مدیریت صنعتی
دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۱
بهار ۱۳۹۶
صص. ۱۸۸- ۱۶۷

Journal of Industrial Management
DOI: 10.22059/imj.2017.230790.1007215

اولویت‌بندی عوامل اتلاف زمانی و ارائهٔ فرمول پیش‌بینی میزان اتلاف در پروژه‌های ساختمانی مسکونی با استفاده از روش لاسو

محمود گلابچی[۱]، مهدی محمدی قاضی محله[۲]

چکیده: یکی از راه‌های مؤثر در کاهش زمان پروژه‌های ساخت آپارتمان، حذف یا کاهش اثر عوامل اتلاف زمان است. اتلاف به فعالیت‌هایی گفته می‌شود که موجب طولانی‌تر شدن فرایند تولید آپارتمان می‌شود، اما هیچ ارزش‌افزوده‌ای ایجاد نمی‌کند. برای شناسایی عوامل اتلاف زمانی، پس از مطالعات کتابخانه‌ای، ۳۵ عامل به‌کمک مصاحبه و تحلیل تم شناسایی شد. با توجه به سه عامل حضور در مرحلهٔ اجرا، قابل کنترل بودن و تأثیر مستقیم بر زمان، از بین ۳۵ عامل شناسایی‌شده، ۸ عامل انتخاب شد. با توزیع پرسشنامه و تحلیل آنها با استفاده از روش لاسو، اولویت‌بندی و همچنین فرمول پیش‌بینی مقدار اتلاف به‌دست آمد و مشخص شد انجام همهٔ فعالیت‌ها در کارگاه، دوباره‌کاری و تأخیر پیمانکار، مهم‌ترین عوامل ایجاد اتلاف زمانی هستند. آنچه این مقاله را منحصربه‌فرد می‌کند، استفاده از روش لاسو برای اولویت‌بندی و همچنین ارائهٔ فرمول پیش‌بینی است که تاکنون در هیچ مقالهٔ داخلی و خارجی ارائه نشده است. این فرمول برای پروژه‌های ساختمانی مسکونی ۵ تا ۷ طبقه کاربرد دارد. با توجه به فرمول پیشنهاد شده، در صورت وجود تمام عوامل در پروژهٔ ساختمانی ۵ تا ۷ طبقه، اتلاف زمان ۳۸ درصد به‌دست می‌آید. با کمّی سازی میزان اتلاف زمانی، تصمیم در خصوص نحوهٔ رفتار با عوامل مسبب اتلاف، به‌مراتب ساده‌تر خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی، تصمیم‌گیری، روش لاسو، زمان، ساختمان‌های مسکونی، عوامل اتلاف، فرمول پیش‌بینی.

۱. استاد گروه معماری، دانشکدهٔ معماری دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری مدیریت پروژه، دانشکدهٔ معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۷/۲۸
تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۷
نویسندهٔ مسئول مقاله: مهدی محمدی قاضی محله
E-mail: maghazi@ut.ac.ir

مقدمه

با توجه به نیاز روزافزون کشور به واحدهای مسکونی، به کاهش زمان در پروژه‌های ساخت آپارتمان بیش از پیش توجه می‌شود؛ به همین دلیل لازم است در این عرصه راهکارهای مؤثری ارائه شود. برای افزایش سرعت ساخت‌وساز، قبل از اخذ هرگونه تصمیم مبنی بر استفاده از فناوری‌های جدید یا مصالح نوین، نیاز است فرایند ساخت بازبینی شده و دلایل کاهش سرعت شناسایی شود. یکی از دلایل کاهش سرعت در تولید هر محصول، اتلاف[1] است که این واژه را نخستین‌بار تایچی اوهنو در کارخانهٔ تویوتا با عنوان تولید ناب مطرح کرد (ووماک و جونز، ۱۹۹۸). تولید ناب تولیدی است که عوامل اتلاف در آن به حداقل رسیده و برخلاف تفکر آن زمان، سرعت تولید به‌عنوان یکی از شاخص‌های درست‌بودن فرایند معرفی شده است؛ به‌طوری که افزایش سرعت فرایند، نشان‌دهندهٔ افزایش کیفیت و کاهش هزینه خواهد بود. اتلاف در تولید ناب به هر فعالیتی اطلاق می‌شود که منابعی نظیر زمان یا هزینه را جذب می‌کند، ولی هیچ ارزش افزوده‌ای ایجاد نمی‌کند (ربانی، رضایی، معنوی‌زاده و عبادیان، ۱۳۸۵). با این تعریف، می‌توان گفت عامل اتلاف زمان در فرایند ساخت آپارتمان، عاملی است که باعث جذب زمان می‌شود، اما در تولید آپارتمان نقشی ندارد که در این مقاله عوامل آن شناسایی و اولویت‌بندی شده است. نکتهٔ حائز اهمیت آن است که معمولاً در پروژه‌ها، دربارهٔ سرریز زمان بحث می‌شود که کارایی چندانی در کاهش زمان ندارد. منظور از سرریز زمان، تفاوت زمان واقعی اجرای پروژه و زمانی است که در آغاز پروژه پیش‌بینی شده و در قرارداد ثبت می‌شود. سرریز زمانی به عواملی مانند تخمین نادرست بستگی دارد که اغلب به‌عنوان متغیر زمانی قابل تعریف نیستند، ضمن آن که از کنترل عوامل پروژه خارج بوده و پرداختن به آن تأثیر چندانی در کاهش زمان ندارد؛ اما عوامل اتلاف مانند کندی کار پیمانکار، به‌دلیل وجود در فرایند اجرا و تأثیر مستقیم بر زمان، می‌توانند به‌عنوان متغیر زمانی تعریف شوند و تأثیر مستقیمی بر افزایش مدت پروژه دارند. بنابراین برای کاهش زمان پروژه، پرداختن به اتلاف زمانی و کاهش یا تقلیل آنها، به‌مراتب اثر بیشتری خواهد داشت. پس شناسایی عوامل اتلاف زمانی، نخستین گام برای کاهش زمان پروژه است. اما نکتهٔ مهم اینجاست که کنترل همهٔ عوامل، امکان‌پذیر نیست و باید ابتدا مدیران پروژه بر مهم‌ترین عوامل تمرکز کنند. پس اولویت‌بندی عوامل اتلاف از نظر میزان تأثیر بر زمان، دومین گام خواهد بود. گام سوم، تعیین میزان تأثیر اتلاف در زمان است. در صورتی که میزان افزایش زمانی که از اتلاف به‌دست می‌آید، در برابر مدت‌زمان پروژه رقم ناچیزی باشد، تخصیص

1. Waste

منابع برای حذف یا تقلیل عامل، توجیه منطقی نخواهد داشت. درمجموع، این مقاله در پی پاسخ به سه سؤال کلیدی زیر است:

۱. در فرایند اجرای پروژه‌های ساخت آپارتمان‌های مسکونی، چه عواملی موجب اتلاف زمان در فرایند می‌شوند؟ (شناسایی)
۲. کدام‌یک از این عوامل، تأثیر بیشتری دارند؟ (اولویت‌بندی)
۳. میزان زمان تلف‌شده توسط این عوامل چه مقدار است؟ (پیش‌بینی)

در مقالهٔ حاضر برای پاسخ به سه سؤال مطرح‌شده، بر فاز اجرا تمرکز شده و فازهای کسب مجوز، مالکیت زمین، طراحی و جواز پایان کار، مدنظر قرار نگرفته است. بازهٔ زمانی برای شناسایی و اولویت‌بندی، از ابتدای گودبرداری تا انتهای تولید دستگاه آپارتمان است. برای پاسخ به سؤال اول، ضمن بررسی مقالات معتبر در این زمینه، از روش مصاحبهٔ نیمه ساختاریافته و تحلیل تم استفاده شده است. انتخاب افراد در مصاحبه به‌صورت عمدی بود و مصاحبه‌شوندگان (۱۲ نفر) افرادی بودند که به فرایند ساخت آپارتمان تسلط داشتند و در این زمینه دارای تجربهٔ کافی و دیدی جامع بودند. با اتمام مصاحبه از دهمین نفر، داده‌های به‌دست‌آمده به اشباع رسید و تمام مطالبی که از مصاحبهٔ دو نفر آخر به‌دست آمد، تکراری بود. با تجمیع داده‌های به‌دست‌آمده از مطالعات کتابخانه‌ای و تم‌های حاصل از مصاحبه و تحلیل تم، ۳۵ عامل اتلاف زمانی شناسایی شد. برخی عوامل شناسایی‌شده مانند طولانی بودن پروسهٔ کسب مجوز، خارج از فاز اجرا بودند؛ برخی دیگر مانند تغییر قوانین مربوط به ساخت‌وساز، توسط عوامل پروژه قابل کنترل نبودند؛ عواملی نیز مانند کافی‌نبودن تجربهٔ پیمانکار تأثیر غیرمستقیمی بر زمان می‌گذاشتند، از این رو عوامل به‌دست‌آمده با سه عامل حضور در فاز اجرا، قابل‌کنترل بودن و اثرگذاری مستقیم بر زمان پالایش شدند و در نهایت ۸ عامل اتلاف زمان با نام‌های جلوگیری ناظر، کمبود مصالح، کمبود تجهیزات، دوباره‌کاری، تأخیر پیمانکار، جابه‌جایی و دپو، تداخل کاری و انجام همهٔ فعالیت‌ها در کارگاه به‌دست آمد.

سؤال دوم و سوم اولویت‌بندی و میزان زمان تلف‌شده توسط این ۸ عامل را مدنظر قرار داده است. برای پاسخ دقیق به این دو سؤال، باید مستندات پروژه که در آن جزئیات برنامهٔ زمان‌بندی و میزان تأخیر و دلایل آن مکتوب شده است، بررسی شود که در عمل چنین مستنداتی وجود ندارد؛ درنتیجه تنها منبع جمع‌آوری داده‌ها، دانسته‌های تجربی مدیران پروژه است. نکتهٔ مهم، مسئلهٔ دستیابی به دانسته‌های ذهنی مدیران پروژه است، زیرا سؤال‌های پرسشنامه که در اختیار مدیران پروژه قرار می‌گیرد، باید در حد امکان ساده باشد و پاسخ به آنها در کمترین زمان صورت گیرد. نتیجهٔ جمع‌آوری داده‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که درنهایت بتوان ۸ عامل را اولویت‌بندی

کرده و پیش‌بینی نمود که در صورت وجود ترکیبی از عوامل در پروژه، چه مقدار اتلاف زمانی به وجود خواهد آمد. به‌طور مسلم، هر ۸ عامل در همهٔ پروژه‌ها وجود ندارد و هریک ترکیبی از آنها را در خود جای می‌دهد. از این رو به فرمولی نیاز است که با توجه به ترکیب موجود در پروژه، بتواند اتلاف زمانی را پیش‌بینی کند. روشی که می‌تواند تمام موارد یاد شده را تأمین کند، روش رگرسیون لاسو است که تطابق بسیار خوبی با ویژگی‌های مسئله دارد.

پرسشنامهٔ پژوهش شامل سه سؤال زیر بود:

۱. آخرین پروژه‌ای که به اتمام رساندید را در نظر بگیرید و از بین ۸ عامل اتلاف (جلوگیری ناظر، کمبود مصالح، کمبود تجهیزات، دوباره‌کاری، تأخیر پیمانکار، جابه‌جایی و دپو، تداخل کاری و انجام همهٔ فعالیت‌ها در کارگاه)، عواملی که در پروژهٔ شما وجود داشتند را مشخص کنید.
۲. فاز اجرایی پروژهٔ احداث ساختمان چند روز طول کشید؟
۳. اگر عواملی که در بالا مشخص کردید، وجود نداشتند، فاز اجرای پروژه چندروزه به اتمام می‌رسید؟

همان‌طور که مشاهده می‌شود، پاسخ به سؤال اول و دوم بسیار ساده است و هر دو وضعیت موجود پروژه را ارزیابی می‌کنند، اما سؤال سوم به تخمین مدیر پروژه نیاز دارد. این تخمین با خطا همراه است، اما تنها منبع داده محسوب می‌شود؛ یکی از دلایل استفاده از روش لاسو، حساسیت کم آن به خطاهای تخمین است.

با توزیع ۳۵۰ پرسشنامه بین مدیرانی که آخرین پروژهٔ آنها، آپارتمان‌های مسکونی ۵ تا ۷ طبقه بود و به‌دست آوردن ۱۳۰ نسخهٔ قابل استفاده، تحلیل آغاز شد و اولویت‌بندی و فرمول پیش‌بینی به‌دست آمد که در بخش نتایج ارائه شده است. منظور از قابل‌استفاده بودن پاسخنامه، غیر از کامل بودن پاسخ‌ها یکی تجربهٔ مدیر پروژه است که باید بیش از ۵ سال باشد تا بتواند برآورد نزدیک به واقعیت ارائه دهد و دیگر اینکه مدت زمان واقعی پروژه، از مدت زمان برآوردشده بیشتر باشد. از آنجا که قلمرو مکانی پژوهش شهر تهران بود و بنا بر مستندات شهرداری تهران اغلب آپارتمان‌های نوساز این شهر، بین ۵ تا ۷ طبقه دارند، پرسشنامه بین مدیرانی توزیع شد که آخرین پروژهٔ آنها دارای این ویژگی باشد.

پیشینهٔ نظری پژوهش

لارسن، برونو و لینهارد (۲۰۱۵) عوامل تأثیرگذار بر زمان، هزینه و کیفیت را در چهار گروه عوامل قراردادی، عوامل مربوط به مدیریت پروژه، عوامل مربوط به تأمین مالی و برنامه‌ریزی و درنهایت

عوامل خارجی کنترل‌ناپذیر دسته‌بندی کردند و ضعف در تأمین مالی، خطا در طراحی و نقص در اجرا را مهم‌ترین عواملی برشمردند که بر زمان، هزینه و کیفیت تأثیر منفی می‌گذارد. کوشکی، الرشید و کارتم (۲۰۰۵) به بررسی پروژه‌های ساخت آپارتمان‌های مسکونی پرداختند و دلیل افزایش زمان و هزینه را دستور تغییرات، محدودیت‌های تأمین مالی، تجربهٔ ناکافی کارفرما، عوامل مربوط به مصالح، شرایط جوّی، عوامل مربوط به نیروی انسانی و عوامل مربوط به پیمانکار معرفی کردند. سامباسیوان و سون (۲۰۰۷)، نُه دلیل اصلی تأخیر زمانی و افزایش هزینه در پروژه‌ها را برنامه‌ریزی ضعیف پیمانکار، مدیریت ضعیف کارگاه، تجربهٔ ناکافی پیمانکاران، تأمین مالی نادرست و تأخیر در پرداخت‌های کارفرما، کمبود مصالح، تأمین نیروی انسانی، عدم دسترسی به تجهیزات و خرابی تجهیزات، کمبود ارتباط بین گروه‌های کاری و بروز خطا هنگام ساخت برشمردند. گنزالز، مولنار و اورازکو(۲۰۱۳) روی دو پروژهٔ آپارتمانی در سانتیاگو تحقیق کردند و دلیل اصلی تأخیر زمانی را برنامه‌ریزی مدیریتی دانستند. طراحی، نیروی انسانی، مصالح و ابزارها، پیمانکاران جزء، شرایط جوّی و روش اجرا، سایر دلایل تأخیر زمانی هستند که در این تحقیق به آنها اشاره شده است. موکوکا، آجبابوآ و توالا (۲۰۱۴) دلیل اصلی تأخیر زمانی را اشتباهات طراحی، تأخیر در پرداخت‌ها به پیمانکار و در دسترس نبودن پیمانکاران جزء و تأمین‌کنندگان مصالح بیان می‌کنند. مرزوک و الراساز (۲۰۱۴) در پژوهشی به ۴۳ عامل تأخیر زمانی دست یافتند و آنها را در هفت گروه با عنوان‌های عوامل مربوط به کارفرما، عوامل مربوط به پیمانکار، عوامل مربوط به مشاور، عوامل مربوط به مصالح، عوامل مربوط به نیروی انسانی و تجهیزات، عوامل مربوط به پروژه و عوامل خارجی دسته‌بندی کردند. الرازک، بسیونی و مبارک (۲۰۰۸) تأخیر زمانی را این‌گونه تعریف کردند: زمانی که پروژه بیشتر از تاریخ مشخص‌شده در قرارداد یا تاریخ موردتوافق عوامل پروژه طول می‌کشد و به ۳۲ عامل تأخیر اشاره کردند و مهم‌ترین آنها را عامل تأمین مالی دانستند.

پیشینهٔ تجربی پژوهش

در پیشینهٔ تجربی به مقاله‌هایی اشاره می‌شود که اتلاف را به‌صورت مستقیم در پروژه‌ها بررسی کرده‌اند. قدوسی و حسینی (۲۰۱۲) به بررسی عواملی پرداختند که در بهره‌وری پروژه‌های ساخت در ایران اثر منفی دارند. آنان عواملی که موجب اتلاف زمان و هزینه می‌شدند را با هم در نظر گرفتند و در هفت گروه مصالح و ابزارآلات، روش و فناوری ساخت، مدیریت و برنامه‌ریزی، نظارت، دوباره‌کاری، شرایط آب و هوایی و موقعیت کارگاه دسته‌بندی کردند. ذاکری و همکارانش (۱۹۹۶) با تحقیق دربارهٔ عوامل کاهش بازدهی نیروی انسانی در پروژه‌های ساخت

ایران، کمبود مصالح، شرایط جوی و موقعیت کارگاه، نقص و اِشکال در نقشه‌ها، دستور تغییر هنگام اجرا و کمبود تجهیزات و ابزارآلات را عوامل اتلاف زمان دانسته و آنها را هزینه‌بر شمردند. کوشکی و همکاران (۲۰۰۵) به بررسی پروژه‌های ساخت آپارتمان‌های مسکونی پرداختند و دلیل افزایش زمان و هزینه را دستور تغییرات، محدودیت‌های تأمین مالی، ناکافی بودن تجربهٔ کارفرما، عوامل مربوط به مصالح، شرایط جوی، عوامل مربوط به نیروی انسانی و عوامل مربوط به پیمانکار معرفی کردند. خوش‌گفتار، ابوبکر و عثمان (۲۰۱۰) به بررسی دلایل تأخیر پروژه‌های عمرانی در ایران پرداختند و درنهایت به پنج دلیلِ اِشکال در تأمین مالی و پرداخت کارهای تکمیل‌شده، برنامه‌ریزی نامناسب، اِشکال در مدیریت کارگاه، اِشکال در مدیریت قرارداد و کمبود ارتباط بین گروه‌های کاری دست یافتند. گنزالز و همکاران (۲۰۱۳) پس از تحقیق روی دو پروژهٔ آپارتمانی در سانتیاگو، دلیل اصلی تأخیر زمانی را برنامه‌ریزی مدیریتی اعلام کردند. طراحی، نیروی انسانی، مصالح و ابزارها، پیمانکاران جزء، شرایط جوی و روش اجرا سایر دلایلی بودند که در این تحقیق به‌عنوان عوامل تأخیر زمانی به آنها اشاره شده است. فانیراج و اسریکومار (۲۰۱۴) در پژوهشی در زمینهٔ پروژه‌های ساخت آپارتمان‌های بلندمرتبه، دلایل اصلی تأخیر زمانی را تبعیت نادرست از برنامهٔ زمانی، شیوهٔ نادرست اجرا، کمبود نیروی انسانی باتجربه و نوع تجهیزات و ماشین‌آلات به‌کاررفته برشمردند. آیبینو، آیودجی و اودینکا (۲۰۰۶) با مطالعهٔ مستندات پروژه‌های ساختمانی، ۴۴ عامل تأخیر زمانی را شناسایی کردند که پس از رتبه‌بندی، مهم‌ترین آنها را مشکلات مالی پیمانکار اصلی، مشکل در پرداخت‌های کارفرما، نقشه‌های ناقص مهندس معمار، کندی کار پیمانکاران فرعی، مشکلات نگهداری و تعمیر تجهیزات، بدقولی تأمین‌کنندگان مصالح، نقشه‌های ناقص سازه‌ای، مشکلات برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پیمانکار اصلی، افزایش قیمت‌ها و مشکلات تأمین مالی پیمانکاران فرعی برشمردند. لو و همکارانش (۲۰۰۶)، ۳۰ عامل مؤثر در تأخیر زمانی را به‌ترتیب اهمیت کمبود سرمایهٔ پیمانکار برای اجرا، شرایط پیش‌بینی‌نشدهٔ خاک کارگاه، مناقصه با قیمت پایین، پیمانکار بی‌تجربه، برخورد با خطوط آب و برق، مدیریت و نظارت ضعیف در کارگاه، قرارداد با مدت زمان غیرواقعی، محدودیت‌های زیست‌محیطی، وقت‌گیر بودن کسب مجوزها و درنهایت تغییرات اعمال‌شده از طرف کارفرما ذکر کردند. گاندز، نیلسن و اوزدمیر (۲۰۱۲) در تحقیق جامعی، ۸۳ عامل را در ۹ گروه عوامل مرتبط با پیمانکار، مشاور، کارفرما، طراحی، پروژه، مصالح، تجهیزات، نیروی انسانی و عوامل خارجی طبقه‌بندی کردند و ۱۵ عامل اصلی ایجاد تأخیر را به‌ترتیب اهمیت، ناکافی بودن تجربهٔ پیمانکار، بی‌تأثیر بودن برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه، ضعف مدیریت و نظارت کارگاهی، تغییر طراحی حین ساخت، تحویل با تأخیر مصالح، پیمانکاران فرعی غیرقابل اعتماد، تأخیر در انجام آزمون و بازرسی،

کارگران بی‌تجربه، دستور تغییر، تأخیر در تصویب طراحی‌ها، تأخیر در پرداخت‌ها، کندی تصمیم‌گیری، ضعف ارتباط و هماهنگی عوامل پروژه و شرایط غیرمنتظرهٔ سطحی و زیرسطحی زمین پروژه تشخیص دادند

با توجه به پیشینهٔ نظری و تجربی، می‌توان گفت تمام گروه‌های درگیر پروژه شامل کارفرما، ناظر، مشاور و پیمانکار که در اصل مدیر اجرای ساختمان هستند، در اتلاف زمانی نقش دارند؛ اما نکتهٔ مهم، مقدار اتلاف و سهم هریک از گروه‌هاست که در پژوهش‌ها به آن توجه نشده است.

روش‌شناسی پژوهش

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مرحلهٔ اول پژوهش، شناسایی عوامل است (کرسول، ۱۹۹۸) که در ردهٔ تحقیق کیفی قرار می‌گیرد. هدف تحقیق بنیادی است؛ زیرا تحقیقات بنیادی درصدد توسعهٔ مجموعه دانسته‌های موجود دربارهٔ اصول و قوانین علمی و افزودن به مجموعهٔ دانش در یک زمینهٔ خاص هستند. طرح تحقیق نیز توصیفی است. تحقیق توصیفی شامل مجموعه روش‌هایی است که هدف آنها توصیف شرایط یا پدیده‌های مورد بررسی است (کرسول، ۱۹۹۸). این پژوهش نیز به توصیف عوامل دخیل در اتلاف زمان پرداخته است. غیر از تحقیقات کتابخانه‌ای که به شناسایی یکسری عوامل در حالت کلی انجامید، منبع اصلی جمع‌آوری داده‌ها، افراد خبرهٔ مشغول به کار در صنعت آپارتمان‌سازی بودند. این افراد خبره را پژوهشگر بر اساس شاخص انتخاب به شرح زیر برگزیده است:

۱. جامعیت و تسلط به‌کل فرایند ساخت آپارتمان: از آنجا که این مقاله به بررسی کلِ فرایند اجرا می‌پردازد، افرادی مناسب‌ترند که دید جامع و مشرفی بر فرایند داشته باشند و بدون تعصب به قسمتی خاص، نظر خود را بیان کنند.
۲. تجربهٔ کافی: هدف مقاله، یافتن عوامل اتلافی است که به‌صورت اپیدمی در اغلب پروژه‌ها وجود دارد؛ از این رو، عوامل مطرح‌شده باید بارها و بارها تکرار شده باشد (مورد خاص نباشد). درنتیجه نیاز است افراد مصاحبه‌شونده از تجربهٔ کافی در این زمینه برخوردار بوده و در چندین پروژه فعالیت جامع داشته باشند.

با توجه به شاخص‌های بالا، ۱۵ نفر برای مصاحبه انتخاب شدند. تحصیلات این افراد، کارشناسی یا کارشناسی ارشد بود که در حوزه‌های دانشگاهی، عمران، معماری، مکانیک و تأسیسات تخصص داشتند و همگی پروانهٔ پایهٔ ۲ نظارت سازمان نظام‌مهندسی را کسب کرده بودند. از نظر جنسیت، تمام افراد مَرد بودند و در ردهٔ سنی بین ۴۵ تا ۶۳ سال قرار داشتند که با

۱۲ نفر از این افراد مصاحبه شد؛ زیرا پس از اتمام مصاحبه با نفر دهم، داده‌ها به حد اشباع رسید و تمام داده‌هایی که از مصاحبهٔ نفر یازدهم و دوازدهم به‌دست آمد، تکراری بود.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها از طریق روش تحلیل تم انجام گرفت. این تحلیل شامل رفت‌وبرگشت مستمر بین مجموعه داده‌ها و خلاصه‌های کدگذاری شده و تحلیل داده‌هاست و همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، دارای شش مرحله است (براون و کلارک، ۲۰۰۶).

شکل ۱. مراحل شش‌گانهٔ تحلیل تم

برای سنجش پایایی تحلیل تم روش‌های گوناگونی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان توافق درصدی، روش هولستی، آلفای کریپندورف، کاپای کوهن و پای اسکات را نام برد (نئوندروف، ۲۰۰۲). در این روش‌ها، کدگذاری‌ها می‌تواند به دو صورت تکرار شود؛ در روش اول، کدگذاری توسط خودِ پژوهشگر و با فاصلهٔ زمانی معنادار تکرار می‌شود و در روش دوم، از فرد دیگری که متخصص این کار است، درخواست می‌شود کدگذاری را انجام دهد؛ سپس نتایج این دو کدگذاری باهم مقایسه می‌شوند. در این مقاله کدگذاری با فاصلهٔ زمانی معنادار تکرار شد و درصد توافق از روش هولستی (رابطهٔ ۱) به‌دست آمد.

$$PAO = \frac{2M}{(n_1 + n_2)}$$ رابطهٔ ۱)

که در آن PAO در صد توافق مشاهده‌شده یا ضریب پایایی، M تعداد توافق در دو مرحله کدگذاری، n_1 تعداد واحدهای کد گذاشته‌شده در مرحلهٔ اول، n_2 تعداد واحدهای کد گذاشته‌شده در مرحلهٔ دوم است. اگر ضریب پایایی بالای ۹۰ درصد شود، نشان‌دهندهٔ پایایی بسیار خوب

است؛ اگر بین ۷۰ تا ۹۰ درصد باشد، قابل قبول محسوب می‌شود و کمتر از ۷۰ درصد پذیرفته نمی‌شود (نئوندورف، ۲۰۰۲).

اولویت‌بندی و ارائهٔ فرمول پیش‌بینی: پرسشنامه و روش رگرسیون لاسو

همان‌طور که در مقدمه بیان شد، پرسشنامه شامل سه سؤال بود که سؤال اول به بررسی عوامل اتلاف زمان در پروژه اختصاص داشت، سؤال دوم مدت‌زمان فاز اجرایی را بررسی می‌کرد و سؤال سوم مدت‌زمان پروژه در صورت نبود عوامل اتلاف زمانی را برآورد می‌کرد. روایی پرسشنامه توسط چهار نفر از خبرگان صنعت ساخت‌وساز و همچنین استادان دانشگاه به تأیید رسید. پایایی پرسشنامه نیز از طریق آلفای کرونباخ ارزیابی شد که مقدار آن (۰/۸۲۶) در محدودهٔ قابل قبول بود. داده‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه، به‌عنوان ورودی‌های روش لاسو استفاده شد. هدف از به‌کار بردن این روش ریاضی، بررسی میزان تأثیر هریک از عوامل بر اتلاف زمان و تخصیص درجه اهمیت به هریک از عوامل است. در حالت کلی x متغیر مستقل و مؤثر بر y و وجود یا عدم وجود عامل اتلاف در پروژه را نشان می‌دهد و y متغیر وابسته محسوب می‌شود. جواب سؤال ۱ نشان‌دهندهٔ مقادیر x در مسئله است.

$t_{j-total}$: مدت‌زمان فاز اجرای آپارتمان در حالت واقعی (باوجود ترکیبی از عوامل اتلاف) است که به سؤال دوم پرسشنامه پاسخ می‌دهد.

t_{j-lean}: مدت‌زمان فاز اجرای آپارتمان در حالت بهینه (بدون وجود عوامل اتلاف) است و جواب سؤال سوم پرسشنامه را محاسبه می‌کند.

x_{ij}: متغیر مستقل و نشان‌دهندهٔ وجود یا عدم وجود عامل اتلاف در پروژه است که مقدار آن از طریق رابطهٔ ۴ به‌دست می‌آید.

y_j: متغیر وابسته و نشان‌دهندهٔ درصد اتلاف ایجادشده توسط عوامل موجود در هر پروژه است و مقدار آن از رابطهٔ ۵ محاسبه می‌شود.

مقدار i و j نیز در رابطه‌های ۲ و ۳ ذکر شده است.

$$i \in \{1, 2, \dots, n\}$$ رابطهٔ ۲)

n تعداد عوامل اتلاف را نشان می‌دهد که مقدار آن در این تحقیق ۸ در نظر گرفته شده است.

$$j \in \{1, 2, \dots, m\}$$ رابطهٔ ۳)

m نشان‌دهندهٔ تعداد نمونه‌های به‌دست‌آمده از پرسشنامه است که مقدار آن در این تحقیق ۱۳۰ در نظر گرفته شده است.

رابطهٔ ۴) $$x_{ij} \in \{0, 1\}$$

رابطهٔ ۵) $$y_i = \frac{t_{j-total} - t_{j-lean}}{t_{j-total}} \times 100$$

رابطهٔ ۶) $$X_j = [x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}]$$

هدف به‌دست آوردن تابع خطی حاصل از برازش X به y است؛ به‌طوری که با داشتن هر نمونهٔ جدید از X که در رابطهٔ ۶ تعریف شده است، بتوان مقدار y را محاسبه کرد. رابطهٔ ۷ تابع خطی یاد شده را نمایش می‌دهد که در آن β_0 و β_jها مجهول‌های مسئله هستند.

رابطهٔ ۷) $$f(X) = \beta_0 + \sum_{j=1}^{n} \beta_j X_j$$

همان‌طور که در رابطهٔ ۸ نشان داده شده است، برای به‌دست آوردن مجهول‌ها می‌توان از روش حداقل مربعات استفاده کرد، اما این روش تنها به کمینه‌سازی خطاهای موجود می‌پردازد و هیچ تضمینی وجود ندارد که جواب‌های به‌دست‌آمده بهترین جواب ممکن باشد؛ چراکه ممکن است برخی از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته کاملاً بی‌ارتباط باشند، یا به‌دلیل اختلال[1] بیش از حد، موجب افزایش خطا شوند که در این تحقیق نیز وقوع آن با توجه به استفاده از تخمین مدیران پروژه محتمل است. از این رو باید در حد امکان از وجود این‌گونه متغیرهای مستقل در تابع برازش جلوگیری کرد.

رابطهٔ ۸) $$RSS(\beta) = \sum_{i=1}^{m} (y_i - f(x_i))^2 = \sum_{i=1}^{m} \left(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\beta_j \right)^2$$

یکی از راه‌های پیدا کردن بهترین تابع، حل مسئله برای تمام ترکیبات ممکن حضور یا عدم حضور متغیرهای مستقل[2] است (هستی، تیبشیرانی و فریدمن، ۲۰۰۹). این روش به یافتن بهترین جواب منجر می‌شود، اما در عمل باید ترکیبات بسیار زیادی را بررسی کرد که به‌دلیل حجم بالای عملیات و صرف زمان زیاد، ممکن نیست. روش مهم دیگری که در سال‌های اخیر بسیار در

1. Noise
2. Best subset selection

کانون توجه قرار گرفته، روش جریمه بر اساس داده‌های گسسته[1] است. ویژگی مهم این تکنیک که آن را از سایر روش‌ها متمایز می‌کند، به‌کار بردن تابع دیگری علاوه‌بر RSS، موسوم به جریمه‌کننده[2] است که هدف از به‌کارگیری آن، اعمال جریمه برای حضور هر یک از متغیرهای مستقل در تابع برازش‌گر است. حضور هر متغیر مستقل می‌تواند خطا را کاهش دهد، اما تأثیر حضور آن در کاهش این خطا باید بیشتر از تأثیری باشد که در افزایش جریمهٔ حضور در تابع نهایی می‌گذارد. برای مقدار جریمهٔ معلوم، تابع جریمه‌کننده موجب حذف متغیرهای مستقلی می‌شود که تأثیر اندکی روی خطا به نسبت تأثیرشان بر جریمه دارند. مفهوم این مطالب را می‌توان به‌صورت رابطهٔ ۹ بیان کرد (هستی و همکاران، ۲۰۰۶).

$$\hat{\beta}^{lasso} = \arg\min_{\beta} \left\{ \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{m} \left(y_i - \beta_0 - \sum_{i=1}^{n} x_{ij}\beta_j \right)^2 + \lambda \sum\nolimits_{j=1}^{n} |\beta_j| \right\} \quad \text{رابطهٔ ۹)}$$

که در آن $\sum_{j=1}^{n}|\beta_j|$ تابع جریمه‌کننده و λ تعیین‌کنندهٔ میزان جریمه[3] است. $\hat{\beta}^{lasso}$ نیز مقدار بهینهٔ ضرایب مجهول به روش لاسو را نشان می‌دهد. با معلوم بودن λ، رابطهٔ ۹ را می‌توان به روش شیب پروکزیمال[4] حل کرد. برای به‌دست آوردن مقدار بهینهٔ λ نیز از روش اعتبارسنجی متقابل[5] استفاده می‌شود (دابچیس، دفریس، دی‌مول، ۲۰۰۴). انتخاب این تابع جریمه و عدم مشتق‌پذیری آن در صفر، موجب می‌شود که با انتخاب λ مناسب، ضرایب مربوط به متغیرهای مستقلی که تأثیر ناچیزی در مسئله دارند به صفر برسد. تابع لاسو یکی از توابع تعریف‌شده در نرم‌افزار متلب[6] است که با تعریف متغیرهای X و y همچنین تعداد اعتبارسنجی‌های متقابل، مقدار بهینهٔ λ و مقدار βها را محاسبه خواهد کرد.

یافته‌های پژوهش

مرحلهٔ اول پژوهش شناسایی عوامل اتلاف زمانی بود که از ادبیات موضوع ۴۸ عامل و از مصاحبه و تحلیل تم ۳۵ عامل به‌دست آمد و درصد توافق آن با مقدار ۸۷ درصد در بازهٔ قابل قبول قرار گرفت. در جدول ۱ این ۳۵ عامل نشان داده شده است.

1. Sparsity based regularization
2. Regularizer
3. Regularization parameter
4. Proximal gradient
5. Cross validation
6. MATLAB

جدول ۱. عوامل ایجاد اتلاف زمانی در پروژه‌های ساخت آپارتمان

تم‌های به‌دست‌آمده	حضور در اجرا	مستقیم	قابل‌کنترل	توضیحات	نام‌گذاری عامل اتلاف
۱. پروسهٔ طولانی کسب مجوزهای آغاز به کار	–	*			--
۲. پروسه طولانی کسب جواز پایان کار	–	*			--
۳. عدم فهم دقیق نظرهای و ایده‌های کارفرما	–		*		--
۴. کمبود اطلاعات موردنیاز شرایط زمین برای طراحی	–		*	دارد	--
۵. دوباره‌کاری به‌دلیل خطای طراح	*	*	*	دارد	دوباره‌کاری
۶. تأخیر در تحویل نقشه‌ها از طرف طراح	–	*	*		--
۷. کمبود نقشه‌های تأسیسات	–	–	–	دارد	--
۸. ناسازگاری نقشه‌های سازهٔ معماری و تأسیسات	–	–	–	دارد	--
۹. رعایت‌نکردن ملاحظات اجرایی در نقشه‌ها	–	–	*	دارد	--
۱۰. تأخیر در تحویل کارگاه	–	*	–		--
۱۱. دوباره‌کاری در طراحی به‌دلیل تغییر نظر کارفرما	*	*	–		--
۱۲. دوباره‌کاری در اجرا به‌دلیل تغییر نظر کارفرما	*	*	–		--
۱۳. تأخیر در تحویل مصالح به کارگاه	–	*	*		کمبود مصالح
۱۴. کمبود یا خرابی تجهیزات ساختمانی	*	*	*		کمبود تجهیزات
۱۵. تأخیر حضور استادکار یا پیمانکار فرعی	*	*	*	دارد	تأخیر پیمانکار
۱۶. تأخیر حضور کارگر ساده	*	*	*		تأخیر پیمانکار
۱۷. کندیِ کار استادکار یا پیمانکار فرعی	*	*	–		--
۱۸. کمبود استادکار آموزش‌دیده	*	–	–		--
۱۹. کمبود یا نبود کارگر آموزش‌دیده	*	–	–		--
۲۰. تفهیم‌نکردن کار به استادکار یا پیمانکار فرعی	*	*	*	دارد	--
۲۱. کمبود مصالح	–	–	–		کمبود مصالح
۲۲. بی‌انگیزگی استادکار یا پیمانکار فرعی برای سرعت در کار	–	–	*		--
۲۳. انجام اغلب فعالیت‌ها در فضای محدود کارگاه	*	*	*	دارد	انجام فعالیت‌ها درون کارگاه
۲۴. جابه‌جایی و دپوی مکرر مصالح	*	*	*	دارد	جابجایی و دپو
۲۵. انتظار نیروی انسانی به‌دلیل تداخل فعالیت‌ها	*	*	*	دارد	تداخل کاری
۲۶. انتخاب‌نکردن شیوهٔ اجرایی سریع‌تر	*	–	*	دارد	--
۲۷. بی‌اطلاعی از شیوه‌های اجرایی مدرن و مصالح نوین	*	–	*		--

ادامهٔ جدول ۱

تم‌های به‌دست‌آمده	حضور در اجرا	مستقیم	قابل کنترل	توضیحات	نام‌گذاری عامل اتلاف
۲۸. کافی نبودن تجربهٔ کاری پیمانکار	*	–	–		--
۲۹. کافی نبودن ارتباطات پیمانکار با سایر عوامل	*	–	*		--
۳۰. تعصب به یک شیوه به‌دلیل تجربه در آن	*	–	*		--
۳۱. کندی تصمیم‌گیری در شرایط خاص	*	–	*		--
۳۲. عدم وجود برنامه زمان‌بندی فعالیت‌ها در اجرا	*	–	*		--
۳۳. جلوگیری از کار توسط ناظران	*	*	*		جلوگیری ناظر
۳۴. شرایط جوی نامساعد	*	*	–		
۳۵. تغییر قوانین مربوط به ساخت‌وساز	–	–	–		

توضیحات برخی عوامل مندرج در جدول ۱ به شرح زیر است.

- کمبود اطلاعات موردنیاز شرایط زمین برای طراحی: طراح معماری، سازه و تأسیسات، برای آغاز کار، به یکسری اطلاعات از خاک زیربنا، موقعیت ملک، نوع اقلیم و شرایط محیط احداث بنا نیاز دارند که در صورت نقص این اطلاعات، طراحی با مشکل مواجه خواهد شد.
- دوباره‌کاری به‌دلیل خطای طراح: ممکن است به‌دلیل دریافت‌نکردن اطلاعات درست یا خطای انسانی طراح، کل یا بخشی از طرح نادرست طراحی شود و نیاز باشد پروسهٔ تولید طرح و نقشه‌ها دوباره انجام شود.
- کمبود نقشه‌های تأسیسات: این عامل، جزء عوامل کنترل‌ناپذیر توسط عوامل درون پروژه قرار داده شده است و به ویژگی‌های این نوع نقشه‌ها برمی‌گردد. اولین ویژگی، جزئیات زیاد این نقشه‌ها نسبت به نقشه‌های معماری و سازه است. دومین ویژگی این است که برای رسم این نقشه‌ها باید نقشه‌های معماری و سازه کاملاً مشخص باشند و تغییر نکند و سومین ویژگی اینکه برای ترسیم این نوع نقشه‌ها و تفهیم آنها، فضای دوبعدی جوابگو نیست و به فضای مجازی سه‌بعدی نیاز است. این سه ویژگی سبب شده است که تهیهٔ نقشه‌های تأسیسات امکان‌پذیر نباشد و کار به‌صورت درجا و توسط استادکاران انجام شود. به همین دلیل، این عامل از کنترل مدیر پروژه خارج است و شرایط و امکانات موجود اجازهٔ این کار را نمی‌دهد.

- ناسازگاری نقشه‌های سازهٔ معماری و تأسیسات: معماری، سازه و تأسیسات بنا، قسمت‌های مختلف یک ارگان هستند و درهم‌تنیده شده‌اند. تمام جزئیات این سه قسمت باهم ارتباط تنگاتنگ دارند، اما به‌دلیل تفکیک علمی و تحصیلی رشتهٔ معماری، سازه و تأسیسات، طراح به‌صورت مستقل طرح و نقشهٔ هریک را تهیه می‌کند و همین مسئله موجب بروز مشکلات زیادی در تهیهٔ نقشه‌ها می‌شود. گاهی هنگام تطابق نقشه‌های سازه‌ای با تأسیسات، خطاهای بزرگی مشاهده می‌دهد، به‌طور مثال دیده شده است که ستون اصلی ساختمان از وسط کانال کولر عبور کرده یا مسیر فاضلاب با تیرهای فرعی قطع شده است. به‌منظور رفع این مشکل، نیاز است هم در زمینهٔ نرم‌افزاری و هم در زمینهٔ نیروی انسانی تغییر ایجاد شود که شرایط کنونی اجازهٔ این تغییرات را نمی‌دهد و اعمال این شرایط نیز از عهدهٔ مدیر پروژه برنمی‌آید.
- رعایت‌نکردن ملاحظات اجرایی در نقشه‌های موجود: منظور از ملاحظات اجرایی، ایجاد تسهیلاتی در نقشه‌هاست که روند اجرا را آسان و تسریع کند. معمولاً چون طراحان تجربهٔ اجرایی ندارند، این ملاحظات را در نظر نمی‌گیرند و گاهی نقشه‌های طراحی شدهٔ آنها هرچند در فضای مجازی و روی کاغذ تحسین‌برانگیز است، در فضای حقیقی اجرا شدنی نیست؛ اما چنانچه یک فرد اجرایی در کنار طراح باشد، عامل یاد شده قابل کنترل خواهد شد، زیرا توصیه‌های فرد اجرایی توسط طراح در نقشه‌ها اِعمال می‌شود.
- تفهیم‌نکردن کار به استادکار یا پیمانکار فرعی: به‌دلیل نقص در نقشه‌ها و شفاف نبودن فعالیت‌ها، کار باید برای استادکاران و پیمانکاران فرعی توجیه شود. کسی که فارغ از نقشه‌ها به تمام ابعاد کار مسلط است، معمولاً مشغلهٔ زیادی دارد و نیروی انسانی را برای توجیه شدن در انتظار می‌گذارد. در مواقعی نیز، کارِ توجیه دشوار می‌شود و نیروی انسانی خیلی دیر کار را درک می‌کند که همهٔ این موارد موجب اتلاف زمان می‌شود.
- انجام اغلب فعالیت‌ها در فضای محدود کارگاه (از یافته‌های جدید این مقاله): برخی از فعالیت‌های ساختمان‌سازی، مانند بریدن و خم‌کردن میلگرد، برش سنگ نما یا بریدن لوله‌های تأسیسات را می‌توان بیرون از کارگاه و به‌صورت کارخانه‌ای با کیفیت بهتر و همزمان با هم انجام داد، اما به‌دلیل انجام فعالیت‌ها به‌صورت استادکاری و به‌اندازه کردن مصالح بدون نقشه و در هنگام کار، تمام فعالیت‌ها در فضای کارگاه انجام می‌شود و به‌دلیل فضای کم و مانع زیاد کارگاه، فعالیت‌ها باید به نوبت انجام شوند که اتلاف زمان زیادی را به‌دنبال دارد.

- جابه‌جایی و دپوی مکرر مصالح (از یافته‌های جدید این مقاله): از آنجا که اغلب فعالیت‌ها در فضای کارگاه انجام می‌شود، میزان ورودی مصالح اولیه و مصالح برش خرده و انداز شده زیاد خواهد شد و به فضایی برای انبار آنها نیاز است. در ضمن نیروی انسانی و فضای اختصاص‌یافته به هر فعالیت نیز، از فضای خالی کارگاه می‌کاهد. از این رو کمبود فضای کافی موجب می‌شود که مصالح بارها جابه‌جا شده و در جای دیگری دپو شوند و این مسئله سبب اتلاف زمان و هزینه می‌شود.
- انتظار نیروی انسانی به‌دلیل تداخل فعالیت‌ها (از یافته‌های جدید این مقاله): برنامه‌ریزی و زمان‌بندی فعالیت‌ها با توجه به وضعیت و محدودیت‌های کارگاه، مانند فضای محدود و تقدم و تأخر فعالیت‌ها نسبت به هم، باعث جریان پیوستهٔ انجام کار خواهد شد. در غیر این صورت، در فعالیت‌ها تداخل به‌وجود می‌آید و موجب انتظار و اتلاف زمانی می‌شود.

شکل ۲. بازهٔ زمانی مدنظر برای انتخاب عوامل اتلاف زمان

این ۳۵ عامل با توجه به عوامل حضور در اجرا، تأثیر مستقیم بر زمان و قابل کنترل بودن، پالایش شدند که در ادامه توضیح داده خواهد شد. عوامل اتلاف در تمام طول فرایند تولید، از کسب مجوزها گرفته تا انتهای جواز پایان کار، پراکنده‌اند، اما همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بازهٔ زمانی مدنظر این مقاله، فرایند اجرای پروژه است. دومین عامل انتخاب، تأثیر مستقیم بر زمان بود. عوامل از نظر رابطه‌ای که با اتلاف زمان دارند، به دو دستهٔ مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی می‌شوند. عوامل مستقیم عواملی هستند که بدون واسطه موجب اتلاف زمان می‌شوند و می‌توان آنها را به‌صورت متغیر زمانی تعریف کرد، اما عوامل غیرمستقیم به

واسطهٔ عامل دیگری موجب اتلاف می‌شوند و این عامل را نمی‌توان از جنس زمان قلمداد کرد. به‌طور مثال، کندی کار پیمانکاران فرعی یک عامل مستقیم است؛ زیرا به تنهایی سبب اتلاف زمان می‌شود. فعالیتی که در حالت عادی باید طی یک ماه انجام شود، دو ماه طول کشیده و اتلاف زمانی صورت گرفته، به‌راحتی با واحد زمان بیان می‌شود، اما بی‌تجربگی پیمانکار فرعی عامل مستقیم نیست؛ زیرا میزان اتلاف این عامل مشهود نیست. بی‌تجربگی پیمانکار ممکن است با واسطه‌ای مانند دوباره‌کاری یا کندی کار خود را نشان دهد. معمولاً عوامل غیرمستقیم، علت عوامل مستقیم هستند و برای شناسایی آنها نیاز به تجزیه و تحلیل است؛ اما عوامل مستقیم قابل مشاهده‌اند و نیاز مبرمی به تحلیل ندارند. هدف این تحقیق، کشف و رتبه‌بندی عوامل مستقیم است؛ زیرا این عوامل از جنس زمان هستند و میزان اتلاف زمان حاصل از آنها قابل محاسبه است. درنتیجه می‌توان میزان اثر آنها را روی کل زمان پروژه کشف کرد که هدف نگارنده در مقاله‌های بعدی است. سومین عامل نیز، قابل‌کنترل بودن بود. برخی عوامل مانند شرایط نامساعد جوی یا پروسهٔ طولانی کسب مجوز، قابلیت تقلیل یا حذف ندارند و از اختیار مدیر پروژه خارج است، اما عامل جابه‌جایی و دپوی نامناسب کاملاً تحت کنترل مدیر پروژه قرار دارد.

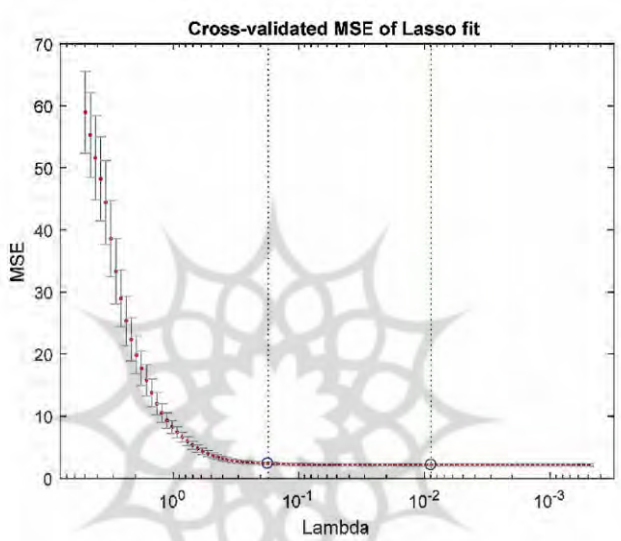
با توجه به این عوامل، ۸ عامل اتلاف شامل دوباره‌کاری، کمبود مصالح، کمبود تجهیزات، تأخیر پیمانکار، انجام همهٔ فعالیت‌ها درون کارگاه، جابه‌جایی و دپو، تداخل کاری و جلوگیری ناظر به‌دست آمد.

مرحلهٔ دوم، اولویت‌بندی و ارائهٔ فرمول پیش‌بینی است؛ به این صورت که از بین ۸ عامل کدام عامل مهم‌تر است و کل اتلاف زمانی به‌وجود آمده از آنها چه مقدار است. همچنین هر یک از عوامل به چه میزان در این اتلاف نقش دارند که در ادامه شرح داده خواهد شد.

متغیرهای مستقل، عامل‌های اتلاف زمانی هستند که مطابق جدول ۲ شماره‌گذاری شده‌اند و مقدار آنها به‌صورت صفر و یک است. مقدار ۱ معرف وجود عامل در پروژه و صفر به معنای نبود آن است. شکل ۳ نتایج مربوط به اعتبارسنجی بینابینی به‌منظور یافتن مقدار بهینهٔ پارامتر تنظیم‌کننده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کاهش مقدار این پارامتر در ابتدا موجب کاهش خطای پیش‌بینی‌شده و از عدد ۰/۰۰۱۸ کاهش آن در بهبود دقت برازش تقریباً بی‌تأثیر است. شکل ۴ نیز تغییرات مقدار بهینهٔ ضرایب مجهول β را به ازای مقادیر مختلف λ نشان می‌دهد. یکی از نتایج مهمی که از شکل ۳ به‌دست می‌آید، تأثیر تمام عوامل شناسایی‌شده در میزان اتلاف است. با توجه به مقدار λ_{MSE} مشاهده می‌شود که هیچ یک از نمودارها قبل از این مقدار و به ازای مقادیر کمتر λ صفر نشده‌اند. درنتیجه میزان اتلاف به تمام عوامل شناسایی‌شده وابسته است.

جدول ۲. عامل‌های اتلاف زمانی یا متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل مسئله							
x_{1j}	x_{2j}	x_{3j}	x_{4j}	x_{5j}	x_{6j}	x_{7j}	x_{8j}
جلوگیری ناظر	کمبود مصالح	کمبود تجهیزات	دوباره‌کاری	تأخیر پیمانکار	جابه‌جایی و دپو	تداخل کاری	انجام همهٔ فعالیت‌ها در کارگاه

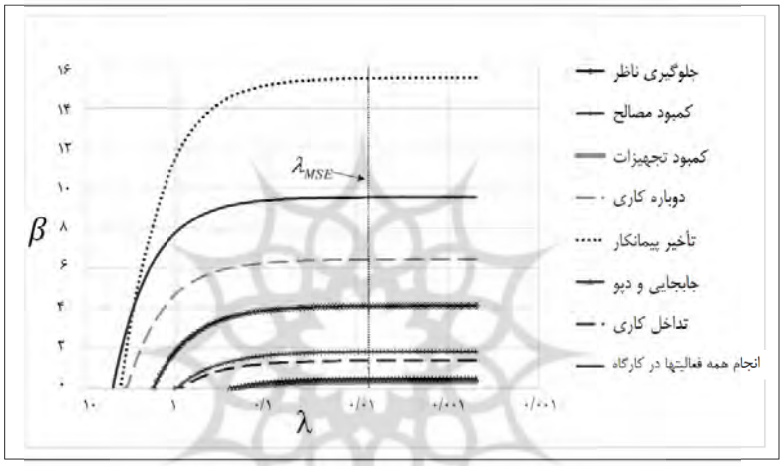


شکل ۳. اعتبارسنجی متقابل برای به‌دست آوردن مقدار بهینهٔ λ

نتیجهٔ دوم در شکل ۴ که بسیار حائز اهمیت است، ترتیب به صفر رسیدن ضرایب مجهول با افزایش مقدار پنالتی است. شایان ذکر است، مقایسه اهمیت این عوامل با در نظرگیری مقدار عددی این ضرایب به ازای هر λ ثابت، امکان‌پذیر نیست؛ زیرا به‌دلیل امکان تفاوت واحدهای اندازه‌گیری متغیرهای مستقل و نیز، تفاوت مفهومی آنها نمی‌توان به این مقایسه اطمینان کرد. تنها مقایسهٔ قابل قبول برای اولویت‌بندی عوامل، در ترتیب به صفر رسیدن این ضرایب است که میزان وابستگی هر یک از آنها به جواب واقعی مسئله را نشان می‌دهد. برای مثال، اگر نمودار β_5 مربوط به تأخیر پیمانکار و β_8 مربوط به انجام همه فعالیت‌ها در کارگاه در نظر گرفته شود، به ازای $\lambda = \lambda_{\text{MSE}}$ مقدار عددی $\beta_5 > \beta_8$ است، اما با افزایش λ، ابتدا β_5 و سپس β_8 صفر خواهد شد. این رویداد بیان‌کنندهٔ آن است که اثر عامل پنجم در بهبود جواب‌ها از عامل هشتم کمتر است و اتلاف زمانی به عامل هشتم بیشتر از عامل پنجم بستگی دارد.

با توجه به ترتیب به صفر رسیدن نمودارهای مربوط به عوامل اتلاف کـه در شـکل ۳ نشـان داده شده است، اولویت‌بندی عوامل مطابق جدول ۲ به‌دست خواهد آمد و عوامل از پراهمیت‌تـرین، به این ترتیب رتبه‌بندی می‌شوند: انجام همهٔ فعالیـت‌هـا در کارگـاه، تـأخیر نـاظر، دوبـاره‌کـاری، جلوگیری ناظر، کمبود مصالح، تداخل کاری، جابه‌جایی و دپو و درنهایت کمبود تجهیزات.

هدف دیگر، محاسبهٔ مقدار عددی اتلاف زمانی به‌دست‌آمـده از عوامـل و پـیش‌بینـی مقـدار اتلاف به‌کمک رابطهٔ ۷ و به بیان دیگر به‌دست آوردن مقدار β بود. ایـن مقـادیر بـا روش لاسـو به‌دست آمد که در جدول ۳ درج شده است.



شکل ٤. مسیرهای لاسو برای ضرایب مجهول

شکل ٥. مقایسهٔ میزان اتلاف حاصل از پیش‌بینی و مقادیر به‌دست‌آمده از نمونه‌ها

جدول ۳. مقادیر β و رتبهٔ هریک از عوامل

نام عامل اتلاف	نام متغیر	رتبه	مقادیر β
جلوگیری ناظر	x_1	۴	β_1 = ۴/۰۹۶
کمبود مصالح	x_2	۵	β_2 = ۱/۸۱۹
کمبود تجهیزات	x_3	۸	β_3 = ۰/۳۲۵
دوباره‌کاری	x_4	۳	β_4 = ۶/۴۳۰
تأخیر پیمانکار	x_5	۲	β_5 = ۱۵/۴۹۶
جابجایی و دپو	x_6	۷	β_6 = ۰/۴۵۵
تداخل کاری	x_7	۶	β_7 = ۱/۳۷۷
انجام فعالیت‌ها درون کارگاه	x_8	۱	β_8 = ۹/۵۳۲
	--	--	β_0 = -۰/۷۴۷

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، رابطهٔ ۶ به‌صورت زیر قابل ارائه خواهد بود که از یافته‌های منحصربه‌فرد این مقاله است.

$$f_{(x)} = -0.747 + .096x_1 + 4.096x_2 + 4.096x_3 + 4.096x_4 + 4.096x_5 + 4.096x_6 + 4.096x_7 + 4.096x_8$$ رابطهٔ ۱۰)

در این رابطه، متغیرهای مستقل تنها ۰ یا ۱ هستند. درنتیجه با توجه به موقعیت پروژه و تجربهٔ مدیر پروژه، مقدار اتلاف زمانی قابل پیش‌بینی خواهد بود. در شکل ۵ میزان اتلافی که از پرسشنامه و مقادیر محاسبه‌شده در فرمول پیش‌بینی میزان اتلاف زمانی به‌دست آمده، با یکدیگر مقایسه شده‌اند که با توجه به شکل، اختلاف اندکی دارند.

با توجه به رابطهٔ ۱۰، درصورتی که در پروژه‌ای هر هشت عامل وجود داشته باشد، میزان اتلاف زمانی، مقدار شایان توجهی (۳۸ درصد) خواهد شد. به‌طور مثال، اگر اجرای پروژه‌ای با وجود این عوامل ۲۰ ماه طول بکشد با حذف اتلاف‌ها می‌توان در عرض ۱۳ ماه آن را به اتمام رساند و ۷ ماه در زمان صرفه‌جویی کرد.

با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده، سه عامل تأخیر پیمانکار، انجام همهٔ فعالیت‌ها درون کارگاه و دوباره‌کاری، بدون در نظر گرفتن سایر عوامل موجب ۳۱ درصد اتلاف خواهند شد و می‌توان گفت اصلی‌ترین دلایل اتلاف همین سه عامل هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به یافته‌های پژوهش، سه نتیجه مهم به‌دست می‌آید. نتیجهٔ اول آن که تمام عوامل شناسایی‌شده در میزان اتلاف زمانی تأثیر دارند. به بیان دیگر، متغیر میزان اتلاف، به هر ۸ عامل اتلاف وابسته است، پس نمی‌توان از هیچ عاملی چشم‌پوشی کرد.

نتیجهٔ دوم، اولویت‌بندی عوامل است که با توجه به میزان وابستگی متغیر وابسته به متغیرهای مستقل به‌دست آمد که ترتیب آن از پراهمیت‌ترین تا کم‌اهمیت‌ترین بدین صورت است: انجام همهٔ فعالیت‌ها در کارگاه، تأخیر ناظر، دوباره‌کاری، جلوگیری ناظر، کمبود مصالح، تداخل کاری، جابه‌جایی و دپو و کمبود تجهیزات

نتیجهٔ سوم نیز به‌دست آوردن رابطهٔ ۱۰ است که مقدار اتلاف زمانی را به‌صورت کمّی ارائه می‌کند. مقدار اتلاف در اثر این هشت عامل، میزان ۳۸ درصد به‌دست آمد. اهمیت این فرمول از آن جهت است که معیار بسیار کارا و مناسبی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان پروژه قرار می‌دهد. با تبدیل مقدار زمان اتلاف حاصل از عوامل به هزینه و مقایسهٔ آن با هزینه‌ای که برای حذف عوامل نیاز است، مدیران می‌توانند تصمیم نهایی را دربارهٔ عوامل ایجادکنندهٔ اتلاف اتخاذ نمایند. رابطهٔ ۹ نشان می‌دهد ۳۱ درصد از موارد اتلاف به عوامل ۱ تا ۳ مربوط می‌شود که رقم شایان توجهی است.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان پیشنهادها را به دو دستهٔ تئوری و کاربردی تفکیک کرد. در دستهٔ تئوری، با توجه به داده‌های موجود، می‌توان از روش‌های دیگری مانند روش شبکهٔ عصبی برای اولویت‌بندی عوامل و همچنین فرمول پیش‌بینی میزان اتلاف استفاده کرد و یافته‌های آن را با نتایج این مقاله مقایسه نمود. در دستهٔ کاربردی نیز پیشنهاد می‌شود میزان اتلاف اصلی به‌دست‌آمده در این مقاله، در چند پروژهٔ ساختمانی ۵ تا ۷ طبقه، به‌طور دقیق ارزیابی شده و نتایج آن با یافته‌های این مقاله مقایسه شود.

فهرست منابع

حبیب‌پور، ک. صفری شالی، ر. (۱۳۹۳). *راهنمای جامع کاربرد SPSS در تحقیقات پیمایشی*. تهران: لویه.

ربانی، م.، رضایی، ک.، معنوی‌زاده، ن.، عبادیان، م. (۱۳۸۵). *تولید ناب*. تهران: آتنا.

سرمد، ز.، بازرگان، الف. (۱۳۸۴). *روش‌های تحقیق در علوم رفتاری*. تهران: آگاه.

Abd El-Razek, M. E., Bassioni, H. A. & Mobarak, A. M. (2008). Causes of delay in building construction projects in Egypt. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(11), 831–841.

Aibinu, A. A. & Odeyinka, H. A. (2006). Construction Delays and Their Causative Factors in Nigeria. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(7), 667–677.

Braun, V. & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101.

Cresswell, J. W. (1998). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five traditions.* Sage Publications Inc., Thousand Oaks, CA.

Daubechies, I., Defrise, M. & De Mol, C. (2004). An iterative thresholding algorithm for linear inverse problems with a sparsity constraint. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 57(11), 1413–1457.

Ghoddousi, P. & Hosseini, M. R. (2012). A survey of the factors affecting the productivity of construction projects in Iran. *Technological and Economic Development of Economy*, 18(1), 99–116.

González, P., González, V., Molenaar, K. & Orozco, F. (2013). Analysis of causes of delay and time performance in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(1), 1-9.

Gündüz, M., Nielsen, Y. & Özdemir, M. (2012). Quantification of Delay Factors Using the Relative Importance Index Method for Construction Projects in Turkey. *Journal of Management in Engineering*, 29(April), 133–139.

Habibpour Gatabi, K.,Safari Shali, R. (2015). *Comprehensive Manual for using SPSS in survey researches.* Tehran, Looyeh. (*in Persian*)

Habibpour Gatabi, K.,Safari Shali, R. (2015). *Comprehensive Manual for using SPSS in survey researches.* Tehran, Looyeh. (*in Persian*)

Hastie, T., Tibshirani, R. & Friedman, J. (2009). *Unsupervised learning. In The elements of statistical learning* (pp. 485–585). Springer.

Khoshgoftar, M., Bakar, A. H. A. & Osman, O. (2010). Causes of delays in Iranian construction projects. *International Journal of Construction Management*, 10(2), 53–69.

Koushki, P. A., Al Rashid, K. & Kartam, N. (2005). Delays and cost increases in the construction of private residential projects in Kuwait. *Construction Management and Economics*, 23(3), 285–294.

Larsen, J. K., Shen, G. Q., Lindhard, S. M. & Brunoe, T. D. (2015). Factors Affecting Schedule Delay, Cost Overrun, and Quality Level in Public Construction Projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(1), 10.

Liker, J. K. (2005), *The Toyota Way-14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*, McGraw-Hill, NewYork, NY.

Lo, T. Y., Fung, I. W. & Tung, K. C. (2006). Construction Delays in Hong Kong Civil Engineering Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(6), 636–649.

Marzouk, M. M. & El-Rasas, T. I. (2014). Analyzing delay causes in egyptian construction projects. *Journal of Advanced Research*, 5(1), 49–55.

Mukuka, M. J., Aigbavboa, C. O. & Thwala, W. D. (2014). A Theoretical Review of the Causes and Effects of Construction Projects Cost and Schedule Overruns. *International Conference on Emerging Trends in Computer and Image Processing (ICETCIP'2014)* Dec. 15-16, 16–19.

Neuendorf, K. A. (2002). *The content analysis guidebook*.Sage Publications Inc., Thousand Oaks, CA.

Phaniraj, K. & Sreekumar, K. S. (2014). Practical Factors Affecting Delay in High Rise Construction – A Case Study in a Construction Organization. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(5), 875–881.

Rabbani, M., Rezaei, K., Manavizadeh, N. & Ebadian, M. (2006). *Lean production* (2th ed.). Atena, Tehran.

Rabbani, M., Rezaei, K., Manavizadeh, N. & Ebadian, M. (2006). *Lean production* (2th ed.). Atena, Tehran. (*in Persian*)

Sambasivan, M. & Soon, Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management*, 25(5), 517–526.

Sarmad, Z. & Bazargan, A. (2005). *Behavorial research methodology*. Agah, Tehran. (*in Persian*)

Sarmad, Z. & Bazargan, A. (2005). *Behavorial research methodology*. Agah, Tehran. (*in Persian*)

Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 267–288.

Womack, J. P., Jones, D. T. & Roos, D. (1990). Machine that changed the world. Simon and Schuster, 1990

Zakeri, M., Olomolaiye, P. O., Holt, G. D. & Harris, F. C. (1996). A survey of constraints on Iranian construction operatives' productivity. *Construction Management & Economics*, 14(5), 417–426.