



Research Paper

Modeling and simulation of factors affecting cost increases in oil and gas construction projects using a system dynamics approach (Case study: Esfand and Sivand projects in the Persian Gulf)

Ehsan Kheirollahzadeh¹ Seyyed Mohammad Mirhosseini*¹ Mohammad Reza Jalali¹ Mohammad Ehsanifar²

¹ Department of Civil Engineering, Ar.C., Islamic Azad University, Arak, Iran.

² Department of Industrial Engineering, Ar.C., Islamic Azad University, Arak, Iran.

Keywords

Modeling and Simulation, Cost Increase, Construction Projects, Oil and Gas, System Dynamics.

Scan me



A B S T R A C T

Oil and gas construction projects face high uncertainty and rising execution costs due to structural complexity. A major challenge is the inability of conventional static approaches to explain the dynamic and nonlinear behavior of costs shaped by feedback loops, time delays, and imbalances between financial and operational flows. Therefore, this study aims to develop and validate a system dynamics model for analyzing and simulating the factors affecting cost escalation in oil and gas construction projects. This research adopted an exploratory mixed-methods approach. Data were collected through a literature review and semi-structured interviews with 15 experts selected through purposive sampling. Qualitative analysis identified 38 sub-factors and 11 major causes influencing project costs. These factors were incorporated into a stock-and-flow model with feedback loops and implemented using Vensim software. Model validity was evaluated through behavior reproduction, sensitivity analysis, and structural consistency tests. Simulation results showed that under an optimistic scenario, with a 50% increase in financial resource allocation and a 30% improvement in project control, remaining financial resources increased from USD 4.9 million to USD 7.6 million. Project completion time decreased from 25 to 13 time units, completed activities increased from 8,400 to 8,900, and remaining activities decreased from 46 to 32. Under a pessimistic scenario involving workload pressure and contractual conflicts, remaining financial resources declined to USD 1.5 million, project completion time increased to 29 time units, and completed activities decreased to 8,000. The findings indicate that project cost behavior is strongly influenced by feedback mechanisms and managerial policies. The proposed model can serve as an effective decision-support tool for cost control and performance improvement in oil and gas construction projects. It also enables managers to evaluate alternative policies, anticipate risks, optimize resource utilization, and support strategic decisions under uncertain conditions.

*Corresponding Author: Seyyed Mohammad Mirhosseini

Email Address: mo.mirhosseini@iaau.ac.ir

Kheirollahzadeh, E., Mirhosseini, S. M., Jalali, M. R. & Ehsanifar, M. (2026). Modeling and simulation of factors affecting cost increases in oil and gas construction projects using a system dynamics approach (Case study: Esfand and Sivand projects in the Persian Gulf). *Human Ecology*, 5(14), 2471–2498.



DOI: <https://doi.org/10.22034/he.2026.591664.1246>



مقاله پژوهشی

مدلسازی و شبیه‌سازی عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز با رویکرد پویایی سیستم (مطالعه موردی: پروژه اسفند و سیوند در خلیج فارس)

احسان خیرالله‌زاده^۱، سید محمد میرحسینی^{۲*}، محمدرضا جلالی^۳، محمد احسانی‌فر^۴

۱ گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

۲ گروه مهندسی صنایع، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

واژگان کلیدی

مدلسازی و شبیه‌سازی،
افزایش هزینه، پروژه‌های
ساختمانی، نفت و گاز، پویایی
سیستم.

اسکن کنید



چکیده

پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز به دلیل پیچیدگی ساختاری، با عدم قطعیت بالا و افزایش هزینه‌های اجرایی مواجه هستند. یکی از چالش‌های اصلی، ناتوانی رویکردهای ایستای متداول در تبیین رفتار پویا و غیرخطی هزینه‌هاست؛ رفتاری که تحت تأثیر حلقه‌های بازخورد، تأخیرهای زمانی و عدم تعادل میان جریان‌های مالی و عملیاتی شکل می‌گیرد. از این رو، هدف این پژوهش توسعه و اعتبارسنجی یک مدل پویایی سیستم برای تحلیل و شبیه‌سازی عوامل مؤثر بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز است. این پژوهش با رویکرد آمیخته و ماهیت اکتشافی انجام شد. داده‌ها از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۱۵ نفر از خبرگان و با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند گردآوری شدند. نتایج تحلیل کیفی به شناسایی ۳۸ عامل فرعی و ۱۱ علت اصلی مؤثر منجر شد. این عوامل در قالب یک مدل حالت-جریان همراه با حلقه‌های بازخورد در نرم‌افزار ونسیم پیاده‌سازی شدند. اعتبار مدل نیز از طریق آزمون‌های بازتولید رفتار، تحلیل حساسیت و بررسی سازگاری ساختاری ارزیابی و تأیید شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در سناریوی خوش‌بینانه، با افزایش ۵۰ درصدی تخصیص منابع مالی و بهبود ۳۰ درصدی کنترل پروژه، منابع مالی باقی‌مانده از ۴/۹ به ۷/۶ میلیون دلار افزایش یافت. همچنین، زمان تکمیل پروژه از ۲۵ به ۱۳ واحد زمانی کاهش پیدا کرد، تعداد فعالیت‌های تکمیل‌شده از ۸۴۰۰ به ۸۹۰۰ افزایش یافت و فعالیت‌های باقی‌مانده از ۴۶ به ۳۲ کاهش یافت. در مقابل، در سناریوی بدبینانه که با افزایش فشار کاری و تعارضات قراردادی همراه بود، منابع مالی باقی‌مانده به ۱/۵ میلیون دلار کاهش یافت، زمان تکمیل پروژه به ۲۹ واحد زمانی افزایش پیدا کرد و تعداد فعالیت‌های تکمیل‌شده به ۸۰۰۰ کاهش یافت. یافته‌ها نشان می‌دهد رفتار هزینه‌ای پروژه‌ها به شدت تحت تأثیر سازوکارهای بازخوردی و سیاست‌های مدیریتی قرار دارد و مدل پیشنهادی می‌تواند ابزاری مؤثر برای کنترل هزینه و بهبود عملکرد پروژه‌های نفت و گاز باشد.

ارجاع به این مقاله: خیرالله‌زاده، احسان، میرحسینی، سیدمحمد، جلالی، محمدرضا و احسانی‌فر، محمد. (۱۴۰۵). مدلسازی و شبیه‌سازی عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز با رویکرد پویایی سیستم (مطالعه موردی: پروژه اسفند و سیوند در خلیج فارس). اکولوژی انسانی، ۱۴(۵)، ۲۴۷۱-۲۴۹۸.

۱. مقدمه

پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز به برنامه‌ریزی هزینه و جریان نقدینگی نیاز دارند تا ضمن تأمین هزینه انجام فعالیت‌های پروژه، بتوانند بر شرایط پریسک پروژه غلبه نمایند. این شرایط پریسک می‌تواند مربوط به هزینه پروژه، زمان اتمام پروژه یا تغییرات طرح باشد. در این راستا، از آنجا که هزینه پروژه به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کلیدی موفقیت پروژه شناخته می‌شود، کنترل افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی یک اقدام کلیدی در موفقیت این پروژه‌ها است. تخصیص بودجه ذخیره برای تکمیل پروژه و کنترل مداوم آن از سوی کارفرما، یکی از نشانه‌های تعهد کارفرما به تکمیل به‌موقع پروژه است (Akinradewo et al., 2019). علاوه بر این، داشتن بودجه احتیاطی پروژه سبب انعطاف‌پذیری بیشتر کارفرما در قبال تغییرات موردنیاز طراحی، تسهیل در صدور دستورکارها و پاسخ‌گویی بهتر به ریسک‌های پروژه می‌گردد. افزایش هزینه پروژه‌های نفت و گاز نسبت به برآورد اولیه، به‌ویژه در پروژه‌های عظیم، امری رایج است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که شصت و چهار درصد پروژه‌های عظیم در حال اجرا در سطح جهانی با افزایش هزینه نسبت به برآورد اولیه مواجه هستند (Creedy et al., 2010).

با وجود این پیشامدها، پژوهش‌های محدودی که به‌طور مشخص چرایی و چگونگی عوامل مؤثر بر افزایش هزینه‌های ساختمانی در این پروژه‌ها را بررسی کرده باشند، منتشر شده است. در نتیجه، پیشنهاد‌های سازنده در زمینه جلوگیری از افزایش هزینه پروژه‌های نفت و گاز بسیار اندک هستند. به‌طور کلی، نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تعامل پیچیده‌ای میان مؤلفه‌های حاضر در پروژه‌های عظیم نفتی، از جمله افراد، تکنولوژی، مهندسی ساختمان و فرهنگ ملی و منطقه‌ای، وجود دارد که با افزایش هزینه‌های پروژه مرتبط است. افزایش تقاضا برای نفت و گاز از سوی اقتصادهای در حال توسعه، مانند چین و هند، نتایجی جز افزایش سرمایه‌گذاری قابل‌توجه در پروژه‌های نفتی در سطح جهانی نداشته است. گزارش‌های آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد که اجرای زیرساخت‌های جدید نفت و گاز جهانی به ارزش بیست تریلیون دلار در فاصله سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۵ برنامه‌ریزی شده است (Olaniran et al., 2015).

در سال‌های اخیر، تعداد زیادی پروژه عظیم نفتی با بودجه‌ای بیش از یک میلیارد دلار (به استثنای هزینه‌های توسعه انجام‌شده در گذشته برای تصویب پروژه) در سراسر جهان تعریف شده‌اند. افزایش هزینه پروژه‌های نفت و گاز حتی در چنین پروژه‌های حساسی نیز به‌وفور به چشم می‌خورد. گزارش‌ها نشان می‌دهد که بیش از چهل درصد از پروژه‌های فراساحلی با ارزش بیش از یک میلیارد دلار، با ده درصد هزینه اضافی نسبت به برآورد اولیه به اتمام می‌رسند (Olaniran et al., 2017). با افزایش هزینه پروژه‌های نفت و گاز، علاوه بر کاهش بازده سرمایه‌گذاری و خدشه‌دار کردن اعتبار سازمانی نهادهای درگیر در پروژه‌ها، می‌تواند بر ارزش سهام تجاری شرکت‌های بسیار بزرگ حاضر در چنین پروژه‌هایی اثرگذار باشد. عدم رسیدگی و پیگیری افزایش هزینه‌ها نسبت به برآورد اولیه ممکن است پروژه‌های آینده و زمینه‌های سرمایه‌گذاری مرتبط را به خطر بیندازد. بر این اساس، می‌توان گفت که عملکرد هزینه یکی از رایج‌ترین و ضروری‌ترین موضوعات در صنعت ساخت‌وساز جهانی است (Gómez-Cabrera et al., 2024).

علی‌رغم وجود دیدگاه‌های متعدد در مورد افزایش هزینه در ادبیات پژوهش، به اندازه کافی توضیح داده نشده است که چرا افزایش هزینه همچنان رخ می‌دهد. به‌طور کلی، دلایل عدم دقت در پیش‌بینی‌ها برای پروژه‌های مختلف متفاوت است، زیرا هر یک از پروژه‌ها ماهیت منحصر به فردی دارند (Esmaeili & Kashani, 2022). جدای از مسائل مربوط به پروژه، عوامل خارجی مانند تغییر در ساختارهای حاکمیتی، سیستم‌های مالیاتی و تغییرات نهادی که بر صحت پیش‌بینی توسعه پروژه تأثیر می‌گذارند نیز برنامه‌ریزی و اجرای پروژه را تهدید می‌کنند. مشخص شده است که تقریباً نه پروژه از هر ده پروژه قربانی افزایش هزینه قابل‌توجهی می‌شوند و پروژه‌ها از نظر هزینه‌ها مطابق پیش‌بینی شده عمل نمی‌کنند (Flyvbjerg et al., 2004; Esmaeili & Kashani, 2022). یک مطالعه که در بیست کشور و پنج قاره انجام شده است، اظهار می‌کند که میانگین هزینه اضافی برای پروژه‌های بزرگ می‌تواند از ۲۰/۴ تا ۴۴/۷ درصد باشد (Esmaeili & Kashani, 2022; Flyvbjerg, 2018). بنابراین، در هفتاد سال گذشته هیچ پیشرفت سیستماتیکی در کنترل افزایش هزینه پروژه‌ها (Bruzelijs et al., 2002) و هیچ الگوی ثابتی برای وقوع اضافه‌هزینه وجود نداشته است (Lundman, 2011). در واقع، مازاد هزینه‌ها به همان اندازه سی سال قبل است و هیچ پیشرفتی مشاهده نمی‌شود (Flyvbjerg et al., 2004). در نتیجه، لازم است عوامل مؤثر بر افزایش هزینه و تأثیر آن‌ها بر پیشرفت پروژه مورد بررسی قرار گیرند. جریان نقدی مستقیماً با پیشرفت ساخت‌وساز مرتبط است و بنابراین هرگونه عملکرد غیرمحمتمل در پیشرفت ساخت‌وساز مستقیماً به تعهدات مالی ضربه می‌زند (Esmaeili & Kashani, 2022). ارزیابی پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز به‌طور فزاینده‌ای مستلزم درک بیشتر پیچیدگی آن در پیشرفت پروژه و جریان نقدی مربوطه است که فرآیند تصمیم‌گیری را دشوارتر می‌کند (Lundman, 2011).

بدین منظور، با توجه به اهمیت موضوع، پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی و شبیه‌سازی عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز با رویکرد پویایی سیستم انجام شده است. رویکرد پویایی سیستم یکی از روش‌های کارآمد برای تحلیل کیفی و

کمی رفتار سیستم‌های پیچیده در طول زمان است که امکان بررسی روابط غیرخطی، بازخوردی و دارای تأخیر را فراهم می‌کند. این رویکرد در حوزه‌های مختلفی از جمله مدیریت، اقتصاد و مهندسی برای درک رفتار دینامیکی سیستم‌ها و تحلیل پیامد تصمیمات به کار گرفته می‌شود. در این پژوهش، از رویکرد پویایی سیستم به این دلیل استفاده شده است که این روش قابلیت شناسایی روابط میان اجزای مختلف سیستم و تحلیل اثر تغییر هر متغیر بر رفتار کل سیستم در طول زمان را فراهم می‌کند.

در نتیجه، می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران پروژه کمک کند تا عوامل کلیدی مؤثر بر افزایش هزینه را شناسایی کرده و با مداخله هدفمند در نقاط اثرگذار، هزینه‌های پروژه را کنترل نمایند. با وجود این مزایا، بررسی ادبیات پژوهش نشان می‌دهد که اغلب مطالعات پیشین در حوزه افزایش هزینه پروژه‌های ساخت‌وساز، عمدتاً بر شناسایی عوامل و رتبه‌بندی آن‌ها تمرکز داشته‌اند و کمتر به شناسایی علل ریشه‌ای و تحلیل تعاملات پویا میان این عوامل پرداخته‌اند. همچنین، در پروژه‌های صنعت نفت و گاز، پژوهش‌های محدودی به صورت هم‌زمان به مدل‌سازی روابط بازخوردی، تحلیل رفتار زمانی هزینه و ارزیابی اثر سیاست‌های مدیریتی توجه داشته‌اند. از این رو، خلأ اصلی موجود، فقدان یک چارچوب یکپارچه برای تحلیل پویا و ریشه‌ای افزایش هزینه در این نوع پروژه‌ها است. بر این اساس، نوآوری و ارزش افزوده این پژوهش در چهار بعد اصلی قابل تبیین است.

نخست، از منظر روش‌شناختی، این مطالعه با بهره‌گیری از مطالعات پیشین مرتبط با افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز، مجموعه‌ای از عوامل مؤثر را شناسایی و ساختار اولیه روابط میان آن‌ها را استخراج نموده است. سپس این عوامل از طریق فرآیند اعتبارسنجی خبرگانی (دلفی) اصلاح، تکمیل و بومی‌سازی شده و در ادامه، بر مبنای یافته‌های حاصل، مدل علی-بازخوردی عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه توسعه یافته است. در نهایت، مدل نهایی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم برای تحلیل رفتار دینامیکی و شبیه‌سازی تعاملات میان متغیرها تدوین گردیده است. دوم، از منظر مدل‌سازی، پژوهش حاضر برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً بر روابط ایستا و خطی تمرکز داشته‌اند، روابط علی، بازخوردی و اثرات تأخیری میان عوامل مالی، انسانی، مدیریتی و محیطی را در قالب یک مدل پویا تبیین می‌کند. سوم، از منظر داده، مدل توسعه‌یافته مبتنی بر داده‌های واقعی پروژه‌های صنعت نفت و گاز و همچنین قضاوت خبرگان این حوزه اعتبارسنجی شده است. چهارم، از منظر تحلیل، این پژوهش امکان شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریتی و ارزیابی پیامد سیاست‌ها پیش از اجرا را فراهم می‌سازد؛ قابلیت که در بخش قابل توجهی از مطالعات پیشین مغفول مانده است. در نهایت، این پژوهش با گذار از شناسایی صرف عوامل به سمت تحلیل ساختارهای بازخوردی، امکان درک ریشه‌ای‌تر از سازوکارهای شکل‌گیری افزایش هزینه را فراهم کرده و می‌تواند به مدیران پروژه کمک کند تا به جای تمرکز بر پیامدها، بر ریشه‌های ایجاد افزایش هزینه تمرکز کرده و با اتخاذ سیاست‌های پیشگیرانه، کنترل مؤثرتری بر هزینه‌ها و ریسک پروژه‌های نفت و گاز اعمال نمایند.

۲. پیشینه پژوهش

در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز، افزایش هزینه‌ها به عنوان یک چالش جدی شناخته می‌شود که می‌تواند تأثیرات منفی بر بازده سرمایه‌گذاری و اعتبار سازمان‌ها داشته باشد. هزینه به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترها و نیروهای محرک کلیدی موفقیت پروژه در میان سایر ملاحظات ذکر شده است (Ofori, 2007). افزایش هزینه هر پروژه تأثیرات منفی بر کارفرما، پیمانکاران و مشاوران دارد. این تأثیرات نامطلوب شامل مشکلات مالی، افزایش در ارتباطات خصمانه، بدگمانی، هزینه دادرسی و داوری می‌شود. افزایش هزینه، پیشرفت پروژه را به تأخیر انداخته، سود پیمانکار را کاهش داده و باعث زیان و ایجاد مشکلات بزرگی برای پروژه می‌شود. تأخیر و افزایش هزینه سبب شکست پروژه و کاهش اعتماد ذی‌نفعان نسبت به پروژه‌هایی که به آن‌ها بودجه اختصاص داده شده، می‌گردد. در بخش اقتصاد، افزایش هزینه‌ها، خصوصاً باعث آسیب‌دیدگی اقشار متوسط و ضعیف جامعه می‌گردد؛ زیرا این افزایش هزینه‌ها و اثرات آن مانع دستیابی به نیازهای اولیه می‌شود. با توجه به اثرات نامطلوب افزایش هزینه، لازم است که عوامل مؤثر در افزایش هزینه‌ها شناسایی و مورد توجه قرار گیرند. عوامل مختلفی با منشأهای متفاوت بر افزایش هزینه ساخت تأثیر می‌گذارند. از جمله این عوامل، عملکرد دست‌اندرکاران ساخت، مسائل مالی، مسائل مدیریتی، در دسترس نبودن منابع و شرایط خارجی هستند (Babar et al., 2017).

لذا باید دانست که این افزایش هزینه‌ها از چه عواملی ناشی می‌شوند و ریشه آن‌ها چیست تا بتوان راهکارهای مناسبی را پیاده‌سازی کرده و از وقوع آن جلوگیری نمود. در ادامه، پیشینه تحقیق در زمینه افزایش هزینه پروژه‌های ساخت‌وساز صنعت نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفته است. طی سالیان اخیر، مطالعات متعددی در مورد افزایش هزینه ساخت‌وساز منتشر شده است و هر یک از روش خاصی به منظور استخراج عوامل ریشه‌ای افزایش هزینه به کار گرفته‌اند که در جدول (۱)، بررسی و مقایسه روش‌های به کار گرفته شده ارائه شده است.

جدول ۱- بررسی و مقایسه روش‌های بکار گرفته شده در پیشینه پژوهش

پژوهشگران	پژوهش	حوزه / نوع پروژه	رویکرد تحلیلی	سطح تحلیل	نوع روابط در مدل	قابلیت شبیه‌سازی و سناریوسازی	خروجی برای تصمیم‌گیری مدیریتی	خاک اصلی پژوهش
همدان ^۱ و همکاران (Hamdan et al., 2026)	پیش‌بینی اضافه‌هزینه با الگوریتم‌های یادگیری ماشین ^۲	ساخت‌وساز	یادگیری ماشین	پیش‌بینی هزینه	غیرخطی داده‌محور	متوسط (پیش‌بینی بدون سیاست‌گذاری)	پیش‌بینی میزان اضافه‌هزینه	عدم تبیین روابط علی و دینامیکی
ادپو ^۳ و همکاران (Adepu et al., 2025)	تحلیل اضافه‌هزینه در دوران COVID-19	ساخت‌وساز	تحلیل آماری/اکتشافی	عوامل بحران‌محور	ایستا و شریطی	محدود	تحلیل اثر کووید ۱۹ بر هزینه	نبود مدل پایدار بلندمدت
دونگ ^۴ و همکاران (Dong et al., 2025)	تحلیل عوامل کلیدی اضافه‌هزینه با SEM	ساخت‌وساز	مدلسازی معادلات ساختاری	روابط بین متغیرها	خطی و ساختاری	فاقد سناریو	تبیین روابط علی-آماري	عدم لحاظ اثرات بازخوردی و زمانی
کومار و هودا ^۵ (Kumar, & Hooda, 2025)	مرور ادبیات اضافه‌هزینه در ساخت‌وساز	ساخت‌وساز	مرور سیستماتیک	مفهومی	غیرمدلسازی	فاقد شبیه‌سازی	چارچوب مفهومی	نبود مدل تحلیلی/کمی
آبدالیم و همکاران (Abdelalim et al., 2024)	تحلیل عوامل مؤثر بر اضافه‌هزینه جهانی	ساخت‌وساز جهانی	تحلیل آماری + توصیفی	عوامل چندسطحی	ایستا	محدود	شناسایی عوامل کلیدی	عدم مدل‌سازی دینامیک هزینه
ممون ^۶ و همکاران (Memon et al., 2023)	مدل ساختاری عوامل اضافه‌هزینه در پاکستان	ساخت‌وساز	مدلسازی معادلات ساختاری ^۷	ساختار علی عوامل	خطی	فاقد سناریو	مدل روابط عوامل	نبود تحلیل زمانی و بازخوردی
شوار ^۸ و همکاران (Shoar et al., 2023)	مدل‌سازی اضافه‌هزینه با ISM	ساخت‌وساز	مدلسازی ساختاری تفسیری	ساختار سلسله‌مراتبی	نیمه‌علی	محدود	شناسایی روابط سطحی/عمقی	نبود پویایی سیستم و شبیه‌سازی
بداوی ^۹ و همکاران (Badawy et al., 2022)	شناسایی عوامل خطر مؤثر بر ریسک هزینه کلی در پروژه‌های مسکونی در مراحل اولیه	مسکونی	دلفی و پرسپترون	عوامل منفرد هزینه	روابط ایستا و غیرزمانی	فاقد امکان شبیه‌سازی رفتار هزینه در طول زمان	صرفاً شناسایی عوامل پریسک	عدم تحلیل رفتار دینامیکی افزایش هزینه
اسماعیلی و کاشانی ^{۱۰} (Esmaili and Kashani, 2022)	ریسک‌های هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز	نفت و گاز	دلفی	فهرست ریسک‌های هزینه	روابط غیریویا و مستقل	فاقد تحلیل سناریو و بازخورد	شناسایی ریسک‌ها بدون ارائه سیاست کنترلی	نادیده‌گرفتن تعامل ریسک‌ها
کاسیم ^{۱۱} (Kassem, 2022)	ارزیابی مدیریت ریسک در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز با استفاده از	نفت و گاز	PLS-SEM	روابط آماری بین متغیرها	خطی و ایستا	فاقد شبیه‌سازی تغییرات زمانی	تبیین روابط آماری	عدم لحاظ اثرات انباشتی و تأخیری

¹ Hamdan² Machine Learning³ Adepu⁴ Dong⁵ Kumar & Hooda⁶ Memon⁷ Structural Equation Modeling⁸ Shoar⁹ Badawy¹⁰ Esmaili and kashani¹¹ Kassem

پژوهشگران	پژوهش	حوزه / نوع پروژه	رویکرد تحلیلی	سطح تحلیل	نوع روابط در مدل	قابلیت شبیه‌سازی و سناریوسازی	خروجی برای تصمیم‌گیری مدیریتی	خلاصه اصلی پژوهش
	مدلسازی معادلات ساختاری (PLS-SEM)							
سوپران ^۱ و همکاران (Suprun et al., 2022)	بررسی مسیرهای انتقال به نوآوری ساخت و ساز در روسیه: رویکرد پویایی سیستم	ساخت‌وساز عمومی	پویایی سیستم	نوآوری در ساخت	روابط علی-جریانی	شبیه‌سازی محدود بدون تمرکز بر هزینه	تحلیل مفهومی سیستم	عدم تمرکز بر افزایش هزینه پروژه
لی ^۲ و همکاران (Lee et al., 2021)	تحلیل مقایسه‌ای اثرات ریسک بر افزایش هزینه بین موارد واقعی و ادراک مدیران از پروژه‌های ساختمانی خارج از کشور	بین‌المللی	رگرسیون خطی	مقایسه ریسک واقعی و ادراکی	روابط ایستا	فاقد پیش‌بینی پویا	تحلیل اختلاف ادراک مدیران	نبود مدل پیش‌بینی هزینه
انریکا ^۳ و همکاران (Enrica, 2021)	خطرات منجر به افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی: مروری بر ادبیات سیستماتیک	عمومی	مرور سیستماتیک	طبقه‌بندی عوامل	توصیفی و غیرمدلسازی	فاقد هرگونه شبیه‌سازی	چارچوب مفهومی اولیه	فقدان مدل تحلیلی
انامالایسامی و کوپاسوامی ^۴ [۲۵]	مدیریت ریسک-های هزینه: به سمت طبقه‌بندی عوامل مازاد هزینه در پروژه‌های ساختمانی	عمومی	روش‌های آماری	طبقه‌بندی عوامل هزینه	ایستا	فاقد تحلیل سناریو	دسته‌بندی عوامل مازاد هزینه	نبود نگاه سیستمی
الحمادی و مومن ^۵ (Alhammadi, & Memon, 2020)	عوامل بازدارنده عملکرد هزینه در پروژه‌های ساختمانی امارات متحده عربی	امارات	آمار	عوامل مدیریتی	ایستا و غیرتعامل‌گرا	فاقد ارزیابی سیاست‌های مدیریتی	شناسایی عوامل مؤثر	عدم سنجش اثر تغییرات مدیریتی
وی‌یو ^۶ و همکاران (Vu et al., 2020)	عوامل مؤثر بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی پیمانکاران بین‌المللی در ویتنام	بین‌المللی	آمار	عامل کلیدی	ایستا	فاقد تحلیل زمانی	تمرکز بر یک عامل غالب	عدم بررسی تعامل عوامل

¹ Suprun

² Lee

³ Enrica

⁴ Annamalaisami and Kuppaswamy

⁵ Alhammadi and Memon

⁶ VU

پژوهشگران	پژوهش	حوزه / نوع پروژه	رویکرد تحلیلی	سطح تحلیل	نوع روابط در مدل	قابلیت شبیه‌سازی و سناریوسازی	خروجی برای تصمیم‌گیری مدیریتی	خلأ اصلی پژوهش
مدیریت ریسک هزینه پروژه‌های ساخت و ساز	مبتنی بر پویایی سیستم در صنعت نفت و گاز	نفت و گاز	پویایی سیستم	ریشه‌های افزایش هزینه	روابط بازخوردی و دینامیکی	شبیه‌سازی سناریوهای سیاستی و مدیریتی	پشتیبانی از تصمیم‌گیری پیشگیرانه	—

با بررسی انتقادی ادبیات موضوع در سال‌های اخیر می‌توان مشاهده نمود که بخش عمده‌ای از پژوهش‌ها با بهره‌گیری از روش‌های آماری، دلفی، رگرسیونی، مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) و در برخی موارد یادگیری ماشین، به شناسایی و پیش‌بینی عوامل مؤثر بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی پرداخته‌اند. مطالعاتی نظیر هامدان و همکاران (۲۰۲۶)، دونگ و همکاران (۲۰۲۵) ممون و همکاران (۲۰۲۳) و ادپو و همکاران (۲۰۲۵) نشان می‌دهند که گرایش غالب پژوهش‌ها همچنان بر مدل‌های داده‌محور و ساختاری متمرکز است. اگرچه این مطالعات نقش مهمی در شناسایی عوامل کلیدی و بهبود قدرت پیش‌بینی هزینه داشته‌اند، اما عمدتاً مبتنی بر رویکردهای ایستا یا شبه‌ایستا بوده و روابط میان متغیرها را به‌صورت خطی یا غیرخطی بدون در نظر گرفتن تغییرات زمانی، اثرات تجمعی، تأخیرها و سازوکارهای بازخوردی در طول چرخه عمر پروژه تحلیل کرده‌اند. حتی در پژوهش‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، تمرکز اصلی بر پیش‌بینی مقدار اضافه‌هزینه است و نه تبیین ساختار علی-رفتاری سیستم هزینه. در همین راستا، بخش محدودی از مطالعات از رویکردهای پویایی سیستم استفاده کرده‌اند. اما این پژوهش‌ها عمدتاً بر حوزه‌هایی مانند نوآوری یا مدیریت کلان ساخت‌وساز تمرکز داشته و کمتر به‌صورت مسئله‌محور، پدیده افزایش هزینه را در پروژه‌های صنعت نفت و گاز و با تأکید بر تعامل هم‌زمان عوامل مالی، انسانی، مدیریتی و محیطی بررسی کرده‌اند. علاوه بر این، در اغلب مطالعات موجود، امکان تحلیل هم‌زمان روابط علی-بازخوردی، شبیه‌سازی سناریوهای مدیریتی و ارزیابی پیامد سیاست‌ها پیش از اجرا به‌صورت نظام‌مند مورد توجه قرار نگرفته است. به‌عبارت دیگر، ادبیات موجود عمدتاً در سطح «تبیین یا پیش‌بینی» متوقف شده و کمتر وارد سطح «سیاست‌گذاری و شبیه‌سازی رفتاری سیستم» شده است. بر این اساس، با جمع‌بندی انتقادی ادبیات موجود می‌توان نتیجه گرفت که خلأ اصلی پژوهش‌ها در سه حوزه قابل مشاهده است: ۱) نبود مدل‌سازی پویا و زمان‌مند از رفتار افزایش هزینه، ۲) ضعف در تبیین و تحلیل ساختارهای بازخوردی میان عوامل اثرگذار، ۳) فقدان چارچوب یکپارچه برای شبیه‌سازی و ارزیابی سیاست‌های مدیریتی در پروژه‌های پیچیده صنعت نفت و گاز. این خلأها، به‌ویژه با توجه به ماهیت سرمایه‌بر، بلندمدت و پیچیده پروژه‌های نفت و گاز، ضرورت استفاده از رویکردی جامع، پویا و تصمیم‌محور را آشکار می‌سازد. در پاسخ به این خلأها، نوآوری‌ها و دستاوردهای اصلی پژوهش حاضر در محورهای زیر قابل تبیین است:

۱) گذار از تحلیل ایستا به تحلیل پویا در مدیریت هزینه پروژه‌ها: برخلاف مطالعات پیشین که عمدتاً افزایش هزینه را به‌صورت ایستا و مبتنی بر مدل‌های آماری یا ساختاری بررسی کرده‌اند، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از پویایی سیستم، این پدیده را به‌صورت زمان‌مند، غیرخطی و مبتنی بر اثرات تجمعی و تأخیری مدل‌سازی می‌کند.

۲) مدل‌سازی روابط علی-بازخوردی میان عوامل کلیدی افزایش هزینه: در این پژوهش، حلقه‌های بازخوردی مثبت و منفی میان عوامل مالی، انسانی، مدیریتی، تغییرات طراحی، عملکرد پیمانکاران و ریسک‌های محیطی شناسایی و تحلیل شده‌اند، در حالی که اغلب مطالعات پیشین روابط خطی یا مستقل را فرض کرده‌اند.

۳) توسعه چارچوب شبیه‌سازی سناریوهای مدیریتی و سیاستی: مدل ارائه‌شده امکان بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی (مانند سیاست‌های پرداخت، کنترل تغییرات طراحی و بهبود بهره‌وری) را پیش از اجرا فراهم می‌کند؛ قابلیت‌هایی که در بخش عمده ادبیات پیشین یا وجود ندارد یا بسیار محدود است.

۴) تمرکز بر تصمیم‌گیری پیشگیرانه به‌جای رویکرد واکنشی: برخلاف مطالعاتی که پس از وقوع اضافه‌هزینه به تحلیل آن می‌پردازند، مدل پیشنهادی با شناسایی نقاط اهرمی، امکان مداخلات زود هنگام و مدیریت پیشگیرانه را فراهم می‌سازد.

۵) کاربردپذیری عملی و تصمیم‌ساز برای مدیران پروژه: پژوهش حاضر علاوه بر غنای نظری، یک ابزار تصمیم‌یار برای مدیران پروژه و سیاست‌گذاران صنعت نفت و گاز ارائه می‌دهد که می‌تواند در کنترل هزینه، کاهش ریسک و بهبود بهره‌وری مؤثر باشد.

۶) بهره‌گیری از داده‌های واقعی پروژه‌های صنعت نفت و گاز: اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های واقعی پروژه‌های مشابه انجام شده است که موجب افزایش قابلیت اتکای نتایج و کاربردپذیری آن در محیط واقعی شده است.

۷) تحلیل رفتار دینامیکی و شبیه‌سازی سیاست‌ها: مدل توسعه‌یافته امکان شبیه‌سازی رفتار سیستم در طول زمان و پیش‌بینی پیامد سیاست‌های مدیریتی پیش از اجرا را فراهم می‌سازد و بدین ترتیب یک ابزار تحلیلی-پیشگیرانه برای مدیریت پروژه‌های پیچیده ارائه می‌دهد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

هدف از پژوهش حاضر، مدلسازی و شبیه‌سازی عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز با رویکرد پویایی سیستم است که باتوجه به آن مرز سیستم مشخص و عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز براساس مبانی نظری و مصاحبه با خبرگان شناسایی شد. خبرگان شامل مدیران شرکت نفت فلات قاره ایران و توسعه پترو ایران بودند که بر اساس نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند و تعداد آنها ۱۵ نفر بود. فرضیه‌های اولیه در پژوهش توسعه‌یافته و سیاست‌هایی به آن اعمال شد که در نمودار انباشت و جریان مشهود است. در مطالعات پویایی‌شناسی سیستم از رویکرد قیاسی-استقرایی، جهت‌گیری کاربردی و روش ترکیبی (کیفی - کمی) استفاده می‌شود که پژوهش حاضر باتوجه به بررسی روابط متغیرها از نوع پژوهش-های اکتشافی است. روش گردآوری داده‌ها از نوع میدانی-کتابخانه‌ای است. همچنین، در این مطالعه برای شبیه‌سازی فرضیه پویا از پویایی‌شناسی سیستم استفاده شده که تجزیه و تحلیل آن با نرم‌افزار ونسیم صورت گرفته است. عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های صنعت نفت و گاز بر یکدیگر رفتاری پویا و ساختاری علت و معلولی دارند. همچنین، علاوه بر متغیرهای برونزا سایر متغیرها نیز تحت تأثیر یکدیگر هستند؛ بنابراین عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه یک سیستم پیچیده بوده که شامل چندین فرآیند بازخورد تعاملی است. این پیچیدگی پویایی‌شناسی را برای شبیه‌سازی عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه مناسب کرده است. مراحل استفاده از پویایی‌شناسی سیستم‌ها در عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز به شرح زیر است (Chapman, 1998; Nasirzadeh et al., 2008; Li et al., 2017; Etemadinia & Tavakolan, 2021).

مدلسازی و فرموله کردن: در این مرحله از فرآیند اجرایی پژوهش که مهمترین مرحله در سیستم پویایی سیستم است به چارچوب‌بندی مسئله (انتخاب مرز)، مدل مفهومی و فرموله کردن مدل انباشت و جریان پرداخته می‌شود. در راستای تدوین مدل مفهومی روابط علی و معلولی شناسایی و در راستای ساخت فرضیه پویا پیشینه موجود بررسی و سپس مدل مفهومی باتوجه به عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز و نظر خبرگان اصلاح می‌شود. در همین مرحله فرمول‌ها و معادلات مربوط به متغیرهای سطح، متغیرهای میزان و سایر متغیرهای مدل تعیین می‌شود، تا براساس این معادلات شبیه‌سازی مناسبی در راستای آزمون مدل صورت گیرد. درواقع، با واردکردن معادلات مدل مفهومی به دنیای واقعی پیوند داده می‌شود. فرموله کردن به بیان ارتباط متغیرها در قالب مفاهیم ریاضی می‌پردازد که در نمودار انباشت و جریان نمایش داده می‌شود.

اعتبارسنجی مدل: در تمامی روش‌های شبیه‌سازی پس از مدلسازی، اعتبارسنجی مهمترین گام است. رویکرد پویایی‌شناسی سیستم زمانی می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر مورد استفاده قرار گیرد که بتوان با آن فرآیندهای گوناگون را بررسی و یا به کمک آن سناریوها و سیاست‌های مختلف را با دیدگاه سیستمی ارزیابی کرد. برای کسب اطمینان از اعتبار نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌ها سنجش اعتبار مدل، شرطی لازم و ضروری است. آزمون‌های متعدد در زمینه اعتبارسنجی مدل‌های پویا مطرح شده است که در آن می‌توان از آزمون بازتولید رفتار، تحلیل حساسیت، تحلیل حدی، آزمون دیمانسون و آزمون انطباق ساختار استفاده کرد.

اجرای مدل و تدوین سیاست‌ها: پس از بررسی تأیید اعتبار مدل به شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل رفتار مدل بر مبنای سیاست‌های مختلف طبق نظر خبرگان پرداخته می‌شود. در این میان، به تغییر روند و ثبات روند سیستم توجه و درنهایت، راهکارهای مناسب برای بهبود عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز شناسایی می‌شود. در واقع، با استفاده از یک مدل دینامیک سیستم مدیریت ریسک هزینه پروژه‌های ساخت و ساز در صنعت نفت و گاز، عملکرد پویا را برای چند سال متوالی ارزیابی گردید. در این مطالعه، ما سناریوهای فرضی تحلیل خوشبینانه (سازگاری قوی)، بدبینانه (سازگاری ضعیف) و محتمل (بیشترین مقدار ممکن) برای مشخص کردن سناریوها اقدام شده است را بر اساس نگرش‌های مختلف ایجاد شده که هر سناریو یک اولویت سیاستی خاص را نشان می‌دهد. در هر سناریو، متغیرهای تصمیم را می‌توان با داده‌های ورودی متغیر در مورد بهترین پیامد با مدل سه هدفه فوق محاسبه کرد. چندین مجموعه متغیر تصمیم‌گیری بر اساس سناریوهای مختلف محاسبه و در مدل پویایی سیستم برای تجزیه و تحلیل عملکرد عملیاتی دینامیکی مدیریت ریسک هزینه قرار گرفت. در نهایت از طریق مدل پویایی سیستم و تحلیل سناریو می‌توان دوره برنامه ریزی مناسب را شناسایی کرد. در ادامه، برای اینکه توانسته به مهمترین هدف مدلسازی سیستم‌های پویا دست یافته شود، باید به بررسی سیاست‌های بالقوه مختلف بر تقویت و بهبود عملکرد مدل پرداخته شود. از بین سناریوها یا همان سیاست‌های پیشنهاد شده، سیاستی که بهترین پیامد را ارائه دهد، برای اجرا در سیستم مورد نظر انتخاب می‌شود. به همین دلیل بعد از سنجش اعتبار الگو و در هنگامی که خبرگان پژوهش به اجماع رسیدند، می‌توان از

نتایجی که از بررسی سناریوهای بدست می‌آید، از مدل برای ارزیابی سیاست‌های مختلف در راستای بهبود سیستم بهره گرفت. به این منظور در پژوهش جاری پس از تأیید اعتبار مدل، از آن برای اجرای آزمایشی شبیه‌سازی استفاده و نتایج بدست آمده به صورت زیر ارائه شده است. در این پژوهش تحلیل خوشبینانه (سازگاری قوی)، بدبینانه (سازگاری ضعیف) و محتمل (بیشترین مقدار ممکن) برای مشخص کردن سناریوها اقدام شده است که به عنوان مبنای سناریوسازی در نظر گرفته شد.

۴. موردی پروژه اسفند و سیوند خلیج فارس

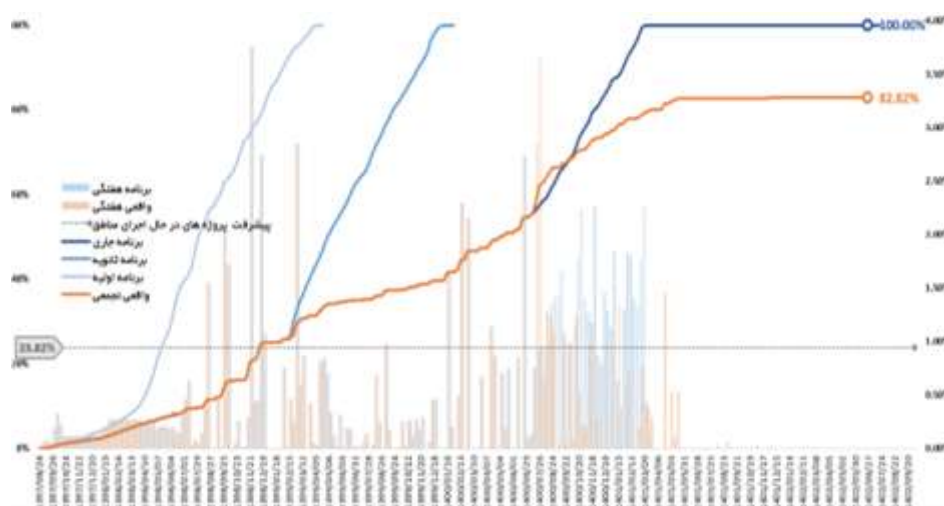
۴-۱- مشخصات پروژه و تعیین داده‌ها

پروژه اسفند و سیوند مطالعه موردی برای پژوهش حاضر است. اگرچه پژوهشگران پژوهش حاضر در نظر دارند که رویکرد پویایی سیستم را برای حوزه ساخت‌وساز در صنعت نفت و گاز اعمال نمایند. پروژه اسفند و سیوند به منظور نگهداشت و افزایش تولید نفت در یکی از سخت‌ترین میدان‌های دریایی کشور طراحی شده است. با توجه به چالش‌های زمین‌شناسی و عملیات حفاری، این پروژه می‌تواند نقش مهمی در تأمین نیازهای انرژی کشور ایفا کند. با توجه به موفقیت‌های اخیر در حفاری چاه‌ها، انتظار می‌رود که روند تولید نفت در این میدان‌ها به تدریج افزایش یابد و به اهداف تعیین شده دست یابد. در ادامه مشخصات پروژه به صورت کامل معرفی و در شکل (۱) موقعیت پروژه اسفند و سیوند خلیج فارس معرفی شده است.



شکل ۱- تصویر و موقعیت پروژه اسفند و سیوند خلیج فارس

- (۱) عنوان پروژه: اسفند و سیوند
- (۲) مکان پروژه: خلیج فارس
- (۳) ذینفعان پروژه: نفت فلات قاره ایران، توسعه پترو ایران
- (۴) هدف از اجرای پروژه: حفاری ۱۲ حلقه چاه شامل ۴ حلقه چاه توسعه ای و ۸ حلقه چاه تعمیری که موجب آن ۱۵ هزار بشکه نفت به تولید روزانه افزوده گردید.
- (۵) تاریخ شروع برنامه‌ای - تاریخ اتمام برنامه‌ای: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰ - ۱۳۹۹/۰۴/۲۰
- (۶) تاریخ شروع واقعی - تاریخ اتمام واقعی: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰ - ۱۴۰۱/۱۱/۲۰
- (۷) نمودار درصد پیشرفت پروژه (شکل ۲)



شکل ۲- نمودار درصد پیشرفت پروژه.

- (۸) پیش‌بینی بودجه (بخش اجرا): ۱۰۴ میلیون یورو
- (۹) نرخ پیشرفت متوسط ماهیانه: ۳٪
- (۱۰) تغییرات سفارش کارفرما: حذف ۱۷٪ پروژه (۲ چاه) و اضافه کاری به میزان ۱۷٪ پروژه (۲ چاه)
- (۱۱) تاخیر در پرداخت‌ها: ۱ ماه نسبت به قرارداد
- (۱۲) تعداد کل تسک‌های پروژه: ۷۴۰

۲-۴- مرجع روابط علی در مدل علی و حلقوی

بعد تعیین مشخصات پروژه باید مرجع روابط علی در مدل علی و حلقوی مشخص گردد. مرجع روابط علی در مدل در جدول ۲ آورده شده است. این روابط باتوجه به بررسی پیشینه پژوهش‌های شناسایی اسماعیلی و کاشانی (۲۰۲۲)، بیداوی و همکاران (۲۰۲۲)، کاسیم (۲۰۲۲)، سوپران و همکاران (۲۰۲۲)، لی و همکاران (۲۰۲۱)، انریکا و همکاران (۲۰۲۱) و سپس باتوجه به نظرهای خبرگان تعدیل و تکمیل شده است. بر این اساس، ابتدا با استفاده از بررسی پژوهش‌های مختلف پیشین درباره موضوع و ضرورت عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز مدل علی و حلقوی شکل داده شده است. سپس با بهره‌گیری از نظر خبرگان به تعدیل و تکمیل مدل پرداخته شده و در نهایت، مدل عوامل اثرگذار بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز با رویکرد پویایی‌شناسی سیستم ایجاد شده است. جدول (۲) عوامل موثر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز به همراه منابع آن معرفی شده است.

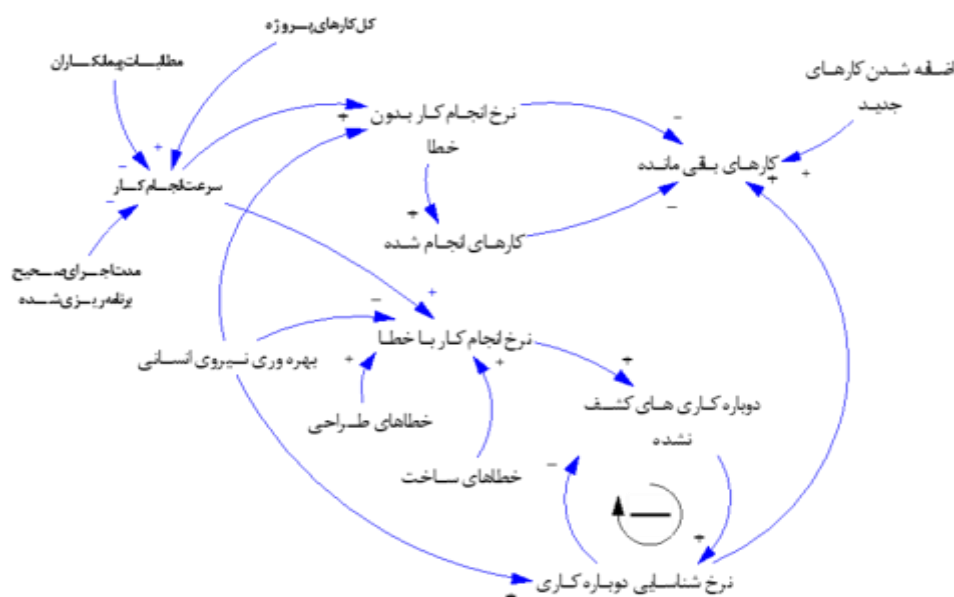
جدول ۲- عوامل موثر بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز

عوامل اصلی	عوامل فرعی
	کل مبلغ پرداختی به پیمانکار
	مبلغ اولیه قرارداد
	مسائل حقوقی و قراردادی
	تاخیر در پرداخت حقوق کارکنان
	تاخیر در پرداخت منابع مالی به پیمانکار
متغیرهای مالی و قراردادی	نبود منابع مالی برای پیمانکار
	پرداخت به پیمانکار
	منابع مالی مورد نیاز واقعی پروژه
	هزینه واقعی پروژه
	منابع مالی باقیمانده پروژه
	مدت زمان اجرای پروژه
	مدت زمان برنامه ریزی شده انجام پروژه
متغیرهای زمانی و برنامه‌ریزی	پیش‌بینی از زمان باقیمانده پروژه
	پیش‌بینی مدت زمان تاخیر پروژه
	مدت زمان نرمال در پرداخت حقوق

عوامل اصلی	عوامل فرعی
	مدت زمان نرمال شناسایی دوباره کاری ها مدت زمان رفع مسائل حقوقی و قراردادی مدت زمان پروژه کارهای باقیمانده پروژه
متغیرهای انسانی و منابع	استخدام تعداد نیروی انسانی مورد نیاز تعداد نیروی انسانی در دسترس رضایت پرسنل فشار کاری
متغیرهای مدیریتی و هماهنگی	اضافه شدن کارهای جدید تغییر در روش رفع مسائل عدم هماهنگی مابین پیمانکاران مدیریت ضعیف قرارداد تعداد جلسات ذینفعان پروژه نرخ افزایش کارهای انجمنی کل کارها
متغیرهای ریسک و حوادث	ناپایداری سیاسی ریسک بروز حوادث حوادث کاری نرخ افزایش مسائل حقوقی و قراردادی بهره وری برآورد اشتباه هزینه های پروژه

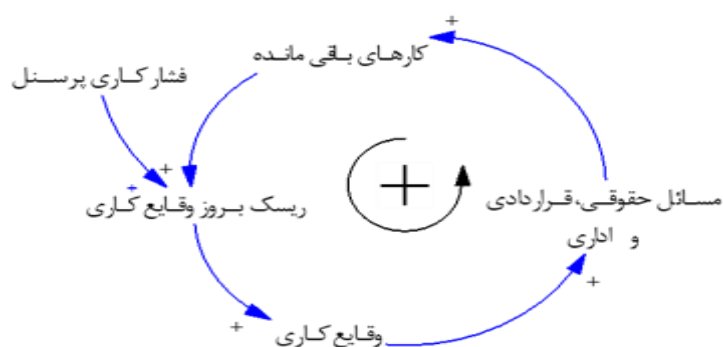
۳-۴- ترسیم حلقه‌های مدل علی و حلقوی

به صورت کلی هنگامی که مجموعه فعالیت‌هایی توسط فرد یا گروهی برای رسیدن به یک هدف انجام می‌گیرد و این فعالیت‌ها در یک زمان مشخص و تنها برای یکبار انجام و پروژه شکل می‌گیرد. در انجام شدن این فعالیت‌ها مهمترین حلقه‌ای که منجر به افزایش طول پروژه و هزینه پروژه می‌شود، مربوط به چرخه دوباره کاری است. استرمن در کتاب پویایی‌شناسی کسب و کار به خوبی این چرخه را تشریح کرده است. در این چرخه وجود تجهیزات و ماشین آلات و همچنین نیروی انسانی و بهره وری آنها نرخ انجام کار بدون خطا را افزایش می‌دهد. نرخ انجام کار بدون خطا منجر به انتقال کارهای باقیمانده به کارهای انجام شده می‌شود. در صورتی که انجام کارها با خطا همراه باشد، با توجه به زمانی که طول می‌کشد این خطاها شناسایی شوند، دوباره به کارهای باقیمانده منتقل می‌شوند. این حلقه یک حلقه‌ای است که خطر هزینه تمام شده پروژه‌ها را بالا می‌برد. همچنین اضافه شدن کارهای جدید که می‌تواند ناشی از تغییر در روش اجرا باشد نیز منجر به افزایش کارهای باقیمانده می‌شود. حلقه علی مربوط به چرخه دوباره کاری تحقیق در شکل (۳) ارائه شده است.



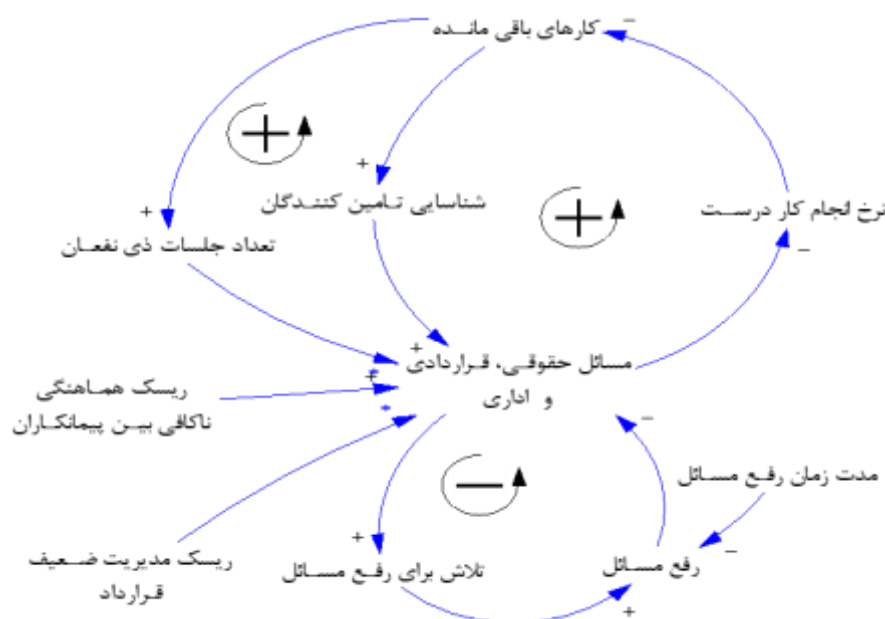
شکل ۳- حلقه علی مربوط به چرخه دوباره کاری تحقیق

حوادث و ایمنی کار اتمام پروژه در زمان معین را با ریسک بالایی مواجه می‌سازد و اغلب در پروژه‌ها نادیده گرفته می‌شود. بر اساس یک مطالعه که در پاکستان صورت گرفته است، ۶۴ درصد مسئولیت یک حادثه با پیمانکار انجام دهنده این پروژه مرتبط است. هرچه در یک پروژه ساخت‌وساز کارهای باقیمانده کاهش پیدا کند، وقایع کاری مانند انواع حوادث کاهش پیدا کرده و مسائل حقوقی، قراردادی و اداری نیز کاهش پیدا می‌کند. در شکل (۴) حلقه علی مربوط به ریسک بروز حوادث کاری ارائه شده است.



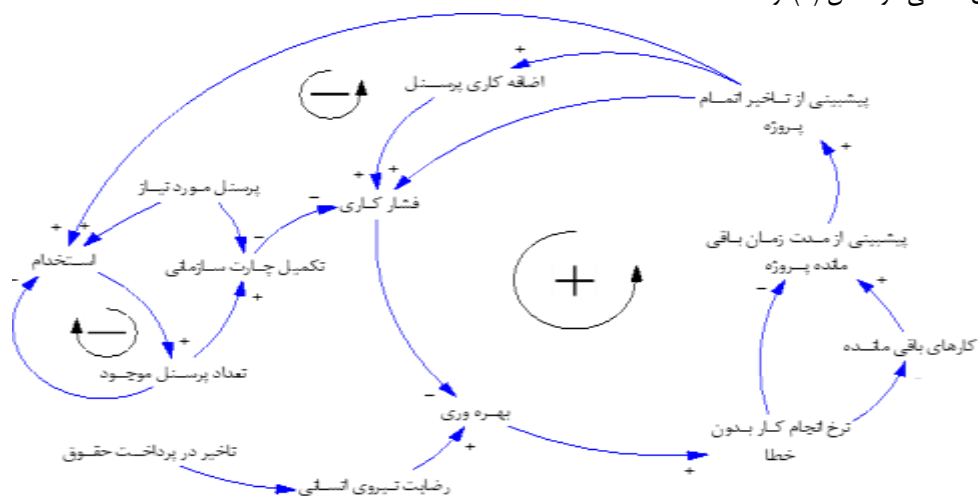
شکل ۴- حلقه علی مربوط به ریسک بروز حوادث کاری

علاوه بر وقایع کاری، مسائل قانونی و قراردادی می‌توانند تأثیر قابل توجهی بر هزینه‌های پروژه داشته باشند. مسائلی مانند اختلافات قراردادی، الزامات بیمه، رعایت مقررات، تغییر سفارشات و ... تأثیر قابل توجهی بر هزینه پروژه دارند. شکل (۵) حلقه علی مربوط به ارتباط دو طرفه بین مسائل حقوقی و قراردادی و کارهای باقیمانده را نشان می‌دهد.



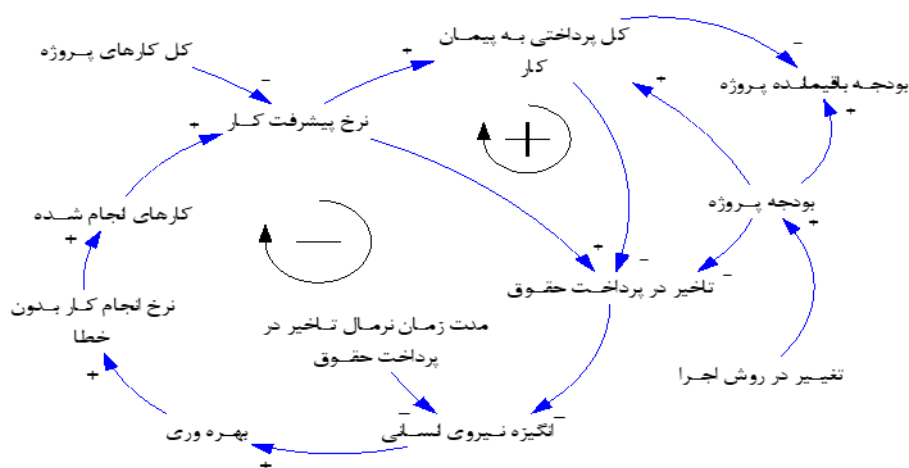
شکل ۵- حلقه علی مربوط به ارتباط دو طرفه بین مسائل حقوقی و قراردادی و کارهای باقیمانده

عامل مهم دیگری که بر روی هزینه و مدت زمان اتمام یک پروژه تاثیرگذار است مربوط به عامل نیروی انسانی است. حلقه علی مربوط به بهره‌وری نیروی انسانی در شکل (۶) ارائه شده است.



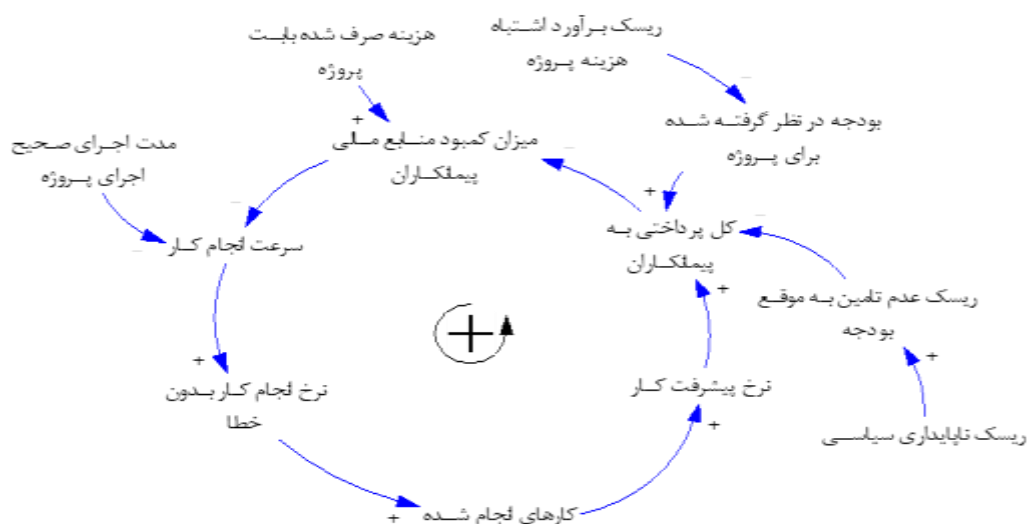
شکل ۶- حلقه علی مربوط به بهره‌وری نیروی انسانی

پژوهش‌های اندکی روی ریسک‌های پرداخت مالی متمرکز است که یکی از بزرگترین مانع برای جریان نقدی کافی و توانایی پیمانکار برای تکمیل موفقیت‌آمیز یک پروژه و حفظ یک تجارت بادوام است.



شکل ۷- حلقه علی مربوط به ارتباط دو طرفه بین پرداخت حقوق و نرخ پیشرفت پروژه.

حلقه دیگری که منجر به افزایش هزینه پروژه و مدت زمان اجرای پروژه می‌شود مربوط به تأثیر ریسک‌های مرتبط با امکان‌سنجی مالی پروژه می‌باشد. ریسک‌هایی مانند برآورد اشتباه هزینه پروژه، ناپایداری سیاسی یک کشور و عدم تأمین به موقع بودجه از جمله مواردی است که مطالبات پیمانکاران را افزایش می‌دهد و منجر به بروز تأخیر در اجرای پروژه می‌گردد.

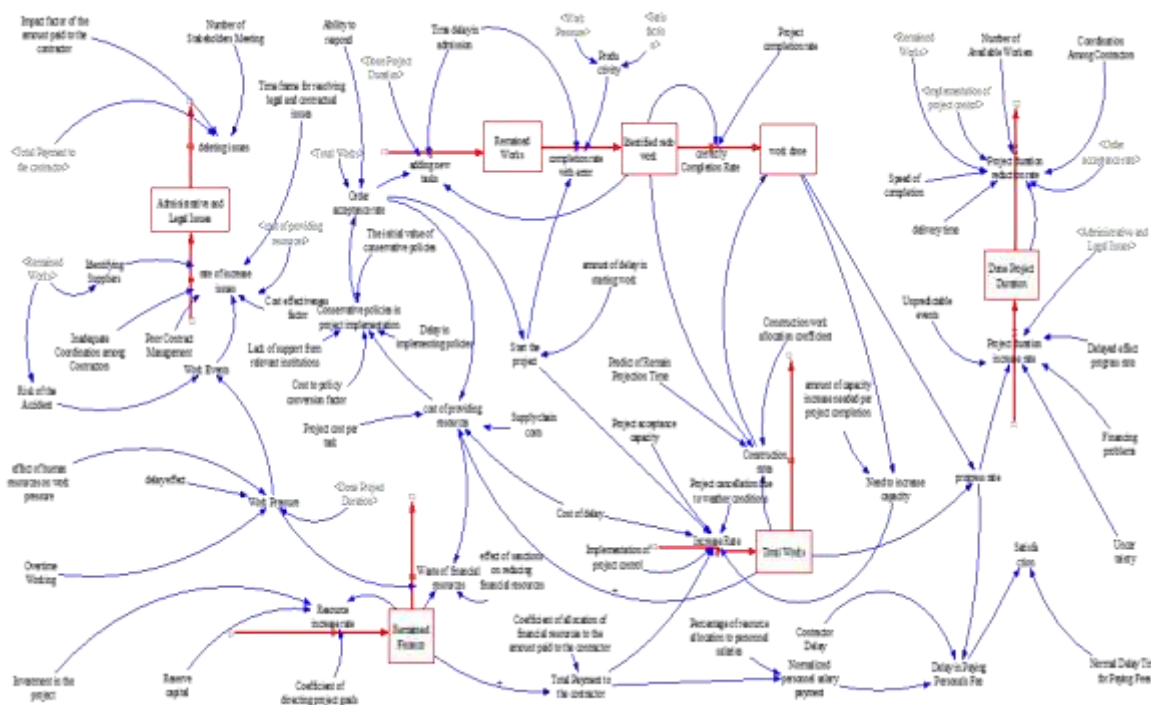


شکل ۸- حلقه علی مربوط به ارتباط دو طرفه بین پرداختی به پیمانکار و سرعت انجام کار

نمودار علت و معلولی کلی که از برآیند حلقه‌های ذکر شده در بالا ایجاد می‌گردد مطابق با شکل (۸) است. همچنین به منظور شبیه‌سازی مدل متغیرهای کارهای باقی‌مانده، دوباره‌کاری‌های کشف نشده، کارهای انجام شده، مسائل حقوقی، اداری و قرار دادی، مبلغ باقیمانده پرداختی به پیمانکار و کل پرداختی به پیمانکار به عنوان متغیرهای انباشت در نظر گرفته شده‌اند و در ادامه شکل (۹) و شکل (۱۰) به ترتیب مدل علی و معلولی نهایی و مدل حالت-جریان نهایی را نشان می‌دهد.



شکل ۹- مدل علی و معلولی نهایی



شکل ۱۰- مدل حالت- جریان نهایی

۴-۴- شبیه سازی و اعتبار سنجی مدل

شبیه سازی مدل انباشت - جریان شامل مجموعه ای از معادلات ریاضی است که پس از تعیین مقادیر ابتدایی متغیرها و نوشتن معادلات اجرا می گردد. شبیه سازی مدل نیازمند گردآوری داده های مرتبط می باشد. در مدل حاضر مهمترین معادلات ریاضی در ادامه تشریح گردیده و

پارامترهای برون‌زای مدل نیز بر اساس نمونه موردی تنظیم گردیده است. در مدل جریان انباشت شکل ۹ مقدار درصد پیشرفت پروژه^۱ (PR) بر اساس کارهای انجام شده^۲ (WD) و کل کارهای قابل انجام^۳ (TW) به صورت معادله (۱) تعیین شده است.

$$PR = \frac{(WD)}{(TW)} \quad (1)$$

معادله کارهای انجام شده (۲)، نیز بر اساس انتگرال کارهایی که به صورت صحیح انجام می‌شوند^۴ (CCR) محاسبه می‌گردد.

$$WD = \int CCR \quad (2)$$

در مدل جریان انباشت، دوباره‌کاری‌های کشف نشده^۵ (UR) با نرخ انجام کارهای با خطا^۶ (CRE) افزایش می‌یابد و پس از شناسایی دوباره‌کاری‌ها^۷ (RDR) به کارهای باقی مانده منتقل می‌شود.

$$UR = \int (CRE - PDR) \quad (3)$$

بهره‌وری در انجام پروژه متغیری است که بر روی دو متغیر CRE و RDR تاثیرگذار است. رابطه در نظر گرفته شده برای دو متغیر CRE و RDR بر اساس بهره‌وری^۸ (P) و نرخ انجام کار^۹ (RDW) به شرح معادله (۴) و (۵) است:

$$CRE = RDW \times P \quad (4)$$

$$PDR = RDW \times (1 - P) \quad (5)$$

معادلات (۴) و (۵) در خصوص بخش انجام کار و دوباره‌کاری است. اما بخش مهم دیگری که ساز و کار آن در مدلسازی لحاظ شده است مربوط به نرخ پرداخت منابع مالی به پیمانکار^{۱۰} (RPC) است که در هر لحظه از زمان بر اساس نرخ پیشرفت پروژه (PR)، کل مبلغ پروژه^{۱۱} (IPF) و کل منابع مالی پرداخت شده قبلی^{۱۲} (TPC) می‌باشد. البته ریسکی که ناشی از ناپایداری سیاسی بر روی پروژه تاثیرگذار است، ممکن است باعث تاخیر در پرداخت منابع مالی به پیمانکار^{۱۳} (FRPD) شود و از این رو در معادله (۶) از تابع Delay Fixed که از نوع تاخیر مواد در پویایی شناسی سیستم‌هاست، استفاده شده است. این تابع دارای سه آرگومان (متغیر ورودی، میزان تاخیر، مقدار اولیه تاخیر) است.

$$RPC = DelayFixed\left((PR - \frac{TPC}{IPF}) \times IPF, \quad FRPD, \quad 0\right) \quad (6)$$

منابع مالی پرداختی به پیمانکار اگر چه وابسته به میزان پیشرفت پروژه می‌باشد اما خود نیز علت تغییر نرخ انجام کار (RDW) می‌باشد. معادله (۷) تاثیر متغیر کمبود منابع مالی^{۱۴} (LFR) را بر نرخ انجام کار نشان می‌دهد. در این رابطه متغیر PD مربوط به مدت زمان انجام پروژه^{۱۵} می‌باشد.

$$RDW = TW / DP \times \frac{1}{(1 - LRF)} \quad (7)$$

به منظور تنظیم پارامترهای برون‌زای مدل از یک نمونه موردی استفاده گردید. نمونه موردی مربوط به پروژه اسفند و سیوند است که در خلیج فارس اجرا شده و هدف از اجرای پروژه حفاری ۱۲ حلقه چاه شامل ۴ حلقه چاه توسعه‌ای و ۸ حلقه چاه تعمیری است که موجب آن ۱۵ هزار بشکه نفت به تولید روزانه افزوده گردیده است. تاریخ شروع و اتمام برنامه‌های ۱۳۹۷/۰۸/۲۰ و ۱۴۰۱/۰۳/۲۳ می‌باشد و در واقعیت پروژه در تاریخ ۱۴۰۱/۰۶/۲۸ به اتمام رسیده است و پروژه مشتمل بر ۷۴۰ تسک می‌باشد. پیش‌بینی بودجه پروژه ۱۰۴ میلیون یورو بوده و در طول

¹ Progress Rate

² Work Done

³ Total Works

⁴ Correctly Completion Rate

⁵ Undiscovered Reworks

⁶ Completion Rate with Error

⁷ Rework Discovering Rate

⁸ Productivity

⁹ Rate of Doing Works

¹⁰ Rate of Payment to Contractor

¹¹ Initial Project Finance

¹² Total Payment to Contractor

¹³ Financial Resource Payment Delay

¹⁴ Lack of Finance Resource

¹⁵ Project Duration

پروژه تغییراتی در سفارشات کارفرما صورت گرفته است. با در نظر گرفتن مشخصات پروژه فوق، سایر معادلات و پارامترهای مدل در جدول (۳) ارائه شده اند.

جدول ۳- متغیرهای تعریف شده در مدل و مشخصات مربوط به معادلات آنها.

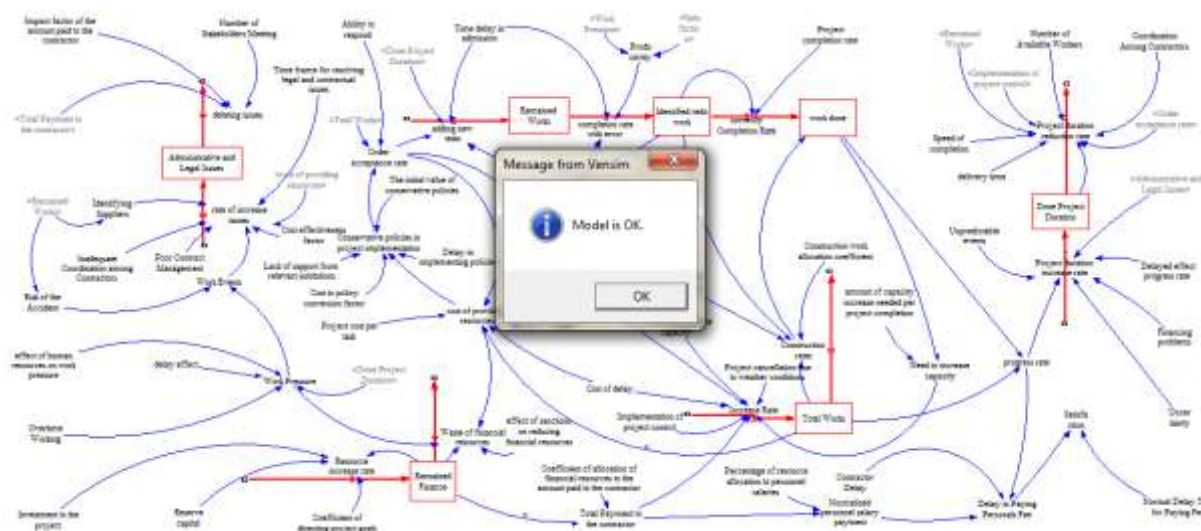
متغیر	نوع	معادل فارسی	واحد	رابطه ریاضی
Adding New Tasks	درونزا	اضافه شدن کارهای جدید	Task/Day	changes in Methods × IF THEN ELSE(Remained works > 1,1,0)
Administrative and Legal Issues	درونزا	مسائل حقوقی و قراردادی	Issue	INTEG (Rate of increase issues – deleting issues, 0)
Changes in Methods	درونزا	تغییر در روش	Task/Day	Remained works * 0.0001
Contractor Delay	درونزا	تاخیر پیمانکار	Day	0
Delay in Paying Personals Fee	درونزا	تاخیر در پرداخت حقوق کارکنان	Day	850 × (progress rate – total payment to the contractor /initial total finances
Deleting Issues	درونزا	رفع مسائل	Issue/Day	Administrative and legal issues /time to deleting issues
Done Project Duration	درونزا	مدت زمان اجرای پروژه	Day	
Financial Resource Payment	درونزا	پرداخت منابع مالی به پیمانکار	Day	Political Instability
Hiring	درونزا	استخدام	People/Day	max(0, (needed workers – Number of available workers))/10
Identifying Suppliers	درونزا	شناسایی پیمانکاران		Remained works
Inadequate Coordination Among Contractors	درونزا	هماهنگی مابین پیمانکاران	Dmnl	1
Increase Rate	درونزا	نرخ افزایش کارهای انجامی	Task/Day	Adding new tasks
Implementation of project control	برونزا	به کارگیری کنترل پروژه	Day	Project duration × Wrong Project Time Schedule Estimation
Initial Total Finances	برونزا	مبلغ اولیه قرارداد	M €	104
Lack of Financial Resources	درونزا	نبود منابع مالی برای پیمانکار	M €	(Real project cost – total payment to the contractor – Remained finance)/(1 + Real project cost
effect of human resources on work pressure	درونزا	اثر نیروی انسانی بر فشار کاری	نفر ساعت	Total works/9
Normal Delay Time for Paying Fees	برونزا	مدت زمان نرمال در پرداخت حقوق	Day	0.1
Number of Available Workers	درونزا	تعداد نیروی انسانی در دسترس	People	integ(hiring, 0)
Number of Stakeholders Meeting	درونزا	تعداد جلسات ذینفعان پروژه	Meet	Remained works
Overtime Working	درونزا	اضافه کاری	MP	min(4 × Number of available workers, Predicted delay of project)
Poor Contract Management	برونزا	مدیریت ضعیف قرارداد	Dmnl	1
Predict of Remain Projection Time	درونزا	پیشبینی از زمان باقیمانده پروژه	Day	DELAY1I(Remained works/(0.0001 + correctly Completion Rate), 200, Rate of doing works
Predicted Delay of Project	درونزا	پیشبینی مدت زمان تاخیر پروژه	Day	max(0.001, predict of remain projection time – delay)
Productivity	درونزا	بهره وری	Dmnl	(1 + Satisfaction)/Work pressure ((Identifying suppliers + Inadequate coordination among contractors + Lack of financial resources + Number of stakeholders meeting + Poor contract management + Work events)/1000
Rate of Increase Issues	درونزا	نرخ افزایش مسائل حقوقی و قراردادی	Issue/Day	
Real Needed Finance	درونزا	منابع مالی مورد نیاز واقعی پروژه	M €	initial total finances × Wrong Project Cost Estimation
Real Project Cost	درونزا	هزینه واقعی پروژه	M €	Real needed finance
Remained Finance	درونزا	منابع مالی باقیمانده پروژه	M €	integ(–paying to the contractor, initial total finances)
Remained Works	درونزا	کارهای باقیمانده پروژه	Task	
Risk of the Accident	درونزا	ریسک بروز حوادث	Dmnl	0.5 + 10/(10 + Remained works)
Satisfaction	درونزا	رضایت پرسنل	Dmnl	(+Normal delay time for paying fees)/(1 + delay in paying personals fee)
Time to Deleting Issues	برونزا	مدت زمان رفع مسائل حقوقی و قراردادی	Day	30

متغیر	نوع	معادل فارسی	واحد	رابطه ریاضی
Total Payment to the contractor	درونزا	کل مبلغ پرداختی به پیمانکار	M €	$Integ(Rate\ of\ payment\ to\ contractor, 0)$
Total Works	درونزا	کل کارها	Task	$Integ(Increase\ rate, 740)$
Work Events	درونزا	حوادث کاری	Event	$Risk\ of\ the\ accident \times Work\ pressure$
Work Pressure	درونزا	فشار کاری	Dmnl	$delay\ effect(Predicted\ delay\ of\ construction + delay) \times ((needed\ workers + overtime\ working)/\ umber\ of\ available\ workers)$
Wrong Project Cost Estimation	برونزا	برآورد اشتباه هزینه های پروژه	Dmnl	1

پس از استخراج روابط ریاضی بین متغیرها و تنظیم پارامترهای مدل با استفاده از اطلاعات مربوط به نمونه موردی به شبیه‌سازی پرداخته شده است. همزمان با شبیه‌سازی اولیه، اعتبارسنجی مدل نیز انجام می‌شود. استرمن در کتاب پویایی شناسی کسب و کار آزمون‌های مختلفی را برای کسب اطمینان از اعتبار مدل در دستیابی به اهداف موردنظر معرفی نموده است. در این بخش مهم‌ترین آزمون‌های انجام شده در مدل معرفی شده و نتایج به دست آمده از آنها تشریح شده است.

۴-۵- آزمون تأیید ساختار

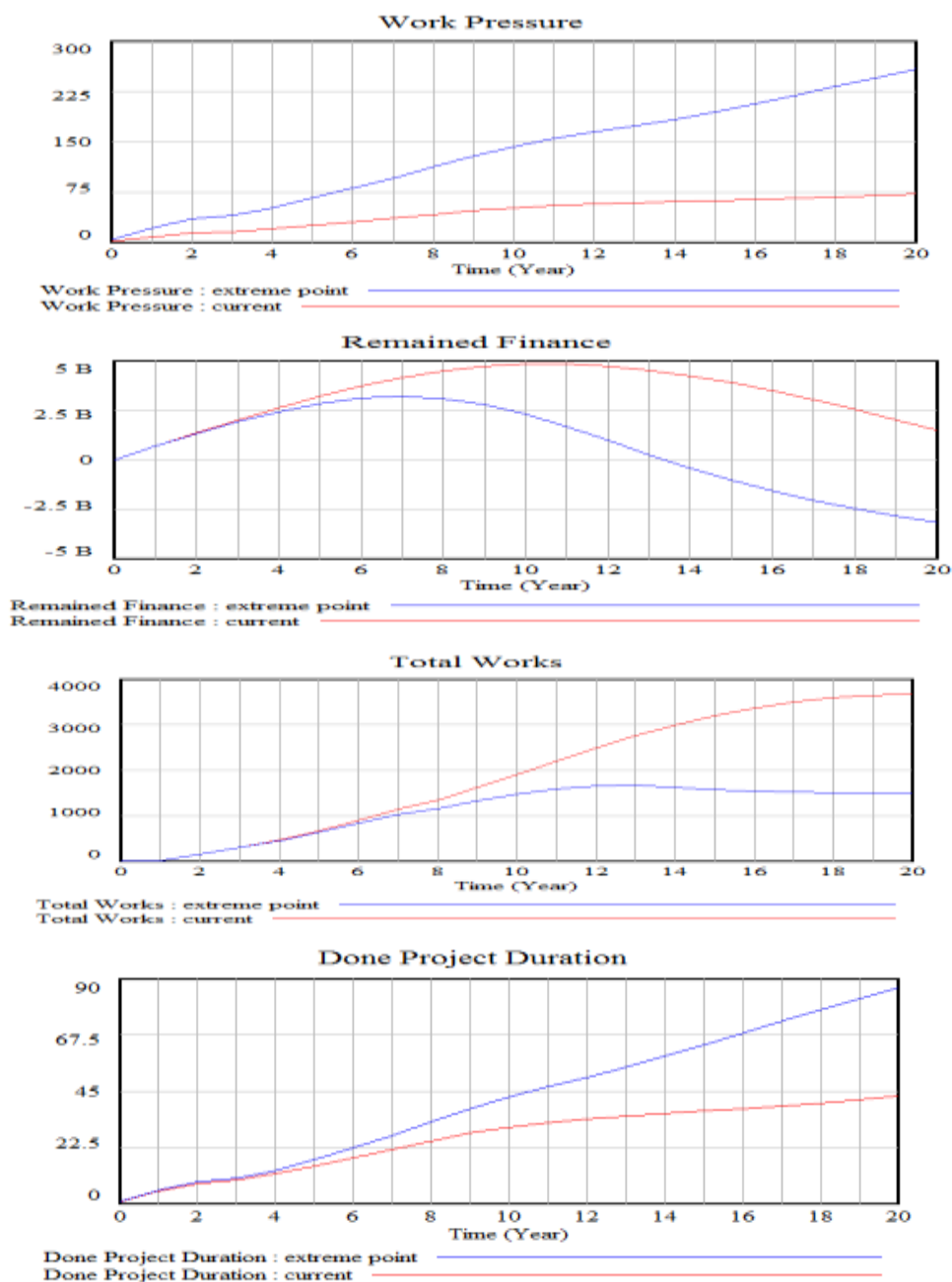
در آزمون تأیید ساختار، مدل طراحی شده در معرض این دو پرسش قرار گرفت که آیا ساختار مدل با دانش موجود درباره ساختار سیستم واقعی، در تناقض نیست؟ و آیا مرتبط‌ترین ساختارهای سیستم واقعی، مدلسازی شده‌اند؟ آزمون ارزیابی ساختاری مدل با کمک نرم افزار ونسیم مورد بررسی قرار گرفت. این آزمون ساختار مدل را از نظر میزان صحت ارتباطات و روابط در نظر گرفته شده بررسی می‌کند. اعتبار مدل از نظر این آزمون نیز مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج حاصل از تأیید اعتبار مدل با کمک آزمون ارزیابی ساختاری ونسیم در شکل (۱۱) ارائه شده است.



شکل ۱۱- نتایج حاصل از تأیید اعتبار مدل با کمک آزمون ارزیابی ساختاری ونسیم.

۴-۶- آزمون رفتار حدی

در این آزمون به این سوال پاسخ داده خواهد شد که آیا تمامی معادلات مدل در صورتی که در معرض مقادیر حدی و امکان‌پذیر متغیرها قرار بگیرند، معنادار باقی خواهند ماند؟ بدین منظور متغیرهای ورودی مدل را تحت مقادیر مختلف مورد بررسی قرار داده شد که بررسی رفتارهای مدل نشان داد که مدل در شرایط حدی از رفتار منطقی برخوردار است و با مشاهده نتایج حاصل از این تغییر و یا تغییرات دیگر بر روی متغیرهای ورودی عملاً هیچ رفتار نامعقولی ایجاد نشده است. بنابراین از نظر این آزمون اعتبار مدل مورد تأیید قرار می‌گیرد (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- آزمون رفتاری حدی

همانطور که در نمودارها مشاهده می‌گردد، با قرار گیری مولفه فشار کاری در مقدار حدی، مولفه های اصلی سیستم تحت تاثیر این تغییر، رفتاری منطقی و متناسب با تغییر ایجاد شده از خود نشان می‌دهند.

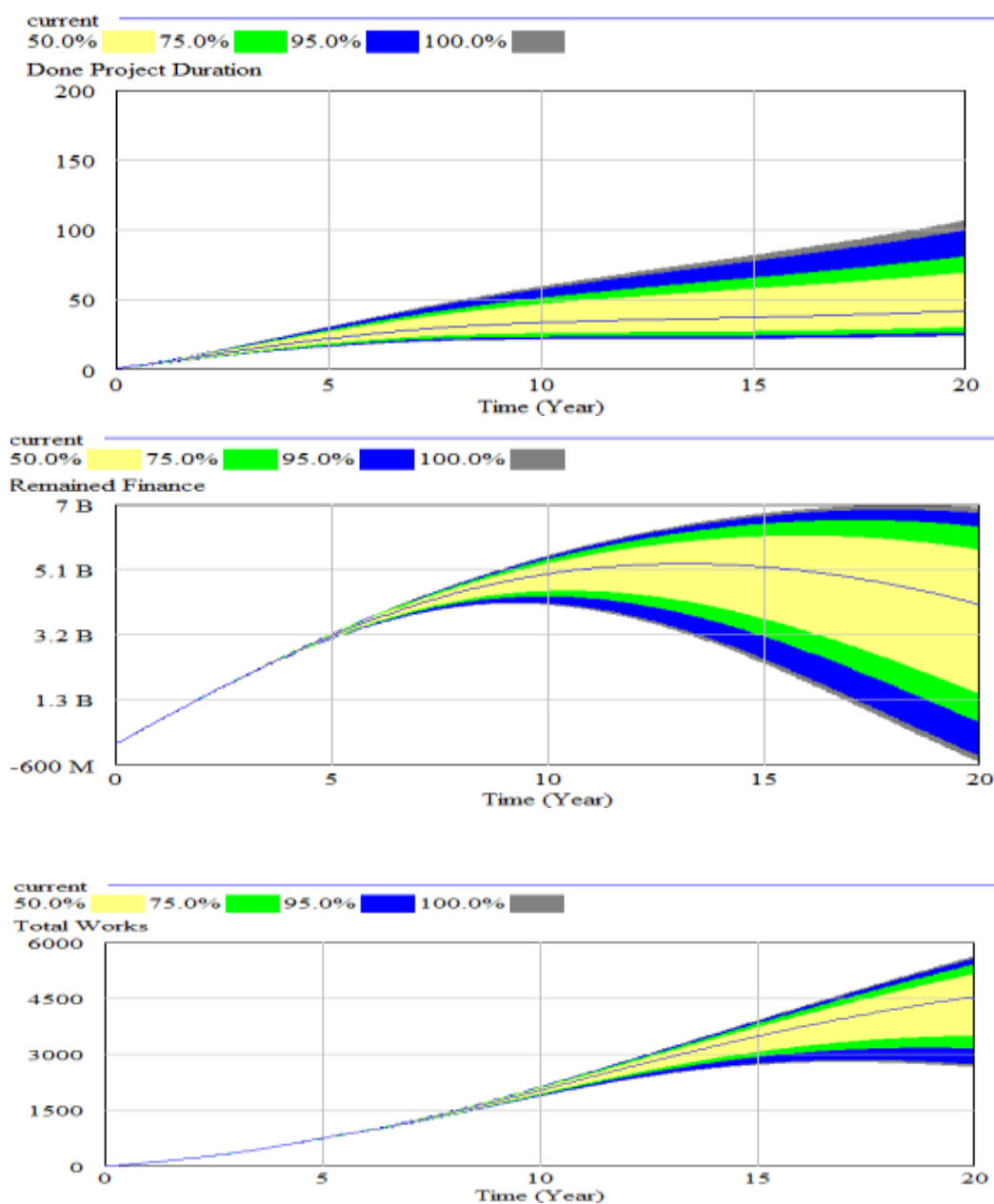
۴-۷- آزمون ارزیابی پارامترها

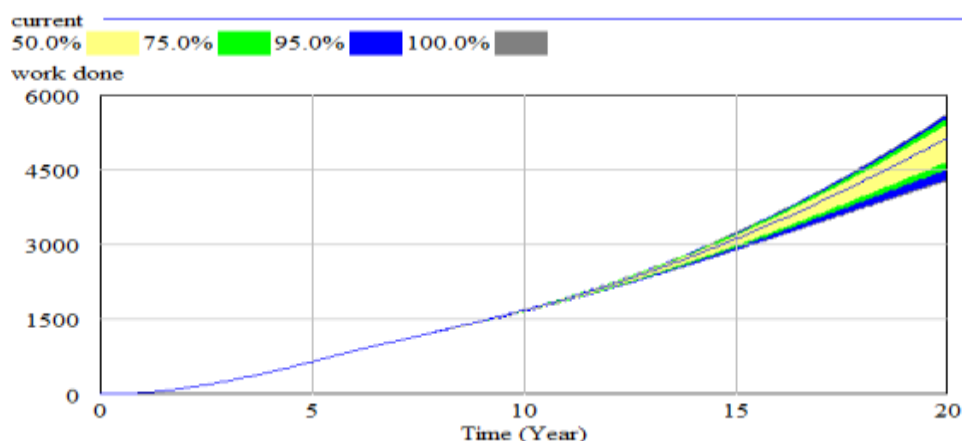
از آنجا که پارامترهای مدل بر اساس نمونه موردی واقعی استخراج گردید، تمامی آن ها دارای مقادیر واقعی هستند و در دنیای واقعی معنادار هستند. مقادیر پارامترهای در نظر گرفته شده در مدل و منابع آنها، در جدول (۳) درج شده‌اند.

۴-۸- آزمون اعتبارسنجی دامنه پاسخ

هدف از این آزمون، بررسی میزان پایداری رفتار متغیرهای خروجی در برابر تغییرات محتمل متغیرهای کلیدی سیستم و اطمینان از باقی ماندن نتایج در محدوده‌های قابل قبول و منطقی می‌باشد. در این آزمون، برای متغیرهای منتخب ورودی، دامنه‌های تغییر قابل قبول بر اساس نظر خبرگان و شرایط حاکم بر پروژه تعریف شد. سپس رفتار متغیرهای وابسته و خروجی‌های حاصل از مدل در مواجهه با این تغییرات مورد بررسی

قرار گرفت. معیار پذیرش مدل، حفظ مقادیر متغیرهای خروجی در محدوده‌های مجاز و جلوگیری از ایجاد مقادیر غیرواقعی یا ناسازگار با ماهیت سیستم بود. نتایج این آزمون نشان داد که تغییرات متغیرهای کلیدی اگرچه بر شدت پاسخ سیستم تأثیرگذار هستند، اما رفتار متغیرهای خروجی همچنان در محدوده‌های منطقی باقی مانده و ساختار مدل قادر است در برابر عدم قطعیت‌های موجود، رفتارهای پایدار و سازگار با منطق سیستم تولید نماید.





شکل ۱۳- آزمون اعتبارسنجی دامنه پاسخ.

با توجه به نتایج حاصل از نمودارهای خروجی، می‌توان نتیجه گرفت که مدل توسعه‌یافته از استحکام ساختاری مناسبی برخوردار بوده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی از قابلیت اعتماد قابل قبولی برخوردار هستند.

۵- تحلیل سناریوهای پیشنهادی پژوهش

با توجه به ماهیت پیچیده پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز و محدودیت دسترسی به مجموعه‌ای کامل و همگن از داده‌های تاریخی، تعیین مقادیر پارامترهای مدل عمدتاً بر پایه دانش ضمنی و قضاوت خبرگان دارای تجربه عملی در حوزه مدیریت، برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های نفت و گاز انجام شد. در واقع، هدف اصلی پژوهش حاضر توسعه یک مدل پویای ساختارمحور بوده است و از این رو تمرکز اصلی بر شناسایی روابط علی، حلقه‌های بازخورد و سازوکارهای غالب مؤثر بر افزایش هزینه‌ها قرار داشته است، نه صرفاً برازش مدل بر مجموعه‌ای از داده‌های تاریخی محدود. به منظور استخراج مقادیر پارامترها، از نظرات خبرگان آشنا با شرایط اجرایی و پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز استفاده شد. پارامترهای مدل بر اساس قضاوت تخصصی افراد دارای سابقه اجرایی و آشنایی کافی با فرآیندهای مالی، مدیریتی و فنی پروژه تعیین گردیدند. همچنین برای جلوگیری از تأثیرپذیری مدل از دیدگاه‌های فردی، مقادیر نهایی پارامترها بر اساس جمع و مقایسه نظرات خبرگان و دستیابی به توافق نسبی میان آن‌ها تعیین شد. از آنجا که در رویکرد پویایی سیستم اعتبار مدل صرفاً به دقت عددی پارامترها وابسته نیست، صحت و قابلیت اعتماد مدل از طریق اعتبارسنجی ساختاری و بررسی سازگاری منطقی روابط میان متغیرها مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور، انسجام روابط علی، منطقی حاکم بر حلقه‌های بازخورد، سازگاری ابعادی معادلات و رفتار مورد انتظار متغیرها در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت تا اطمینان حاصل شود که ساختار مدل به نحو مناسبی سازوکارهای مؤثر بر افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز را بازنمایی می‌کند. علاوه بر این، در ارزیابی مدل تأکید اصلی بر بازنمایی صحیح ساختار سیستم و قابلیت تولید رفتارهای منطقی و سازگار با مبانی نظری حاکم بر پروژه‌های ساختمانی نفت و گاز بوده است، نه صرفاً برازش خروجی‌ها با مجموعه محدودی از داده‌های تاریخی. بر این اساس، اعتبار مدل بیش از آنکه ناشی از دقت عددی پارامترها باشد، متکی بر اعتبار ساختاری، سازگاری روابط علی و منطقی حاکم بر تعاملات پویا میان متغیرهای سیستم است. این رویکرد با الگو برداری از اصول مطرح‌شده توسط استرمن^۱ (۲۰۰۰) و بارلاس^۲ (۱۹۹۶) در زمینه توسعه و اعتبارسنجی مدل‌های پویایی سیستم انتخاب و اجرا شده است.

۵-۱- سناریو خوش بینانه-بدبینانه

سناریوهای خوش بینانه- بد بینانه در ونسیم در جدول (۴) ارائه شده است. همچنین شکل (۱۴) بررسی رفتار مدل در شرایط سیاستی و ارزیابی حساسیت را نشان می‌دهد.

جدول ۴- سناریو خوش‌بینانه- بدبینانه در ونسیم

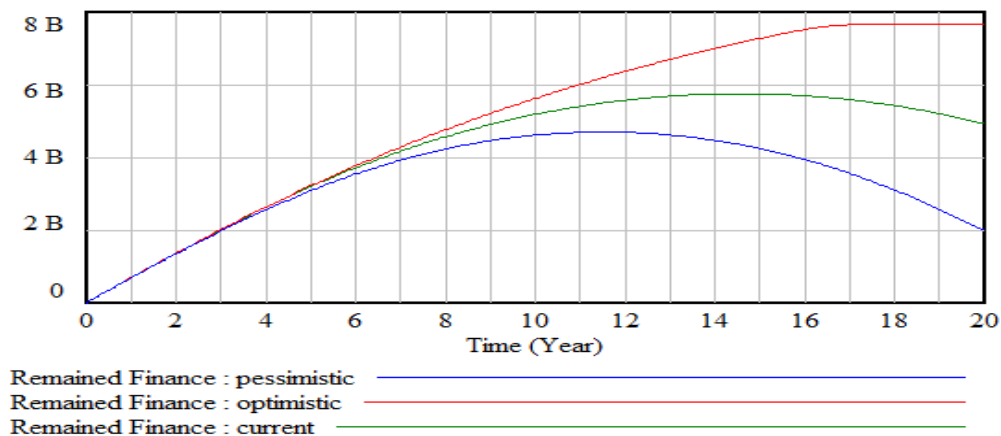
ردیف	خوش بینانه	بدبینانه
۱	افزایش ۵۰ درصدی تخصیص منابع مالی به پیمانکار	

^۱ Sterman

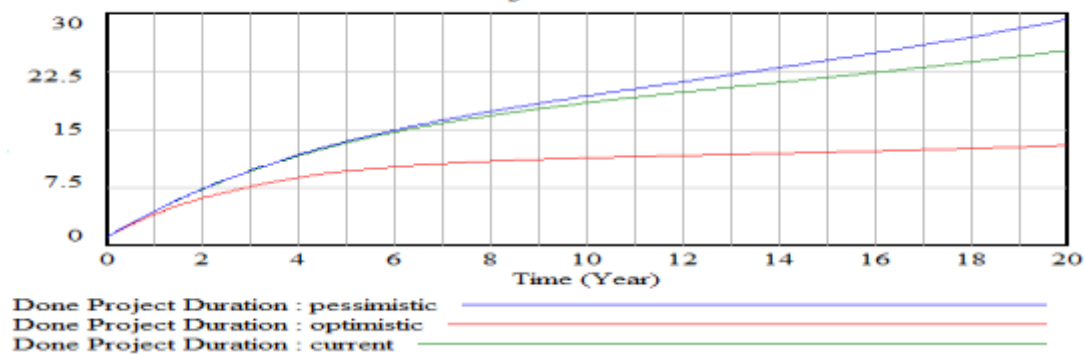
^۲ Barlas

	۲ افزایش ۳۰ درصدی در به کارگیری کنترل پروژه
افزایش ۵۰ درصدی فشار کاری	۳
افزایش ۵۰ درصدی مسائل و مشکلات قراردادی	۴

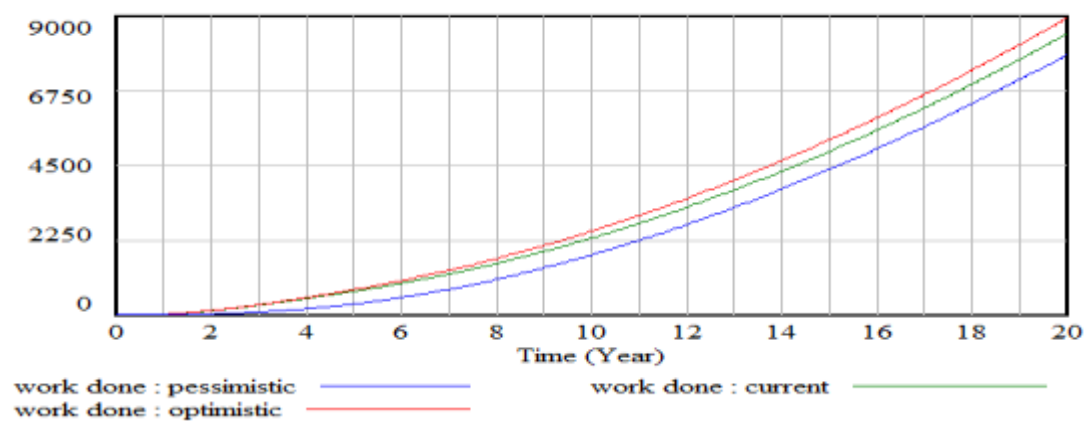
Remained Finance

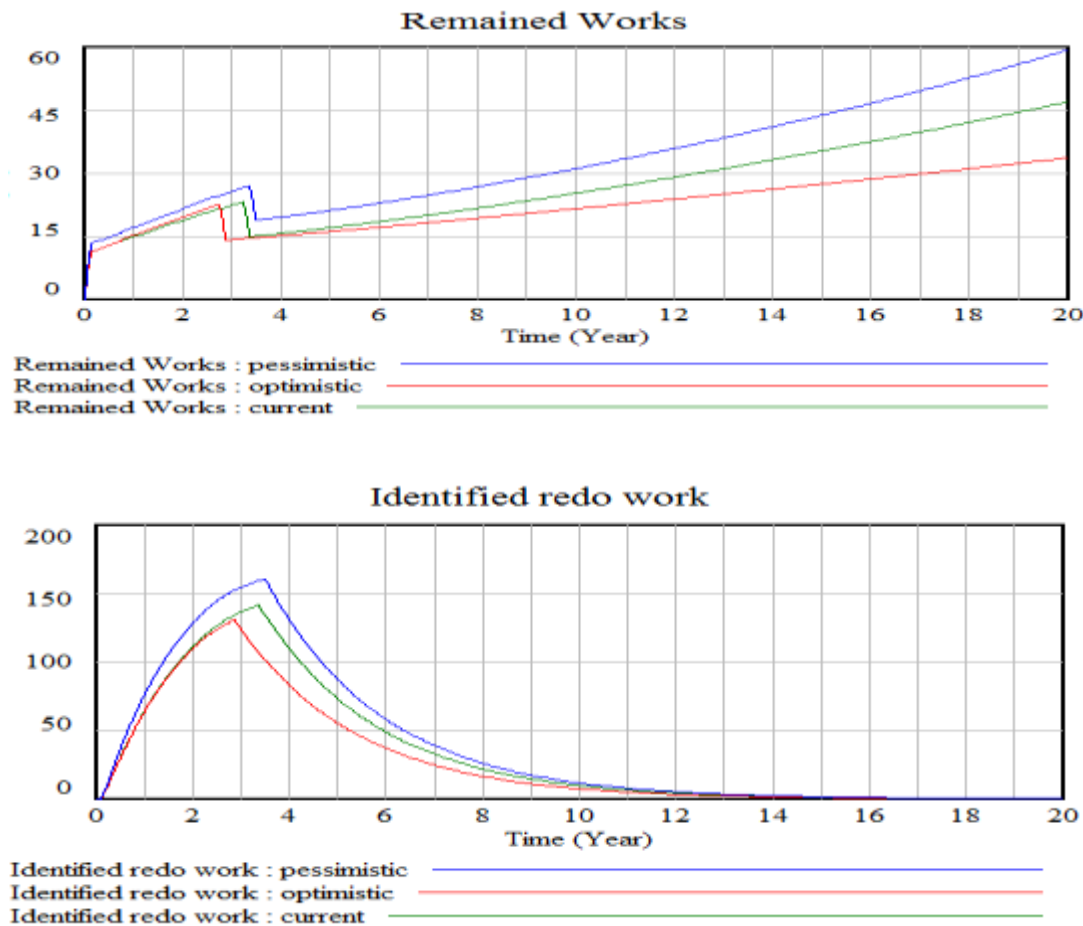


Done Project Duration



work done





شکل ۱۴- بررسی رفتار مدل در شرایط سیاستی و ارزیابی حساسیت

به منظور بررسی رفتار مدل در شرایط سیاستی متفاوت و ارزیابی حساسیت ساختار پویای سیستم نسبت به تغییر در متغیرهای کلیدی مدیریتی، مالی و محیطی، دو سناریوی سیاستی شامل سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه طراحی و شبیه‌سازی شد. این تحلیل با هدف درک نحوه واکنش سیستم به مداخلات مدیریتی و شوک‌های محیطی و همچنین بررسی نقش حلقه‌های بازخورد تقویتی و تعدیلی در شکل‌دهی به رفتار هزینه و زمان پروژه انجام شده است. در چارچوب رویکرد پویایی سیستم، سناریوها نه به‌عنوان پیش‌بینی قطعی، بلکه به‌عنوان ابزار تحلیل سیاستی برای ارزیابی پیامدهای تصمیمات مدیریتی و شرایط محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. از این رو، تغییرات اعمال‌شده در متغیرهای سیاستی به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که نمایانگر طیفی از مداخلات بهبوددهنده و شرایط تنش‌زا در پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز باشند.

۲-۵- سناریوی خوش‌بینانه (بهبود شرایط مدیریتی و مالی)

در سناریوی خوش‌بینانه، فرض بر آن است که شرایط اجرایی پروژه از طریق دو مداخله سیاستی کلیدی بهبود می‌یابد. این مداخلات شامل افزایش ۵۰ درصدی در تخصیص منابع مالی به پیمانکار و افزایش ۳۰ درصدی در سطح به‌کارگیری کنترل پروژه است. هدف از این تغییرات، کاهش محدودیت‌های نقدینگی، بهبود جریان تأمین منابع، و ارتقای کیفیت پایش و کنترل پروژه می‌باشد. از منظر پویایی سیستم، افزایش جریان مالی موجب تقویت توان عملیاتی پیمانکار در تأمین نیروی انسانی، تجهیزات و خدمات پشتیبانی شده و در نتیجه نرخ پیشرفت فعالیت‌ها را افزایش می‌دهد. به طور همزمان، تقویت سازوکارهای کنترل پروژه باعث کاهش تأخیر در شناسایی انحرافات، کاهش دوباره‌کاری و بهبود هماهنگی میان اجزای اجرایی پروژه می‌شود. این دو اثر به صورت هم‌افزا عمل کرده و موجب فعال شدن حلقه‌های بازخورد تقویتی مثبت در بهبود عملکرد پروژه می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که تحت این شرایط، منابع مالی باقی‌مانده از مقدار ۴/۹ به ۷/۶ میلیون دلار افزایش یافته است. این افزایش بیانگر بهبود تراز مالی پروژه و کاهش فشار ناشی از کمبود نقدینگی در طول زمان است. همچنین مدت زمان تکمیل پروژه از ۲۵ درصد به ۱۳ درصد کاهش یافته که نشان‌دهنده افزایش قابل توجه بهره‌وری زمانی و تسریع در تکمیل فعالیت‌ها می‌باشد. در بعد عملکرد فیزیکی، میزان کارهای تکمیل‌شده از ۸۴۰۰ به ۸۹۰۰ پروژه افزایش یافته و همزمان کارهای باقی‌مانده از ۴۶ به ۳۲ پروژه کاهش یافته است. علاوه بر این، کاهش در میزان دوباره‌کاری‌ها نشان‌دهنده بهبود کیفیت اجرا و کاهش اتلاف منابع ناشی از خطاهای

عملیاتی است. این نتایج نشان می‌دهد که بهبود همزمان در جریان مالی و سازوکارهای کنترلی می‌تواند اثرات تجمعی قابل توجهی بر عملکرد کل سیستم داشته باشد.

۳-۵- سناریوی بدبینانه (تشدید فشارهای اجرایی و قراردادی)

در سناریوی بدبینانه، شرایط پروژه تحت تأثیر افزایش تنش‌های اجرایی و محیطی قرار گرفته است. در این راستا، افزایش ۵۰ درصدی فشار کاری و افزایش ۵۰ درصدی مشکلات و تعارضات قراردادی به‌عنوان دو عامل کلیدی در نظر گرفته شده‌اند. این شرایط نمایانگر وضعیت‌هایی نظیر تشدید بار کاری، محدودیت منابع انسانی، افزایش ادعاهای قراردادی و پیچیدگی‌های حقوقی در پروژه‌های بزرگ نفت و گاز است. از منظر ساختاری، افزایش فشار کاری موجب کاهش بهره‌وری نیروی انسانی، افزایش احتمال خطا و کاهش کیفیت اجرای فعالیت‌ها می‌شود. به طور همزمان، افزایش مشکلات قراردادی باعث ایجاد تأخیر در تصمیم‌گیری‌ها، اختلال در جریان پرداخت‌ها و تشدید عدم قطعیت در فرآیندهای اجرایی می‌گردد. این عوامل در کنار یکدیگر موجب تقویت حلقه‌های بازخورد تقویتی منفی شده و رفتار سیستم را به سمت افزایش هزینه و تأخیر سوق می‌دهند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در این شرایط، منابع مالی باقی‌مانده از ۴/۹ به ۱/۵ میلیون دلار کاهش یافته است که نشان‌دهنده تشدید بحران نقدینگی و افزایش فشار مالی بر پروژه است. همچنین مدت زمان تکمیل پروژه از ۲۵ به ۲۹ درصد افزایش یافته که بیانگر انباشت تأخیرها و کاهش سرعت پیشرفت فعالیت‌ها می‌باشد. در بعد عملکرد فیزیکی، میزان کارهای تکمیل شده از ۸۴۰۰ به ۸۰۰۰ پروژه کاهش یافته و کارهای باقی‌مانده از ۴۶ به ۶۰ پروژه افزایش یافته است. همچنین افزایش قابل توجه در میزان دوباره‌کاری‌ها نشان‌دهنده کاهش کیفیت اجرا و افزایش اتلاف منابع در اثر فشارهای همزمان کاری و قراردادی است. این نتایج بیانگر حساسیت بالای سیستم نسبت به شرایط محیطی و مدیریتی و نقش کلیدی حلقه‌های بازخورد تقویتی در تشدید انحرافات عملکردی است.

۶- بررسی حساسیت نسبت به پارامترهای کلیدی

به منظور ارزیابی میزان استحکام مدل و شناسایی پارامترهای بحرانی، تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای کلیدی مؤثر بر مدت زمان اجرای پروژه انجام شد. در این راستا، مقادیر پارامترهای منتخب در محدوده‌ای مشخص پیرامون مقادیر پایه تغییر داده شدند و تأثیر این تغییرات بر رفتار متغیرهای اصلی مدل مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این تحلیل، بررسی میزان وابستگی نتایج مدل به عدم قطعیت موجود در مقادیر پارامترها و ارزیابی پایداری الگوهای رفتاری حاصل از شبیه‌سازی بود. برخلاف مدل‌های آماری که حساسیت بالایی نسبت به تغییر ضرایب دارند، در مدل‌های پویایی سیستم پایداری رفتار سیستم عمدتاً ناشی از ساختار حلقه‌های بازخورد و روابط علی میان متغیرها است. از این رو، در پژوهش حاضر علاوه بر بررسی تأثیر تغییرات پارامترها بر مقادیر متغیرهای خروجی، حفظ الگوهای رفتاری سیستم نیز به عنوان یکی از معیارهای اصلی تحلیل حساسیت مورد توجه قرار گرفت. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد اگرچه تغییر مقادیر پارامترهای کلیدی موجب تغییر در شدت پاسخ متغیرها و میزان افزایش هزینه‌ها می‌شود، اما رفتار کلی سیستم و روند تغییرات متغیرهای اصلی همچنان حفظ می‌شود. به بیان دیگر، ساختار مدل در برابر تغییرات معقول پارامترها از استحکام مناسبی برخوردار بوده و نتایج حاصل صرفاً وابسته به مقادیر خاص پارامترها نیست. همچنین، تحلیل حساسیت امکان شناسایی متغیرهای دارای بیشترین تأثیر بر رفتار سیستم را فراهم نمود و نشان داد برخی عوامل نظیر محدودیت منابع مالی، تأخیر در پرداخت مطالبات، کاهش بهره‌وری و نوسانات محیطی از نقش تعیین‌کننده‌تری در سیستم برخوردار هستند. این موضوع بیانگر قابلیت مدل در شناسایی نقاط اهرمی و عوامل بحرانی مؤثر بر عملکرد پروژه است.

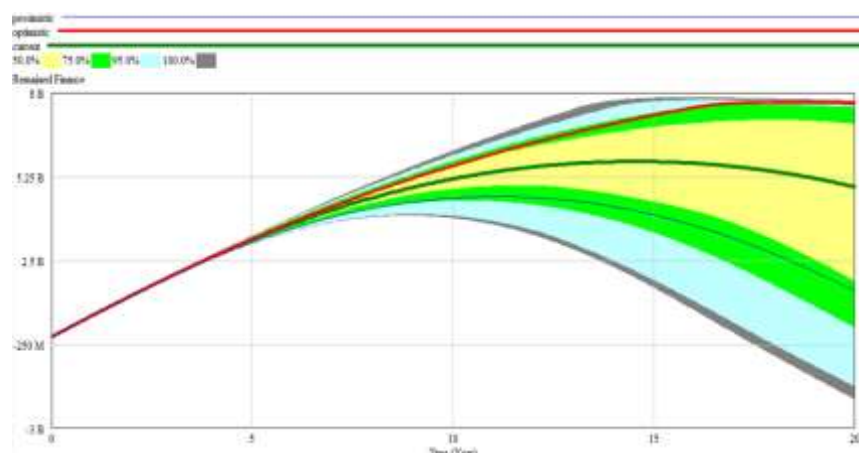
۷- جمع‌بندی تحلیلی سناریوها

مقایسه نتایج دو سناریو نشان می‌دهد که رفتار سیستم به شدت تحت تأثیر سیاست‌های مالی و مدیریتی قرار دارد. در حالی که بهبود جریان مالی و تقویت سازوکارهای کنترلی موجب فعال شدن مسیرهای تعدیلی و بهبود عملکرد کلی پروژه می‌شود، تشدید فشارهای کاری و تعارضات قراردادی منجر به تقویت حلقه‌های بازخورد تقویتی منفی و در نتیجه کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌های زمانی و عملیاتی می‌گردد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که عملکرد پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز نه تنها تابع شرایط اولیه، بلکه به شدت وابسته به تعامل پویای میان سیاست‌های مدیریتی و ساختار بازخوردی سیستم است. بنابراین، تحلیل سناریوها به عنوان ابزاری برای ارزیابی سیاست‌های جایگزین و شناسایی نقاط اهرمی در سیستم عمل می‌کند.

۸- تحلیل حساسیت با استفاده از روش عدم قطعیت

در این پژوهش، مفهوم عدم قطعیت به‌عنوان بازتابی از میزان ابهام و تغییرپذیری رفتار سیستم در اثر نوسانات پارامترهای کلیدی مدل مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به ماهیت غیرخطی و بازخوردی سیستم، رفتار متغیرها در پاسخ به تغییرات ورودی‌ها می‌تواند در سطوح

مختلفی از عدم قطعیت بروز یابد که این سطوح نشان‌دهنده شرایط محتمل از پایدار تا ناپایدار در عملکرد سیستم هستند. در همین راستا، متغیر «منابع مالی باقی‌مانده» تحت سطوح مختلف عدم قطعیت مورد تحلیل قرار گرفت تا ارتباط میان شرایط عدم اطمینان و وقوع سناریوهای مختلف بررسی شود. نتایج نشان می‌دهد که سناریوی بدبینانه در سطح عدم قطعیت ۷۵ درصد ظاهر می‌شود که بیانگر شرایطی با احتمال وقوع بالاتر و وضعیت‌های اجرایی نامطلوب‌تر است. این در حالی است که سناریوی خوش‌بینانه در سطح عدم قطعیت ۹۵ درصد مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده شرایطی با احتمال وقوع کمتر و وابسته به بهبود همزمان عوامل مدیریتی و مالی است. به عبارت دیگر، افزایش سطح عدم قطعیت در این مطالعه به معنای افزایش دامنه شرایط ممکن و کاهش قطعیت در پیش‌بینی رفتار سیستم است، و در این چارچوب، سناریوی بدبینانه در ناحیه‌ای با تمرکز بیشتر احتمال وقوع قرار گرفته و از نظر رفتاری وضعیت محتمل‌تر سیستم را نمایندگی می‌کند. در مقابل، سناریوی خوش‌بینانه نمایانگر شرایطی با نیاز به تحقق همزمان مجموعه‌ای از بهبودهای سیاستی بوده و بنابراین احتمال وقوع کمتری در فضای عدم قطعیت مدل به خود اختصاص می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که رفتار هزینه‌ای پروژه در شرایط عدم اطمینان، تمایل بیشتری به سمت سناریوهای تنش‌زا دارد و تحقق سناریوهای بهبوددهنده نیازمند مداخلات سیاستی هم‌زمان و پایدار در حوزه‌های مالی و مدیریتی است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- تحلیل حساسیت به روش عدم قطعیت

۹- بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، شناسایی علل بنیادی افزایش هزینه در پروژه‌های ساخت‌وساز صنعت نفت و گاز و تبیین نحوه اثرگذاری متقابل این عوامل بر عملکرد پروژه از طریق رویکرد پویایی سیستم بود. نتایج پژوهش نشان داد که افزایش هزینه در این پروژه‌ها صرفاً حاصل تأثیر عوامل منفرد نیست، بلکه پیامد تعاملات پیچیده و بازخوردی میان عوامل مالی، انسانی، مدیریتی و ریسک‌های محیطی است. از این‌رو، رویکردهای سنتی که عوامل افزایش هزینه را به‌صورت مستقل بررسی می‌کنند، قادر به تبیین کامل رفتار واقعی پروژه‌ها نیستند. یافته‌های پژوهش منجر به شناسایی ۳۸ عامل فرعی و ۱۱ علت اصلی افزایش هزینه شد که پس از اعتبارسنجی خبرگانی، در قالب یک مدل پویایی سیستم ساختاربندی شدند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که عوامل مالی و مدیریتی نقش محوری در شکل‌گیری چرخه‌های تقویت‌کننده افزایش هزینه دارند. برای نمونه، تأخیر در پرداخت مطالبات پیمانکاران موجب کاهش نقدینگی، افت بهره‌وری، افزایش دوباره کاری و در نهایت تشدید هزینه‌های پروژه می‌شود. همچنین ضعف برنامه‌ریزی نیروی انسانی و ناهماهنگی میان ذی‌نفعان از طریق ایجاد تأخیرهای زنجیره‌ای، افزایش زمان اجرا و رشد هزینه‌ها را به دنبال دارد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از افزایش هزینه‌ها نه ناشی از عوامل منفرد، بلکه حاصل اثرات تجمعی و بازخوردی تصمیمات مدیریتی در طول چرخه عمر پروژه است. در ادامه، یافته‌های حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که رفتار هزینه و زمان در پروژه‌های مورد مطالعه به شدت تحت تأثیر سازوکارهای بازخوردی است. در این میان، محدودیت‌های مالی، تأخیر در تخصیص منابع و تشدید مشکلات قراردادی به‌عنوان عوامل تقویت‌کننده انحرافات هزینه‌ای و زمانی عمل می‌کنند، در حالی که تقویت سازوکارهای کنترلی و بهبود جریان مالی نقش تعدیل‌کننده قابل توجهی در بهبود عملکرد پروژه دارند. نتایج تحلیل سناریوها نیز نشان داد که بهبود همزمان در تخصیص منابع مالی و تقویت کنترل پروژه می‌تواند منجر به کاهش قابل توجه مدت زمان اجرای پروژه (از ۲۵ به ۱۳ درصد) و افزایش منابع مالی باقی‌مانده (از ۴/۹ به ۷/۶ میلیون دلار) شود. در مقابل، تشدید فشار کاری و افزایش مشکلات قراردادی موجب افزایش مدت زمان پروژه (تا ۲۹ درصد) و کاهش منابع مالی باقی‌مانده (تا ۱/۵ میلیون دلار) گردید که بیانگر حساسیت بالای سیستم نسبت به شرایط محیطی و مدیریتی است. همچنین، تحلیل عدم قطعیت نشان داد که رفتار متغیرهای کلیدی مدل نسبت به تغییرات پارامترها از پایداری نسبی برخوردار است، اما دامنه نوسانات در شرایط عدم قطعیت بالاتر افزایش یافته و تمایل سیستم به سمت سناریوهای بدبینانه بیشتر می‌شود. این

موضوع اهمیت مدیریت ریسک‌های مالی و قراردادی را در کنترل رفتار پویای پروژه برجسته می‌سازد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش هزینه در پروژه‌های ساختمانی صنعت نفت و گاز صرفاً ناشی از عوامل منفرد نیست، بلکه حاصل تعامل پویا و تقویت‌شونده میان حلقه‌های بازخورد مالی، اجرایی و قراردادی است. بنابراین، مداخلات مدیریتی مؤثر باید به‌صورت هم‌زمان بر بهبود جریان مالی، کاهش تأخیرها و تقویت سازوکارهای کنترلی متمرکز باشند تا بتوان از تشدید رفتارهای نامطلوب در سیستم جلوگیری کرد. از منظر نظری، پژوهش حاضر با ارائه یک چارچوب علیّ پویا، خلأ موجود در مطالعات پیشین را که عمدتاً بر شناسایی و رتبه‌بندی عوامل افزایش هزینه متمرکز بوده‌اند، پوشش می‌دهد. نوآوری اصلی پژوهش در تبیین سازوکارهای پویای شکل‌گیری افزایش هزینه و نمایش روابط متقابل میان عوامل مختلف در قالب حلقه‌های بازخوردی است. این رویکرد امکان درک عمیق‌تر رفتار پروژه و پیش‌بینی پیامدهای تصمیمات مدیریتی را فراهم می‌سازد. از منظر مدیریتی، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مدیران پروژه باید تمرکز خود را از کنترل پیامدهای افزایش هزینه به مدیریت ریشه‌های شکل‌گیری آن معطوف کنند. بر این اساس، مدیریت اثربخش جریان نقدینگی، برنامه‌ریزی و توسعه منابع انسانی، کنترل نظام‌مند تغییرات، تقویت هماهنگی میان پیمانکاران و طراحی راهبردهای پیشگیرانه برای مقابله با ریسک‌های بیرونی، مهم‌ترین اهرم‌های مدیریتی برای کاهش افزایش هزینه در پروژه‌های نفت و گاز محسوب می‌شوند. همچنین مدل توسعه‌یافته می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پشتیبان تصمیم، آثار احتمالی سیاست‌های مختلف را پیش از اجرا ارزیابی کرده و مدیران را در انتخاب راهبردهای بهینه یاری دهد. با وجود دستاوردهای علمی و کاربردی، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد که باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرد. داده‌های مورد استفاده عمدتاً مبتنی بر مطالعات موردی پروژه‌های منتخب صنعت نفت و گاز است و تعمیم نتایج به سایر پروژه‌ها نیازمند احتیاط است.

مدل ارائه‌شده بر اساس مفروضات و قضاوت‌های خبرگانی شکل گرفته که با وجود اعتبارسنجی دلفی، ممکن است تحت تأثیر سوگیری‌های ذهنی قرار گیرد. همچنین تمرکز پژوهش بر عوامل مالی، انسانی، مدیریتی و ریسک‌های خارجی بوده و برخی عوامل فنی و فناورانه به‌صورت محدود در مدل لحاظ شده‌اند. افزون بر این، شوک‌های غیرمنتظره سیاسی، اقتصادی و قراردادی می‌توانند رفتار واقعی پروژه‌ها را از نتایج حاصل از شبیه‌سازی متمایز سازند. با این حال، این محدودیت‌ها از ارزش تحلیلی مدل نمی‌کاهد و ضرورت توسعه و تکمیل آن را در مطالعات آینده برجسته می‌سازد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، مدل‌های چندعاملی توسعه یابند تا تعامل هم‌زمان عوامل اقتصادی، اجتماعی، فنی و مدیریتی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین طراحی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی کاربرپسند می‌تواند زمینه استفاده عملی مدیران پروژه از نتایج مدل را فراهم سازد. برگزاری دوره‌های آموزشی در زمینه کاربرد پویایی سیستم در مدیریت هزینه، زمان و ریسک پروژه‌ها، تقویت همکاری‌های بین‌رشته‌ای میان متخصصان مهندسی، مدیریت پروژه، اقتصاد و محیط زیست و نیز تلفیق پویایی سیستم با مدل‌های بهینه‌سازی و روش‌های هوشمند تصمیم‌گیری، از دیگر مسیرهای پیشنهادی برای توسعه این حوزه پژوهشی است. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش هزینه در پروژه‌های ساخت‌وساز صنعت نفت و گاز پدیده‌ای پویا و چندبعدی است که از تعامل مستمر عوامل مالی، انسانی، مدیریتی و محیطی ناشی می‌شود. مدل پویایی سیستم توسعه‌یافته توانست این تعاملات را تبیین کرده و آثار سیاست‌های مدیریتی مختلف را در قالب سناریوهای گوناگون شبیه‌سازی کند. از این‌رو، مدل ارائه‌شده می‌تواند به‌عنوان ابزاری عملی برای کاهش هزینه‌ها، کنترل تأخیرها، بهینه‌سازی تخصیص منابع و ارتقای عملکرد پروژه‌های بزرگ صنعت نفت و گاز مورد استفاده قرار گیرد و زمینه‌ساز استقرار رویکردی پیشگیرانه و تصمیم‌گیری استراتژیک در مدیریت پروژه‌های این صنعت باشد.

۱۰. تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه تعارض منافی در ارتباط با این پژوهش ندارند.

۱۱. منابع

1. Abdelalim, A. M., Salem, M., Salem, M., Al-Adwani, M. and Tantawy, M. (2024). An analysis of factors contributing to cost overruns in the global construction industry. *Buildings*, 15(1), 18. <https://doi.org/10.3390/buildings15010018>
2. Adepu, N., Kermanshachi, S., Pamidimukkala, A. and Nwakpuda, E. (2025). An analytical approach to understanding construction cost overruns during COVID-19. *Smart and Sustainable Built Environment*, 14(6), 1780-1794. <https://doi.org/10.1108/SASBE-10-2023-0306>
3. Akinradewo, O., Ngwenya, L., Aigbavboa, C. and Thwala, W. (2019). Re-Visiting the impediments of cost contingency plans for construction projects in South Africa. In: 14th International Conference Organization, Technology and Management in Construction and 7th International Project. *South Africa: International Conference Proceedings*, p. 70. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/640/1/012030>

4. Alhammadi, A. S. A. M. and Memon, A. H. (2020). Inhibiting factors of cost performance in UAE construction projects. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 11(2), 126-132. <https://doi.org/10.21608/aej.2024.304403.1684>
5. Annamalaisami, C. D. and Kuppaswamy, A. (2021). Managing cost risks: Toward a taxonomy of cost overrun factors in building construction projects. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 7(2), 04021021. <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0001132>
6. Babar, S., Thaheem, M. J. and Ayub, B. (2017). Estimated cost at completion: Integrating risk into earned value management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(3), 04016104. <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0001132>
7. Badawy, M., Alqahtani, F. and Hafez, H. (2022). Identifying the risk factors affecting the overall cost risk in residential projects at the early stage. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2), 101586. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.09.013>
8. Bruzelius, N., Flyvbjerg, B. and Rothengatter, W. (2002). Big decisions, big risks. Improving accountability in mega projects. *Transport Policy*, 9(2), 143-154. [https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(02\)00014-8](https://doi.org/10.1016/S0967-070X(02)00014-8)
9. Chapman, R. J. (1998). The role of system dynamics in understanding the impact of changes to key project personnel on design production within construction projects. *International Journal of Project Management*, 16(4), 235-247. [https://doi.org/10.1016/S0263-7863\(97\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0263-7863(97)00043-4)
10. Creedy, G. D., Skitmore, M. and Wong, J. K. (2010). Evaluation of risk factors leading to cost overrun in delivery of highway construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(5), 528-537. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000160](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000160)
11. Dong, S., Ahmed, M. and Chatpattananan, V. (2025). Analysis of key factors of cost overrun in construction projects based on structural equation modeling. *Sustainability*, 17(5), 2119. <https://doi.org/10.3390/su17052119>
12. Enrica, M., Purba, H. H. and Purba, A. (2021). Risks leading to cost overrun in construction projects: a systematic literature review. *Advance Researches in Civil Engineering*, 3(1), 43-60. <https://doi.org/10.30469/arce.2021.130147>
13. Esmacili, I. and Kashani, H. (2022). Managing cost risks in oil and gas construction projects: root causes of cost overruns. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 8(1), 04021072. <https://doi.org/10.1061/AJRUA6.0001193>
14. Etemadinia, H. and Tavakolan, M. (2021). Using a hybrid system dynamics and interpretive structural modeling for risk analysis of design phase of the construction projects. *International Journal of Construction Management*, 21(1), 93-112. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1511235>
15. Flyvbjerg, B. (2018). *Planning fallacy or hiding hand: Which is the better explanation?* arXiv preprint arXiv:1802.09999. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.10.002>
16. Flyvbjerg, B., Glenting, C. and Rønneest, A. (2004). *Procedures for dealing with optimism bias in transport planning*. London: Department for Transport. <https://ssrn.com/abstract=2278346>
17. Gómez-Cabrera, A., Gutierrez-Bucheli, L. and Muñoz, S. (2024). Causes of time and cost overruns in construction projects: a scoping review. *International Journal of Construction Management*, 24(10), 1107-1125. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2252288>
18. Hamdan, M. M., Thneibat, M. and Hyari, K. (2026). Predicting cost overrun in construction projects using machine learning algorithms: the case of Jordan. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 33(6), 4732-4763. <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2024-1209>
19. Kassem, M. A. (2022). Risk management assessment in oil and gas construction projects using structural equation modeling (PLS-SEM). *Gases*, 2(2), 33-60. <https://doi.org/10.3390/gases2020003>
20. Kumar, A. and Hooda, Y. (2024). Assessing cost overrun in construction industry: a review. In: *International Conference on Structural Engineering and Construction Management*. Cham: Springer Nature Switzerland, pp. 561-576. https://doi.org/10.1007/978-3-031-70431-4_41
21. Lee, K. T., Ann, H., Kim, J. W. and Kim, J. H. (2021). A comparative analysis of risk impacts on cost overrun between actual cases and managers' perception on overseas construction projects. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 22(3), 52-60.
22. Li, M., Li, G., Huang, Y. and Deng, L. (2017). Research on investment risk management of Chinese prefabricated construction projects based on a system dynamics model. *Buildings*, 7(3), 83. <https://doi.org/10.3390/buildings7030083>
23. Lundman, P. (2011). *Cost management for underground infrastructure projects: A case study on cost increase and its causes*. Doctoral dissertation. Sweden: University of Technology.
24. Memon, A. H., Memon, A. Q., Soomro, M. A., Memon, M. A. and Khan, J. S. S. (2023). Structural model of cost overrun factors affecting Pakistani construction projects. *Mehran University Research Journal of Engineering & Technology*, 42(2), 108-123.

25. Nasirzadeh, F., Afshar, A. and Khan, Z. M. (2008). System dynamics approach for construction risk analysis. <https://doi.10.3316/informit.002504097366040>
26. Ofori, G. (2007). Construction in developing countries. *Construction Management and Economics*, 25(1), 1-6. <https://doi.org/10.1080/01446190601114134>
27. Olaniran, O. J., Love, P. E. D., Edwards, D. J., Olatunji, O. and Matthews, J. (2017). Chaos theory: implications for cost overrun research in hydrocarbon megaprojects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(2), 05016020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001227](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001227)
28. Olaniran, O. J., Love, P. E., Edwards, D., Olatunji, O. A. and Matthews, J. (2015). Cost overruns in hydrocarbon megaprojects: A critical review and implications for research. *Project Management Journal*, 46(6), 126-138. <https://doi.org/10.1002/pmj.21556>
29. Shoar, S., Yiu, T. W., Payan, S. and Parchamijalal, M. (2023). Modeling cost overrun in building construction projects using the interpretive structural modeling approach: a developing country perspective. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(2), 365-392.
30. Suprun, E., Sahin, O., Stewart, R. A. and Panuwatwanich, K. (2022). Examining transition pathways to construction innovation in Russia: a system dynamics approach. *International Journal of Construction Management*, 22(4), 556-578. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1637628>
31. Vu, T. Q., Pham, C. P., Nguyen, T. A., Nguyen, P. T., Phan, P. T. and Nguyen, Q. L. H. T. T. (2020). Factors influencing cost overruns in construction projects of international contractors in Vietnam. *The Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 7(9), 389-400. <https://mpa.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/103435>