رابطهٔ ارتفاع ساختمان و هزینه‌های ساخت در ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۵۰طبقه[۱]

حسام‌الدین زاریان[۲]

محمد تحصیلدوست[۳]

استادیار دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی

دریافت: ۱۹ فروردین ۱۳۹۷
پذیرش: ۷ آذر ۱۳۹۷
(صفحهٔ ۵۱–۳۵)

کلیدواژگان: رابطهٔ هزینه و ارتفاع، بلندمرتبه‌سازی، مسکن ارزان‌قیمت، اقتصاد ساختمان، مدیریت ساخت.

چکیده

پیشرفت علوم مهندسی در زمینه‌های مختلف، از جمله ساخت‌وساز و نیز تغییر سیاست‌های شهرداری‌ها و دولت‌ها، مبنی بر پیشگیری از گسترش افقی شهرها، منجر به افزایش بلندمرتبه‌سازی خصوصاً در کلان‌شهرها شده است. این موضوع به‌ویژه در توسعهٔ شهرها و نیز سیاست‌گذاری‌های عمده مؤثر خواهد بود.

در این مقاله رابطهٔ بین تعداد طبقات ساختمان و هزینه‌های ساخت بررسی می‌شود. به این منظور پس از بررسی دستاورد محققین دیگر کشورها، علاوه بر استعلام و اخذ اطلاعات کمّی از زنجیرهٔ تأمین‌کنندگان و نیز پیمانکاران پروژه‌های مختلف، با خبرگان مصاحبه و اطلاعات آن به منظور استفاده در مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای BIM به کار گرفته شده است.

نتیجهٔ کلی نشان می‌دهد که برخلاف تصور عمومی، هزینهٔ ساخت بناهای بلندتر لزوماً بیشتر نخواهد بود و لازم است، در هر بازهٔ ارتفاعیِ مورد نظر طراح، هزینهٔ ساخت بر مبنای نمودارهایی مد نظر قرار گیرد. به طور مثال، در ساختمان‌های دارای هفت، چهل و دو، و چهل و هشت طبقه افزایش هزینه به ازای افزایش یک طبقه موجب تحمیل هزینه‌های مازادی خواهد شد که پروژه را از یک پروژهٔ مقرون به صرفه به بدون صرفه تبدیل می‌کند. به همین ترتیب برای پروژه‌های متداول و مرسوم شهری و همین‌طور پروژه‌های انبوه‌سازی ارتفاع بهینهٔ ۹طبقه پیشنهاد می‌شود. در مقیاس زمین‌های واقع در پهنه‌بندی بلندمرتبه گزینه‌های ۳۰ تا ۴۰طبقه مرجح است. نگارندگان در این مطالعه به قیمت زمین و هزینه‌های ناشی از زیرساخت نپرداخته و صرفاً هزینه‌های ساخت خود بنا را در نظر گرفته‌اند. همچنین مطالعات مربوط به رویکردهای فرهنگی و اجتماعی مؤثر بر قیمت فروش و عوامل غیر از ساخت در نظر گرفته نشده‌اند.

۱. مقدمه

در بسیاری از جوامع ساخت‌وساز نه‌فقط امری عمرانی، بلکه فعالیتی باصرفه و یا حداقل مؤثر بر صرفهٔ اقتصادی و تحت تأثیر آن است. ساختمان کالایی ذی‌قیمت، و با ماندگاری زیاد است که، به دلیل ارتباط مستقیم و غیر مستقیم بسیاری از مشاغل به آن، نقش انکارناپذیری در به حرکت درآوردن بازارهای مالی و نیز چرخهٔ تولید و اشتغال دارد. از این رو موضوع منافع اقتصادی در خود ساختمان

۱. ایـــن مقاله برگرفتـــه از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد نگارندهٔ اول در رشتهٔ فنـــاوری معماری (گرایش ســـاخت) است، با همین عنوان، که با راهنمایی دکتر محمدرضا حافظـــی و نگارندهٔ دوم در دی‌مـــاه ۱۳۹۶ در دانشـــکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی دفاع شده است.

۲. کارشـــناس ارشد فناوری معماری، گرایش ســـاخت، دانشکدهٔ معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی
hesam.zarian@gmail.com

۳. نویسندهٔ مسئول
m_tahsildoost@sbu.ac.ir

پرسش‌های تحقیق

۱. پارامترهای مؤثر بر رابطهٔ ارتفاع ساختمان و هزینه‌های ساخت چیست؟

۲. نقش هریک از نظام‌های سازه‌ای، تأسیسات، و معماری در افزایش هزینه‌های ساخت متأثر از افزایش تعداد طبقات چیست؟

۳. در بازه‌های مختلف طبقات، تعداد طبقات بهینه از نظر هزینه‌های ساخت کدامند؟

و عوامل مؤثر بر آن همواره مورد توجه محققین بوده است. به‌علاوه از یک سو، وابستگی موضوع اقتصاد ساخت‌وساز به فناوری و روش‌های ساخت و نیز فرهنگ ساخت‌وساز این امر را منحصر به ویژگی‌های جوامع می‌کند، و از سوی‌دیگر، رقابت و تلاش برای هزینهٔ کمتر در برابر عواید بیشترْ بازار را وادار به رقابت با بازارهای جهانی و پیروی از الگوهای مربوطه می‌کند.

هزینه‌های ساخت یک بنا در محیط شهری، که مستقل از قیمت زمین، هزینه‌های عوارض و مجوزها، زیرساخت‌ها، انشعابات و نظایر آن، و تنها مربوط به فرایند ساخت‌وساز است، برآمده از مجموعه‌ای عوامل است که ذیل عناوین هزینه‌های اجرای سازه، تأسیسات برق و مکانیک، و معماری اعم از سفت‌کاری و تأسیسات، و با لحاظ عواملی همچون سیستم‌های مورد استفاده در هر بخش، روش‌های اجرا، تجهیزات، و ماشین‌آلات لازم دسته‌بندی می‌شود و نیز تحت تأثیر عواملی نظیر زمان، شرایط محیطی، نیروی انسانی، نحوهٔ تأمین و هزینه‌کرد منابع مالی، و مواردی از این قبیل است.

به‌جز تأثیر موارد کیفی، شکل پلان، نسبت سطوح بازشو، نسبت محیط به مساحت، ارتفاع کلی بنا، و نیز ارتفاع طبقات بر هزینهٔ تمام‌شدهٔ هر متر مربع بنا تأثیرگذار است. از سوی دیگر، عواملی همچون ضوابط محلی، استانداردها و ضوابط طراحی، و الزامات اجرایی بر هزینه‌ها اثر خواهد داشت. با عنوان مصداق‌های این موارد می‌توان به نیاز به مهار نیروهای جانبی در ساختمان‌های بلندتر، نیاز به تمهید فضاهایی برای فرار از حریق، ابعاد بزرگ‌تر ستون‌ها و اجزاب سازه‌ای، روش‌های اجرایی و الزامات کار در ارتفاع، هزینه‌های جابه‌جایی‌های عمودی و افقی، تکرار فعالیت‌ها و بسته‌های کاری، و... اشاره کرد.

توجه به حجم ساخت‌وساز در کشور و سهم آن از اقتصاد، و نیز توجه به اهمیت سیاست‌های کلان برنامه‌ریزی، در موضوعاتی نظیر نحوهٔ توزیع تراکم و دستورالعمل‌های پیشنهادی در موضوع ساخت‌وسازْ مؤید اهمیت بررسی موضوعات مؤثر بر اقتصاد ساختمان و قیمت تمام‌شدهٔ آن است.

در این مقاله کوشش می‌شود با عرضهٔ الگوها و راهکارهای پیشنهادی در خصوص ارتفاع بنا، به منزلهٔ یکی از عوامل مؤثر بر هزینهٔ ساخت، ارتفاعات مناسب از لحاظ این وجه تبیین شود. به این ترتیب، تعیین سیاست‌های توزیع تراکم، به‌ویژه در پروژه‌هایی که موضوع صرفهٔ اقتصادی در آن‌ها اهمیت

بیشتری دارد، نظیر مسکن ارزان‌قیمت، الگوهای مناسب‌تری به نسبت تجربهٔ سال‌های اخیر خواهد داشت. کارایی تحلیل ارتفاع- هزینه در روش‌های مدیریت هزینه، مهندسی ارزش، و مدیریت ارزش قابل استفاده است. بالأخص اگر بتوان، با اعمال روش‌هایی، ارتفاع بهینهٔ اجرایی از نگاه هزینه برای اجزای مختلف ساختمان را جابه‌جا کرد، آنگاه می‌توان هزینهٔ کل را نیز به همین طریق متناسب با ارتفاع مورد نظر کاهش داد.

۲. هزینه‌های ساختمان و عوامل مؤثر بر آن

با توجه به اهمیت موضوع هزینه و اقتصاد ساختمان، از ابتدای دههٔ ۱۹۵۰ تحقیقات زیادی در این خصوص انجام پذیرفته است.[۴] هزینهٔ اولیهٔ یک پروژه به عوامل فنی، مشخصات پروژه، موقعیت، نوع قرارداد، مشخصات سایت، ساخت‌وساز جدید یا نوسازی، عوارض قانونی، برنامهٔ زمان‌بندی اجرایی، و نرخ بهره وابسته است.[۵] همچنین عوامل متعددی که ممکن است اثرات هزینه‌ای نیز بر یکدیگر داشته باشند، بر هزینه‌های یک ساختمان اثر می‌گذارند. تحقیقات قبلی[۶] این عوامل را عمدتاً در کیفیت، نوع طرح، روش ساخت، تکرار فعالیت‌ها، پیچیدگی طرح، سرعت اجرا، شکل، ابعاد، نسبت محیط پیرامونی به کف طبقه یا نسبت فشردگی[۷]، ارتفاع طبقات، ارتفاع کلی بنا، نوع و سیستم سازهٔ انتخابی، اقلیم، شرایط سایت اعم از خاک، لرزه‌خیزی، آب‌های سطحی، تعداد زیرزمین‌ها، ضوابط محلی، کاربری‌ها، نوع نما، و .... دسته‌بندی می‌کنند.

از جمله موارد فوق، اثر افزایش ارتفاع ساختمان بر افزایش هزینه‌های ساخت واحد سطح زیر بنا است. این مهم در حالی رخ می‌دهد که، هم‌زمان با افزایش ارتفاع، هزینه‌های بهره‌برداری نیز عموماً افزایش می‌یابد، و نیز به دلیل افزایش حجم اجزای سازه‌ای و تأسیساتی و نیز نیاز به راه‌پله‌ها و فضاهای امن بیشتر، واحد سطح قابل بهره‌برداری نیز به نسبت زیر بنای کل کاهش خواهد یافت. به همین خاطر است که به طور مثال در بسیاری از شهرهای چین، به دلیل نبودن الزام مقرراتی به استفاده از آسانسور در بناهایی با ارتفاع تا ۶ طبقه، تعداد بناهای شش‌طبقه بسیار زیاد است، و نیز عمده بناهای بلند در شهر شانگهای، که ضوابط محلی نیاز به طبقات امن را در ساختمان‌های بلندتر از ۱۰۰ متر الزامی‌می‌دانند، ارتفاع زیر ۱۰۰ متر دارند[۸]. در شهر تهران نیز، به دلیل کفایت احداث یک راه‌پلهٔ فرار، گرایش به ساخت بناهای کمتر از ۵ و حداکثر ۶طبقه در ساخت‌وساز متداول مسکونی و زمین‌های محدود شهری بیشتر است. تنها همین مصادیق ساده نشان می‌دهد که الگوی تغییر هزینه به نسبت ارتفاع الگویی ساده نیست، و متناسب با ضوابط محلی و شرایط و روش ساخت‌وساز متغیر خواهد بود. به بیان دیگر تصور اینکه افزایش ارتفاع مستقیماً موجب افزایش هزینهٔ ساخت است، بسیار ساده‌انگارانه است.[۹]

اثر ارتفاع یک ساختمان بر هزینه عمدتاً ناشی از مواردی نظیر تغییر نوع و شیوهٔ فرایند اجرایی، و یا تغییر نسبت سرانهٔ هزینه مواردی است که با افزایش ارتفاع ساختمان تغییرات یکسانی ندارند.[۱۰] به این ترتیب با افزایش ارتفاع ساختمان، افزایش دستمزد نیروی کار، افزایش هزینهٔ انتقال مصالح به محل اجرا، زمان بیشتر تردد نیروی کار به محل اجرا، هزینه‌ها و ضرایب ایمنی بیشتر، کاهش هزینهٔ ناشی از تیپ شدن کارها و تکرار، کاهش هزینهٔ ناشی از کاهش سهم سرانهٔ برخی از هزینه‌ها نظیر تعدادی از سیستم‌های تأسیساتی بر متر مربع زیربنا، و مواردی از این دست تغییرات هزینه را به دنبال خواهند داشت. به این ترتیب در مطالعاتْ هزینه‌های ساختمان به چهار گروه اصلی تقسیم می‌شود:

- گروه اول: هزینه‌هایی که به دلیل افزایش ارتفاع افزایش می‌یابند (نظیر دسترسی‌های عمودی، مهار نیروهای جانبی)،
- گروه دوم: هزینه‌هایی که با افزایش ارتفاع ساختمان در واحد سطح بدون تغییر باقی می‌مانند (نظیر هزینه‌های نازک کاری داخلی)،

۴. نک:
J. Nisbet, *Estimating and Cost Control: In Association with PE Bathurst [and Others]*; I.H. Seeley, *Building Economics: Appraisal and Control of Building Design Cost and Efficiency* (1972 & 1996); P.E. Bathurst & D.A. Butler, *Building Cost Control Techniques and Economics*. 1973: Heinemann; D.P. Cartlidge, *Cost Planning and Building Economics*; P.A. Stone, *Building Design Evaluation: Costs-in-use*; W. Tan, "Construction Cost and Building Height".

۵. نک:
E.C.D.-G.f.R. Policy & Cohesion, *Understanding and Monitoring the Cost-determining Factors of Infrastructure Projects: A User's Guide*.

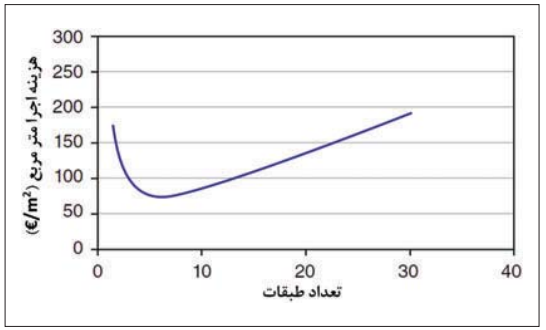
۶. نک:
Seeley, ibid.
7. perimeter over plan (POP) ratio

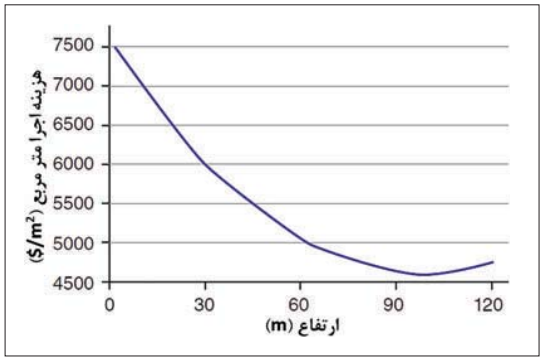
۸. نک:
H. Robinson, et al, *Design Economics for the Built Environment: Impact of Sustainability on Project Evaluation*.

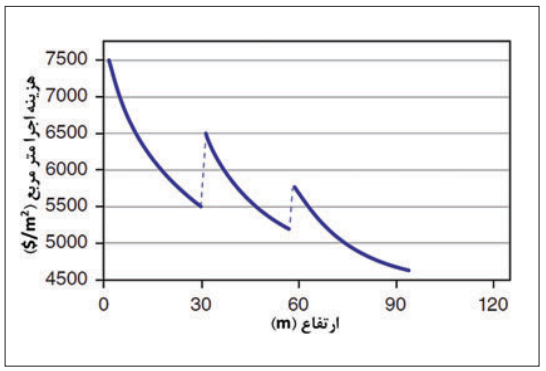
۹. نک:
D.H. Picken & B.D. Ilozor, "Height and Construction Costs of Buildings in HongKong".

۱۰. نک:
Cartlidge, ibid.

ـ گروه سوم: هزینه‌هایی که با افزایش ارتفاع بنا کاهش می‌یابد (نظیر هزینهٔ بام در واحد سطح یا اثر کاهشی ناشی از منحنی یادگیری در کارهای تکراری)،







ـ گروه چهارم: هزینه‌هایی که با افزایش ارتفاع ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد (نظیر هزینهٔ نما و داربست‌بندی).[۱۱]

به این دلیل تغییرات ارتفاع می‌تواند بر تغییرات هزینهٔ ساخت واحد سطح اثرگذار باشد. مقدار و نوع این تغییر در تحقیقات مختلف و نیز در اجزای مختلف ساختمان متفاوت است. به طور مصداق در مطالعه‌ای نشان دادند که هزینهٔ واحد سطح در برابر تعداد طبقاتْ منحنی Uشکلی دارد که حداقل آن در محدودهٔ نزدیک به هشت طبقه رخ می‌دهد و پس از آن روند افزایشی خواهد داشت (ت ۱).[۱۲]

این منحنیِ افزایش هزینه اولاً بسیار کلی و فاقد دقت‌های لازم برای تصمیم گیری است، و در ثانی تفاوت این تغییرات در تحقیقات مختلف نشان‌دهندهٔ تأثیر جدی بستر و فرهنگ ساخت‌وساز در این امر است. به طور نمونه، با توجه به کاهش هزینهٔ ناشی از تکرار فعالیت در ساختمان‌های با طبقات بیشتر، تجربهٔ پیمانکاران، و نیز رقابت شرکت‌های ساختمانی در هنگ‌کنگ، منحنی هزینه‌ـ طبقات در یک تحقیق، حداقل هزینه را در حدود ارتفاعی ۱۰۰ متر (یعنی در حدود ۲۵ تا ۳۰ طبقه) محاسبه می‌کند (ت ۲).[۱۳]

اما تدقیق و تفحص بیشتر در این تحقیقات نشان می‌دهد که توجه به ضوابط بین‌المللی و نیز محلی و واقع‌گرایی در بررسی مدل‌ها، از جمله روش‌های پیشنهادی برخی محققین، نظیر گروه‌بندی ساختمان‌ها به بناهای ۱۰ تا ۲۰طبقه، ۲۰ تا ۳۰طبقه و نظیر آن[۱۴]، شکل «ت ۲» را به یک منحنی دندانه‌اره‌ای تبدیل خواهد کرد. محل و تعداد نقطه یا نقاط حداقل، پرش‌های رخ‌داده در این منحنی، و نیز شکل کلی کاهشی یا افزایش آن در بخش‌های مختلف بسته به نوع بنا و ساخت‌وساز، ضوابط، و الزامات افزایش ارتفاع به تناسب طبقات مختلف رخ خواهد داد و در نتیجه شکل کلی این منحنی به شکل «ت ۳» خواهد بود[۱۵].

در تحقیقات بعدی نیز، که بر حسب اطلاعات برامده از پروژه‌های اجراشده در هلند بودند، تغییرات هزینه را در

۱۱. نک:
Picken & Ilozor. "The Relationship between Building Height and Construction Costs".

۱۲. نک:
R. Flanagan& G. Norman. "The Relationship between Construction Price and Height".

۱۳. نک:
D.H. Picken & B.D. Ilozor, "Height and Construction Costs of Buildings in HongKong".

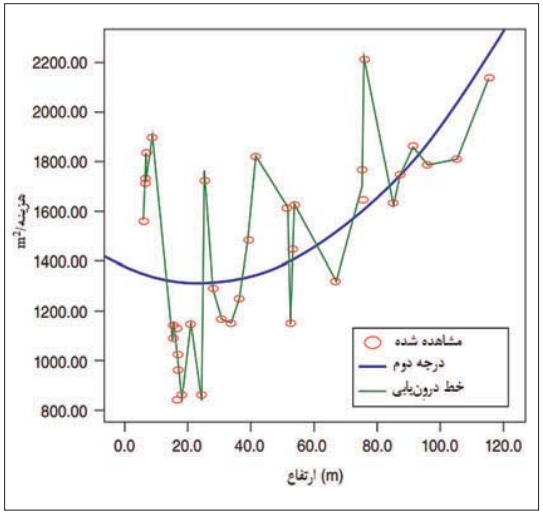
ت ۱ (بالا). رابطهٔ تعداد طبقات و هزینه‌های ساخت (€/m²) – بر اساس داده‌های انگلستان، مأخذ:
Flanagan & Norman. "The Relationship between Construction Price and Height".

ت ۲ (میان). رابطه ارتفاع ساختمان (m) و هزینه‌های ساخت ($/m²) بر اساس داده‌های هنگ‌کنگ، مأخذ:
Picken & Ilozor, "Height and Construction Costs of Buildings in HongKong".

ت ۳ (پایین). رابطه ارتفاع ساختمان (m) و هزینه‌های ساخت ($/m²)، بر اساس داده‌های هنگ کنگ، مأخذ:
Robinson, et al, *Design Economics for the Built Environment: Impact of Sustainability on Project Evaluation*.

سرفصل‌های مختلف نشان دادند که سازه، تأسیسات، و آسانسورها اصلی‌ترین هزینه‌های ناشی از افزایش ارتفاع را به همراه می‌آورند. همچنین در ساختمان‌های بیش از ۸طبقه هزینه‌های مربوط به کارگاه و نما را متناسب ساختمان‌های بلند ارزیابی می‌کنند و افزایش آن را تابعی از افزایش ارتفاع می‌دانند.[۱۶]

تحقیقاتی صورت‌گرفته در شانگهای نیز قابل تأمل هستند. نمودار کلی «ت ۴» رفتاری شبیه به رفتار نمودار فلاناگان و نورمن را نشان می‌دهد. همان‌طور ریزهزینه‌ها به تفکیک ارائه شده‌اند. به این ترتیب با بررسی در داده‌های تجربی مستخرج از داده‌های ساختمان‌های با ارتفاعات مختلف کمتر از ۱۲۰ متر، حداقل هزینهٔ اجزا به نسبت تعداد طبقات، در فونداسیون در ارتفاع حدود ۶۰ متری، در بام در ارتفاع حدود ۶۵ متری، در اجرای طبقات در ۴۰ متری، و در پنجره‌ها و درها در ارتفاع ۵۰ متری رخ می‌دهد (ت ۵). تأسیسات به صورت عمومی تابعی افزایشی و کندشونده با اکسترمم بالا در ۱۰۰ متری دارد که برآمده از تأسیسات الکتریکی با شکل مشابه و اکسترمم بیشینهٔ ۷۸ متری و تابع خطی افزایشی مربوط به لوله‌کشی است.[۱۷]



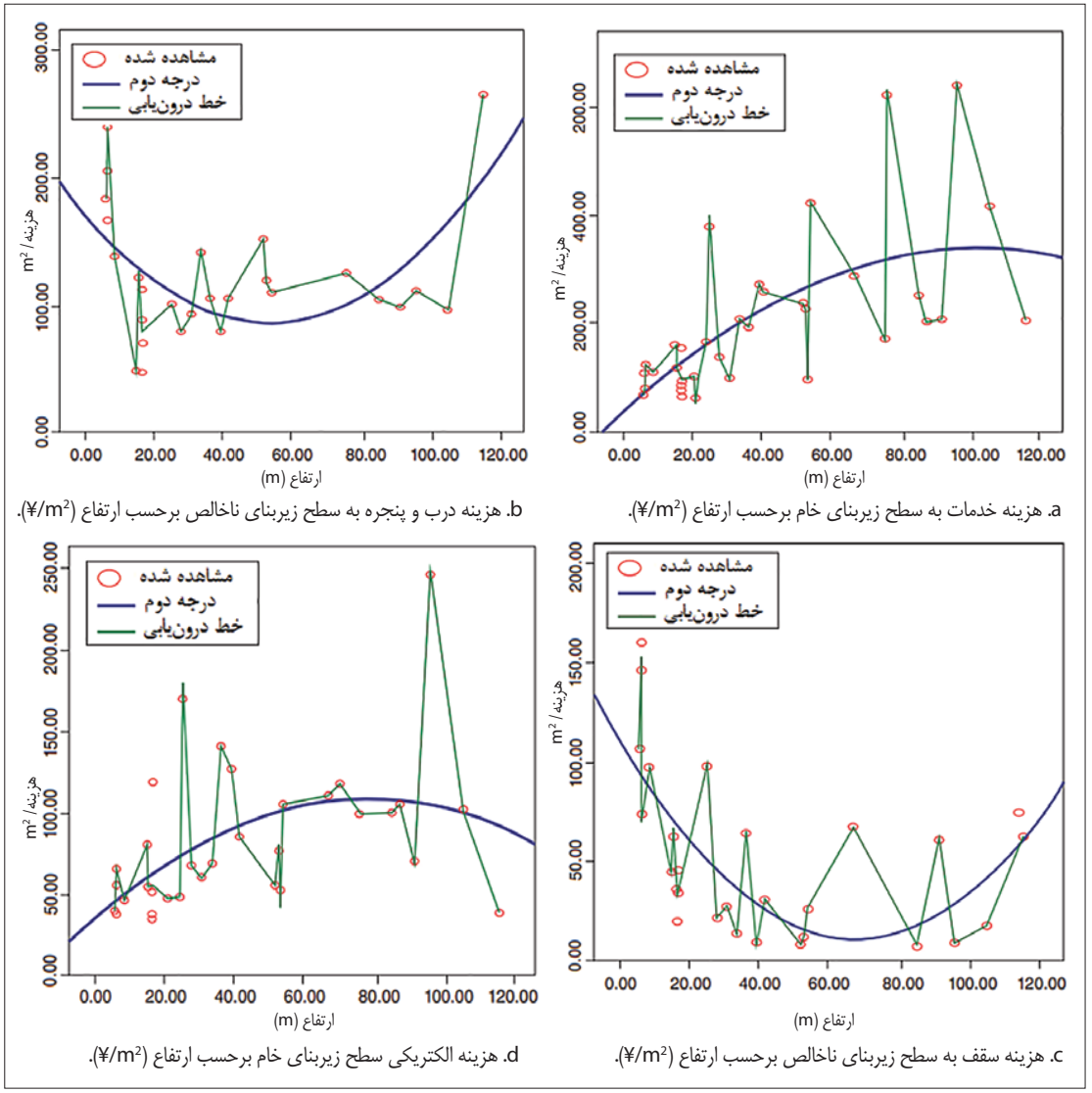
ت ۴. هزینه در سطح زیربنای ناخالص برحسب ارتفاع (¥/m²)، بر اساس داده‌های شانگهای، مأخذ:
Blackman, I.Q. & D.H. Picken, "Height and Construction Costs of Residential High-rise Buildings in Shanghai".

۳. روش‌شناسی بررسی رابطهٔ هزینه و ارتفاع

هزینهٔ ساخت ساختمان‌های بلند به صورت عمومی با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد؛ لیکن می‌توان بخشی از هزینه‌های مازاد را با اطلاع از نقاط بهینهٔ ارتفاعی کاهش داد، و نیز ارزش افزودهٔ دورهٔ بهره‌برداری، نظیر استفاده بهینه از سایت، بهره گیری بیشتر از نور روز، بیشترین استفاده از ظرفیت اجزاء، زیرساخت‌ها و تمهیدات پیش‌بینی‌شده در ساختمان، و نظایر آن، جبران کرد. این مهم مستلزم اطلاع از آن است که تغییرات عوامل هزینه‌ساز به نسبت ارتفاع ساختمان دانسته شود. از این رو شناخت نقاط بحرانی، یعنی نقاطی که ضوابط یا شرایط نیاز به هزینه‌کرد مازادی را پدید می‌آورد، الزامی‌است. مصداق این موضوع، در سازه ارتفاعی است که نیاز به بهره گیری از سیستم‌های سازه‌ای مضاعف، بالأخص برای مهار نیروهای جانبی احساس شود. در راهنمای مبحث ششم مقررات ملی، آخرین ویرایش نسخهٔ چهارم آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ و دیگر استانداردها در مورد پروژه و نقشهٔ بررسی‌شده، این نقاط را به صورت اولیه ۵۰، ۷۰ و ۲۰۰ متر نوشته شده است[۱۸] نقطهٔ بحرانی دیگر نیاز به اجرای آسانسور یا افزایش تعداد آن در طبقات چهارم و هشتم و مطابق معماری و نیاز ساختمان سایر طبقات است. در نمونهٔ مورد بررسی این طبقات وفق آیین‌نامه، مبحث پانزدهم مقررات ملی، و حسب ابعاد در نظر گرفته‌شده، بر اساس محاسبات انجام‌شده آسانسور سوم نیز در تراز ۴۳ طبقه الزامی می‌گردد. نیاز به طبقهٔ تأسیساتی مضاعف با افزایش طبقات به ۲۴، ۳۶، ۴۸ نیز بر حسب مستندات[۱۹] مورد نیاز است. هزینه‌های اجرای تأسیسات اطفای حریق از طبقهٔ دهم به بعد، و نیاز به احداث پلهٔ فرار دوم از تراز ۲۳ متر یا حداکثر ۶ طبقه، و پله فرار سوم از تراز ۱۲۸ متر، همچنین نیاز به احداث هلی‌پد از تراز ۴۵ متر مطابق مقررات آتش‌نشانی باید در محاسبات لحاظ گردد.[۲۰] به‌علاوه هزینه‌های اجرای بام و تولید آب گرم و گرمایش با افزایش ارتفاع کاهش

۱۴. نک: Ibid.
۱۵. نک:
D.W. Chan & M.M. Kumaraswamy, "A Study of the Factors Affecting Construction durations in Hong Kong"; D. Proverbs & G. Holt & P.O. Olomolaiye, "Construction Resource/ Method Factors Influencing Productivity for High Rise Concrete Construction".
۱۶. نک:
P. de Jong, et al, *High Rise Ability*.
۱۷. نک:
I.Q. Blackman & D.H. Picken, "Height and Construction Costs of Residential High-rise Buildings in Shanghai".
۱۸. نک: وزارت راه و شهرسازی. «آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله».
۱۹. نک:
Zeynep Yeşim Ilerisoy, "Construction Costs of Tunnel form Buildings".
۲۰. نک: همو، «مبحث سوم: مقررات ملی ساختمان»

می‌یابد. علاوه بر اثر مساحتی اجرای پله‌های دوم و سوم، اساساً افزایش ارتفاع موجب کاهش مساحت خالص به نسبت کل زیربنا خواهد بود[۲۱]. به این منظور نیاز به انجام برخی تمهیدات ویژهٔ متناسب با شرایط محیطی و سایت و لحاظ کردن ضوابط



a. هزینه خدمات به سطح زیربنای خام برحسب ارتفاع (¥/m²).

b. هزینه درب و پنجره به سطح زیربنای ناخالص برحسب ارتفاع (¥/m²).

c. هزینه سقف به سطح زیربنای ناخالص برحسب ارتفاع (¥/m²).

d. هزینه الکتریکی سطح زیربنای خام برحسب ارتفاع (¥/m²).

۲۱. نک:
Seeley, "Cost Implications of Design Variables".

ت ۵. a تا e
a تا d: هزینه‌های اجرایی به تفکیک بر اساس داده‌های شانگهای، مأخذ: Ibid.

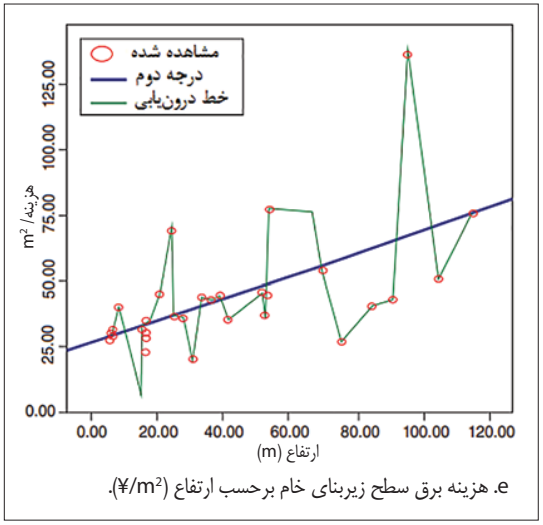
و الزامات محلی نیز باید مد نظر باشد. از این نمونه می‌توان به نیاز تقویت فونداسیون و تجهیز آن به ساختارهای نظیر اجرای شمع یا نظایر آن اشاره کرد.

با توجه به آنکه اطلاعات جامع و مدونی از هزینه‌های ساختمانی و تجربیات زیادی از بناهای بلند و مستندات آن در دست نیست، ناگزیر ترکیبی از فرایندهای پرسش‌نامه، مصاحبه، مشاهده، و تجمیع آماری یافته‌ها برای تدوین داده‌های خام و نیز موارد مؤثر بر هزینه‌های ساخت در بناهای مختلف به کار گرفته شد. سپس به منظور بررسی موضوع رابطهٔ هزینه و ارتفاعْ یک مدل ریاضی مبتنی بر مفروضات برآمده از موارد فوق ساخته شد. این مفروضات که در پی خواهد آمد مواردی چون الزامات اجرایی، قانونی، و سیستم‌های مورد استفاده را در بر می‌گیرد و هزینه‌های اولیه رایج ساخت را بر مبنای آن و متناسب با ارتفاع تعیین‌شده مجدداً محاسبه و در مدل جانشین می‌کند. به این ترتیب هزینهٔ ساخت واحد سطح زیربنای بنایی ثابت به ارتفاع مشخص (از یک تا پنجاه طبقه که تقریباً اکثریت قریب به اتفاق بناهای فعلی رایج در کشور را در بر می‌گیرد) محاسبه خواهد شد.

به منظور بررسی این ترکیب، هزینه‌های ساخت بر حسب عوامل و اثرات آن، وفق منابع و مطالعات، به شرح زیر قابل دسته‌بندی است. در این مجموعه که مبنای محاسبات و بسط مدل پیشنهادی نیز بوده است، کلیات زیربنا ثابت فرض شده، و با مفروضات ساخت یک بنای با سطح اشغال یکسان واحد بنا (و در صورت لزوم تکرار آن برای فراهم آمدن زیربنای کلی برابر در همهٔ گزینه‌ها)، اجزا با توجه به عامل و تأثیر آن لحاظ شده‌اند. طبعاً تغییر هریک از این مفروضات می‌تواند نتایج مدل را تغییر دهد؛ لیکن قاعدتاً خدشهٔ جدی به کلیات آن وارد نخواهد کرد. با این مفروض، هزینه‌ها و عوامل مؤثر بر تغییرات آن‌ها، که در مدل دیده شده است، و فرایند رخدادهای پیش‌بینی‌شده در مدل برای ساختمان(هایی) با سطح اشغال ۴۰۰ متر مربع و نورگیری از چهار سمت، با سیستم ساخت قالب تونلی یا قالب پرنده، به شرح زیر است. لازم به ذکر است محاسبات مربوط به تعداد طبقات روی زمین، برای زمین یکسان با مشخصات خاک قابل بارگذاری برای همهٔ گزینه‌ها، بدون نیاز به تمهیدات فنی ویژه، فرض گردید. همچنین مشخصات فنی اجزایی از فضا، که متأثر از ارتفاع نبوده است، نظیر نوع نازک‌کاری، و ارتفاع کف‌به‌کف طبقاتْ ثابت فرض شده است:

۱. هزینه‌های عمومی‌ساخت و سهم کلی هر بخش از سازه، معماری، تأسیسات برق و مکانیک، و هزینه‌های بالاسری کلی برای هر واحد سطح زیربنای رایجْ مبتنی بر میانگین نظر جامعهٔ نخبگان اخذ شد.

۲. الزامات آیین‌نامه‌ای از حیث ابعاد، فواصل، و آرایش پله‌های فرار و آسانسورها مطابق آخرین ویرایش مباحث سوم و پانزدهم مقررات ملی پیش‌بینی شد. الزامات استفاده از سیستم‌های تأسیساتی، ساختمانی، و تمهیدات لازم حریق، از جمله فضای امن، مقاوم‌سازی در برابر حریق در سازه‌های فلزی، و نیز تغییرات طراحی نظیر تعداد و فواصل پله‌های فرار در محاسبات



e. هزینه برق سطح زیربنای خام برحسب ارتفاع (¥/m²).

ادامهٔ ت ۵.
e: هزینه‌های اجرایی به تفکیک بر اساس داده‌های شانگهای، مأخذ: Ibid.

ت ۶
الف (راست).
خلاصهٔ ملاحظات و الزامات در ترازهای مختلف طبقات
ب (چپ).
روش‌شناسی به کار گرفته‌شده در تحقیق،
طرح: نگارندگان.

وفق مبحث سوم مقررات ملی و مصوبات آتش‌نشانی و نشریهٔ ۶۸۲ رعایت گردیده است.

۳. مساحت داکت‌های تأسیساتی و ابعاد حدودی اجزای سازه‌ای، از جمله فونداسیون و تیرها و سقف‌ها و ستون‌ها، و تمهیدات لازم برای مهار نیروهای جانبی متناسب با محاسبات تخمینی و نیز الزامات مقررات ملی و آیین‌نامه‌های جاری نظیر آخرین ویرایش آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰، با افزایش طبقات محاسبه و لحاظ گردیده است.

۴. سیستم تأسیسات و سازه و نیز سیستم‌های ساختمانی، اعم از تیغه‌چینی و نازک‌کاری و نظایر آن، در تعداد طبقات مختلف یکسان فرض شده است. فضای تأسیساتی لازم در طبقات در مدل لحاظ شده است.

۵. پیش‌بینی‌های مرتبط با تجهیز کارگاه و الزامات ساخت، نظیر لزوم بهره گیری از تاورکرین، ترجیح به استفاده از سیستم‌های بالابرهای صنعتی، و نیز هزینه‌های مستند ناشی از افزایش ارتفاع نظیر افزایش ضریب طبقات در محاسبهٔ قیمت تمام‌شدهٔ اجزای مرتبط لحاظ شده است.

۶. هزینه‌های ناشی از خدمات مهندسی وفق فهارس و ضرایب موجود سازمان برنامه و بودجه و دیگر ارکان تعیین حق‌الزحمهٔ خدمات مهندسی در مدل پیش‌بینی و لحاظ شده است.

۷. افزایش هزینه‌های ناشی از افزایش زمان، از جمله هزینه‌های جاری کارگاه و هزینه‌های وابسته به زمان، در محاسبات اعمال شده است.

۸. کیفیت کلی بنا در ارتفاعات مختلف یکسان فرض شده است؛ لیکن هزینه‌های کیفی در اجزایی (نظیر پنجره‌ها یا جزئیات اجرایی نمای ساختمان) که، به دلیل افزایش ارتفاع، مستلزم تغییراتی در مشخصات فنی باشند، در مدل لحاظ شده است.

این ملاحظات به صورت خلاصه در «ت ۶ـ الف» و روش کلی پژوهش در نمودار «ت ۶ـ ب» ارائه شده است.

این تغییرات در مدل‌سازی لحاظ می‌گردد، که شرح آن در ادامه ذکر خواهد شد. سپس مقادیر حاصله برای محاسبهٔ هزینهٔ هر بخش استفاده می شود. نحوهٔ استخراج ارقام برای بهره‌گیری در مدل، با تکیه بر تجربیات تحقیقات قبلی، مبتنی بر ترکیبی از موارد زیر است:

۱. استعلام قیمت تمام‌شدهٔ ساختمان به صورت کلی و یا بخش‌های اصلی آن از پیمانکاران و مجریان ساختمانی— در این روش تعداد زیادی از ساختمان‌های در ارتفاع‌های مختلف— باید بررسی شوند و درنهایت رابطهٔ هزینه‌های ساخت و ارتفاع ساختمان از این اطلاعات به دست بیاید. این روش در تحقیقاتی نظیر مطالعهٔ هلند[۲۲] و شانگهای[۲۳] به کار رفته است که مفروض بر اصالت استعلام از مجریان و نیز قیمت واحد تمام‌شده و تبیین آماری آن بوده است. در تحقیق حاضر، این بخش با استعلام اطلاعات محلی موجود در خصوص کلیات برای کنترل هزینه‌کردهای کلان، و نیز به صورت آیتمی و یا جزئی برای محاسبهٔ هزینه‌های مربوطه استفاده و در مدل اعمال شده است.

۲. مدل‌سازی ساختمان در نرم‌افزارهای محاسباتی— در این روش بعد از مدل‌سازی ساختمان و انجام محاسبات سازه‌ای و تأسیساتی، متره، و برآورد— به روش مرسوم دفاتر مشاور صورت می‌گیرد و هزینه‌های ساخت یک ساختمان در ارتفاع‌های مختلف و تعداد طبقات متفاوت بررسی می‌شود. این روش در مطالعات مدل‌سازی بوده است[۲۴] که با مفروض قراردادن پاره‌ای از اطلاعات و تغییر مقادیر به صورت حدسیات منتج از تفسیر منحنی‌های پیش‌بینی در بازه‌های چندطبقه‌ای بررسی شده است. تفاوت تحقیق حاضر با تحقیقات قبلی در این بخش محاسبهٔ کامل این تغییرات، تغییرات پارامتریک دقیق و جامع، استفاده از مرجع استعلامات هزینهٔ کامل، و محاسبهٔ تک‌تک طبقات با تغییرات جزئی و کلان در هر مرحله، به واسطهٔ امکان پارامتریک مدل، است.

۲۲. نک:
de Jong, ibid.

۲۳. نک:
Blackman & Picken, ibid.

۲۴. نک:
Picken, D.H. and B.D. Ilozor, ibid; Chan & Kumaraswamy, ibid; D. Proverbs & G. Holt & P.O. Olomolaiye, ibid.

۴. شیوه مدل‌سازی و شرح کارکرد آن

در این پژوهش، مدل‌سازی رایانه‌ای در نرم‌افزار Revit نسخهٔ ۲۰۱۸ انجام گرفت. با این نرم‌افزار که در دسته نرم‌افزارهای BIM است، همهٔ اطلاعات مربوط به ساختمان به صورت ابژه[۲۵] دسته‌بندی می‌شود و می‌توان با استفاده از این ابزار و نیز با بهره‌گیری از افزونه‌های مربوط به آن، همهٔ اجزای ساختمان (که متناسب با ضوابط به صورت پارامتریک تغییر می‌کند) و تبعاً جزئیات مترتب بر آن را ورودی در نظر گرفت، همچنین اطلاعات بسیاری، از جمله مترهٔ احجام کار را، بدون محاسبات وقت گیر و زمان‌بر، به‌موازات مدل‌سازی، خروجی دانست. جداول متره و برآورد از همین نرم‌افزار استخراج شدند. به دلیل تدقیق اطلاعات برآوردشده، داده‌های مربوط به هزینه‌های ساخت نیز از طریق سه روش اخذ از فهرست بهای سال ۹۶، استعلام از بازارهای مربوطه، و همچنین مصاحبه با خبرگان و پیمانکاران ساختمانی جمع‌آوری شد. ورودی این مدل‌سازی طراحی کامل و با جزئیات ساختمان‌های مورد بررسی بود که با بهره گیری از افزونه‌هایی نظیر دایناموِ امکان ایجاد تغییرات پارامتریک متناظر نقاط تغییر تعریف‌شدهٔ مندرج در «ت ۶» و تکرار محاسبات متناسب آن فراهم می‌گردد. خروجی این روش کلیهٔ جداول مقادیر مورد نیاز متره و برآورد در لایه‌های مورد نظر و سرفصل‌های مورد بررسی بودند. لازم به ذکر است که این نرم‌افزار و این نوع مدل‌سازی از معتبرترین روش‌های مدل‌سازی در مطالعات است که ارجاعات فراوانی به اعتبار آن نیز در تحقیقات قبلی وجود دارد[۲۶]. ورودی‌های این مدل شامل شبیه‌سازی اجزای ساختمان به تفصیل یادشده در هر طبقه و اعمال تغییرات متناسب با افزایش تعداد طبقات در سیستم‌های سازه و تأسیسات و نیز معماری، قیمت‌های روز بازار، مشخصات مصالح مورد استفاده، و موقعیت جغرافیایی محل طراحی است. به این ترتیب فرایند مدل‌سازی در نرم‌افزارهای BIM به صورت مجزا و در سه بخش اصلی سازه، تأسیسات، و معماری صورت می‌گیرد. همهٔ عناصر معماری با جزئیات کامل مدل‌سازی شدند. در بخش سازه سرفصل‌های هزینهٔ برِ اصلی، نظیر فولاد مصرفی، و بتن، اعم از قالب و مصالح و اجرا، به صورت کامل و با جزئیات مدل‌سازی و دستمزدها و هزینه‌ها با اطلاعات پیش‌گفته محاسبه شد. به این منظور محاسبات ابعادی تخمینی سازه با افزایش هر طبقه تکرار و در محاسبات لحاظ شد. به دلیل حساسیت بیشتر فاکتور هزینهٔ سازه نسبت به قیمت فولاد، آرماتورگذاری سازهٔ بتنی به‌موازات از طریق مصاحبه با خبرگان و مبتنی بر تجربیات ساخت‌وساز ایشان در پروژه‌های مشابه در نرم‌افزار اکسل مدل‌سازی عددی شد و عدد میانگین دو رقم فوق به منظور کاهش مقدار خطای تخمین با عنوان هزینه لحاظ شد.

در بخش تأسیسات نیز صرفاً لوازم بهداشتی و مبلمان الکتریکی (نظیر روشویی‌ها و چراغ‌ها) مدل‌سازی و متره شد و از مدل‌سازی تأسیسات مکانیکی و الکتریکی صرف نظر شد؛ لیکن، به دلیل تخمین دقیق‌تر، با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده، از واحد هزینهٔ فصول فهرست بها در پروژه‌های مشابه در واحد سطح، مدل‌سازی تأسیسات مکانیکی و الکتریکی (نظیر لوله‌های فاضلاب، آب و برق، و...) طی مصاحبه با خبرگان و استعلام ارقام فوق از پروژه‌های مشابه در نرم‌افزار اکسل مدل‌سازی عددی گردید. برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از این بخش نیز پاسخ‌ها از ۲ روش زیر بررسی شدند:

۱. استعلام از پیمانکاران خبره (۴ پیمانکار در زمینهٔ انبوه‌سازی با روش‌های صنعتی)،

۲. مصاحبه با خبرگان (در زمینه‌های سازه، معماری، و تأسیسات).

مضافاً اینکه پس از حصول نتایج یادشده و مقایسهٔ یافته‌ها با دو مورد اخیر، بعضاً طی مصاحبه با خبرگان مجدداً کنترل شد تا نهایتاً اطمینان دقت محاسبات حاصل گردید. لازم به توضیح است اختلاف یافته‌ها از داده‌های مستند کمتر از ۱۰٪ بود که از نظر دقت و اعتبار قابل قبول است.

25. Object

۲۶. نک:
D.E. Parker, *Parametric Cost Modeling for Buildings*.

۵. نتایج

با انجام مدل‌سازی رایانه‌ای، بر مبنای روش و مفروضات فوق، نتایج محاسبات برای دو بخش زیربنای خالص و ناخالص محاسبه شد. محاسبه در دو بخش انجام پذیرفت. ابتدا با تثبیت مفروضات طراحی، به نحوی که، با فرض ثابت بودن پلان در همهٔ گزینه‌ها، افزایش ارتفاع به اعمال تغییرات در ساختمان نیاز نشود، منحنی کلی محاسبه شد (ت ۷).

بررسی رگرسیون معادله توانی فوق، که در کرانه‌ها و به‌ویژه کرانهٔ پایین تطابق کمتری دارد، نشان می‌دهد تطابق قابل قبولی بین معادلهٔ پیشنهادی (رابطهٔ ۱) و محاسبات وجود دارد ($R^2 = 0.9136$) و می‌توان آن را جانشین تفسیر رابطهٔ دو پارامتر ارتفاع و هزینه کرد.

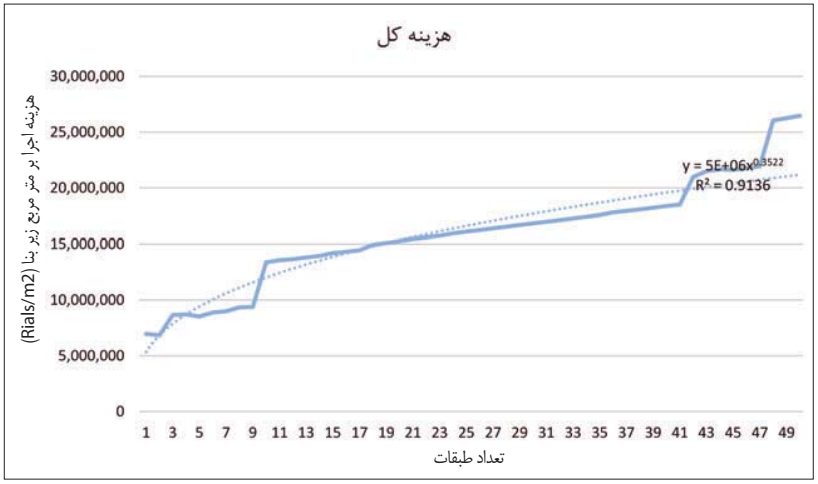
رابطهٔ ۱: $y = 5E+06x^{0.3522}$

از سوی دیگر، عدم تطابق منحنی با توجه به فاصله از محدوده انحراف از معیار در هر نقطه نشان می‌دهد بازنگری و جزئی‌نگری دقیق‌تری در محدوده‌های تغییر رابطه (نقاط اکسترمم و گسست‌ها) وجود دارد. به این مفهوم که حد فاصل ۱ تا ۱۱ طبقه و حد فاصل ۳۹ تا ۵۰ طبقه نیازمند جزئی‌نگری‌های بیشتری است.

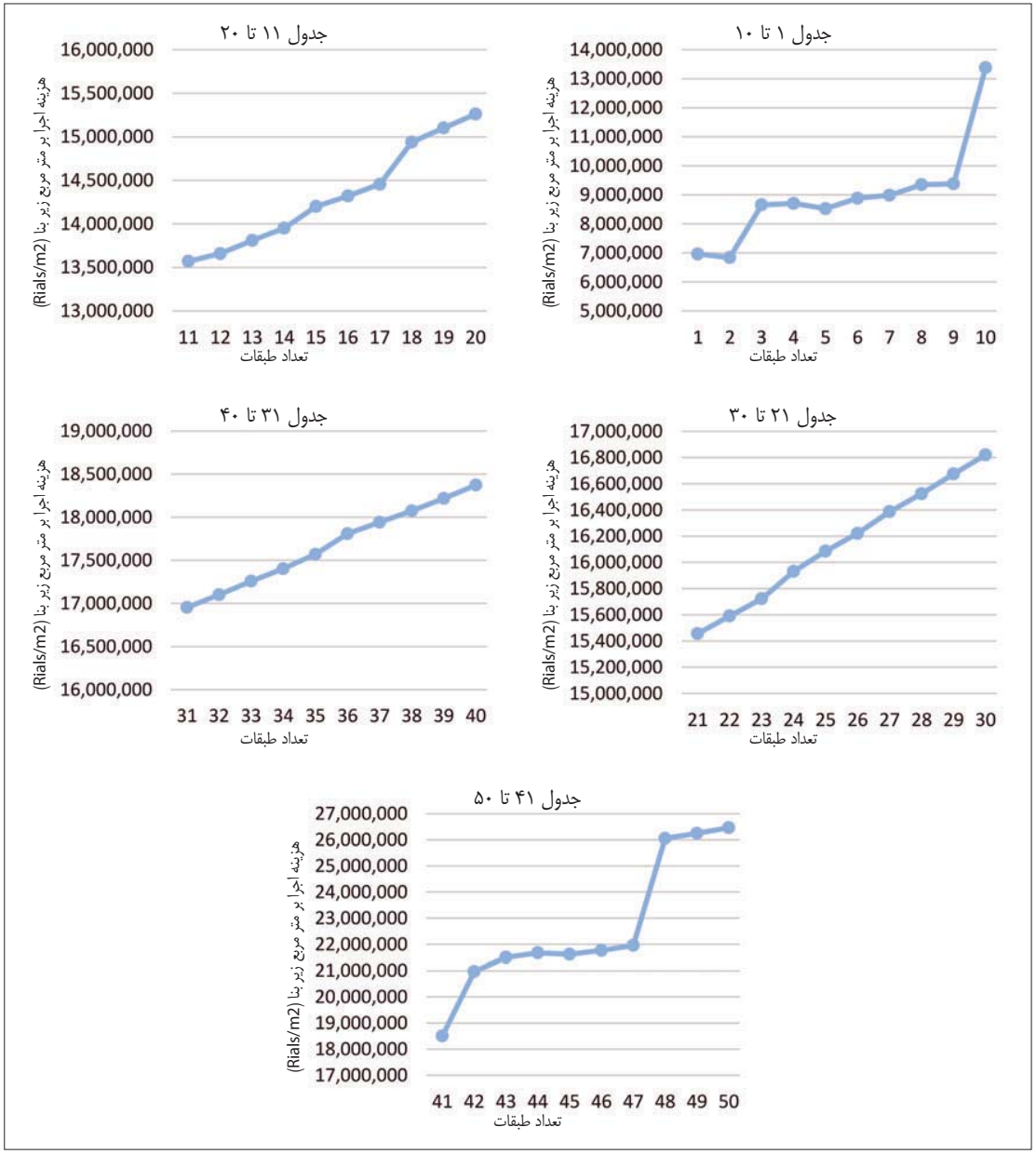
ملاحظه می‌شود چنان‌که در ادبیات موضوع نیز اشاره شد، می‌توان طبقات را از منظر هزینه دسته‌بندی کرد. به بیان دیگر ساختمان‌ها را می‌توان از بعد اقتصادی واجد بازه‌های ارتفاعی دانست که تغییرات هزینهٔ ساخت واحد سطح در آنها رفتار مشابهی دارد. اما، با تغییر بازه‌ها، این مقدار با تغییراتی مواجه خواهد شد.

ابتدا برای توضیح بیشتر نمودار «ت ۷» بازه‌های کوچک‌تری از همان رابطه در «ت ۸» ارائه می‌گردد. درصد تغییرات هزینه‌ها به شکل «ت ۹» قابل ارائه هستند. ۱طبقه روی پیلوت مبنای محاسبهٔ درصد قرار گرفته است.

در بازه ۱ تا ۱۰ طبقه از تراز ۱ به ۲ و همین‌طور از تراز ۴ به ۵ طبقه، به دلیل آنکه عامل مؤثر بر افزایش هزینهٔ خاصی وجود ندارد ولی زیربنای کل و مفید افزایش می‌یابد، هزینه‌ها کاهش می‌یابند. بر اساس مبحث ۳ و ۱۵ مقررات ملی ویرایش سال ۹۲ و طبق بند ۳-۱-۱۰-۲-۱۰ و ۱۵-۲-۱-۲، در تراز ۳طبقه جهشی ۲۶٫۱درصدی رخ می‌دهد که به دلیل اضافه شدن آسانسور و برق اضطراری است. در تراز ۵طبقه با توجه به مبحث ۳ مقررات ملی ویرایش ۹۵ بند ۳-۶-۱۱-۲-۴ یک جعبه پله به مجموعه اضافه می‌گردد. مبحث ۱۵ مقررات ملی بند ۱۵-۲-۱-۳ در تراز ۸طبقه آسانسور دوم را به طرح می‌افزاید. بر اساس مبحث ۳ مقررات ملی ویرایش ۹۵ و طبق بند ۳-۱۰-۳، در تراز ۳۰ متر (که در پروژه بررسی شده معادل ۱۰ طبقه است) کل ساختمان باید مجهز به اسپرینکلر گردد. این تغییر ۵۷٫۴۲٪ به هزینه‌ها اضافه می‌کند. تغییرات جدی در بازهٔ ۱۱ تا ۲۰طبقه، بر اساس ضوابط آتش‌نشانی، در تراز ۱۵طبقه به دلیل اضافه شدن هلی‌پد و بر اساس آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ بند ۳-۳-۵ در تراز ۵۰ متر (که در پروژهٔ بررسی‌شده معادل ۱۸طبقه است) طبقه به دلیل تغییر سیستم سازه‌ای، یعنی دوگانه شدن آن رخ می‌دهد. در بازهٔ ۲۱ تا ۳۰طبقه جهش هزینه‌ای وجود ندارد. تنها تغییرات

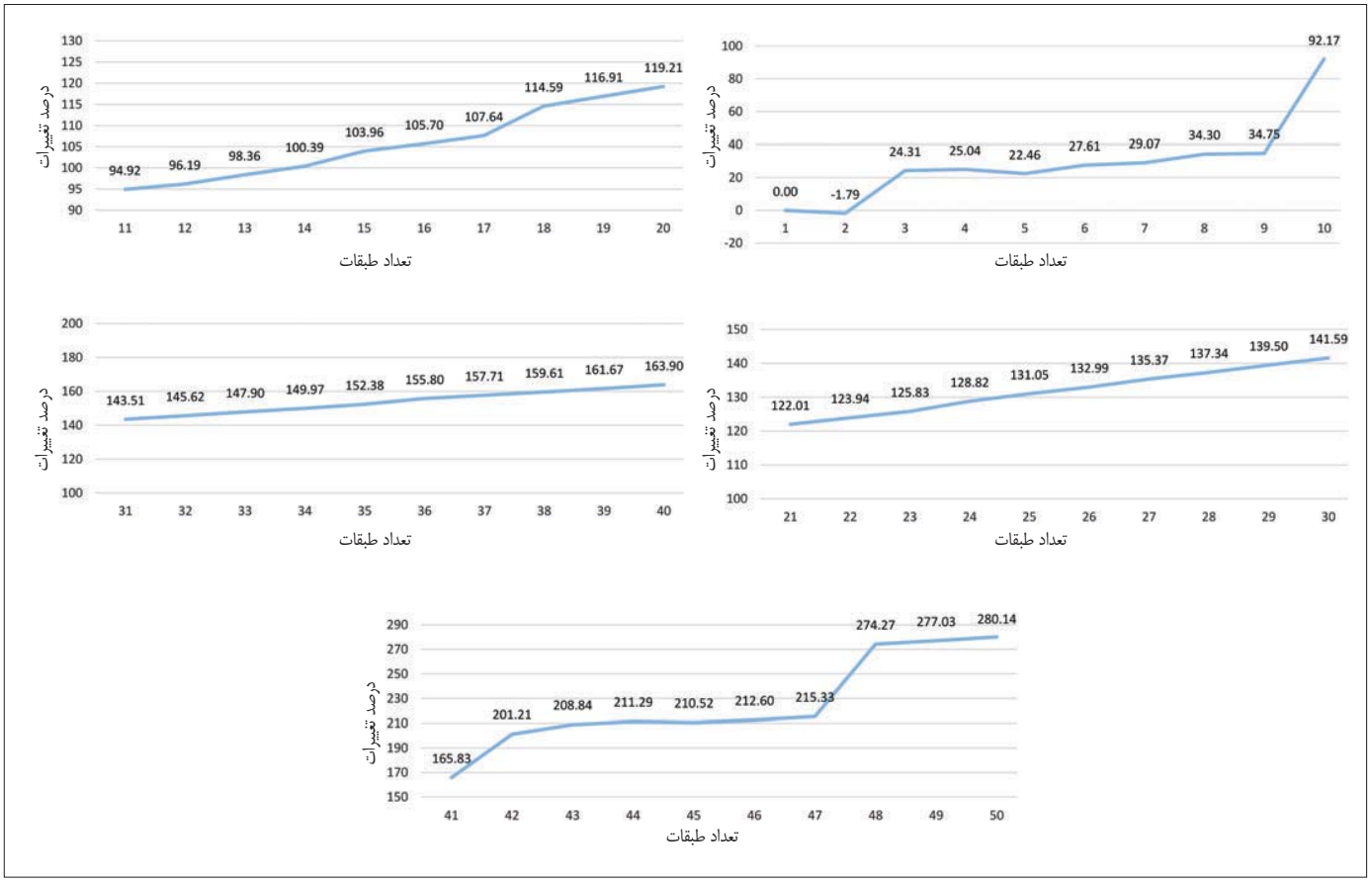


ت ۷. نمودار به‌دست‌آمده از مدل‌سازی رایانه‌ای— رابطه میان تعداد طبقات و هزینه‌های اجرا بر متر مربع، طرح: نگارندگان.



ت ۸. نمودارهای رابطهٔ ارتفاع ساختمان و هزینه‌های ساخت در بازه‌های ۱۰طبقه، طرح: نگارندگان.

مهم این بازه در ۲۴طبقه به دلیل اضافه شدن طبقه تأسیساتی (طبق محاسبات، مشاوره، و مقالات) و در ۲۵طبقه به دلیل تغییر سیستم سازه‌ای (آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ بند ۳-۳-۵) رخ می‌دهد. در بازهٔ ۳۱ تا ۴۰طبقه تغییر قابل توجهی رخ نمی‌دهد و تنها در ۳۶طبقه یک طبقهٔ تأسیساتی به مجموعه اضافه می‌گردد. تغییرات در بازهٔ ۴۱ تا ۵۰طبقه قابل توجه است. طبق محاسبات، در تراز ۴۲طبقه به دلیل تغییرات ابعاد سازه و همین‌طور اضافه شدن طبقهٔ تأسیساتی، جهشی ۳۵/۳۸درصدی رخ می‌دهد. بر اساس مبحث ۳ مقررات ملی ساختمان ویرایش ۹۵ و طبق بند ۳-۱۰-۵-۲ در تراز ۱۲۸ متر (که در پروژهٔ بررسی‌شده معادل ۴۳طبقه است)، به دلیل اضافه شدن یک جعبه‌پله، ۷/۶۳٪ افزایش هزینه ایجاد می‌شود. در تراز ۴۸طبقه نیز، به دلیل تغییرات عمدهٔ ابعاد و الزامات سازه‌ای، جهشی ۵۸/۹۴ درصدی رخ خواهد داد. درصد تغییرات در قالب یک نمودار در «ت ۱۰» ارائه می‌گردد. طبیعتاً مدل یادشده در حد تطابق‌پذیری با مدل‌های مشابه تعمیم‌پذیری دارد و در صورت اعمال تغییرات عمده یا تغییر سیستم و یا



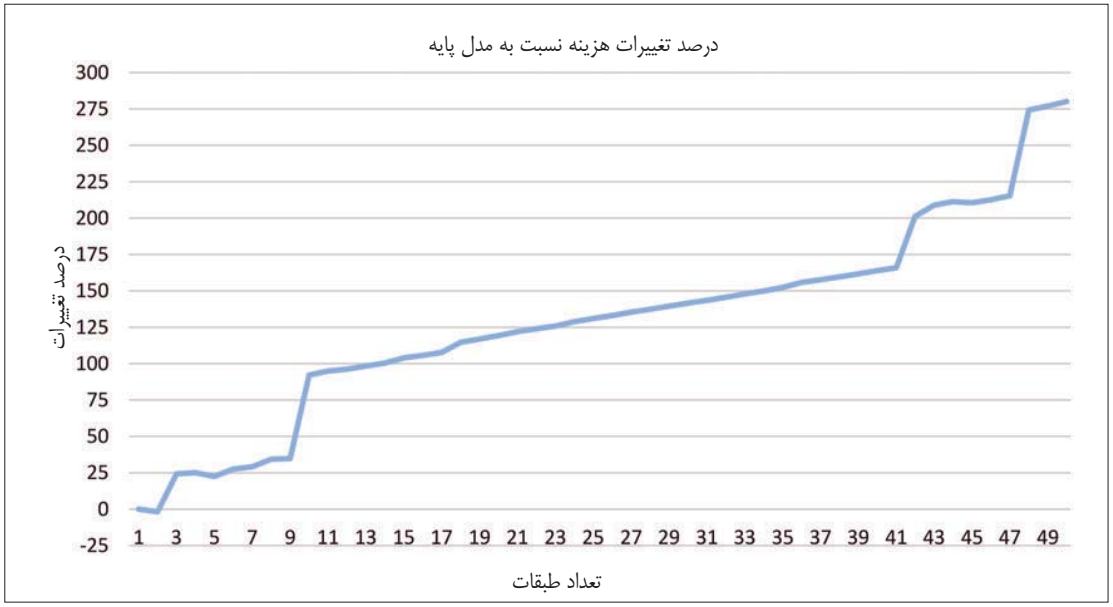
ت ۹. رابطهٔ بین تعداد طبقات و درصد تغییرات هزینه‌های اجرا در بازه‌های ۱۰طبقه،
طرح: نگارندگان.

مشخصاتی نظیر ارتفاع کف‌به‌کف پروژه یا نظایر آن، نتایج باید به‌روزرسانی و بازنگری شود، اگرچه در اغلب موارد تغییرات شکلی مشابهی مورد انتظار است.

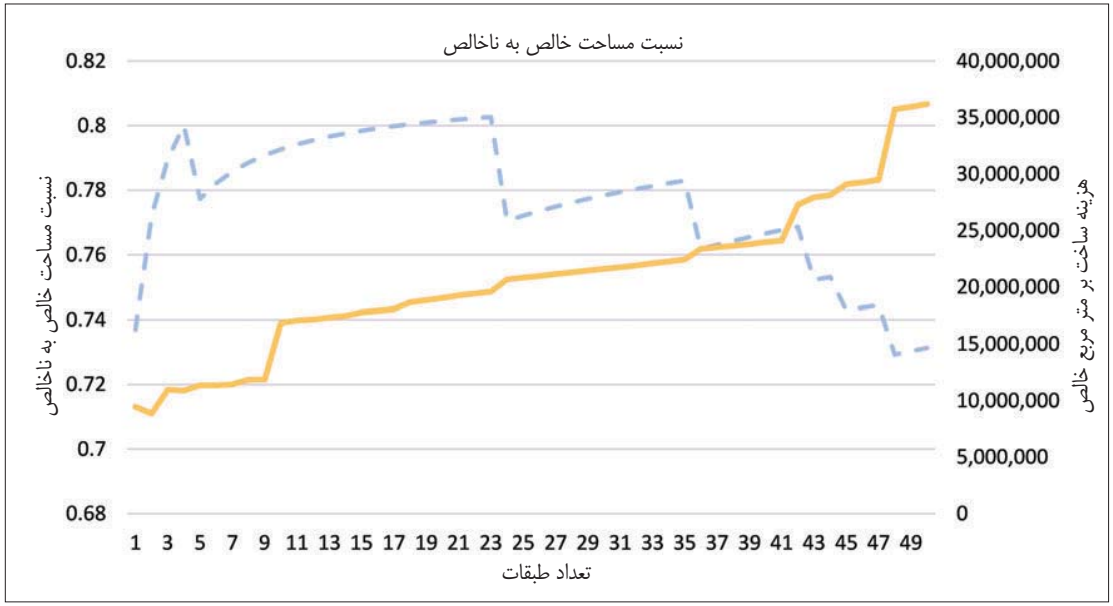
البته زمانی تحلیل هزینهٔ یک ساختمان دقیق‌تر خواهد بود که علاوه بر هزینهٔ ساخت بنا، به هزینهٔ ساخت زیربنای خالص قابل بهره‌برداری نیز توجه شود. به بیان دیگر نسبت فضای خالص به ناخالص عامل تعیین‌کننده‌ای در تشخیص تعداد طبقات بهینه خواهد بود. از آنجا که افزایش طبقات در برخی مقاطع موجب کاهش فضای ناخالص خواهد بود (خط‌چین در «ت ۱۱»)، اعمال این موضوع در هزینه‌های ساخت، و به بیان دیگر محاسبهٔ هزینهٔ تمام‌شدهٔ فضای خالص بیان دقیق‌تری از موضوع به همراه خواهد داشت (ت ۱۱). با ذکر این نکته که تعداد طبقات پارکینگ و زیرزمین‌های احتمالی در این طرح لحاظ نشده است. ملاحظه می‌شود که علت اصلی افزایش هزینهٔ فضای خالص قابل بهره‌برداری در برخی طبقات، بالأخص طبقات ۶ و ۲۴، کاهش نسبت یادشده است.

موضوع قابل توجه دیگر آن است که بیشترین تأثیر در روند تغییرات را به‌ترتیب به سازه و تأسیسات اختصاص دارد. «ت ۱۲» نشان می‌دهد که در بخش تأسیسات در محدودهٔ تغییرات ۲طبقه به ۳طبقه و ۹طبقه به ۱۰طبقه به‌ترتیب ۲۸۹٫۵٪ و ۱۴۸٪ افزایش هزینه اعمال می‌شود. این تغیرات در بخش سازه حد فاصل طبقات یک تا ۴۰ تقریباً با شیب یکنواختی افزایش می‌یابد ولی مطابق آیین‌نامهٔ طراحی سازه مورد بررسی در تراز ۴۲طبقه و نیز مطابق آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ در تراز ۴۷طبقه به‌ترتیب ۴۹٫۳ و ۵۶٫۲۵٪ افزایش هزینه خواهد داشت. افزایش هزینه ناشی از بخش معماری در طول کل پروژه نسبتاً ثابت است که عمدتاً ناشی از ضریب طبقات مندرج در فهارس آحاد بها و عرف هزینه‌های اجرا است.

چنان‌که پیشتر نیز ذکر شد، برای اعتبارسنجی نتایج، علاوه بر روش‌های به کار برده‌شده، یعنی استعلام قیمت از خبرگان در زمینه‌های پیمانکاری کل بنا، برق، تأسیسات مکانیکی، معماری،



ت ۱۰ (بالا). درصد تغییرات هزینه‌های اجرا در هر طبقه نسبت به مدل پایه، طرح: نگارندگان.

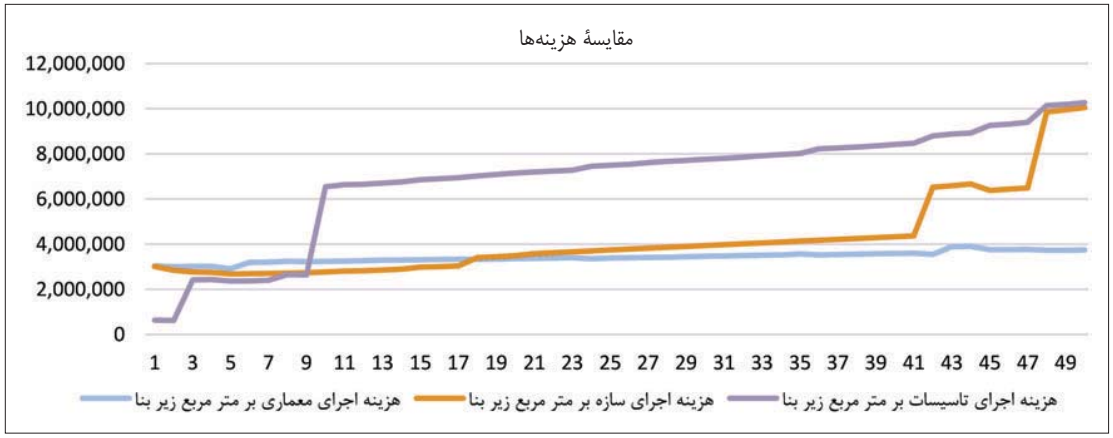


و سازه، روش‌های زیر مد نظر قرار گرفت:

۱. مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با تجربهٔ پروژه‌های مشابه و نیز تطابق کلیات آن با مدل‌های مطالعات قبلی[۲۷]

۲. مقایسهٔ موردی با استعلام آیتم‌های کاری از بازار به صورت تصادفی

۳. حصول اطمینان از اینکه بازهٔ اختلاف نتایج نسبت به متغیر مستقل در مقایسه با ارقام واقعی کمتر از ۱۵٪ و درنتیجه مدل مورد اطمینان بوده است.



ت ۱۱ (بالا). نسبت مساحت خالص به ناخالص (خطچین) و هزینهٔ ساخت متر مربع فضای خالص (خط) برای تعداد طبقات مختلف مدل‌سازی،
طرح: نگارندگان.

ت ۱۲ (پایین). مقایسهٔ هزینه‌های سازه، تأسیسات و معماری در ترازهای ارتفاعی ۱ تا ۵۰طبقه،
طرح: نگارندگان.

۲۷. نظیر Flanagan & Norman. "The Relationship between Construction Price and Height"; Robinson, et al, *Design Economics for the Built Environment: Impact of Sustainability on Project Evaluation*

۶. جمع‌بندی

اهمیت موضوع «هزینه» در صنعت ساختمان، و نقش تعیین‌کنندهٔ آن در کیفیت، کمیت، رونق، و روش‌های مورد استفاده در این صنعت همواره یک فعالیت اقتصادی مورد توجه افراد مرتبط با این حوزه بوده است. سهم قابل توجه هزینهٔ مسکن و ارزش اقتصادی ساختمان در اقتصاد کشور همواره آن را همچون کالایی شناسانده است که گرچه عرضه و تقاضای آن افت‌وخیزهایی داشته است، اما اکثریت قریب به اتفاق این افت‌وخیزها هم منبعث از عوامل اقتصادی و سوددهی این سرمایه‌گذاری بوده است. از سوی دیگر، طرح‌های گسترده و سیاست‌های مختلف دولت برای تأمین مسکن مورد نیاز، طرح‌های جامع شهری، و سیاست‌گذاری‌های کلان، و به‌ویژه نیاز به ایجاد و توسعهٔ شهرها و شهرک‌های جدید و بازسازی بافت‌های فرسوده، در کنار ضوابط تراکم و ارتفاع ساختمان‌ها، مطالعه در این زمینه را الزامی می‌کند. بالأخص اینکه مطالعات دیگری نیز نشان می‌دهد که به شرط حفظ تراکم، کاهش سطح اشغال بناها و افزایش ارتفاع آن‌ها از منظر رعایت اصول پایداری و کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه فرصت ایجاد فضاهای سبز، کارساز است. به همین دلیل، تصمیم به تعیین ارتفاع اقتصادی ساختمان‌ها، و به‌ویژه در مقیاس کلان، نظیر تصمیم‌گیری‌ها در مورد ساختمان‌های ارزان‌قیمت و انبوه‌سازی‌های وسیع، می‌تواند تحقق‌پذیری پروژه‌ها را از بعد اقتصادی تعیین کند.

از این رو تعیین تعداد طبقات ساختمان، به‌ویژه در مقیاس انبوه‌سازی، عامل تعیین‌کننده‌ای از منظر اقتصادی خواهد بود و طبعاً تصمیم‌گیری در این خصوص را دقیق خواهد کرد، گرچه عوامل مؤثر بر هزینه متعدد است و مواردی چون کیفیت ساخت، نوع سازه، محل و مشخصات سایت، سطح اشغال هر بلوک، تعداد زیرزمین‌ها، نوع خاک، دسترسی‌ها و زیرساخت‌ها، تعداد و تکرار، و نظایر آن علاوه بر ارتفاع ساختمان به‌شدت در هزینهٔ واحد سطح ساخت‌وساز تأثیر می‌گذارند.

باید توجه داشت که مقیاس انجام پروژه بسیار مؤثر است. حساسیت تصمیمات در مقیاس کلان به‌مراتب بیش از تصمیم در تک‌بنا معنی‌دار است و از این رو حاصل این تحقیق عمدتاً در پروژه‌های کلان و برنامه ریزی‌ها قابل استفاده است. به طور مصداقی، تغییرات ناشی از افزایش طبقات (ت ۱۰) باید هم‌زمان با بررسی اثرات تکرار و افزایش حجم کار (و در کنار نمودارهای «ت ۲ و ۳») لحاظ شود. مشخصاً نسبت افت هزینه‌های ساختمانی گروه دوم و سوم، یعنی آن دسته هزینه‌ها که با افزایش ارتفاع کاهش می یابند[۲۸]، و یا رابطه‌ای با ارتفاع ندارند، با افزایش تعداد ساختمان‌ها در پروژه‌های انبوه‌سازی کاهش چشمگیرتری در پی خواهد داشت. در تصدیق این امر، تقسیم سادهٔ یک مساحت هدف در چنین پروژه‌هایی به تغییرات هزینهٔ یک بلوک منحنی تغییرات ملموس‌تری ایجاد خواهد کرد.

در این پژوهش، علاوه بر آنکه یک رابطهٔ ریاضی بین تعداد طبقات و هزینهٔ ساخت تبیین شد، نشان داد که اولاً دامنهٔ تغییرات هزینه بر اثر افزایش ارتفاع در ۱ تا ۱۱ طبقه و ۳۹ تا ۵۰ طبقه بیشتر از سایر بخش‌ها است و بنا بر این تصمیم‌گیری‌ها در این محدوده، از جمله تعیین ارتفاع طبقات، حساس‌تر است. به‌علاوه تأثیر سازه و تأسیسات به‌ترتیب بیش از افزایش هزینه‌های اجرایی در بخش معماری است. همچنین این تغییرات در ۲ تا ۳ طبقه و ۹ تا ۱۱ طبقه و نیز به ازای هر ۱۶ تا ۱۸ طبقه افزایش، عمدتاً ناشی از تغییرات هزینهٔ اجرایی و تجهیز تأسیسات، و در ۴۳ تا ۴۵ طبقه و نیز ۴۷ تا ۴۹ طبقه عمدتاً ناشی از سازه است. پاسخ‌گویی به ضوابط حریق نیز در طبقات ۶ و ۹ و ۱۵ و ۳۹ تا ۴۲ طبقه (۱۲۸ متر ارتفاع)، تأثیر هزینه‌ای قابل توجهی خواهد داشت. این موضوع در ساختمان‌های رایج در ۶ و ۹ طبقه ملموس‌تر است.

نهایتاً باید اشاره داشت که لازم است در مطالعات بعدی موضوع در سطوح اشغال مختلف بررسی شود. همچنین تأثیر هزینه‌های زیرساخت، و قیمت زمین به مثابهٔ عامل مؤثر، همچنین تأثیرات زیست‌محیطی و اقلیمی در مقیاس مرتبط، نظیر تأثیر بر رژیم جریان باد، دره‌های شهری، مصرف انرژی،

۲۸. مطابق دسته‌بندی Picken & Ilzor, "The Relationship between Building Height and Construction Costs".

و نظایر آن باید بررسی شود تا علاوه بر موارد فوق، دیگر وجوه اقتصادی در دورهٔ ساخت و بهره‌برداری، اثرات کربن و انرژی نهان نیز ملاحظه و متناسباً معیار تصمیم‌گیری جامع‌تری گردد.

منابع و مآخذ

وزارت راه و شهرسازی. «آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله»، در *استاندارد ۲۸۰۰*، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات راه، مسکن، شهرسازی: کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۹۴.

ـــــــ . «مبحث سوم: مقررات ملی ساختمان»، در *حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق*، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات راه، مسکن، شهرسازی: دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۵.

زاریان، حسام‌الدین، *رابطه ارتفاع ساختمان و هزینه‌های ساخت ساختمان‌های مسکونی ۱ تا ۵۰ طبقه*، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد رشتهٔ فناوری معماری گرایش ساخت، استادان راهنما: دکتر محمدرضا حافظی و دکتر محمد تحصیلدوست، دی ۱۳۹۷.

Bathurst, P.E. & D.A. Butler. *Building Cost Control Techniques and Economics*, Heinemann Educational Books, 1973.

Blackman, I.Q. & D.H. Picken, "Height and Construction Costs of Residential High-rise Buildings in Shanghai", in *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(11) (2010), pp. 1169-1180.

Cartlidge, D.P. *Cost Planning and Building Economics*,Hutchinson Educational, 1973.

Chan, D.W. & M.M. Kumaraswamy. "A Study of the Factors Affecting Construction durations in Hong Kong", in *Construction Management and Economics*, 13(4) (1995), pp. 319-333.

de Jong, P. & S. van Oss & J. Wamelink. *High Rise Ability*, London: ERES, 2007.

Flanagan, R. & G. Norman. "The Relationship between Construction Price and Height", in *Cost Modelling*, 1999, pp. 69-71.

Ilerisoy, Zeynep Yeşim. "Construction Costs of Tunnel form Buildings", in *Građevinar*, 65(2) (February 2013), pp. 135-141.

Nisbet, J. *Estimating and Cost Control: In Association with PE Bathurst [and Others]*, London, Batsford, 1961.

Parker, Donald E. *Parametric Cost Modeling for Buildings*. Routledge, 2014.

Picken, D. & B. Ilozor. "The Relationship between Building Height and Construction Costs", in *Design Economics for the Built Environment: Impact of Sustainability on Project Evaluation*, John Wiley & Sons, Ltd., 2015, pp. 47-60.

Picken, D.H. & B.D. Ilozor, "Height and Construction Costs of Buildings in HongKong", in *Construction Management & Economics*, 21(2) (2003), pp. 107-111.

Policy, E.C.D.-G.f.R. & Cohesion. *Understanding and Monitoring the Cost-determining Factors of Infrastructure Projects: A User's Guide*, European Commission, 1998.

Proverbs, D. & G. Holt & P.O. Olomolaiye. "Construction Resource/ Method Factors Influencing Productivity for High Rise Concrete Construction", in *Construction Management & Economics*, 17(5) (1999), pp. 577-587.

Robinson, H., et al. *Design Economics for the Built Environment: Impact of Sustainability on Project Evaluation*, John Wiley & Sons, 2015.

Seeley, I.H. "Cost Implications of Design Variables", in *Building Economics*, Springer, 1983, pp. 18-37.

_____ . *Building Economics: Appraisal and Control of Building Design Cost and Efficiency*, Basingstoke: Macmillan, 1972.

_____ . *Building Economics: Appraisal and Control of Building Design Cost and Efficiency*, Basingstoke: Macmillan, 1996.

Stone, P.A. *Building Design Evaluation: Costs-in-use*, Spon Press, 1980.

Tan, W. "Construction Cost and Building Height", in *Construction Management & Economics*, 17(2) (1999), pp. 129-132.