Journal of Structural and Construction Engineering, 12(08), 2025, pp. 166-187

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Modeling Time and Cost Using LPS and VSM Techniques in the Success of Linear Projects

Azad Enayati[1], Kamyar Chalaki[2*], Amir Asad Nasrizar[3], Adel Fatemi[4]

1- Department of Civil Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
*2- * Department of Industrial Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran*
3- Department of Civil Engineering, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran
4- Department of Statistics, Sanandaj Branch, Islamic Azad University, Sanandaj, Iran

ABSTRACT

Lean construction is one of the most effective modern approaches for reducing project time and costs. In the construction industry, linear projects face challenges due to significant waste and repetitive operational processes, with numerous factors influencing their success. Given that previous studies have rarely examined precise modeling of success factors and their relationship to the performance of linear projects, the primary aim of this research is to model and analyze time and cost factors in linear projects using lean construction techniques—specifically, the Last Planner System (LPS) and Value Stream Mapping (VSM)—to reduce time and cost waste, thereby enhancing performance, reducing risks, and increasing productivity in the lean construction industry. This study, centered on modeling success factors in linear projects, seeks to minimize and eliminate waste. Structural Equation Modeling (SEM) was employed to analyze data and examine the relationship between techniques and project success. The findings demonstrate that implementing the Last Planner System and Value Stream Mapping significantly reduces time and cost waste, ultimately improving project success. These techniques enhance project productivity by optimizing workflows, improving resource management, and reducing unnecessary activities, helping to achieve goals such as timely project completion, cost control, and improved execution quality. Additionally, results indicate that the Last Planner System has a greater impact on reducing time waste, whereas Value Stream Mapping is more effective in reducing cost waste. Finally, this research recommends that clients and project managers of linear projects utilize lean construction techniques to improve overall project performance and increase the likelihood of success.

ARTICLE INFO

Receive Date: 16 September 2024
Revise Date: 01 November 2024
Accept Date: 30 December 2024

Keywords:
Success of the project Project waste
Lean Construction techniques
linear projects
structural equation

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/jsce.2024.478848.3522

*Corresponding author: Kamyar Chalaki
Email address: K.chalaki@gmail.com

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir
Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

مدل‌سازی زمان و هزینه با استفاده از تکنیک‌های LPS و VSM برای موفقیت پروژه‌های خطی

آزاد عنایتی [۱]، کامیار چالاکی [۲*]، امیر اسعد نصری زر [۳] و عادل فاطمی [۴]

۱ - دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

۲ - استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران*

۳ - استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

۴ - دانشیار، گروه ریاضی، دانشکده فنی، واحد سنندج، دانشگاه آزاد اسلامی، سنندج، ایران

چکیده

ساخت‌وساز ناب یکی از کارآمدترین رویکردهای امروزی جهت کاهش زمان و هزینهٔ پروژه‌هاست. در صنعت ساخت، پروژه‌های خطی به دلیل وجود هدررفت‌های زیاد و تکرار عملیات اجرایی چالش‌برانگیزند و عوامل متعددی بر موفقیت آنها تأثیرگذار است باتوجه‌به آنکه در تحقیقات پیشین مدل‌سازی دقیق عوامل موفقیت و ارتباط آنها با عملکرد پروژه‌های خطی کمتر مورد بررسی واقع شده است، هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی و تحلیل عوامل زمان و هزینه در پروژه‌های خطی با استفاده از تکنیک‌های ساخت ناب (تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی [1] و تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش [2]) جهت کاهش هدررفت‌های زمان و هزینه به‌منظور بهبود عملکرد، کاهش خطرات و افزایش بهره‌وری در صنعت ساخت‌وساز ناب است. این پژوهش با محوریت مدل‌سازی عوامل موفقیت در پروژه‌های خطی به دنبال کاهش و حذف هدررفت‌هاست. برای تحلیل داده‌ها، رابطه بین تکنیک‌ها و موفقیت پروژه‌ها از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که به‌کارگیری سیستم آخرین برنامه‌ریزی و نقشه‌برداری جریان ارزش باعث کاهش معنادار هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای می‌شود و در نتیجه به بهبود موفقیت پروژه‌ها کمک می‌کند. این تکنیک‌ها با بهینه‌سازی فرایندهای کاری، مدیریت منابع بهینه و کاهش فعالیت‌های غیرضروری، بهره‌وری پروژه‌ها را افزایش داده و باعث دستیابی به اهدافی مانند اتمام به‌موقع پروژه، کنترل هزینه‌ها و افزایش کیفیت اجرایی می‌شوند. همچنین، نتایج نشان داد که سیستم آخرین برنامه‌ریزی تأثیر بیشتری بر کاهش هدررفت‌های زمانی دارد، درحالی‌که نقشه‌برداری جریان ارزش در کاهش هدررفت‌های هزینه‌ای اثرگذارتر بوده است. در نهایت، این پژوهش به کارفرمایان و مدیران پروژه‌های خطی پیشنهاد می‌دهد که با استفاده از تکنیک‌های ساخت ناب، عملکرد کلی پروژه‌ها را بهبود بخشند و احتمال دستیابی به موفقیت را افزایش دهند.

کلمات کلیدی: موفقیت پروژه، هدررفت‌های پروژه، تکنیک‌های ساخت ناب، پروژه‌های خطی، معادلات ساختاری.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	10.22065/jsce.2024.478848.3522
۱۴۰۳/۰۶//۲۶	۱۴۰۳/۰۸/۱۱	۱۴۰۳/۱۰/۱۰	۱۴۰۳/۱۰/۱۰	۱۴۰۴/۰۲/۳۱	doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2024.478848.3522

***نویسنده مسئول:** کامیار چالاکی

پست الکترونیکی: K.chalaki@iausdj.ac.ir

[1] Last Planner System (LPS)
[2] Value Stream Mapping (VSM)

۱- مقدمه

امروزه با گسترش روزافزون صنعت ساخت به‌عنوان یک بخش حیاتی از اقتصاد و جامعه معاصر، شناخت و اثرگذاری عوامل موفقیت در پروژه‌ها اهمیت بیشتری دارد. شرکت‌ها برای ادامه حیات در این بازار رقابتی و مملو از عدم اطمینان با چالش‌های بسیاری از جمله پیچیدگی بالا، مدیریت منابع محدود، تأمین مواد ساخت و افزایش هزینه‌ها مواجه هستند که نگرانی در مورد اجرای کار طبق برنامه را افزایش می‌دهد[۲] , [۱] برای رفع این چالش‌ها، پیروی از اصول تفکرهای مدرن و به‌کارگیری ابزارهای به‌روز مدیریتی می‌تواند دست‌یابی به موفقیت در صنعت ساخت را تسهیل کند [۳].

فلسفه ساخت سنتی انعطاف‌پذیری کمتری دارد و به‌جای تمرکز روی زمان چرخه پروژه، روی کمینه‌کردن هزینه‌های کل پروژه و ورودی‌ها و خروجی‌ها متمرکز است به همین علت بیشتر پروژه‌های انجام شده با سیستم ساخت سنتی با افزایش زمان و هزینه مواجه‌اند. در ساخت ناب به مجموعه‌ای از عوامل که منجر به مصرف غیرضروری منابع، زمان و هزینه‌ها در فرایند ساخت می‌شوند هدررفت یا اتلاف گفته می‌شود. هدف اصلی ساخت ناب، شناسایی، کاهش و در حالت ایدئال حذف هدررفت‌ها به‌منظور بهینه‌سازی فرایندها و افزایش بهره‌وری است [۵] , [۴] . تحقیقات انجام شده بر روی دلایل شکست پروژه‌ها در صنعت ساخت نشان می‌دهد در بسیاری از موارد ارزش‌افزوده کم در فعالیت‌های صنعت ساخت به همراه فعالیت‌های غیرمفید، برنامه‌ریزی نامناسب، کمبود منابع و عدم قطعیت‌ها از مشکلات اصلی عدم موفقیت پروژه‌ها هستند، در نتیجه زمان انتظار و معطلی، دوباره‌کاری، تولید بیش از حد، دپوی مازاد مصالح و انواع دیگر هدررفت‌ها به وجود می‌آیند [۶] , [۷].

تمام تلاش‌ها در پروژه‌های ساخت جهت دستیابی به اهداف پروژه به دلیل هزینه‌های زیاد، تغییرات حین اجرا همچنین انحراف زیاد از برنامه‌های زمانی و هزینه‌ای همواره نیازمند رویکردهای نوین به‌منظور بهبود عملکرد هستند به همین دلیل بررسی هر عاملی که باعث بهبود عملکرد اجرای این پروژه‌ها شود موردتوجه کارفرمایان و مدیران خواهد شد. بررسی علل عدم موفقیت در پروژه‌های ساخت و اندیشیدن تدابیری جهت بهبود عوامل کلیدی موفقیت مسئله‌ای جدی است که در مطالعات گذشته موردتوجه قرار گرفته است. موفقیت پروژه معمولاً به‌عنوان دستیابی به برخی از اهداف از پیش تعیین شده پروژه تلقی می‌شود که معمولاً پارامترهای متعددی مانند زمان، هزینه، عملکرد، کیفیت و ایمنی را شامل می‌شود [۸]. در حوزه عوامل موفقیت در پروژه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف‌نظر زیادی وجود داشته و نمی‌توان یک عامل کلی برای موفقیت پروژه‌ها تعریف نمود؛ لذا در بیشتر مطالعات گذشته به‌صورت مشترک عوامل زمان، هزینه و کیفیت جزء عوامل کلیدی موفقیت پروژه شناسایی شده است، به این معنی که پروژه در مدت‌زمان برنامه‌ریزی‌شده اولیه به پایان برسد و بر اساس بودجه تعیین شده به بهره‌برداری برسد و از لحاظ کیفیت انتظارات کارفرما را برآورده سازد، در صورت کسب این سه عامل پروژه عملکرد مناسبی داشته و در واقع یک پروژه موفق خواهد بود [۹] , [۱۰].

چالش‌های بخش ساخت بر ضرورت پیاده‌سازی مفاهیم ناب در پروژه‌های ساخت تأکید دارند. درک کاملی از فلسفه ناب اولین هدف ساخت ناب است. تعیین ارزش، شناسایی جریان ارزش، اطمینان از جریان مداوم، استفاده از کشش به‌جای فشار در تولید، هدف برای کمال و بهبود مستمر از اصول تفکر ناب محسوب می‌شوند [۱۱]. ساخت ناب فلسفه‌ای است که در اوایل دهه ۹۰ با سه ایده تبدیل، جریان و ارزش معرفی شد [۱۲]. صنعت ساخت ناب در توسعه و تحول شهرها و جوامع مدرن اهمیت زیادی دارد. بهبود مدیریت و اجرای پروژه‌های ساخت ناب نه‌تنها می‌تواند به کاهش هزینه‌ها و زمان‌بندی بهتر پروژه‌ها منجر شود، بلکه می‌تواند تأثیر مثبتی بر کیفیت زندگی افراد و توسعه اقتصادی منطقه و کشور داشته باشد [۱۳] , [۱۴]. مدیریت ساخت ناب به دنبال راهکاری برای به‌حداقل‌رساندن هدررفت‌ها و حداکثرسازی ارزش کسب شده است [۱۵]. شناسایی، مدل‌سازی و پیاده‌سازی موفق اصول و تکنیک‌های ساخت ناب به عواملی بستگی دارد که باید شناسایی و مستند شوند و به طور واضح با مجموعه وسیع‌تری از ذی‌نفعان در ارتباط باشند تا شانس موفقیت پروژه را افزایش دهند [۱۶]. ساخت معیوب در پروژه‌های ساخت مشکلات بسیاری به وجود می‌آورد، این نوع ساخت با استفاده از تکنیک‌های ناب بهبود می‌یابد. مشکلات ناشی از افزایش زمان را می‌توان با برنامه‌ریزی صحیح، شناسایی و پیاده‌سازی تکنیک‌های ساخت ناب کاهش داد. همچنین، با پیاده‌سازی تکنیک‌های ساخت ناب که به حذف هدررفت‌ها و عدم دوباره‌کاری‌ها می‌انجامد، می‌توان به مهم‌ترین اهداف پروژه‌ها که همان

اتمام به‌موقع پروژه با هزینه معین و کیفیت مطلوب است، دست‌یافت [۱۷]. به‌طورکلی، اصول و تکنیک‌های ساخت ناب بر مزایای تجربیات قبلی برای حل مشکلات فعلی و صرفه‌جویی در منابع برای موفقیت پروژه‌ها تمرکز دارند [۱۸]. مدیریت ساخت ناب یک رویکرد استراتژیک است که به‌منظور بهبود کارایی، به‌حداقل‌رساندن هدررفت‌ها و افزایش کیفیت در پروژه‌های مختلف به کار گرفته می‌شود. به‌کارگیری تکنیک‌های ساخت ناب تأثیر بسزایی در عوامل موفقیت پروژه دارند [۱۹]. با پیاده‌سازی این تکنیک‌ها، پروژه‌ها به‌صورت بهتر و کارآمدتر اجرا می‌شوند که در نهایت منجر به افزایش رضایت ذی‌نفعان و بهبود عملکرد کلان سازمان می‌شوند [۲۰].

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های خطی و بهره‌برداری به‌موقع از آن‌ها نقش مهمی در توسعه کشورها ایفا می‌کنند. مطالعات نشان می‌دهند به دلیل ماهیت پروژه‌های خطی که دارای هدررفت زیادی هستند، اکثر مواقع با عدم موفقیت در پروژه‌ها مواجهیم. علاوه بر این، تأخیر در اتمام به‌موقع این پروژه‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل هدررفت سرمایه به‌حساب می‌آید [۲۰] , [۲۱]. پروژه‌های خطی (مثل پروژه‌های راه، راه‌آهن و خطوط انتقال) با تغییرات غیرقابل‌پیش‌بینی عمده‌ای مثل شرایط آب‌وهوایی، تغییرات اعمال شده توسط کارفرما، وابستگی‌های متعدد و فرایندهای مختلف مواجه هستند. این موارد غالباً اثرات قابل‌توجهی روی عدم موفقیت این پروژه‌ها خواهند گذاشت. با شناسایی مشکلات و هدررفت‌های پروژه‌های خطی می‌توان از تکنیک‌های ساخت ناب و شیوه پیاده‌سازی و سنجش عملکرد پروژه و تأثیر هر کدام از تکنیک‌های ناب بر عوامل هدررفت زمان، هزینه و کیفیت، موفقیت پروژه‌های خطی را بهبود بخشید [۲۱]. پروژه‌های خطی مراحل اجرای آنها به ترتیب و به‌صورت پیوسته انجام می‌شود. در این نوع پروژه‌ها، فعالیت‌های تکراری و مشابه در هر واحد ادامه دارد و تغییرات و پیشرفت‌ها به‌صورت مستمر و خطی اتفاق می‌افتد. زمان‌بندی مراحل به ترتیب انجام می‌شود و هر مرحله پس از تکمیل به مرحله بعدی منتقل می‌شود. این مسیر ترتیبی و پیوسته از ابتدا تا انتها، به‌دست‌آوردن هدف نهایی پروژه را تسهیل می‌کند [۲۲].

تکنیک‌های ناب می‌توانند در تحویل پروژه‌های پیچیده و خطی مؤثر باشند. باتوجه‌به پیچیدگی بالا و نیاز به هماهنگی دقیق در پروژه‌های خطی، شناسایی تکنیک‌های ساخت ناب و عوامل تأثیرگذار بر موفقیت آنها حائز اهمیت است[۲۱] , [۲۳]. یکی از شاخص‌های اصلی در ارزیابی موفقیت پروژه‌های خطی، اجرای بدون هدررفت‌های زمان، هزینه و منابع است. پروژه‌های خطی نسبت به پروژه‌های ساختمانی فعالیت‌های مشابه بیشتری دارند، در صورت معیوب‌شدن یک فعالیت و تکرار آن، موفقیت پروژه در تنگنا قرار می‌گیرد. پروژه‌های ساخت خطی به‌طورکلی دارای سه فعالیت اصلی خطی، بلوکی و میله‌ای هستند که می‌توانند به فعالیت‌های تکراری و غیرتکراری تقسیم شوند [۲۲]. کاهش هدررفت‌های جابه‌جایی منابع با تأمین ظرفیت و تسطیح منابع در زمان‌های کوتاه و دپوی مناسب مصالح در پروژه‌های خطی می‌تواند انجام شود [۲۴]. پروژه‌های خطی معمولاً با مشخص‌شدن نیازمندی‌ها، طراحی، اجرا، تست و بهره‌برداری به ترتیب انجام می‌شوند. این نوع پروژه‌ها در زمان و هزینه کنترل‌پذیرتر بوده و امکان مدیریت بهبود مستمر در فرایندها را فراهم می‌کنند. به‌طورکلی، هماهنگی مدیریتی، استفاده از تکنولوژی و مدیریت نوین، مدیریت ریسک و مشارکت فعال ذی‌نفعان پروژه از عواملی هستند که می‌توانند به موفقیت پروژه‌های خطی کمک کند [۲۲].

باتوجه‌به اهمیت موضوع و نیاز به بهبود کلان صنعت ساخت ناب، تحقیقات در زمینه مدل‌سازی عوامل موفقیت پروژه‌های خطی به‌عنوان یک موضوع پژوهشی مهم و دارای اهمیت و ضرورت بالا مطرح است. حال، سؤال این است که تأثیر تکنیک‌های ساخت ناب بر عوامل هدررفت پروژه‌های خطی به چه میزان باعث موفقیت این نوع پروژه‌ها می‌شود. پژوهش حاضر از دو جنبه دارای اهمیت و کاربرد است: اول آنکه، رابطه روش‌های مدیریتی نوین ساخت را بین تکنیک‌های سیستم آخرین برنامه‌ریزی و نقشه‌برداری جریان ارزش و هدررفت‌های پروژه‌های خطی بیان می‌نماید، همچنین مدلی برای تأثیر این تکنیک‌های ساخت ناب بر عوامل کلیدی موفقیت در پروژه‌های خطی ارائه می‌دهد.

۲- مرور ادبیات

اولین نشانه‌های تفکر تولید فرایندمحور در تولید تجهیزات نظامی و نیز به سال‌های ۱۴۵۰ میلادی بر می‌گردد. هنری فورد در سال ۱۹۱۳ میلادی در"هایلند پارک" میشیگان اولین فرایند تولید یکپارچه را به وجود آمد. وی قطعات مجزا و قابل‌جایگزین را به خط تولید استاندارد پیوند زد تا جریان تولید را به وجود آورد [۲۴]. سرآغاز تولید ناب به صنعت اتومبیل‌سازی در کارخانهٔ تویوتا در ژاپن باز

می‌گردد، در سال‌های ۱۹۳۰ تا پس از پایان جنگ جهانی دوم، کیچیرو تویوتا[3] و تایچی اوهنو[4] و سایر همکاران با یک سری خلاقیت‌های ساده، امکان دستیابی به جریان فرایندی پیوسته و تنوع گسترده در محصولات به طور هم‌زمان را به وجود آوردند. برای اولین‌بار در کتاب «ماشینی که جهان را تغییر داد» تشریح کامل اقدامات انجام شده تولید ناب تویوتا آمده است [۴]. اصول تولید ناب در صنعت ساخت، توسط کاسکلا در سال ۱۹۹۳ مطرح شد و با کمی اصلاحات تحت عنوان ساخت ناب در یازده اصل تشریح و تبیین گردید[۲۶].

هدررفت‌ها به‌صورت کلی به دودسته پیاده‌سازی و فرایندی تقسیم‌بندی می‌شوند که دسته پیاده‌سازی شامل انتظار و تغییروتحول و دسته فرایندی شامل مازاد تولید، حمل و جابه‌جایی، پردازش اضافی، انبار و تولید محصولات معیوب هستند [۲۷]. هدف روش مدیریت ساخت ناب، کاهش هدررفت برای به‌دست‌آوردن حداکثر بهره‌وری است. سنگ بنای ساخت‌وساز ناب همکاری و مشارکت بین تمامی ارکان پروژه کارفرما، مشاور، پیمانکار، پیمانکار جزء و تأمین‌کننده مصالح در امر ساخت‌وساز است. تمام افراد دخیل باید با همکار کنند تا از طریق بهبود فرایندها و حذف هدررفت‌ها ارزش ایجاد کنند [۲۸].

باجو و چافی[5] (۲۰۲۰)، به مطالعه مهم‌ترین هدررفت‌های پروژه‌های ساختمانی مراکش از طریق پرسش‌نامه پرداخته است، پنج هدررفت مهم شامل تأخیر در شروع فعالیت، دوباره‌کاری، استفاده‌نکردن از خلاقیت افراد متخصص، فرایند طولانی برای تأیید مراحل بعدی کار، معطلی به دلیل عدم انجام کار دیگران شناسایی شده‌اند. وومک[6] و همکاران، (۲۰۰۷) هشت نوع اصلی هدررفت شامل کار معیوب، تولید بیش از حد، دپوی زیاد مصالح، جابه‌جایی‌های غیرضروری، حمل‌ونقل مواد بدون هدف، حرکت کارمند بدون هدف، فرایند انتظار کارمندان برای اتمام کار تجهیزات یا برای یک فعالیت پیش‌نیازی جهت تکمیل، کالاها و خدماتی که نیازهای مشتری را برآورده نمی‌کند را شناسایی می‌کنند. در مطالعه‌ای از کشورهایی مثل بریتانیا و استرالیا نشان داد که دوباره‌کاری در صنعت ساخت‌وساز از مهم‌ترین هدررفت‌های افزایش هزینه محسوب می‌شود. هدررفت‌ها در صنایع مختلف متفاوت هستند. صنعت تولید نسبتاً قابل‌پیش‌بینی‌تر و سازمان‌یافته‌تر از صنعت ساخت‌وساز است، به همین دلیل در صنعت تولید ۱۲ درصد هدررفت زمانی وجود دارد درحالی‌که صنعت ساخت ۵۷ درصد است؛ بنابراین صنعت ساخت دامنه گسترده‌تری دارد تا با اتلاف کمتر از نظر زمان و هزینه، کارآمدتر و سازنده‌تر باشد [۱۱].

شاقور[7]، (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای تشریح کرد استفاده از ساخت ناب در کشور مصر می‌تواند به بهبود بهره‌وری، کاهش هدررفت منابع، و افزایش کیفیت پروژه‌ها کمک کند. همچنین شش عامل شناسایی شده هدررفت‌های پروژه‌های ساخت در کشور مصر به ترتیب اهمیت شامل دوباره‌کاری به دلیل ساخت معیوب، جابه‌جایی مصالح، مصالح دپو شده، جابه‌جایی‌های اضافی تجهیزات و نیروی انسانی، تولید انبوه، معطل ماندن مراحل بعدی کار برای دریافت تأییدیه یا تصمیم‌گیری یا شناسایی اطلاعات بر اساس سطح دانش و کاربرد هستند. مطالعه‌ای به‌منظور کمک به ایجاد یک سیستم ساخت ناب با انتخاب مناسب‌ترین تکنیک‌های ناب برای تعیین و حذف هدررفت‌ها در فرایندهای ساخت با افزایش کارایی فرایندها، کاهش هزینه‌ها به دست آمد. در محدوده مطالعه، هدررفت‌های ناشی از فرایندهای ساخت‌وساز و انتخاب تکنیک‌های تولید ناب که می‌تواند این هدررفت‌ها را حذف کند، به‌عنوان یک مشکل تصمیم‌گیری چندمعیاره موردبحث قرار گرفت. در این مسئله هدررفت‌ها به‌عنوان معیار تصمیم‌گیری و تکنیک‌های ناب به‌عنوان جایگزین راه‌حل تعیین شدند [۳۰].

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان[8](BIM) توسط ساخت بین‌المللی هوشمند[9] به‌عنوان "رویکردی جدید برای توصیف و نمایش اطلاعات موردنیاز برای طراحی، ساخت و بهره‌برداری از تأسیسات ساخته شده" تعریف شده است و روزبه‌روز محبوبیت بیشتری پیدا می‌کند[۳۱]. آسلام[10] و همکاران (۲۰۲۰)، مطالعه‌ای باهدف عوامل مؤثر ساخت ناب برای تسریع در پروژه‌های ساخت پرداختند. ۷۳٪ از پاسخ‌دهندگان BIM و ۵۴٪ تکنیک LPS را به‌عنوان قدرتمندترین ابزار برای اجرای موفقیت‌آمیز ساخت ناب معرفی کردند. تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی یک رویکرد مدیریت پروژه مبتنی بر تفکر ناب است که به‌منظور بهبود قابلیت اطمینان در اجرای پروژه‌ها به‌ویژه در

[3] Kiichiro Toyoda
[4] Taiichi Ohno
[5] Bajjou, M.S. and A. Chafi
[6] Womack
[7] Shaqour
[8] Building Information Modeling
[9] Building SMART International
[10] Aslam

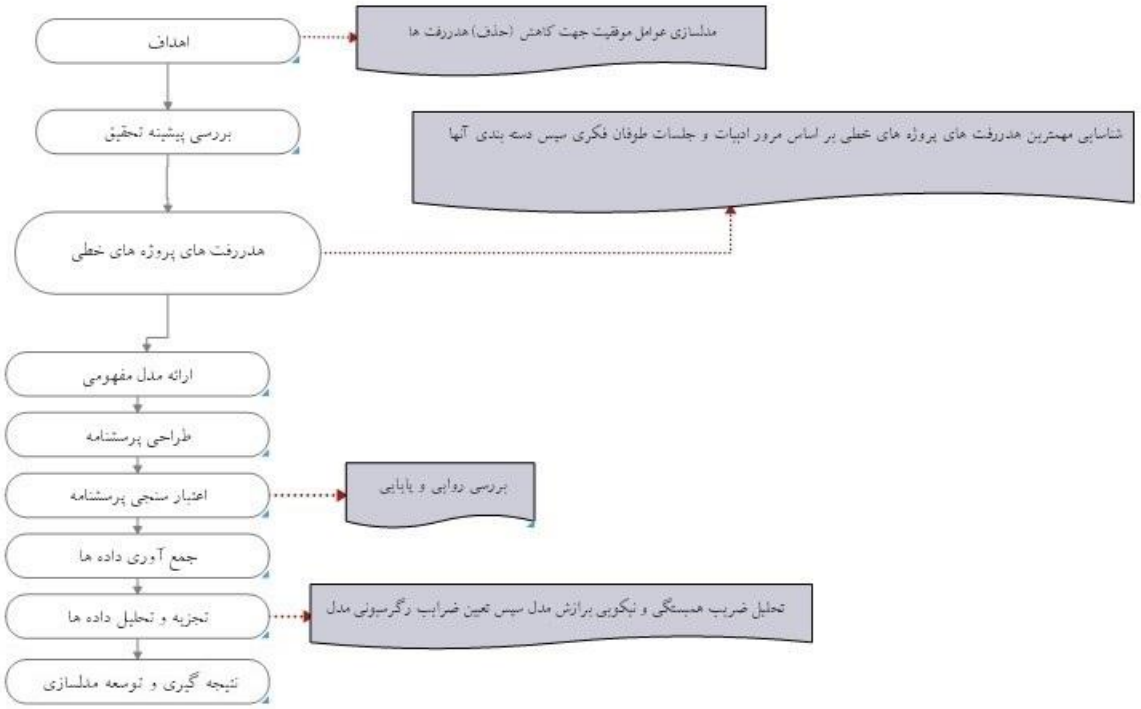
صنعت ساخت‌وساز توسعه‌یافته است. این سیستم با درگیرکردن آخرین برنامه‌ریزان (افرادی که نزدیک‌ترین ارتباط را با اجرای واقعی کارها دارند، مانند سرکارگران و سرپرستان) به برنامه‌ریزی و اجرای وظایف، کاهش هدررفت‌ها و بهبود جریان کار کمک می‌کند. این تکنیک دارای چهار سطح زمان‌بندی اصلی یا بلندمدت، زمان‌بندی فاز، برنامه پیشرو، برنامه کاری هفتگی است که مزایایی چون فرایند جریان کاری بدون مشکل، پیش‌بینی برنامه کار، کاهش هزینه‌ها، کاهش زمان تحویل پروژه، همکاری بهتر کارمندان و پیمانکاران جزء را دارد [۳۲]. سلاما[11] و همکاران (۲۰۲۱)، در مطالعه‌ای تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی را به‌منظور برنامه‌ریزی خطی ساختمان‌های مدولار مورد بررسی قرار دادند، اثرات و مزایای این ادغام به‌منظور بهبود کارایی و کاهش تأخیرات در پروژه‌های ساختمانی مدولار مورد بررسی قرار گرفته است. تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش (VSM) یکی از ابزارهای مدیریت ناب است که در پروژه‌های ساخت‌وساز برای شناسایی و حذف هدررفت‌ها و بهبود بهره‌وری استفاده می‌شود. در پروژه‌های ساخت، VSM می‌تواند به تحلیل و بهبود جریان کار، مواد و اطلاعات در طول چرخه عمر پروژه کمک کند. هدف این تکنیک ایجاد یک دید کلی از فرایندها و شناسایی مراحلی است که ارزش‌افزوده‌ای به پروژه اضافه می‌کنند. این تکنیک دارای هشت گام انتخاب فرایند یا جریان ارزش، تشکیل تیم و جمع‌آوری داده‌ها، ترسیم نقشه وضعیت جاری، تحلیل نقشه وضعیت جاری، ترسیم نقشه وضعیت آینده، تدوین برنامه اجرایی برای بهبود، پیاده‌سازی و نظارت بر پیشرفت، بهبود مستمر و بازبینی نقشه جریان ارزش است. پروژه‌های تولید بتن با تکنیک‌هایی نظیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش (VSM) و مدل شبیه‌سازی مبتنی بر آرنا[12] بر روی فرایند تولید بتن مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تحلیل نشان می‌دهند که با بهره‌گیری از اصول و تکنیک‌های ساخت ناب، امکان بهبود فرایند تولید بتن و بهبود کیفیت و بهره‌وری آن وجود دارد[۳۴]. در صنعت ساخت زمان اتمام[13]، ابزار تجسم[14]، جلسات روزانه و تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش رایج‌ترین تکنیک‌های ناب برای ساخت پایدار هستند. همچنین چندین حوزه ارتباط بین ناب و پایداری به‌عنوان کاهش هدررفت، مدیریت محیط‌زیست، به حداکثر رساندن ارزش و بهبود سلامت و ایمنی شناسایی شده‌اند[۳۵] , [۳۶].

در بررسی‌های صورت‌گرفته از مقالات ارائه‌شده توسط دیگران این مطلب را برداشت کرد که در اینجا فقدان ارائه مدل‌سازی‌هایی برای کسب مهم‌ترین اهداف پروژه به‌صورت منسجم در پروژه‌های خطی احساس می‌شود که بتواند تمامی حالت‌های ممکن را برای موفقیت‌ها به‌صورت مستمر بهبود ببخشد. در این پژوهش مدل‌سازی که مبتنی بر مدیریت ساخت ناب است به مسئله زمان، هزینه برای پروژه‌های خطی شامل پروژه‌های راه، راه‌آهن و خطوط انتقال به‌صورت ویژه پرداخته شده است.

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر از بعد هدف تحقیقی و توسعه‌ای است که علاوه بر شناسایی هدررفت‌ها، مدلی جهت موفقیت پروژه‌های خطی ارائه می‌دهد. روش‌شناسی تحقیق با تعیین اهداف شروع می‌شود سپس با مرور ادبیات، چشم‌انداز تحقیق در راستای رسیدن به اهداف تحقیق پیش می‌رود. در اینجا نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در دو بخش توصیفی و مدل‌سازی رویکرد پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش توصیفی به ارائه شاخص‌های توصیفی مربوط به خبرگان و پاسخ‌دهندگان به پرسش‌نامه‌های پژوهش و در بخش دوم به مدل‌سازی رویکرد پژوهش می‌پردازیم. ابزار گردآوری داده‌ها در این تحقیق پرسش‌نامه‌های مبتنی بر مقالات پایه و محقق ساخته شده است. شکل ۱ مروری بر مراحل روش تحقیق را به‌صورت کلی نشان می‌دهد.

[11] Salama
[12] Arena
[13] Takt Time
[14] Kanban

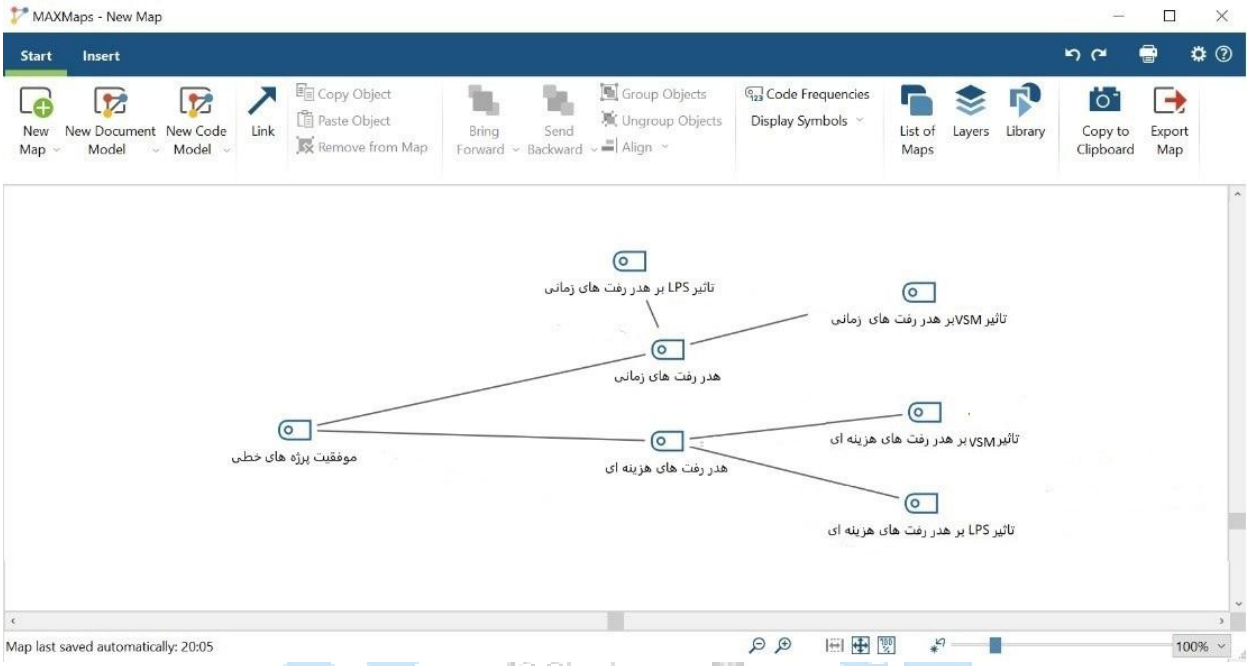


شکل۱ : متدولوژی تحقیق

شناسایی مهم‌ترین هدررفت‌ها به‌صورت کتابخانه‌ای در راستای رسیدن به اهداف تحقیق با بررسی ۳۷ مقاله در میان‌سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۳ انجام شد. تعداد ۲۰ هدررفت به ترتیب تعداد ارجاع به شرح زیر شناسایی شدند: معطل ماندن کارگران برای رسیدن تجهیزات یا منتظر ماندن اتمام کار کارگران قبلی، دوباره‌کاری یا بازرسی و تست مجدد از مصالح و کار معیوب، معطل ماندن مراحل بعدی کار برای دریافت تأییدیه یا تصمیم‌گیری یا اطلاعات، جابه‌جایی بی‌مورد مصالح و تجهیزات، هزینه بازرسی برای کارهای معیوب، مصالح مازاد، معطل ماندن تجهیزات برای تغییر اپراتور، مراحل اضافی برای انجام یک کار، گشتن برای مصالح و ابزار و اطلاعات، استفاده‌نکردن از تخصص افراد، چارت سازمانی ضعیف، درخواست‌های زیاد مصالح بدون برنامه، مصالح در مکان مناسب قرار نداشته، نداشتن چک‌لیست برای مصالح و کارها، روش اجرای ضعیف، نداشتن توانایی انجام یک کار به دلیل نداشتن استاندارد مشخص و نقشه، طراحی اضافی یا برنامه اضافی کار، درخواستی برای تولید ارسال نمی‌شود، انجام کار زودتر از برنامه بدون آنکه به آن نیاز باشد، وجود اطلاعات ناقص در مورد مصالح و تولید.

برای دسته‌بندی مهم‌ترین هدررفت‌های پروژه‌های خطی جلسات طوفان فکری به‌صورت آنلاین با ۸ نفر (۳ نفر مدیر پروژه، ۴ نفر مسئول کنترل پروژه و ۱ نفر مدرس حوزه ساخت ناب در مؤسسه مدیریت ساخت) باسابقه کاری بیش از ۱۵ سال فعالیت در زمینه پروژه‌های خطی و آشنا با مفاهیم ساخت ناب برگزار شد. منظور از هدررفت‌های زمانی فعالیت‌ها و عواملی هستند که از نظر زمانی ارزش‌افزوده ایجاد نمی‌کنند و باعث به تأخیرافتادن پروژه‌ها می‌شوند و منظور از هدررفت‌های هزینه‌ای نیز فعالیت‌ها و عواملی هستند که باعث مصرف غیرضروری منابع شده و از لحاظ هزینه‌ای تأثیر مثبتی در موفقیت پروژه ایجاد نمی‌کنند. با اجماع خبرگان، ۱۲ هدررفت پروژه‌های خطی که در جدول ۲ بصورت Wa۱ تا Wa۹ هدررفت های زمانی و Wa۱۰ تا Wa۱۲ هدررفت های هزینه ای نشان داده شده است، دسته بندی شدند. مصاحبه نیمه‌ساختارمند به‌صورت آنلاین با خبرگان جهت استخراج مدل مفهومی انجام شد. محققان با انجام سیزده مصاحبه که هر مصاحبه از طریق نرم‌افزار MAXQDA نسخه ۲۰۲۰، تحلیل و با استفاده از روش گراندد تئوری اس اهداف تحقیق

جمع‌آوری گردید با رویکرد گلاسر و اشتراس[۳۷] ، کدگذاری انجام و مدل نهائی استخراج شد. شکل ۲ مدل مفهومی استخراج شده بخشی از تحلیل‌های صورت‌گرفته در نرم‌افزار MAXQDA است.



شکل۲ : مدل مفهومی با استفاده از نرم افزار MAXQDA

برای جمع‌آوری داده‌های پژوهش از ابزار پرسش‌نامه استفاده شد. پرسش‌نامه پژوهش طبق جدول ۱ مشتمل بر ۳۸ سؤال و در قالب مقیاس پنج‌گزینه‌ای لیکرت مورداستفاده قرار گرفته است.

جدول۱ : شاخص‌ها و تعداد گویه‌های پرسش‌نامه پژوهش

شاخص	تعداد گویه‌ها
موفقیت پروژه‌های خطی	۲
هدررفت‌های پروژه‌های خطی	۱۲
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌ها	۱۲
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌ها	۱۲

در این تحقیق برای ارزیابی اعتبار ابزار سنجش (پرسش‌نامه) از اعتباریابی صوری استفاده شده است. برای بررسی پایایی سؤال‌های پرسش‌نامه طراحی شده، از آزمون آلفای کرونباخ (α) استفاده شده است که از فرمول ۱ برای محاسبه آن استفاده می‌شود. به‌عنوان یک قاعدهٔ کلی، حدنصاب و به عبارتی مقدار لازم آلفا برای یک شاخص را ۰/۷۰ در نظر می‌گیرند و چنانچه مقدار ضریب آلفا بزرگ‌تر و یا مساوی ۰/۷۰ باشد آنگاه ابزار اندازه‌گیری از پایایی بالایی برخوردار بوده و در این صورت بهتر می‌توان به نتایج آن اعتماد کرد [۳۸].

$$a = \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{k} S_i^2}{S_t^2}\right) \qquad (1)$$

که در آن:

K: تعداد گویه‌ها یا سؤالات یک شاخص؛

S^2_i: واریانس نمرات مربوط به گویه شماره j ام؛

S^2_t: واریانس جمع نمره‌های هر پاسخگو (واریانس کل شاخص).

جامعه آماری متخصصین پروژه‌های خطی دارای تجربه ساخت ناب هستند. در تحقیق حاضر از روش نمونه‌گیری هدفمند استفاده شد و تعداد ۸۰ نفر به‌عنوان نمونه پژوهش انتخاب شدند. لینک سؤالات از طریق ایمیل در اختیار آنها قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد تا نظرات خود را در خصوص سؤالات بیان نمایند. پرسش‌نامه به دو بخش اطلاعات جمعیت‌شناختی و سؤالات اصلی تفکیک شد. هر سؤال برای دریافت پاسخ‌های واضح جهت تأثیر هدررفت‌ها با به‌کارگیری تکنیک‌های ناب بر عوامل موفقیت پروژه‌های خطی طراحی شده است.

قبل از انجام معادلات ساختاری با استفاده از نرم‌افزار سمارت پی ال اس چندین پیش‌فرض شامل آزمون نرمال بودن کولموگروف - اسمیرنوف، تحلیل همبستگی اسپیرمن بررسی می‌شود.

برای بررسی تأثیر میان متغیرها از ضریب رگرسیونی استاندارد و برای معنی‌داری ضرایب رگرسیونی از مقدار آماره‌اتی استفاده شده است. همچنین برای میزان بیان واریانس متغیرهای وابسته از مقدار ضریب تعیین تعدیل شده (R^2) استفاده می شود. جهت بررسی تناسب پیش بینی مدل از مقدار آماره استون گیسر و برای سنجش مناسب بودن مدل از معیارهای نیکویی برازش استفاده می شود.

۴- بحث بر روی نتایج

عوامل موفقیت	شماره هدررفت	شرح هدررفت
تأثیر هدررفت‌های شناسایی شده بر افزایش زمان در پروژه‌های خطی	wa۱	معطل ماندن کارگران برای رسیدن تجهیزات یا اتمام کار کارگران قبلی
	wa۲	توقف تجهیزات و ماشین‌آلات (عوامل تحت کنترل پیمانکار)
	wa۳	تأخیر در انجام فعالیت‌های پیش‌نیازی به دلیل تأخیر در دریافت مجوز و تأییدیه یا اطلاعات
	wa۴	جابه‌جایی‌های غیرضروری منابع (نیروی انسانی، مواد و مصالح، ماشین‌آلات و تجهیزات)
	wa۵	تخصیص نامناسب منابع انسانی
	wa۶	استفاده‌نکردن از خلاقیت کارکنان در طراحی فرایندها

		wa۷	ضعف در برنامه‌ریزی و برنامه زمان‌بندی
		wa۸	نبودن استاندارد مشخص برای انجام کارها
		wa۹	تفسیر اشتباه در اسناد پیمان، نقشه و مشخصات فنی
	تأثیر هدررفت‌های شناسایی شده بر افزایش هزینه در پروژه‌های خطی	wa۱۰	انباشت مصالح مازاد
		wa۱۱	عدم دسترسی مناسب به مصالح
		wa۱۲	نداشتن چک‌لیست برای اجرای کارها

واکاوی اطلاعات، فرایندی چندمرحله‌ای است که طی آن پس از گردآوری داده‌ها و محاسبه مقادیر متغیرهای موردنظر برای آزمون فرضیه‌های پژوهش، اطلاعات حاصله مورد آزمون قرار گرفته و بر اساس یافته حاصل از آزمون‌ها، نسبت به تأیید یا رد و تفسیر آنها اقدام می‌گردد. در این فصل اطلاعات مربوط به پاسخ ۸۰ نفر از افراد جامعه آماری پژوهش جمع آوری شده تا بر اساس آن رابطه بین متغیرها برای آزمون فرضیه‌های تحقیق بررسی شود. داده‌های جمع آوری شده با استفاده از نرم افزارهای اس.پی.اس.اس نسخه ۲۴ و اسمارت پی.ال.اس نسخه ۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. این بخش مشتمل بر سه گفتار اصلی است: نخست نتایج شناسایی هدررفت‌های پروژه‌های خطی و استخراج مدل مفهومی است سپس به آمار توصیفی اختصاص دارد که در آن داده‌های پژوهش با استفاده از شاخص‌های مرکزی و پراکندگی تشریح می‌گردند، در گفتار سوم که به آمار استنباطی اختصاص دارد پس از بررسی توزیع داده‌ها و معنی‌داری روابط، مدل مفهومی تحقیق برازش داده شده و فرضیه‌های پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۴-۱- هدررفت‌های پروژه‌های خطی

شناسایی هدررفت‌های پروژه‌های خطی ابتدا با مطالعات کتابخانه‌ای سپس با برگزاری جلسات آنلاین با خبرگان در دو عامل زمان شامل نه هدررفت، هزینه شامل سه هدررفت دسته‌بندی‌شده‌اند که در جدول ۲ نشان‌داده‌شده است.

جدول۲ : شناسایی و دسته‌بندی هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای

پروژه‌های خطی مانند جاده‌سازی، خطوط لوله، و راه‌آهن به دلیل ماهیت طولی و متوالی آن‌ها، حساسیت بالایی نسبت به عوامل هدررفت و تأخیر دارند. هر گونه اختلال در یکی از بخش‌های این نوع پروژه‌ها می‌تواند به افزایش زمان و هزینه منجر شود. در اینجا به تشریح تأثیرات هدررفت‌های شناسایی شده بر افزایش زمان و هزینه در پروژه‌های خطی می‌پردازیم:

۴-۱-۱- تأثیر هدررفت‌های شناسایی شده بر افزایش زمان در پروژه‌های خطی

Wa۱: معطل ماندن کارگران برای رسیدن تجهیزات یا اتمام کار کارگران قبلی

در پروژه‌های خطی، وابستگی مراحل مختلف به یکدیگر بسیار بیشتر است. اگر تجهیزات یا مصالح به‌موقع نرسند یا کارگروه‌های قبلی به‌موقع تمام نشود، کارگران مجبور به انتظار خواهند بود که این امر موجب افزایش زمان پروژه می‌شود.

Wa۲: توقف تجهیزات و ماشین‌آلات (عوامل تحت کنترل پیمانکار)

توقف ماشین‌آلات به دلیل نقص فنی یا مدیریت ضعیف، در پروژه‌های خطی به دلیل نیاز به تداوم کار در طول مسیر، زمان‌بری بالایی خواهد داشت. این توقف‌ها می‌تواند سبب ایجاد وقفه‌های طولانی و کاهش کارایی کل پروژه شود.

Wa۳: تأخیر در انجام فعالیت‌های پیش‌نیازی به دلیل تأخیر در دریافت مجوز و تأییدیه یا اطلاعات

در پروژه‌های خطی، هر تأخیری در دریافت مجوزها یا اطلاعات پیش‌نیازی می‌تواند کل پروژه را به تأخیر بیندازد. به‌عنوان‌مثال، مجوزهای محیط‌زیستی یا نقشه‌برداری ممکن است کل فاز پروژه را تحت‌تأثیر قرار دهد.

Wa۴: جابه‌جایی‌های غیرضروری منابع (نیروی انسانی، مواد و مصالح، ماشین‌آلات و تجهیزات)

جابه‌جایی‌های غیرضروری در پروژه‌های خطی به دلیل گستردگی فیزیکی آن‌ها هزینه زیادی به همراه دارد و موجب هدررفت زمان می‌شود. انتقال نیروی انسانی یا تجهیزات بدون برنامه‌ریزی دقیق می‌تواند باعث تأخیر در روند کار شود.

Wa۵: تخصیص نامناسب منابع انسانی

تخصیص نامناسب نیروهای انسانی به بخش‌های مختلف پروژه می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری و طولانی‌تر شدن زمان اجرای پروژه شود. در پروژه‌های خطی، ناهماهنگی در تعداد و تخصص نیروها می‌تواند اثرات جدی بر پیشرفت کار داشته باشد.

Wa۶: استفاده‌نکردن از خلاقیت کارکنان در طراحی فرایندها

در بسیاری از موارد، عدم استفاده از خلاقیت و پیشنهادهای کارکنان برای بهبود فرایندها می‌تواند منجر به هدررفت زمان شود. در پروژه‌های خطی، کارکنان می‌توانند پیشنهاداتی برای بهبود روش‌های اجرای مراحل داشته باشند که عدم توجه به این نکات می‌تواند زمان‌بری پروژه را افزایش دهد.

Wa۷: ضعف در برنامه‌ریزی و برنامه زمان‌بندی

نبود برنامه‌ریزی دقیق می‌تواند موجب تداخل فعالیت‌ها، تأخیر در شروع یا پایان‌بخش‌های مختلف پروژه و در نهایت افزایش زمان پروژه‌های خطی شود. این ضعف می‌تواند به‌ویژه در پروژه‌هایی که چندین تیم به طور موازی در حال کار هستند، تأثیر زیادی بگذارد.

Wa۸: نبودن استاندارد مشخص برای انجام کارها

عدم وجود استانداردها و دستورالعمل‌های مشخص برای انجام کارها باعث می‌شود کارکنان روش‌های مختلفی را اجرا کنند که منجر به تداخل فعالیت‌ها و افزایش زمان اجرای پروژه گردد.

Wa۹: تفسیر اشتباه در اسناد پیمان، نقشه و مشخصات فنی

هرگونه تفسیر اشتباه از نقشه‌ها و اسناد فنی می‌تواند به اشتباهات در اجرا منجر شود که اصلاح این اشتباهات نیازمند زمان است و به همین دلیل زمان پروژه افزایش می‌یابد.

۴-۱-۲- تأثیر هدررفت‌های شناسایی شده بر افزایش هزینه در پروژه‌های خطی

Wa۱۰: انباشت مصالح مازاد

درصورتی‌که برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب در سفارش و مصرف مصالح نباشد، ممکن است مواد مازاد جمع‌آوری شوند که این مصالح، علاوه بر هزینه‌های اضافی برای نگهداری، ممکن است به‌مرور خراب شوند و قابل‌استفاده نباشند. این امر موجب افزایش هزینه پروژه خواهد شد.

Wa۱۱: عدم دسترسی مناسب به مصالح

عدم دسترسی به‌موقع به مصالح و مواد اولیه باعث توقف کار و افزایش هزینه‌ها می‌شود. این مسئله به‌ویژه در پروژه‌های خطی که به توزیع مناسب و هماهنگ مواد نیاز دارند، اثرات جدی‌تری خواهد داشت. تأخیر در تأمین مصالح می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های نیروی کار و ماشین‌آلات نیز شود.

Wa۱۲: نداشتن چک‌لیست برای اجرای کارها

نداشتن چک‌لیست علتی برای هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای در پروژه‌های خطی است، چرا که می‌تواند منجر به کاهش بهره‌وری و افزایش خطاها شود.

در مجموع، هدررفت‌ها و تأخیرهای شناسایی شده می‌توانند تأثیر زیادی بر زمان و هزینه پروژه‌های خطی داشته باشند. مدیریت درست این عوامل از طریق برنامه‌ریزی دقیق، هماهنگی منابع و استفاده از استانداردها و تجربیات عملی می‌تواند به کاهش این اثرات منجر شود.

۴-۲- آمار توصیفی

اطلاعات مربوط به پاسخ ۸۰ نفر از افراد جامعه آماری پژوهش جمع‌آوری‌شده تا بر اساس آن رابطه بین متغیرها برای آزمون فرضیه‌های تحقیق بررسی شود. داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای اس.پی.اس.اس نسخه ۲۴ و اسمارت پی.ال.اس نسخه سه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته‌اند.

از سازمان پیمانکاری فراوانی سازمان شغلی افراد ۴۴ نفر مشغول به کار هستند، ۲ نفر عضو تیم تحقیقاتی کتابخانه، ۱۱ نفر کارفرما، ۲۱ نفر مشاور و ۲ نفر مؤسسه آموزشی هستند. فراوانی سابقه کاری افراد ۲۰ نفر دارای سابقه کاری کمتر از ۵ سال، ۳۳ نفر بین ۵ تا ۱۰ سال، ۲۴ نفر بین ۱۱ تا ۱۵ سال و ۳ نفر بیشتر از ۱۵ سال هستند. نتایج آمار توصیفی در جدول ۳ ارائه شده است.

باتوجه‌به جدول ۳ ملاحظه می‌شود میانگین پاسخ افراد به شاخص تأثیر عوامل کلیدی بر موفقیت پروژه‌های خطی برابر ۳/۳۲۱ و برای سایر شاخص‌ها به طور میانگین ۳ تا ۳/۵ است.

جدول۳ : میانگین و انحراف معیار متغیرهای مدل

عامل	تعداد	میانگین	انحراف معیار
تأثیر عوامل کلیدی بر موفقیت پروژه‌های خطی	۸۰	۳/۳۲۱	۱/۴۶۵

تأثیر هدررفت‌های زمانی بر موفقیت پروژه	۸۰	۳/۱۱۹	۱/۳۶۷
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی	۸۰	۳/۴۱۰	۱/۳۳۲
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی	۸۰	۳/۱۰۴	۱/۳۸۶
تأثیر هدررفت‌های هزینه‌ای بر موفقیت پروژه	۸۰	۳/۲۴۲	۱/۴۷۶
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۸۰	۳/۳۴۶	۱/۴۱۰
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۸۰	۳/۰۲۹	۱/۴۴۰

۴-۳- مدل اندازه‌گیری پژوهش

جهت بررسی مدل اندازه‌گیری از سه معیار پایایی، روایی همگرا و روایی واگرا استفاده شده است. برای سنجش بهتر پایایی در روش حداقل مربعات جزئی، هر دو روش آلفای کرونباخ و ضریب پایایی ترکیبی استفاده می‌شود که نتایج آن در جدول ۴ نشان‌داده‌شده است. نتایج خروجی نرم‌افزار برای هر دوی آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی تحقیق بالاتر از ۰/۷ هستند که بیانگر تأییدشدن معیار آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی پژوهش است؛ بنابراین برازش مناسب مدل اندازه‌گیری پژوهش تأیید می‌گردد.

جدول۴ : نتایج آزمون آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی

شاخص	آلفای کرونباخ	ضریب پایایی ترکیبی	ناحیه بحرانی	نتیجه
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی	۰/۹۳۰	۰/۹۴۱	۰/۷	تأیید
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۸۲۳	۰/۸۹۴	۰/۷	تأیید
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی	۰/۹۳۰	۰/۹۴۲	۰/۷	تأیید
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۸۱۵	۰/۸۸۹	۰/۷	تأیید
تأثیر عوامل کلیدی بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۸۹۳	۰/۹۳۳	۰/۷	تأیید
تأثیر هدررفت‌های زمانی بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۹۳۵	۰/۹۴۵	۰/۷	تأیید
تأثیر هدررفت‌های هزینه‌ای بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۸۷۳	۰/۹۲۲	۰/۷	تأیید

بارهای عاملی از طریق محاسبه مقدار همبستگی شاخص‌های یک سازه با آن سازه محاسبه می‌شوند که اگر این مقدار برابر و یا بیشتر از مقدار ۰/۴ شود مؤید این مطلب است که واریانس بین سازه و شاخص‌های آن از واریانس خطای اندازه‌گیری آن سازه بیشتر بوده و روایی همگرای پژوهش در مورد آن مدل اندازه‌گیری قابل‌قبول است. نتایج بررسی نشان می‌دهد همه بارهای عاملی شاخص‌ها بیشتر از مقدار ۰/۴ هستند در نتیجه روایی در مورد مدل اندازه‌گیری قابل‌قبول است.

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مقادیر میانگین واریانس استخراجی تحقیق در بازه بالاتر از ۰/۶ قرار گرفته‌اند؛ بنابراین نتیجه می‌گیریم این مدل از روایی همگرای قابل‌قبولی برخوردار است.

جدول۵ : آزمون میانگین واریانس استخراج شده

شاخص	میانگین واریانس استخراجی	ناحیه بحرانی	نتیجه
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی	۰/۶۴۱	۰/۵	تأیید
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۷۳۷	۰/۵	تأیید
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی	۰/۶۴۲	۰/۵	تأیید
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۷۲۹	۰/۵	تأیید
تأثیر عوامل کلیدی بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۸۲۴	۰/۵	تأیید
تأثیر هدررفت‌های زمانی بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۶۵۹	۰/۵	تأیید
تأثیر هدررفت‌های هزینه‌ای بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۷۹۷	۰/۵	تأیید

روایی واگرا سومین معیارِ سنجش برازش مدل‌های اندازه‌گیری در روش حداقل مربعات جزئی است. مقدار جذر میانگین مقادیر اشتراکی تمام سازه‌های مرتبه اول از مقدار همبستگی میان آن‌ها بیشتر است که بیانگر روایی واگرای مناسب و برازش خوب مدل‌های اندازه‌گیری تحقیق را نشان می‌دهد. همچنین، نتایج حاکی از آن است که هر سازه در مدل تحقیق نسبت به سازه‌های دیگر با شاخص‌های خود تعامل بیشتری دارد. روایی واگرا وقتی در سطح قابل‌قبول است که میزان میانگین واریانس اشتراکی برای هر سازه بیشتر از واریانس اشتراکی بین آن سازه و سازه‌های دیگر در مدل باشد. در ماتریس فور نر لای کر، مقدار جذر میانگین مقادیر اشتراکی تمام سازه‌های مرتبه اول از مقدار همبستگی میان آن‌ها بیشتر است که بیانگر روایی واگرای مناسب و برازش خوب مدل‌های اندازه‌گیری تحقیق را نشان می‌دهد. در نهایت، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده پایایی، روایی همگرا و روایی واگرای تحقیق تأیید می‌شود که برازش مدل اندازه‌گیری تحقیق مناسب است.

۴-۴- آمار استنباطی

در این پژوهش از آزمون معتبر کولموگروف اسمیرنوف[15] برای بررسی فرض نرمال بودن داده‌های پژوهش استفاده شده است در این آزمون باتوجه‌به فرضیات زیر به بررسی نرمال بودن داده‌ها انجام شده است:

H0 : داده‌ها دارای توزیع نرمال هستند.

H1: داده‌ها دارای توزیع نرمال نیستند.

باتوجه‌به جدول آزمون کولموگروف اگر سطح معناداری برای کلیه متغیرهای مستقل و وابسته بزرگ‌تر از سطح خطای ۵ درصد باشد توزیع داده‌ها نرمال هستند.

[15] kolmogorov smirnov

باتوجه‌به مقادیر جدول ۶ که سطح معناداری آزمون برای تمامی متغیرها کمتر از میزان ۰/۰۵ است، می‌توان بیان کرد که فرضیه H0 رد شده و توزیع متغیرها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند؛ لذا برای بررسی روابط متغیرهای پژوهش و بررسی فرضیات از روش‌های ناپارامتری استفاده می‌شود.

جدول۶ : آزمون نرمال بودن متغیرهای مورد بررسی

متغیر	آماره آزمون	سطح معنی‌داری	نتیجه
موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۲۴۳	p<۰/۰۰۱	نرمال نیست
هدررفت‌های زمانی	۰/۲۱۳	p<۰/۰۰۱	نرمال نیست
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی	۰/۲۲۱	p<۰/۰۰۱	نرمال نیست
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی	۰/۲۰۰	p<۰/۰۰۱	نرمال نیست
هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۱۹۶	p<۰/۰۰۱	نرمال نیست
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۱۹۱	p<۰/۰۰۱	نرمال نیست
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۱۶۵	p<۰/۰۰۱	نرمال نیست

برای بررسی رابطه بین متغیرهای اصلی از آزمون همبستگی اسپیرمن استفاده شده است. نتایج حاصل از همبستگی اسپیرمن بین متغیرهای اصلی پژوهش (کلیه اعداد بین صفر تا یک هستند) سطح معنی‌داری ضرایب همبستگی کمتر از ۵ درصد است در نتیجه فرضیه صفر رد شده و فرضیه مقابل تأیید می‌شود و نشان می‌دهد بین کلیه متغیرهای پژوهش، همبستگی معنادار وجود دارد. در نتیجه امکان بررسی فرضیه‌ها با استفاده از روش معادلات ساختاری میسر است.

۴-۵- مدل ساختاری پژوهش

برای بررسی برازش مدل ساختاری در یک پژوهش از ضریب تعیین R^2 مربوط به متغیرهای پنهان درونزای (وابسته) مدل استفاده می‌شود. هر چه مقدار ضریب تعیین مربوط به سازه‌های درون‌زای مدل بیشتر باشد، نشان از برازش بهتر مدل است. چن (۱۹۹۸) سه مقدار ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ را به عنوان مقدار ملاک برای مقادیر ضعیف، متوسط و قوی ضریب تعیین معرفی می‌کند.

بر اساس نتایج جدول ۷، میزان ضریب تعیین برای سازه‌های درون‌زا در حد متوسط و قوی است.

جدول۷ : نتایج معیار ضریب تعیین برای متغیرهای درون‌زا و نتایج معیار Q^2 و مقادیر اشتراکی

متغیرها	مقادیر اشتراکی	Q^2	ضریب تعیین
تأثیر عوامل کلیدی بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۸۲۴	۰/۵۷۱	۰/۵۴۶
تأثیر هدررفت‌های زمانی بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۶۵۹	۰/۵۳۸	۰/۵۴۴
تأثیر هدررفت‌های هزینه‌ای بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۷۹۷	۰/۵۳۱	۰/۵۲۹
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی	۰/۶۴۲	۰/۵۲۳	
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۷۲۹	۰/۴۲۹	
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی	۰/۶۴۱	۰/۵۲۳	
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های هزینه‌ای	۰/۷۳۷	۰/۴۳۷	

معیار استون گیسر Q^2 قدرت پیش‌بینی مدل را مشخص می‌کند. هنسلر[16] و همکاران (۲۰۰۹) هر یک از سه ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ برای Q^2 را به ترتیب بیانگر قدرت پیش‌بینی ضعیف، متوسط و قوی در مورد سازه مربوطه معرفی کرده‌اند. با توجه به این که مقدار Q^2 برای تمامی سازه‌های مدل تحقیق از ۰/۲۵ بیشتر شده است، حاکی از آن دارد که قدرت پیش‌بینی مدل در حد متوسط و قوی است و برازش مناسب مدل ساختاری تحقیق را تایید می‌نماید.

مدل کلی شامل هر دو بخش مدل اندازه‌گیری و ساختاری می‌شود و با تأیید برازش آن، بررسی برازش در یک مدل کامل می‌شود. معیار ارزیابی نیکویی برازش GOF[17] مربوط به بخش کلی مدل‌های معادلات ساختاری است. بدین معنی که توسط این معیار محقق می تواند پس از بررسی برازش بخش اندازه‌گیری و بخش ساختاری مدل کلی پژوهش خود، برازش بخش کلی را نیز کنترل نماید. مقدار فرمول GOF به‌صورت فرمول (۲) محاسبه می‌شود:

$$Gof = \sqrt{\overline{R^2} * \overline{Communilaty}} \qquad (۲)$$

در این فرمول Communality بیانگر مقادیر اشتراکی از میانگین مجذور بارهای عاملی هر متغیر به دست می‌آید. GOF با محاسبه میانگین هندسی میانگین اشتراک و میانگین ضریب تعیین تعدیلی (R^2) به دست می‌آید. و مقداری بین صفر تا یک دارد و هرچه که به یک نزدیک تر باشد برازش مدل مناسب تر است.

همچنین برخی از محققین بیان کرده‌اند که مدل با برازش خوب مقداری بالاتر از ۰/۳۶ و مدل با برازش متوسط مقداری بین ۰/۱۹ تا ۰/۳۶ دارد. با استفاده از فرمول و مقادیر جدول ۱۰ مقدار نیکویی برازش ۰/۵۴۶ به دست آمد. باتوجه‌به این مقدار، برازش مناسب مدل تحقیق تأیید شد. منظور از برازش مدل این است که تا چه حد یک مدل با داده‌های مربوطه سازگاری و توافق دارد؛ لذا در این قسمت به ارزیابی برازش مدل مفروض پژوهش پرداخته می‌شود تا از سازگاری آن با داده‌های پژوهش اطمینان حاصل گردد و در نهایت پاسخ سؤالات پژوهش استنتاج گردد.

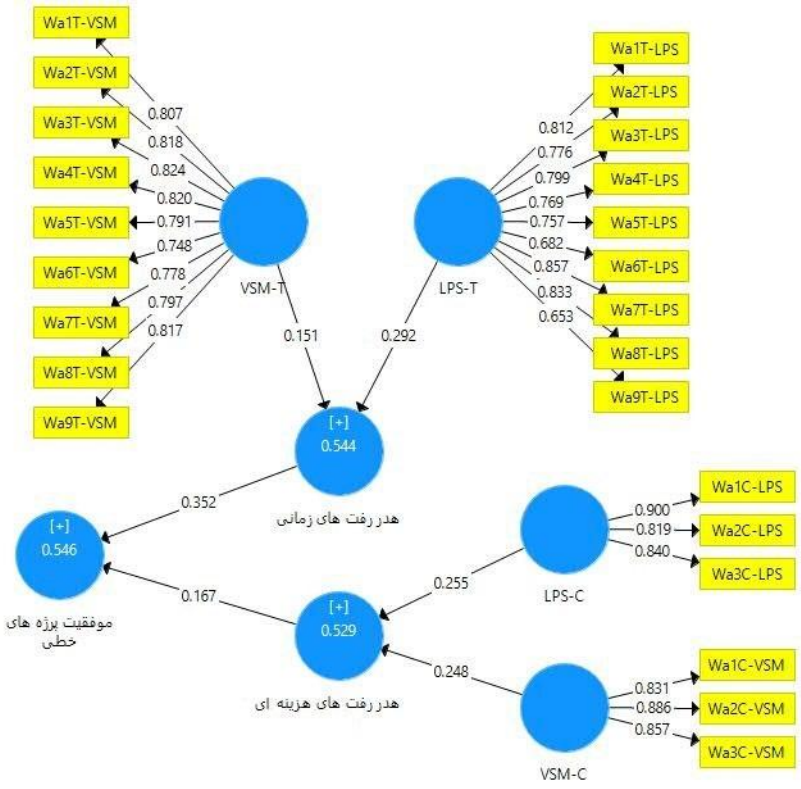
۴-۶- نتایج بررسی روابط مدل

[16] Henseler
[17] Goodness of Fit

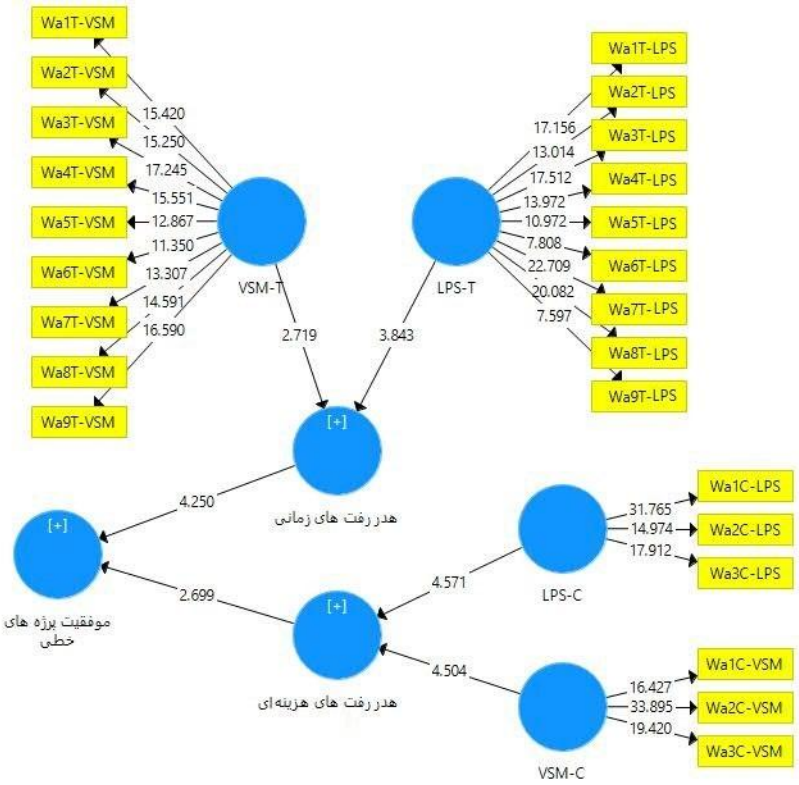
فرضیه‌های تحقیق پس از بررسی برازش مدل اندازه‌گیری، مدل ساختاری و مدل کلی بررسی می‌شوند. باتوجه‌به این که در نرم‌افزار اسمارت پی ال اس از مقدار آماره تی برای بررسی معنی‌دار بودن ضرایب استفاده می‌شود و این مقدار برای خطای ۵ درصد عدد ۱/۹۶ است برای بررسی معنی‌داری از مقایسه مقدار آماره تی روابط با عدد مفروض فوق استفاده می‌گردد. به‌طوری‌که اگر مقدار آماره تی از مقدار ۱/۹۶ بیشتر باشد، رابطه نشان‌داده‌شده معنی‌دار است. همچنین ضرایب رگرسیونی مسیرها بیانگر این است که چند درصد از تغییرات متغیر وابسته به‌وسیله متغیر مستقل تبیین می‌شود. نتایج کلی برازش رگرسیونی مدل و معنی‌داری روابط در جدول ۸ و شکل ۳ و ۴ نشان‌داده‌شده است.

	ضریب	آماره آزمون	نتیجه
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی -> تأثیر هدررفت‌های زمانی بر موفقیت پروژه	۰/۱۵۱	۲/۷۱۹	تأیید
تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های هزینه‌ای -> تأثیر هدررفت‌های هزینه‌ای بر موفقیت پروژه	۰/۲۴۸	۴/۵۰۴	تأیید
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی -> تأثیر هدررفت‌های زمانی بر موفقیت پروژه	۰/۲۹۲	۳/۸۴۳	تأیید
تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های هزینه‌ای -> تأثیر هدررفت‌های هزینه‌ای بر موفقیت پروژه	۰/۲۵۵	۴/۵۷۱	تأیید
هدررفت‌های زمانی -> تأثیر عامل زمان بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۳۵۲	۴/۲۵۰	تأیید
هدررفت‌های هزینه‌ای -> تأثیر عامل هزینه بر موفقیت پروژه‌های خطی	۰/۱۶۷	۲/۶۹۹	تأیید

جدول۸ : نتایج برازش ضرایب رگرسیونی مدل



شکل ۳ : ضرایب رگرسیونی استاندارد مدل پژوهش



شکل ۴ : مقادیر T-Value مدل پژوهش

مدل رگرسیون ارائه شده به بررسی تأثیر تکنیک‌های ساخت ناب، تکنیک‌های نقشه‌برداری جریان ارزش و سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای در پروژه‌های خطی و سپس تأثیر این هدررفت‌ها بر موفقیت پروژه‌ها پرداخته است.

نتایج برازش رگرسیونی مدل:

۱- تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی و سپس تأثیر آن بر موفقیت پروژه

نتایج نشان می‌دهد که نقشه‌برداری جریان ارزش تأثیر مثبتی بر کاهش هدررفت‌های زمانی دارد که با Wa1T-VSM تا Wa9T-VSM نشان‌داده‌شده است و این کاهش هدررفت‌های زمانی به طور قابل‌توجهی بر موفقیت پروژه‌ها اثر مثبت دارد. هرچند ضریب ۰/۱۵۱ کوچک است، اما معناداری آماره آزمون نشان می‌دهد که این تأثیر از نظر آماری قابل‌توجه است.

۲- تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های هزینه‌ای و سپس تأثیر آن بر موفقیت پروژه

ضریب ۰/۲۴۸ نشان می‌دهد که نقشه‌برداری جریان ارزش تأثیر قابل‌توجهی در کاهش هدررفت‌های هزینه‌ای دارد و این کاهش هزینه‌ها به طور معناداری بر موفقیت پروژه تأثیر می‌گذارد. مقدار آماره آزمون نیز حاکی از تأثیر قوی و معنادار است.

۳- تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی و سپس تأثیر آن بر موفقیت پروژه

ضریب ۰/۲۹۲ نشان‌دهنده تأثیر قوی‌تر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی نسبت به نقشه‌برداری جریان ارزش بر کاهش هدررفت‌های زمانی است. این کاهش هدررفت‌های زمانی نیز به طور معناداری بر موفقیت پروژه تأثیر مثبت دارد. آماره آزمون نیز این نتیجه را تأیید می‌کند.

۴- تأثیر تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های هزینه‌ای و سپس تأثیر آن بر موفقیت پروژه

این نتیجه نشان می‌دهد که سیستم آخرین برنامه‌ریزی نیز تأثیر مثبتی بر کاهش هدررفت‌های هزینه‌ای دارد و این کاهش به طور معناداری بر موفقیت پروژه اثرگذار است. ضریب ۰/۲۵۵ و آماره آزمون قوی، این تأثیر را تأیید می‌کنند.

۵- تأثیر هدررفت‌های زمانی بر موفقیت پروژه‌های خطی

ضریب ۰/۳۵۲ نشان می‌دهد که هدررفت‌های زمانی تأثیر زیادی بر موفقیت پروژه‌های خطی دارد. هر چه هدررفت‌های زمانی بیشتر کاهش یابد، احتمال موفقیت پروژه‌ها افزایش می‌یابد. این تأثیر به لحاظ آماری نیز معنادار است.

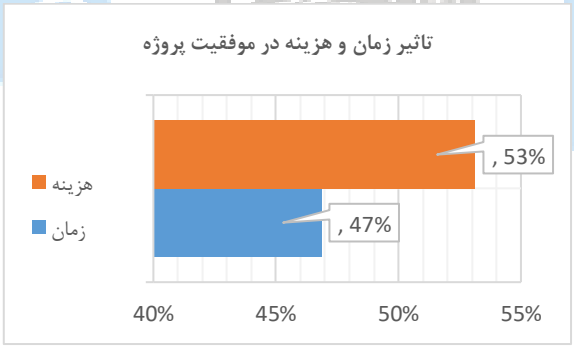
۶- تأثیر هدررفت‌های هزینه‌ای بر موفقیت پروژه‌های خطی

ضریب ۰/۱۶۷ نسبت به ضریب تأثیر هدررفت‌های زمانی کمتر است، اما همچنان معنادار است. این نتیجه نشان می‌دهد که هدررفت‌های هزینه‌ای نیز بر موفقیت پروژه تأثیر دارد، اما تأثیر آن نسبت به هدررفت‌های زمانی کمتر است.

به‌صورت کلی نتایج مدل رگرسیون نشان می‌دهد که تکنیک‌های VSM و LPS به طور مؤثری می‌توانند هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای را کاهش دهند و این کاهش‌ها به طور معناداری بر موفقیت پروژه‌های خطی تأثیر مثبت دارد. هدررفت‌های زمانی بیشترین تأثیر را بر موفقیت پروژه‌های خطی دارند، و تکنیک LPS در کاهش هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای تأثیر بیشتری نسبت به تکنیک VSM دارد.

۴-۷- عوامل موفقیت در پروژه‌های خطی

در این پژوهش بیشترین تأثیر عوامل در موفقیت پروژه‌های خطی، عوامل هزینه ۵۳٪ و زمان ۴۷٪ هستند که در شکل ۵ نشان‌داده‌شده است.



شکل۵ : تأثیر زمان و هزینه در پروژه‌های خطی را نشان می‌دهد.

۴-۸- مدل‌سازی و نتایج برازش مدل

مدل‌سازی با نرم‌افزار سمارت پی ال اس ترسیم و نتایج پرسش‌نامه به‌صورت داده‌های همسان وارد نرم‌افزار گردید. نتایج برازش رگرسیونی مدل در جدول ۸ و تصاویر ۳ و ۴ نشان‌داده‌شده نشان می‌دهد، فرضیه‌های تحقیق شامل کاهش هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای بر موفقیت پروژه‌های خطی تأثیر مثبت و معنی‌داری دارند که به ترتیب بیشترین تأثیر مربوط به هدررفت‌های زمانی ۳۵٪ سپس هدررفت‌های هزینه‌ای ۱۷٪ هستند.

جدول ۸ نتایج برازش رگرسیونی مدل تأثیر تکنیک‌های نقشه‌برداری جریان ارزش و سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر ۱۲ هدررفت شناسایی شده پروژه‌های خطی را نشان می‌دهد که به شرح ذیل تشریح می‌گردد:

رابطه معنی‌داری بین تأثیر تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش بر هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای و تأثیر هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای بر موفقیت پروژه‌های خطی وجود دارد. رابطه معنی‌داری بین تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی بر هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای و تأثیر هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای بر موفقیت پروژه‌های خطی وجود دارد. تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی ۲۹٪ و تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش ۱۵٪ در کاهش هدررفت‌های زمانی (W1 الی W9 جدول ۵) تأثیر مثبت خواهند گذاشت همچنین هدررفت‌های زمانی ۳۵٪ بر موفقیت پروژه‌های خطی تأثیر مثبت خواهند گذاشت. تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی ۲۶٪ و تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش ۲۵٪ در کاهش هدررفت‌های هزینه‌ای (W10الی W12 جدول ۵) تأثیر مثبت خواهند گذاشت همچنین هدررفت‌های هزینه‌ای ۱۷٪ بر موفقیت پروژه‌های خطی تأثیر مثبت خواهند گذاشت.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که پیاده‌سازی تکنیک سیستم آخرین برنامه‌ریزی و تکنیک نقشه‌برداری جریان ارزش در کاهش یا حذف هدررفت‌ها جهت رسیدن به اهداف زمان و هزینه بر موفقیت پروژه‌های خطی تأثیرگذارند. تمرکز بر مدیریت منابع به‌صورت بهتر و افزایش کیفیت اجرای فرایندها، تأثیر مثبت و قابل‌ملاحظه‌ای در بهبود عملکرد پروژه دارد. در کنار این موارد، توجه به توسعه مهارت‌ها و آموزش اعضای تیم نیز جهت پیاده‌سازی تکنیک‌های ساخت ناب در کاهش هدررفت‌ها و دستیابی به موفقیت در پروژه‌های ساخت ناب مطرح است. این امر نه‌تنها باعث بهبود عملکرد افراد می‌شود؛ بلکه توانمندی تیم به‌طورکلی ارتقا پیدا می‌کند در نتیجه عملکرد کلی پروژه بهبود می‌یابد. همچنین، اعتنای ویژه به استفاده از تکنولوژی‌های نوین و مدل‌سازی در ساخت، باعث افزایش کارایی و کاهش خطاها می‌شود در نتیجه بهبود کارایی و بهره‌وری فرآیندها را به دنبال دارد. باتوجه‌به یافته‌های حاصل از این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت در مدیریت پروژه‌های ساخت ناب، به ابعاد مختلفی از جمله فنی، مدیریتی، و انسانی می‌توان توجه کرد؛ ولی درنظرگرفتن راهکارهای یکپارچه و هماهنگی میان این عوامل اجتناب‌ناپذیر است. در نتیجه مدل‌سازی، بهبود قابل‌ملاحظه‌ای در کاهش هدررفت‌های زمان و هزینه جهت موفقیت و ارتقای پروژه‌های ساخت حاصل می‌کند. مدل‌سازی تأثیر تکنیک‌های شناسایی شده جهت کاهش یا حذف هدررفت‌ها در یک‌چرخه بهبود مستمر برای پروژه‌های خطی که عملیات تکرارپذیری دارند موفقیت پروژه‌های خطی را فارغ از مشکلات دیگر تضمین می‌کند. لازم است با پیاده‌سازی این تکنیک‌ها برای کاهش هدررفت‌های زمانی و هزینه‌ای می‌توان به موفقیت پروژه دست‌یافت.

مراجع

[1] Al-Aomar, R. (2012). A *lean construction framework with Six Sigma rating*. International Journal of Lean Six Sigma, 3 (4): p. 299-314.

[2] Othman, M.I.S., et al. (2023). *Project Management Practices to Empower Lean Construction in Malaysia's Construction Industry*. Research in Management of Technology and Business. 4 (1): p. 961-978.

[3] Noorzai, E. (2023). *Evaluating lean techniques to improve success factors in the construction phase*. Construction Innovation. 23 (3): p. 622-639.

[4] Womack, J.P., D.T. Jones, and D. Roos. (2007). *the machine that changed the world: The story of lean production*--Toyota's secret weapon in the global car wars that is now revolutionizing world industry. Simon and Schuster.

[5] Ghosh, S. and J. Burghart. (2021). *Lean Construction: Experience of US Contractors. International Journal of Construction Education and Research*. 17(2): p.153-133.

[6] Al Balkhy, W., R. Sweis, and Z. Lafhaj. (2021). *Barriers to Adopting Lean Construction in the Construction Industry—The Case of Jordan*. Buildings. 11 (6): p.222.

[7] Al-Tmeemy SH, Abdul-Rahman H, Harun Z (2010) *Future Criteria for Success of Building Projects in Malaysia*. International Journal of Project Management 29: 348-337.

[8] Lim, C. and M.Z. Mohamed. (1999). *Criteria of project success: an exploratory re-examination. International journal of project management*. 17 (4): p. 243-248.

[9] Damoah, I., A. Ayakwah, and P. Twum. (2022). *Assessing public sector road construction projects' critical success factors in a developing economy: Definitive stakeholders' perspective*. Journal of Project Management. 7 (1): p. 23. ۳۴-۲۳.

[10] Mwelu, N., et al. (2021). *Success factors for implementing Uganda's public road construction projects*. International Journal of Construction Management. 21 (6): p.614-598.
[11] Aziz, R.F. and S.M. Hafez (2013). *applying lean thinking in construction and performance improvement*. Alexandria Engineering Journal. 52 (4): p. 679-695.
[12] Koskela, L. and G. Howell. (2002). *The theory of project management: Explanation to novel methods*. in Proceedings IGLC.
[13] Fang, Y. and Daniel, E.I. (2021). *Defining Lean Construction Capability from an Ambidextrous Perspective*. Proceedings of the 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC29), Alarcon, L.F. and González, V.A. (eds.) , Lima, Peru, pp. 147–156, doi.org/10.24928/2021/0105.
[14] Singh, S. and K. Kumar. (2020). *Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008–2018).* Ain Shams Engineering Journal. 11 (2): p. 465-471.
[15] Ahmed, S., M.M. Hossain, and I. Haq. (2021). *Implementation of lean construction in the construction industry in Bangladesh: awareness, benefits and challenges*. International Journal of Building Pathology and Adaptation. 39 (2): p. 368-406.
[16] Mossman, A. (2018). *What is lean construction: another look-2018*. in 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.
[17] Ango, A. and I. Saidu. (2021). *ASSESSMENT OF LEAN TECHNIQUES FOR BUILDING MATERIALS WASTE MINIMISATION IN ABUJA*, NIGERIA. P: 368-406.
[18] Shaqour, E. (2021). *The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits*. Ain Shams Engineering Journal.
[19] Aslam, M., Z. Gao, and G. Smith. (2021). *Integrated implementation of Virtual Design and Construction (VDC) and lean project delivery system (LPDS).* Journal of Building Engineering: p. 102252.
[20] M. Farag and F. (2008). *Gehbauer, Egyptian Highway Construction Projects in Need of Lean Management, Al-Azhar University Engineering Journal*, JAUES 2008 Vol. 3 Issue 10 Pages 483-491
[21] Liu, S.-S. and C.-J. Wang. (2007). *Optimization model for resource assignment problems of linear construction projects. Automation in Construction.* 16(4): p. 460-473.
[22] Kallantzis, A. and S. Lambropoulos. (2004). *Discussion of "Comparison of linear scheduling model and repetitive scheduling method" by Kris G. Mattila and Amy Park*. Journal of Construction Engineering and Management. 130 (3): p. 463-467.
[23] Sari, E.M., et al. (2021). *Partnering Tools to Achieve Lean Construction Goals.* PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology. **18**(4): p. 6727-6739.
[24] Matt, D.T., P. Dallasega, and E. Rauch. (2015). *On-site oriented capacity regulation for fabrication shops in Engineer-to-Order companies (ETO)*. Procedia CIRP. 33: p. 197-202.
[25] Womack, J.P. (1990). D.T. Jones, and D. Roos, *the machine that changed the world, Rawson Associates.* New York. **323**: p. 273-287.
[26] Ansah, R.H., S. Sorooshian, and S.B. Mustafa. (2016). *Lean construction: an effective approach for project management.* ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. **11**(3): p. 1607-1612.
[27] Chavan, V. I. N. O. D., Waghmare, A. P., Shelke, D. N., & Vispute, G. A. U. R. A. V. (2021). *Work sampling and value stream mapping of lean construction.* Iconic Res Eng J, 104-110.
[28] Ballard, G. (2008). *The lean project delivery system: An update.* Lean construction journal, 2008: p. 1-19.
[29] Bajjou, M.S. and A. Chafi. (2020). *Identifying and managing critical waste factors for lean construction projects.* Engineering Management Journal. 32(1): p. 2-13.
[30] Yücenur, G.N. and K. Şenol. (2021). *Sequential SWARA and fuzzy VIKOR methods in elimination of waste and creation of lean construction processes*. Journal of Building Engineering. 44: p. 103196.
[31] Michalski, A., E. Głodziński, and K. (2022). *Böde, Lean construction management techniques and BIM technology–systematic literature review*. Procedia Computer Science. 196: p. 1036-1043.
[32] Fernandez-Solis, J.L., et al. (2013). *Survey of motivations, benefits, and implementation challenges of last planner system users*. Journal of construction engineering and management. 139 (4): p. 354-360.
[33] Salama, T., A. Salah, and O. Moselhi. (2021). *Integrating critical chain project management with last planner system for linear scheduling of modular construction.* Construction Innovation.
[34] Zahraee, S.M., et al. (2021). *Lean construction analysis of concrete pouring process using value stream mapping and Arena based simulation model*. Materials Today: Proceedings. 42: p. 1279-1286.
[35] Enshassi, A., N. Saleh, and S. Mohamed. (2021). *Barriers to the application of lean construction techniques concerning safety improvement in construction projects*. International Journal of Construction Management. 21 (10): p. 1044

[36] Ogunbiyi, O., J.S. Goulding, and A. Oladapo. (2014). *An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK.* Construction innovation.
[37] Glaser, B.G. and A.L. (1967). *Strauss, the discovery of grounded theory: strategies for qualitative research (grounded theory).* Taylor & Francis eBooks DRM Free Collection.
[38] De Vet, H.C., et al. (2017). *Spearman–Brown prophecy formula and Cronbach's alpha: different faces of reliability and opportunities for new applications*. Journal of Clinical Epidemiology. 85: p. 45-49.