پانویسها

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)

6. Pascual-Gonz, J., Pozo, C., Guillen-Gosalbez, G. and Jimenez-Esteller, L. "Combined use of MILP and multi-linear regression to simplify LCA studies", *Computers and Chemical Engineering*, **82**, pp. 34-43 (2015).
7. Saez, P.V., Porrás-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).
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).

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).