



شناسایی، رتبه بندی و تحلیل روابط متقابل موانع پیاده سازی فناوری بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی با استفاده از روش های مدل سازی ساختاری تفسیری

دکتر مهدی فضیلتی^{۱،۲}، علی عدنان خضیر الزلزلی^۱

^۱گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

^۲مرکز تحقیقات توسعه پایدار درمهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

چکیده

در سال های اخیر، فناوری بلاک چین با قابلیت هایی مانند قراردادهای هوشمند، ثبت غیرقابل تغییر تراکنش ها و خود کار سازی پرداخت ها، پتانسیل بالایی برای تحول در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی نشان داده است. این فناوری می تواند شفافیت زنجیره تأمین، کاهش اختلافات پیمانی، مدیریت دقیق تغییرات و بهبود پایداری پروژه را فراهم آورد. با این حال، پذیرش گسترده آن با موانع متعددی مواجه است که نیاز به بررسی سیستماتیک دارد. این پژوهش با هدف شناسایی، رتبه بندی و تحلیل روابط متقابل موانع پیاده سازی بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی انجام شد. روش شناسی پژوهش شامل دو مرحله اصلی بود: ابتدا تحلیل مضمونی بر پایه مرور ادبیات گسترده از پایگاه های Scopus، Web of Science و Google Scholar برای شناسایی موانع کلیدی، و سپس مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) با مشارکت ۲۰ خبره صنعت ساختمانی در اصفهان برای تحلیل روابط و سطوح بندی موانع. نتایج نشان داد که ۱۵ مانع اصلی شناسایی شده به پنج سطح سلسله مراتبی تقسیم می شوند. سطح ۱ (راننده) شامل موانع قانونی و مقرراتی، مسائل حاکمیتی و مدیریتی، و عدم استاندارد سازی است که به عنوان پیشران های اصلی عمل می کنند. این موانع بر سطوح میانی (امنیتی، فنی و اقتصادی) و در نهایت سطح ۵ (وابسته) شامل مقاومت سازمانی و فرهنگی، مشکلات مقیاس پذیری و ریسک های قراردادی تأثیر زنجیره ای دارند. یافته ها تأکید می کنند که حل موانع راننده می تواند تأثیر آبخاری مثبتی بر کاهش چالش های وابسته داشته باشد. این پژوهش بینش های عملی برای سیاست گذاران، پیمانکاران و کارفرمایان ارائه می دهد تا با اولویت بندی چارچوب های حقوقی و استاندارد سازی، پذیرش بلاک چین را تسریع کنند و به شفافیت، کارایی و پایداری در صنعت ساخت دست یابند.

کلیدواژه ها: بلاک چین، قراردادهای هوشمند، موانع پیاده سازی، مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM)، مقررات پیمان، پروژه های ساختمانی



۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، ادغام فناوری بلاک‌چین در صنعت ساخت و ساز، به ویژه در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی، تغییرات قابل توجهی ایجاد کرده و نوآوری، شفافیت و کارایی را در سراسر این بخش افزایش داده است. راه‌حل‌های مبتنی بر بلاک‌چین، به خصوص قراردادهای هوشمند، اکنون در حوزه‌های مختلفی مانند مدیریت خودکار پرداخت‌ها، ثبت غیرقابل تغییر تراکنش‌ها، کاهش اختلافات پیمانی و بهبود شفافیت زنجیره تأمین اعمال می‌شوند (سینگر و همکاران، ۲۰۲۴؛ آمیو و همکاران، ۲۰۲۴). این فناوری‌ها امکان تحلیل داده‌های حجیم پروژه، شناسایی الگوهای تقلب و بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در زمان واقعی را فراهم می‌کنند. برای مثال، قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک‌چین می‌توانند پرداخت‌ها را بر اساس تحقق شرایط پیمان (مانند پیشرفت فیزیکی پروژه یا تأیید کارفرما) به طور خودکار اجرا کنند، تجربه ذی‌نفعان را بهبود بخشند و اختلافات ناشی از تأخیر در پرداخت یا تفسیر مقررات پیمان را به حداقل برسانند (بودایان و اوکودان، ۲۰۲۳؛ آگاپیو، ۲۰۲۳).

بلاک‌چین همچنین عملیات اجرایی پیمان در پروژه‌های ساختمانی را با خودکارسازی فرآیندهایی مانند نظارت بر رعایت شرایط عمومی و خصوصی پیمان، گزارش‌دهی پیشرفت و مدیریت تغییرات انقلابی کرده است. این خودکارسازی هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد، خطاهای دستی را به حداقل می‌رساند و عملکرد کلی پیمانکاران و کارفرمایان را بهبود می‌بخشد، که این امر مزیت رقابتی قابل توجهی در بازار پویای صنعت ساخت ایجاد می‌کند (اوکانلاوون و همکاران، ۲۰۲۴؛ شو و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، بلاک‌چین با ایجاد ثبت توزیع‌شده و غیرمتمرکز، شفافیت را در اجرای مقررات پیمان افزایش می‌دهد و امکان ردیابی دقیق مواد، پرداخت‌ها و تغییرات پروژه را فراهم می‌آورد، که این ویژگی به ویژه در پروژه‌های بزرگ و پیچیده حیاتی است (سینگر و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، علی‌رغم مزایای آشکار، نهادهای ساختمانی و پیمانکاران همچنان با چالش‌های قابل توجهی در پذیرش کامل فناوری بلاک‌چین برای اجرای مقررات پیمان مواجه هستند. این چالش‌ها شامل موانع قانونی و عدم وضوح مقررات، پیچیدگی‌های فنی و زیرساختی، مقاومت سازمانی، هزینه‌های بالا و نگرانی‌های امنیتی است (وقار و همکاران، ۲۰۲۴؛ شانگ و همکاران، ۲۰۲۴). همچنین، تأثیر بلندمدت بلاک‌چین بر پایداری پروژه‌ها، اعتماد ذی‌نفعان و رعایت استانداردهای پیمان نیاز به بررسی بیشتر دارد، زیرا وابستگی به این فناوری در تصمیم‌گیری‌های اجرایی پیمان ادامه دارد.

این پژوهش با هدف بررسی این موانع و پیشنهاد استراتژی‌های مؤثر برای ادغام موفق بلاک‌چین در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی انجام شده است. با شناسایی موانع کلیدی، رتبه‌بندی و تحلیل روابط متقابل میان آن‌ها از طریق روش مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM)، این مطالعه بینش‌های ارزشمندی برای ذی‌نفعان صنعت ساخت ارائه می‌دهد تا استراتژی‌های پیاده‌سازی مؤثرتری اتخاذ کنند. هدف نهایی، کمک به پیمانکاران، کارفرمایان و سیاست‌گذاران برای بهره‌برداری از پتانسیل تحول‌آفرین بلاک‌چین در حالی که استانداردهای قانونی، اعتماد ذی‌نفعان و پایداری پروژه حفظ شود، و در نهایت به رشد پایدار و نوآوری در صنعت ساخت و ساز کمک کند (خوک و همکاران، ۲۰۲۴؛ سلیک و همکاران، ۲۰۲۴).

۲. مرور ادبیات

ادغام فناوری بلاک‌چین در صنعت ساخت و ساز، به ویژه در مدیریت قراردادها و اجرای مقررات پیمان، یکی از حوزه‌های پرتأثیر این فناوری در سال‌های اخیر بوده است. کاربردهای بلاک‌چین در این زمینه از افزایش شفافیت زنجیره تأمین تا بهینه‌سازی عملیات اجرایی و مدیریت ریسک گسترده است. این مرور ادبیات وضعیت پذیرش بلاک‌چین در پروژه‌های ساختمانی را بررسی می‌کند و روندهای اصلی، مزایا، موانع و جهت‌گیری‌های تحقیقاتی آینده را شناسایی می‌نماید (وو و همکاران، ۲۰۲۲؛ محمودنیا و همکاران، ۲۰۲۲).



سینگر و همکاران (۲۰۲۴) نقشه راهی برای غلبه بر موانع پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک‌چین در پروژه‌های ساختمانی پایدار ارائه دادند و بر اهمیت استراتژی‌های سازمانی و فنی برای افزایش شفافیت و کاهش هزینه‌ها تأکید کردند (سینگر و همکاران، ۲۰۲۴). آمیاو و همکاران (۲۰۲۴) موانع پذیرش قراردادهای هوشمند را از دیدگاه متخصصان ساختمانی بررسی کردند و عوامل قانونی، عدم وضوح مقررات و مقاومت فرهنگی را به عنوان موانع اصلی شناسایی نمودند (آمیاو و همکاران، ۲۰۲۴). بودایان و اوکودان (۲۰۲۳) موانع پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در پروژه‌های ترکیه را ارزیابی کردند و پیچیدگی فنی، هزینه‌های بالا و کمبود نیروی متخصص را عوامل کلیدی دانستند (بودایان و اوکودان، ۲۰۲۳). آگاپیو (۲۰۲۳) موانع قانونی پیاده‌سازی قراردادهای هوشمند در صنعت ساخت را تحلیل کرد و برنامه تحقیقاتی برای توسعه چارچوب‌های حقوقی پیشنهاد نمود (آگاپیو، ۲۰۲۳).

موانع سازمانی و فرهنگی نیز در مطالعات متعدد مورد توجه قرار گرفته است. اوکانلاوون و همکاران (۲۰۲۴) موانع بلاک‌چین در مدیریت زنجیره تأمین ساختمانی نیجریه را بررسی کردند و عدم آگاهی و مقاومت در برابر تغییر را برجسته ساختند (اوکانلاوون و همکاران، ۲۰۲۴). سینگر و همکاران (۲۰۲۳) موانع دستیابی به شفافیت و پایداری در زنجیره تأمین ساختمانی را با روش FAHP پیاغورسی تحلیل کردند و موانع اقتصادی و مقرراتی را اولویت‌دار دانستند (سینگر و همکاران، ۲۰۲۳). شو و همکاران (۲۰۲۳) موانع پذیرش بلاک‌چین در صنعت معماری، مهندسی و ساخت (AEC) را مدل‌سازی کردند و بر نقش عدم استانداردسازی تأکید کردند (شو و همکاران، ۲۰۲۳). سینگر و همکاران (۲۰۲۳) با رویکرد مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM)، موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در صنعت ساخت را بررسی و استراتژی‌های کاهش را پیشنهاد دادند (سینگر و همکاران، ۲۰۲۳).

علی‌رغم مزایای متعدد، چالش‌های پیاده‌سازی بلاک‌چین همچنان قابل توجه است. وقار و همکاران (۲۰۲۴) چالش‌های فنی و سازمانی پیاده‌سازی بلاک‌چین در ساخت و ساز را شناسایی کردند (وقار و همکاران، ۲۰۲۴). شانگ و همکاران (۲۰۲۴) رانندگان و موانع پذیرش قراردادهای هوشمند را از منظر نهادی تحلیل کردند و بر نیاز به حمایت قانونی تأکید نمودند (شانگ و همکاران، ۲۰۲۴). خوک و همکاران (۲۰۲۴) با رویکرد TISM و DEMATEL، موانع پذیرش بلاک‌چین در صنعت ساخت را رتبه‌بندی کردند (خوک و همکاران، ۲۰۲۴). کیو و همکاران (۲۰۲۵) رانندگان، موانع و استراتژی‌های پذیرش بلاک‌چین در زنجیره تأمین ساختمانی را بررسی کردند (کیو و همکاران، ۲۰۲۵).

سلیک و همکاران (۲۰۲۴) در یک مرور سیستماتیک، کاربردها و موانع بلاک‌چین در ساخت و ساز را تحلیل کردند و بر موانع مقیاس‌پذیری و امنیت تمرکز نمودند (سلیک و همکاران، ۲۰۲۴). سینگر و کومار (۲۰۲۴) موانع پذیرش بلاک‌چین در مدیریت تسهیلات با استفاده از BIM را با روش بهترین-بدترین بررسی کردند (سینگر و کومار، ۲۰۲۴). وو و همکاران (۲۰۲۵) موانع پذیرش بلاک‌چین را با روش DEMATEL فازی و چارچوب TOE تحلیل کردند (وو و همکاران، ۲۰۲۵). با وجود بینش‌های گسترده ارائه‌شده در ادبیات، چندین شکاف تحقیقاتی باقی مانده است. بیشتر مطالعات بر بازارهای توسعه‌یافته یا کشورهای خاص تمرکز داشته‌اند و کمتر به زمینه‌های ایران یا اقتصادهای مشابه پرداخته شده است. همچنین، بررسی روابط متقابل موانع در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی به طور جامع کمتر مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، نیاز به چارچوب‌های جامع برای حاکمیت اخلاقی، قانونی و عملی بلاک‌چین در مدیریت پیمان احساس می‌شود (ازه و آمیاو، ۲۰۲۵؛ باندرا و همکاران، ۲۰۲۵). این مطالعه با تمرکز بر شناسایی، رتبه‌بندی و تحلیل روابط متقابل موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی در ایران، تلاش می‌کند این شکاف‌ها را پر کند و مبنایی برای استراتژی‌های عملی ارائه دهد.

۳. مواد و روش‌ها

این بخش به مراحل اجرای پژوهش، شرکت‌کنندگان درگیر در مطالعه، شناسایی موانع پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی و مرور روش مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) همراه با مراحل اجرایی آن می‌پردازد.



۱.۳. مراحل اجرای پژوهش

روش‌شناسی پیشنهادی پژوهش شامل دو مرحله مجزا با هدف شناسایی و تحلیل موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی است. در مرحله نخست، مرور جامع ادبیات همراه با تحلیل مضمونی برای شناسایی و دسته‌بندی موانع کلیدی از دیدگاه جهانی انجام شد. در مرحله بعدی، از مدل‌سازی ساختاری تفسیری برای تحلیل روابط میان این موانع استفاده گردید. زیربخش‌های بعدی مراحل اجرایی هر مرحله را به تفصیل توصیف می‌کنند.

۲.۳. شرکت‌کنندگان پژوهش

شرکت‌کنندگان در این پژوهش شامل ۲۰ نفر از مدیران پروژه، پیمانکاران و کارشناسان صنعت ساختمانی مستقر در استان اصفهان بودند. این افراد بر اساس تخصص و دانش خود در زمینه مدیریت پیمان پروژه‌های ساختمانی و آشنایی با فناوری‌های نوین مانند بلاک‌چین انتخاب شدند. پیشینه‌های متنوع و تجربیات حرفه‌ای این شرکت‌کنندگان، فرآیند پژوهش را غنی ساخت و کاوش جامعی از موضوع را تضمین کرد. پرسشنامه ماتریس خودتعاملی (SSIM) میان جمعیت آماری توزیع شد تا روابط میان شاخص‌ها و رتبه‌بندی سلسله‌مراتبی آن‌ها بر اساس پارادایم تفسیری روشن گردد. این روش امکان شناسایی روابط علی و پیچیده میان مجموعه‌ای از موانع بلاک‌چین در زمینه اجرای مقررات پیمان را فراهم آورد. تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

۳.۳. مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)

مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM) رویکردی سیستماتیک و ساخت یافته است که برای درک روابط میان متغیرها یا عناصر خاص به کار می‌رود؛ عناصری که ممکن است پیچیده و به هم پیوسته باشند. ISM به توسعه ساختار سلسله‌مراتبی این متغیرها کمک می‌کند و اغلب در مدیریت، تصمیم‌گیری و پژوهش برای درک بهتر پویایی‌های درون یک سیستم استفاده می‌شود. در ادامه، راهنمای گام‌به‌گام دقیق الگوریتم ISM ارائه شده است:

گام ۱: شناسایی متغیرها یا عناصر

اولین گام در ISM، شناسایی متغیرها یا عناصر مرتبط و مهم برای مسئله یا سیستم مورد مطالعه است. این متغیرها می‌توانند از طریق مرور ادبیات، مصاحبه با خبرگان یا جلسات طوفان فکری شناسایی شوند.

مثال: اگر پذیرش هوش مصنوعی در خدمات مالی مورد مطالعه باشد، متغیرها ممکن است شامل رعایت مقررات، حریم خصوصی داده‌ها، اعتماد مشتری، زیرساخت فناوری و غیره باشند.

گام ۲: برقراری ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM)

گام بعدی، تعیین روابط جفتی میان متغیرهای شناسایی شده است. این کار با ایجاد ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM) انجام می‌شود. در SSIM، هر متغیر با هر متغیر دیگر مقایسه می‌شود تا رابطه برقرار گردد:

V: اگر متغیر I بر متغیر J تأثیر بگذارد.

A: اگر متغیر J بر متغیر I تأثیر بگذارد.

X: اگر هر دو متغیر بر یکدیگر تأثیر بگذارند.

O: اگر هیچ تأثیر مستقیمی میان متغیرهای I و J وجود نداشته باشد.

گام ۳: توسعه ماتریس دسترسی

SSIM سپس با رعایت قواعد خاص به ماتریس دسترسی دودویی تبدیل می‌شود:

V-با ۱ در موقعیت (j,i) و ۰ در موقعیت (i,j) جایگزین می‌شود.



A- با ۰ در موقعیت (i,z) و ۱ در موقعیت (j,i) جایگزین می شود.

X- با ۱ در هر دو موقعیت (i,z) و (j,i) جایگزین می شود.

O- با ۰ در هر دو موقعیت (j,i) و (j,i) جایگزین می شود.

گام ۴: محاسبه ماتریس دسترسی نهایی

ماتریس دسترسی سپس برای شامل کردن روابط انتقالی پالایش می شود. این کار شامل اعمال قاعده انتقالی است: اگر عنصر A به B و B به C منجر شود، A نیز باید به C منجر شود. این فرآیند تا عدم تغییر ادامه می یابد و ماتریس دسترسی نهایی حاصل می گردد.

گام ۵: تقسیم بندی ماتریس دسترسی نهایی به سطوح

گام بعدی، تقسیم بندی ماتریس دسترسی نهایی به سطوح مختلف است. این کار با شناسایی مجموعه دسترسی (متغیرهای تحت تأثیر متغیر داده شده) و مجموعه پیشینه (متغیرهای تأثیر گذار بر متغیر داده شده) انجام می شود. تقاطع این مجموعه ها برای هر متغیر تعیین می گردد.

-متغیرهایی با مجموعه دسترسی و تقاطع یکسان در یک سطح قرار می گیرند.

-پس از شناسایی یک سطح، متغیر از بررسی حذف می شود و فرآیند برای متغیرهای باقی مانده تکرار می گردد.

گام ۶: توسعه گراف جهت دار (Digraph)

با استفاده از سطوح شناسایی شده، گراف جهت دار (Digraph) توسعه می یابد. متغیرها در سطوح مربوطه قرار می گیرند و پیکان ها برای نشان دادن روابط (تأثیرها) میان متغیرها بر اساس ماتریس دسترسی کشیده می شوند.

گام ۷: تبدیل گراف جهت دار به مدل ISM

گراف جهت دار سپس به مدل ISM تبدیل می شود با جایگزینی گره های متغیر با نام ها یا توصیف های واقعی متغیرها. این مدل نهایی، ساختاری سلسله مراتبی است که روابط و اهمیت نسبی هر متغیر را به وضوح نشان می دهد.

گام ۸: بررسی و تفسیر مدل ISM

گام نهایی، بررسی مدل ISM برای سازگاری و اعتبار است. خبرگان حوزه باید مدل را ارزیابی کنند تا اطمینان حاصل شود که روابط میان متغیرها را دقیقاً بازنمایی می کند. این مدل سپس می تواند برای هدایت تصمیم گیری یا پژوهش های بیشتر استفاده شود.

با پیروی از این مراحل، پژوهشگران می توانند سیستم های پیچیده را به طور سیستماتیک تحلیل کنند و مدل سلسله مراتبی روشنی توسعه دهند که به درک پویایی ها و هدایت تصمیم های استراتژیک کمک کند.

۴. نتایج

۴.۱. شناسایی موانع پیاده سازی فناوری بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی

برای شناسایی موانع کلیدی پیاده سازی فناوری بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی، مرور گسترده و عمیقی بر ادبیات مرتبط انجام گردید. این مطالعه به طور خاص از پایگاه های داده معتبر Scopus، Web of Science و Google Scholar بهره برد، زیرا این پایگاه ها پوشش جامع تری از مقالات علمی منتشر شده ارائه می دهند و امکان دسترسی به تحقیقات به روز و با کیفیت را فراهم می کنند. جستجو به مقالات ژورنالی به زبان انگلیسی محدود شد و از کلیدواژه های هدفمند مانند "blockchain adoption challenges in", "smart contracts obstacles", "blockchain barriers in construction"



"contract management" و "construction project blockchain hurdles" استفاده گردید. بیش از ۱۵۰ مقاله مرتبط بررسی و تحلیل شد تا موانع اصلی به طور دقیق استخراج و اولویت بندی شوند (سلیک و همکاران، ۲۰۲۴؛ وو و همکاران، ۲۰۲۵).

تحلیل مضمونی پیشرفته برای استخراج و دسته بندی موانع به کار گرفته شد. این روش، با تمرکز بر شناسایی تم های تکرار شونده، الگوهای پنهان و مفاهیم کلیدی در ادبیات، امکان کشف عمیق چالش های واقعی پذیرش بلاک چین را فراهم آورد. یافته ها تأکید می کنند که علی رغم پتانسیل بالای بلاک چین در افزایش شفافیت، کاهش تقلب و خودکارسازی اجرای پیمان، موانع چندبعدی مانع از پذیرش گسترده آن می شوند. این بررسی جامع نه تنها درک دقیق تری از تأثیر این موانع بر فرآیندهای پیمان ارائه داد، بلکه پایه ای محکم برای تحلیل روابط متقابل آن ها فراهم کرد. در نهایت، بیش از ۶۰ مانع اولیه شناسایی شد که پس از تلفیق و اولویت بندی، به ۱۵ مانع اصلی کاهش یافت و در جدول ۱ به همراه توضیحات و منابع مربوطه ارائه شده است.

جدول ۱. موانع اصلی پیاده سازی بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی

ردیف	مانع	توضیحات	منبع (نویسنده، سال)
۱	موانع قانونی و مقرراتی	عدم وجود چارچوب های حقوقی شفاف، مشکلات اجرایی قراردادهای هوشمند در نظام قضایی و نبود قوانین حمایتی	آگاپو (۲۰۲۳)؛ شانگ و همکاران (۲۰۲۴)
۲	پیچیدگی فنی و زیرساختی	نیاز به زیرساخت های پیشرفته، چالش های مقیاس پذیری شبکه و دشواری ادغام با سیستم های فعلی پروژه	بودایان و اوکودان (۲۰۲۳)؛ شو و همکاران (۲۰۲۳)
۳	هزینه های بالا	سرمایه گذاری اولیه سنگین برای توسعه، آموزش و نگهداری سیستم های بلاک چین	وقار و همکاران (۲۰۲۴)؛ اوکانلاوون و همکاران (۲۰۲۴)
۴	مقاومت سازمانی و فرهنگی	فرهنگ سنتی صنعت ساخت، عدم اعتماد به فناوری نوین و مقاومت مدیران در برابر تغییرات اساسی	آمیو و همکاران (۲۰۲۴)؛ سینگر و همکاران (۲۰۲۳)
۵	کمبود آگاهی و آموزش	ناآشنایی مدیران، مهندسان و پیمانکاران با مزایا و کاربردهای بلاک چین	کیو و همکاران (۲۰۲۵)؛ سلیک و همکاران (۲۰۲۴)
۶	مسائل امنیتی و حریم خصوصی	ریسک حملات سایبری، نگرانی از افشای داده های حساس پروژه و چالش های حفظ محرمانگی	وو و همکاران (۲۰۲۵)؛ محمودنیا و همکاران (۲۰۲۲)
۷	عدم استانداردسازی	نبود پروتکل ها و استانداردهای مشترک برای قراردادهای هوشمند در صنعت ساخت	خوک و همکاران (۲۰۲۴)؛ سینگر و کومار (۲۰۲۴)
۸	مشکلات مقیاس پذیری	ناتوانی شبکه در پردازش حجم بالای تراکنش ها در پروژه های بزرگ و پیچیده	ازه و آمیو (۲۰۲۵)؛ باندارا و همکاران (۲۰۲۵)
۹	کمبود نیروی متخصص	کمبود کارشناسان آشنا با برنامه نویسی بلاک چین و مدیریت قراردادهای هوشمند	بودایان و اوکودان (۲۰۲۳)؛ وقار و همکاران (۲۰۲۴)
۱۰	ریسک های قراردادی	ابهام در مسئولیت طرفین در صورت خطای خودکار و چالش تفسیر شرایط پیمان	آگاپو (۲۰۲۳)؛ کاراسیگان و همکاران (۲۰۲۵)



۱۱	مسائل حاکمیتی و مدیریتی	دشواری در تصمیم گیری توزیع شده میان ذی نفعان متعدد و نبود مدل های مدیریتی مناسب	شانگ و همکاران (۲۰۲۴)؛ وو و همکاران (۲۰۲۲)
۱۲	ادغام با سیستم های قدیمی	ناسازگاری بلاک چین با نرم افزارهای سنتی مدیریت پروژه و پیمان	شو و همکاران (۲۰۲۳)؛ سینگر و همکاران (۲۰۲۳)
۱۳	نگرانی های اقتصادی و مالی	عدم اطمینان از بازگشت سرمایه و ریسک های مالی در فازهای اولیه پیاده سازی	اوکانلاوون و همکاران (۲۰۲۴)؛ صادقی و همکاران (۲۰۲۲)
۱۴	موانع زنجیره تامین	عدم همکاری تأمین کنندگان و چالش های ردیابی یکپارچه در زنجیره تامین ساختمانی	سینگر و همکاران (۲۰۲۳)؛ کیو و همکاران (۲۰۲۵)
۱۵	ریسک های زیست محیطی و پایداری	مصرف انرژی بالای برخی شبکه های بلاک چین و ناسازگاری با اهداف پایداری پروژه	سلیک و همکاران (۲۰۲۴)؛ محمودنیا و همکاران (۲۰۲۲)

۲.۴. شناسایی روابط متقابل و سطوح بندی موانع با مدل سازی ساختاری تفسیری

یافته های این پژوهش، مدل سلسله مراتبی پیشرفته ای از موانع کلیدی پیاده سازی بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی را با بهره گیری از مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) ارائه می دهد. این مدل نه تنها روابط پیچیده و متقابل میان موانع را به طور دقیق آشکار می سازد، بلکه نشان می دهد که چگونه موانع بنیادین مانند چالش های قانونی و حاکمیتی به عنوان رانندگان اصلی، بر موانع فنی، اقتصادی و سازمانی تأثیر عمیق می گذارند و در نهایت پذیرش فناوری را مختل می کنند. درک این روابط پویا، امکان اولویت بندی استراتژیک موانع را برای پیمانکاران، کارفرمایان و سیاست گذاران فراهم می آورد و راه را برای تدوین برنامه های عملی مؤثر هموار می سازد (سینگر و همکاران، ۲۰۲۳؛ خوک و همکاران، ۲۰۲۴).

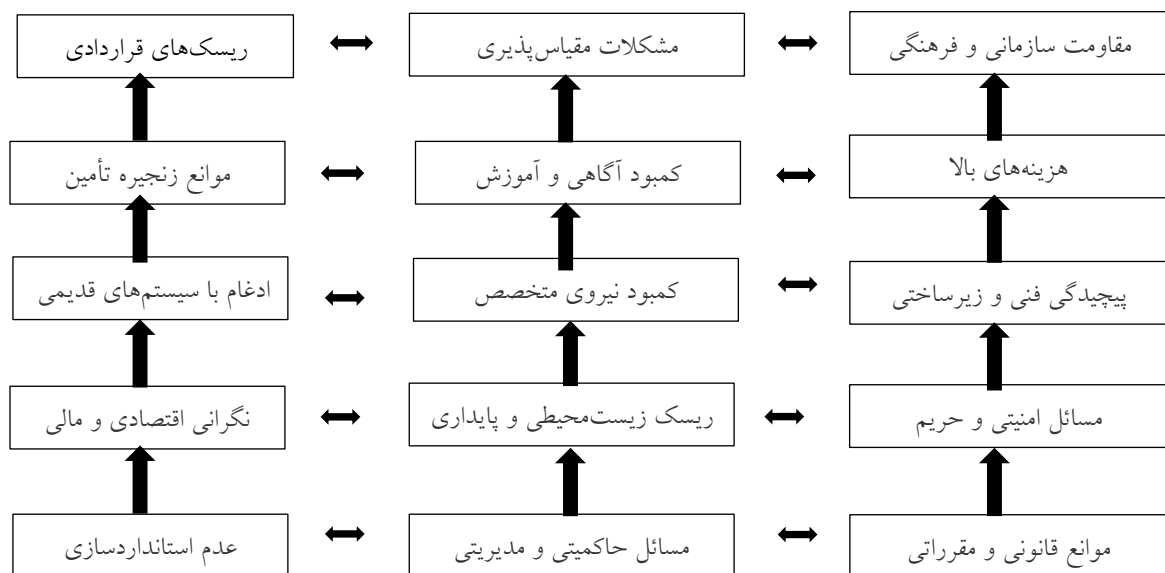
با اعمال رویکرد مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) بر اساس نظرات خبرگان و ماتریس های دسترسی، موانع به پنج سطح مجزا تقسیم بندی شدند. سطح ۱ شامل موانع راننده و بنیادین (با قدرت تأثیر گذاری بالا و وابستگی کم) و سطح ۵ شامل موانع وابسته و تأثیر پذیر (با وابستگی زیاد) است. این سطوح بندی ساخت یافته، بینش ارزشمندی در مورد زنجیره علی موانع ارائه می دهد و تأکید می کند که حل موانع راننده در سطوح پایین تر، تأثیر زنجیره ای مثبتی بر کاهش موانع وابسته در سطوح بالاتر خواهد داشت.

جدول ۲. سطوح و موانع پیاده سازی فناوری بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی

سطح/خوشه	عوامل اصلی (موانع)	توضیحات
پایین ترین سطح (عوامل راننده)	موانع قانونی و مقرراتی مسائل حاکمیتی و مدیریتی عدم استاندارد سازی	این موانع راننده و تأثیرگذارترین هستند؛ با وابستگی کم و قدرت بالا، پایه تمام چالش ها را تشکیل می دهند و بر سطوح بالاتر اثر مستقیم می گذارند.
عوامل میانی (پایه ای)	مسائل امنیتی و حریم خصوصی ریسک های زیست محیطی و پایداری نگرانی های اقتصادی و مالی	این موانع پایه ای از سطح ۱ تأثیر می پذیرند و بر سطوح بالاتر اثر می گذارند؛ امنیت، پایداری و اقتصاد، زیرساخت اعتماد و سرمایه گذاری را شکل می دهند.



عوامل میانی (اجرایی)	پیچیدگی فنی و زیرساختی کمبود نیروی متخصص ادغام با سیستم های قدیمی	این موانع اجرایی از سطوح پایین تر تغذیه می شوند و بر سطوح بالاتر تأثیر می گذارند؛ چالش های فنی و انسانی، اجرای عملی را پرهزینه می کنند.
عوامل میانی (کنترلی)	هزینه های بالا کمبود آگاهی و آموزش موانع زنجیره تأمین	این موانع کنترلی از سطوح پایین تر تأثیر می پذیرند و بر سطح نهایی اثر دارند؛ هزینه، آگاهی و زنجیره تأمین، کنترل پیشرفت را تعیین می کنند.
بالاترین سطح (عوامل وابسته)	مقاومت سازمانی و فرهنگی مشکلات مقیاس پذیری ریسک های قراردادی	این موانع وابسته و تأثیر پذیرترین هستند؛ بیشترین وابستگی به سطوح پایین تر دارند و نتایج نهایی چالش ها را نشان می دهند.



شکل ۱. مدل حاصل شده با روش مدل سازی ساختاری تفسیری

سطح ۱: عوامل راننده

عوامل راننده در پایین ترین سطح مدل سازی ساختاری تفسیری (ISM) قرار دارند و شامل «موانع قانونی و مقرراتی»، «مسائل حاکمیتی و مدیریتی» و «عدم استانداردسازی» هستند. این عوامل به عنوان پیشران های اصلی موانع پیاده سازی فناوری بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی عمل می کنند، زیرا دارای تأثیر گذاری بالا و وابستگی کم به سایر عوامل هستند. موانع قانونی و مقرراتی، با ایجاد ابهام در چارچوب های حقوقی و اجرایی قراردادهای هوشمند، پایه تمام چالش های دیگر را تشکیل می دهند و پذیرش فناوری را در سطح کلان محدود می کنند. مسائل حاکمیتی و مدیریتی، به دلیل دشواری تصمیم گیری توزیع شده میان ذی نفعان متعدد، محیطی ناپایدار برای مدیریت پروژه ایجاد کرده و اعتماد اولیه را کاهش می دهند. همچنین، عدم استانداردسازی، با نبود پروتکل های مشترک، هماهنگی میان سیستم های مختلف را ناممکن ساخته و ریسک های فنی و عملیاتی را افزایش می دهد. این عوامل به عنوان ستون های اصلی، شرایط بنیادین برای بروز موانع سطوح بالاتر را فراهم می کنند و حل آن ها پیش نیاز اساسی برای پیشرفت در پیاده سازی بلاک چین است.



سطح ۲: عوامل میانی-پایه‌ای

عوامل میانی-پایه‌ای شامل «مسائل امنیتی و حریم خصوصی»، «ریسک‌های زیست‌محیطی و پایداری» و «نگرانی‌های اقتصادی و مالی» هستند که نقش زیربنایی در فرآیند موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین ایفا می‌کنند. این عوامل دارای تأثیرگذاری و وابستگی نسبی هستند و به‌عنوان پل ارتباطی بین عوامل راننده و عوامل اجرایی عمل می‌کنند. مسائل امنیتی و حریم خصوصی، برای حفاظت از داده‌های حساس پروژه حیاتی است، زیرا هرگونه نقص در این حوزه می‌تواند اعتماد ذی‌نفعان را از بین ببرد و پذیرش فناوری را متوقف کند. ریسک‌های زیست‌محیطی و پایداری، به ویژه مصرف انرژی بالای برخی شبکه‌های بلاک‌چین، با اهداف پایداری پروژه‌های ساختمانی در تضاد قرار گرفته و موانع اخلاقی و مقرراتی ایجاد می‌کند. نگرانی‌های اقتصادی و مالی نیز، با عدم اطمینان از بازگشت سرمایه، سرمایه‌گذاری در فناوری را محدود کرده و ریسک‌های مالی اولیه را افزایش می‌دهد. این عوامل، پایه‌های عملیاتی و اقتصادی لازم برای پیشرفت به مراحل اجرایی را تضعیف می‌کنند و مستقیماً از سطح راننده تأثیر می‌پذیرند.

سطح ۳: عوامل میانی-اجرایی

عوامل میانی-اجرایی، شامل «پیچیدگی فنی و زیرساختی»، «کمبود نیروی متخصص» و «ادغام با سیستم‌های قدیمی»، در مرحله عملیاتی موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین نقش دارند و به‌طور مستقیم بر اجرای روزمره پروژه‌ها تأثیر می‌گذارند. پیچیدگی فنی و زیرساختی، به معنای نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته و چالش‌های مقیاس‌پذیری، عملیات پیاده‌سازی را پرهزینه و زمان‌بر می‌سازد و مانع پیشرفت سریع پروژه می‌شود. کمبود نیروی متخصص، که نشان‌دهنده ناآشنایی کارشناسان با برنامه‌نویسی و مدیریت بلاک‌چین است، اجرای فنی قراردادهای هوشمند را مختل کرده و وابستگی به مشاوران خارجی را افزایش می‌دهد. ادغام با سیستم‌های قدیمی نیز، با ناسازگاری نرم‌افزارهای سنتی مدیریت پروژه، فرآیندهای فعلی را پیچیده‌تر کرده و ریسک خطا را بالا می‌برد. این عوامل با وابستگی به سطوح پایین‌تر و تأثیرگذاری بر سطوح بالاتر، نقش محوری در چالش‌های عملی پیاده‌سازی بلاک‌چین دارند و حل آن‌ها برای عبور از مرحله اجرایی ضروری است.

سطح ۴: عوامل میانی-کنترلی

عوامل میانی-کنترلی، شامل «هزینه‌های بالا»، «کمبود آگاهی و آموزش» و «موانع زنجیره تأمین»، بر بهینه‌سازی و کنترل فرآیند موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین تمرکز دارند. هزینه‌های بالا، که شامل سرمایه‌گذاری اولیه در توسعه و نگهداری سیستم است، کنترل بودجه پروژه را دشوار کرده و پذیرش فناوری را برای پیمانکاران کوچک غیرممکن می‌سازد. کمبود آگاهی و آموزش، مستقیماً بر درک مزایای بلاک‌چین توسط مدیران و کارکنان تأثیر می‌گذارد و انگیزه تغییر را کاهش می‌دهد. موانع زنجیره تأمین نیز، با عدم همکاری تأمین‌کنندگان و چالش‌های ردیابی یکپارچه، کنترل جریان مواد و پرداخت‌ها را مختل کرده و شفافیت مورد انتظار از بلاک‌چین را تضعیف می‌کند. این عوامل با کنترل کیفیت همکاری و منابع، به تشدید موانع نهایی در سطح بالاتر کمک می‌کنند و به عوامل اجرایی و پایه‌ای متصل می‌شوند.

سطح ۵: عوامل وابسته

عوامل وابسته در بالاترین سطح مدل ISM قرار دارند و شامل «مقاومت سازمانی و فرهنگی»، «مشکلات مقیاس‌پذیری» و «ریسک‌های قراردادی» هستند. این عوامل بیشترین وابستگی را به سایر مؤلفه‌ها دارند و به‌عنوان نتایج نهایی فرآیند موانع پیاده‌سازی بلاک‌چین در نظر گرفته می‌شوند. مقاومت سازمانی و فرهنگی، به‌عنوان معیاری از عدم پذیرش تغییرات در صنعت سنتی ساخت، نتیجه مستقیم ناآگاهی، هزینه‌ها و پیچیدگی‌های فنی است. مشکلات مقیاس‌پذیری، که نشان‌دهنده ناتوانی شبکه در پردازش حجم بالای تراکنش‌های پروژه‌های بزرگ است، به عوامل فنی و زیرساختی وابسته بوده و اجرای عملی در مقیاس واقعی را مختل می‌کند. ریسک‌های قراردادی، با ابهام در مسئولیت طرفین و تفسیر خودکار شرایط پیمان، به موانع قانونی و امنیتی وابسته است و اختلافات پیمانی را افزایش می‌دهد. این



عوامل، به عنوان خروجی‌های نهایی، چالش‌های کلی پیاده‌سازی بلاک‌چین در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی را منعکس می‌کنند و موفقیت یا شکست پذیرش فناوری را نشان می‌دهند.

۵. بحث

یافته‌های این پژوهش، با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)، روابط پیچیده و سلسله‌مراتبی میان موانع پیاده‌سازی فناوری بلاک‌چین در اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی را به طور روشن آشکار می‌سازد. مدل حاصل، با پنج سطح مجزا، نشان می‌دهد که موانع بنیادین و راننده در سطح ۱ (موانع قانونی و مقرراتی، مسائل حاکمیتی و مدیریتی، و عدم استانداردسازی) به عنوان پیشران‌های اصلی عمل می‌کنند و تأثیر زنجیره‌ای بر سطوح بالاتر دارند. این عوامل، با ایجاد ابهام حقوقی، ناپایداری مدیریتی و ناهماهنگی فنی، پایه تمام چالش‌های دیگر را تشکیل می‌دهند و پذیرش بلاک‌چین را در سطح کلان محدود می‌کنند. تأثیر این سطح بر سطح ۲ (مسائل امنیتی و حریم خصوصی، ریسک‌های زیست‌محیطی و پایداری، و نگرانی‌های اقتصادی و مالی) نشان‌دهنده آن است که عدم وضوح قانونی مستقیماً نگرانی‌های امنیتی و مالی را تشدید کرده و زیرساخت اعتماد و سرمایه‌گذاری را تضعیف می‌کند (آگایو، ۲۰۲۳؛ شانگ و همکاران، ۲۰۲۴).

در سطوح میانی، عوامل اجرایی (سطح ۳) مانند پیچیدگی فنی و زیرساختی، کمبود نیروی متخصص و ادغام با سیستم‌های قدیمی، از سطوح پایه‌ای تأثیر می‌پذیرند و عملیات روزمره را مختل می‌کنند. این یافته با مطالعات بودایان و اوکودان (۲۰۲۳) و شو و همکاران (۲۰۲۳) همخوانی دارد که پیچیدگی فنی را یکی از موانع اصلی در پروژه‌های ساختمانی می‌دانند. سپس، عوامل کنترلی در سطح ۴ (هزینه‌های بالا، کمبود آگاهی و آموزش، و موانع زنجیره تأمین) به عنوان پل نهایی، این چالش‌ها را به سطح وابسته (سطح ۵) منتقل می‌کنند، جایی که مقاومت سازمانی و فرهنگی، مشکلات مقیاس‌پذیری و ریسک‌های قراردادی به عنوان نتایج نهایی ظاهر می‌شوند. این زنجیره علیت تأکید می‌کند که مقاومت فرهنگی و ریسک‌های قراردادی نه تنها علائم سطحی، بلکه پیامدهای مستقیم موانع بنیادین هستند (آمیو و همکاران، ۲۰۲۴؛ سینگر و همکاران، ۲۰۲۳).

ساختار سلسله‌مراتبی به دست آمده با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همخوانی دارد، به ویژه در تأکید بر نقش محوری موانع قانونی و استانداردسازی به عنوان رانندگان اصلی (خوک و همکاران، ۲۰۲۴؛ وقار و همکاران، ۲۰۲۴). با این حال، این مطالعه تفاوت قابل توجهی با کارهای قبلی دارد؛ در حالی که مطالعات پیشین مانند سینگر و همکاران (۲۰۲۳) و سلیک و همکاران (۲۰۲۴) اغلب موانع را به طور جداگانه بررسی کرده‌اند، این پژوهش روابط متقابل را در یک مدل یکپارچه و سلسله‌مراتبی ادغام کرده و نشان می‌دهد چگونه موانع راننده تأثیر زنجیره‌ای بر موانع وابسته دارند. علاوه بر این، تمرکز بر اجرای مقررات پیمان پروژه‌های ساختمانی، که کمتر در ادبیات مورد توجه قرار گرفته، ارزش افزوده‌ای ایجاد می‌کند و بینش‌های عملی‌تری برای صنعت ساخت ایران ارائه می‌دهد.

این مدل ISM همچنین بر اهمیت اولویت‌بندی استراتژیک تأکید دارد: حل موانع سطح ۱ (مانند تدوین چارچوب‌های حقوقی و استانداردهای ملی) می‌تواند تأثیر آبشاری مثبتی بر کاهش موانع سطوح بالاتر داشته باشد و پذیرش بلاک‌چین را تسریع کند. با این حال، نادیده گرفتن سطوح میانی می‌تواند تلاش‌ها را ناکارآمد سازد، زیرا چالش‌های فنی و آموزشی بدون زیرساخت قانونی پایدار نمی‌مانند. در نهایت، یافته‌ها پیشنهاد می‌کنند که سیاست‌گذاران و مدیران پروژه باید رویکردی سیستماتیک اتخاذ کنند تا با تمرکز بر رانندگان بنیادین، موانع وابسته را به طور غیرمستقیم کاهش دهند و راه را برای بهره‌برداری از پتانسیل بلاک‌چین در افزایش شفافیت، کاهش اختلافات پیمانی و بهبود پایداری پروژه‌های ساختمانی هموار سازند (کیو و همکاران، ۲۰۲۵؛ وو و همکاران، ۲۰۲۵).



۶. نتیجه گیری

این پژوهش با هدف شناسایی، رتبه بندی و تحلیل روابط متقابل موانع پیاده سازی فناوری بلاک چین در اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی انجام گردید و نتایج آن بینش های ارزشمندی برای صنعت ساخت و ساز ارائه می دهد. فناوری بلاک چین، با قابلیت هایی مانند قراردادهای هوشمند، ثبت غیر قابل تغییر تراکنش ها، خود کار سازی پرداخت ها بر اساس پیشرفت پروژه و افزایش شفافیت زنجیره تأمین، پتانسیل بالایی برای تحول اساسی در مدیریت پیمان دارد. این فناوری نه تنها می تواند اختلافات پیمانی ناشی از تأخیر پرداخت، تفسیر متفاوت شرایط عمومی و خصوصی پیمان یا عدم ردیابی دقیق تغییرات را به حداقل برساند، بلکه به بهبود کارایی عملیاتی، کاهش هزینه های ناشی از تقلب و دستیابی به اهداف پایداری پروژه کمک شایانی می کند (سینگر و همکاران، ۲۰۲۳؛ آمیاو و همکاران، ۲۰۲۴).

با بهره گیری از تحلیل مضمونی بر پایه ادبیات گسترده و مدلسازی ساختاری تفسیری (ISM) با نظرات خبرگان، ۱۵ مانع کلیدی شناسایی و به پنج سطح سلسله مراتبی تقسیم بندی شد. موانع راننده در سطح ۱ (موانع قانونی و مقرراتی، مسائل حاکمیتی و مدیریتی، و عدم استاندارد سازی) به عنوان پیشران های اصلی و تأثیر گذارترین عوامل شناخته شدند که با وابستگی کم، پایه تمام چالش های دیگر را تشکیل می دهند. این سطح بر سطوح میانی تأثیر زنجیره ای دارد و نشان می دهد که بدون تدوین چارچوب های حقوقی شفاف، استانداردهای ملی و مدل های حاکمیتی مناسب، پذیرش بلاک چین در مقیاس گسترده غیر ممکن است. سطوح میانی (پایه ای، اجرایی و کنترلی) نقش پل ارتباطی ایفا می کنند و چالش های فنی، اقتصادی و آموزشی را برجسته می سازند، در حالی که موانع وابسته در سطح ۵ (مقاومت سازمانی و فرهنگی، مشکلات مقیاس پذیری، و ریسک های قراردادی) به عنوان نتایج نهایی و تأثیر پذیرترین عوامل ظاهر می شوند که مستقیماً از سطوح پایین تر نشأت می گیرند (خوک و همکاران، ۲۰۲۴؛ وقار و همکاران، ۲۰۲۴).

این مدل سلسله مراتبی نه تنها با یافته های پژوهش های پیشین همخوانی دارد - که اغلب موانع قانونی و فنی را اولویت دار می دانند - بلکه با ادغام روابط متقابل در یک چارچوب یکپارچه، درک جامع تری از پویایی موانع ارائه می دهد. تفاوت کلیدی این مطالعه با کارهای قبلی مانند بودایان و اوکودا (۲۰۲۳) و سلیک و همکاران (۲۰۲۴)، تمرکز بر زمینه اجرای مقررات پیمان پروژه های ساختمانی ایران است که کمتر مورد بررسی قرار گرفته و بینش های عملی محلی تری فراهم می آورد. نتایج تأکید می کنند که رویکردهای پراکنده برای حل موانع سطحی (مانند آموزش یا کاهش هزینه) ناکافی است و باید با اولویت بندی موانع راننده آغاز شود تا تأثیر آبخاری مثبتی بر کل سیستم ایجاد گردد.

از منظر عملی، یافته های این پژوهش راهنمایی ارزشمند برای ذی نفعان ارائه می دهد: سیاست گذاران باید چارچوب های حقوقی و استانداردهای ملی برای قراردادهای هوشمند تدوین کنند؛ کارفرمایان و پیمانکاران بر سرمایه گذاری در زیرساخت های فنی، آموزش نیروی متخصص و همکاری زنجیره تأمین تمرکز نمایند؛ و مدیران پروژه با برنامه های تغییر فرهنگی، مقاومت سازمانی را کاهش دهند. اجرای این استراتژی ها نه تنها موانع وابسته را به طور غیرمستقیم مرتفع می سازد، بلکه مزیت رقابتی بلندمدتی مانند کاهش هزینه های پروژه تا ۳۰-۲۰ درصد (بر اساس برآوردهای جهانی)، افزایش اعتماد ذی نفعان و دستیابی به پایداری زیست محیطی از طریق ردیابی دقیق مواد ایجاد می کند (کیو و همکاران، ۲۰۲۵؛ وو و همکاران، ۲۰۲۵).

در نهایت، این پژوهش نویدبخش آینده ای دیجیتال و پایدار برای صنعت ساخت و ساز است. با غلبه بر موانع شناسایی شده از طریق رویکردی سیستماتیک و یکپارچه، بلاک چین می تواند به ابزاری کلیدی برای افزایش شفافیت، کارایی و نوآوری در اجرای پیمان تبدیل شود. پذیرش گسترده این فناوری نه تنها چالش های فعلی صنعت مانند تأخیرها، اختلافات و عدم شفافیت را حل خواهد کرد، بلکه ایران را در مسیر توسعه پایدار و رقابت جهانی قرار خواهد داد. اجرای یافته های این مطالعه می تواند نقطه عطفی در تحول دیجیتال صنعت ساختمانی باشد و به رشد اقتصادی، کاهش فساد و حفاظت از منابع کمک شایانی نماید.



منابع

- Agapiou, A. (2023). Overcoming the legal barriers to the implementation of smart contracts in the construction industry: the emergence of a practice and research agenda. *Buildings*, 13(3), 594.
- Al Ali, M., & Khadem, M. (2025). Blockchain adoption in project management: exploring organizational and legal challenges through Slr and Topsis. *Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications*, 8(1).
- Alfalah, G., Al-Sakkaf, A., Mohammed Abdelkader, E., Rawdhan, S., Shaawat, M. E., & Alshamrani, O. (2024). Studying Potentials and Barriers of Successful Implementation of Smart Contracts in Saudi Arabia's Construction Industry. *Advances in Civil Engineering*, 2024(1), 9646556.
- Ameyaw, E. E., Agyekum-Mensah, G., Kumar, B., & Edwards, D. J. (2024). Understanding barriers to the adoption of blockchain-enabled smart contracts in construction projects: perspectives of construction practitioners. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- Ameyaw, E. E., Edwards, D. J., Kumar, B., Thurairajah, N., Owusu-Manu, D. G., & Oppong, G. D. (2023). Critical factors influencing adoption of blockchain-enabled smart contracts in construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(3), 04023003.
- Bandara, D. W. J. W., Wimalaratne, P. L. I., Kulatunga, U., & Wijayasiri, A. (2025). Exploring the potential of blockchain technology adoption in the sri lankan construction industry: opportunities and barriers to implementation. In *Proceedings The 13th World Construction Symposium| August* (p. 731).
- Budayan, C., & Okudan, O. (2023). Assessment of barriers to the implementation of smart contracts in construction projects—evidence from Turkey. *Buildings*, 13(8), 2084.
- Celik, B. G., Abraham, Y. S., & Attaran, M. (2024). Unlocking blockchain in construction: a systematic review of applications and barriers. *Buildings*, 14(6), 1600.
- Ebiloma, D. O., Akinradewo, O., Aigbavboa, C. O., & Ogunbayo, B. F. (2025). Modelling the Impact of Blockchain Technology Barriers on Construction Procurement Systems in Nigeria. *Advances in Civil Engineering*, 2025(1), 6625481.
- Eze, E. C., & Ameyaw, E. E. (2025). Unearthing the barriers to blockchain-enabled smart contract adoption in public–private partnerships projects: a PLS-SEM and hybrid model approach. *Journal of Infrastructure Systems*, 31(3), 04025025.
- Gurgun, A. P., Genc, M. I., Koc, K., & Arditi, D. (2022). Exploring the barriers against using cryptocurrencies in managing construction supply chain processes. *Buildings*, 12(3), 357.
- Karacigan, A., Caglayan, S., Tezel, A., & Ozorhon, B. (2025). Strategic Roadmap to Achieve Successful Implementation of Blockchain Technology in Construction Contract Management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 151(11), 04025185.
- Karunaratne, B. C. T. M., & Abeynayake, D. N. (2023). Potential impacts of blockchain technology implementation on construction contract management in Sri Lanka.
- Khalfan, M., Azizi, N., Haass, O., Maqsood, T., & Ahmed, I. (2022). Blockchain technology: Potential applications for public sector E-procurement and project management. *Sustainability*, 14(10), 5791.
- Khuc, T. Q., Nguyen, V. T., & Do, S. T. (2024). Barriers to the adoption of blockchain technology in the construction industry: a total interpretive structural modeling (T ISM) and DEMAT EL approach. *Construction Innovation*.
- Kiu, M. S., Chau, K. Y., Wong, P. F., Ramayah, T., & Yap, J. B. H. (2025, October). Blockchain adoption in construction supply chains: Drivers, barriers and strategies. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1548, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.



- Mahmudnia, D., Arashpour, M., & Yang, R. (2022). Blockchain in construction management: Applications, advantages and limitations. *Automation in construction*, 140, 104379.
- McNamara, A., & Sepasgozar, S. (2018). Barriers and drivers of Intelligent Contract implementation in construction. *Management*, 143(02517006), 11.
- Okanlawon, T. T., Oyewobi, L. O., & Jimoh, R. A. (2024). Assessment of barriers to the implementation of blockchain technology in construction supply chain management in Nigeria. *Frontiers in Engineering and Built Environment*, 4(1), 59-73.
- Sadeghi, M., Mahmoudi, A., & Deng, X. (2022). Adopting distributed ledger technology for the sustainable construction industry: Evaluating the barriers using Ordinal Priority Approach. *Environmental science and pollution research*, 29(7), 10495-10520.
- Shah, M. A., & Ganesh, U. B. (2025). Delays to distributed ledgers: examining the rationale for leveraging blockchain technology in construction sector. *Global Knowledge, Memory and Communication*.
- Shang, G., Pheng, L. S., & Zhong Xia, R. L. (2024). Adoption of smart contracts in the construction industry: an institutional analysis of drivers and barriers. *Construction Innovation*, 24(5), 1401-1421.
- Singh, A. K., & Kumar, V. P. (2024). Analyzing the barriers for blockchain-enabled BIM adoption in facility management using best-worst method approach. *Built Environment Project and Asset Management*, 14(2), 164-183.
- Singh, A. K., Kumar, V. G. R. P., Hu, J., & Irfan, M. (2023). Investigation of barriers and mitigation strategies to blockchain technology implementation in construction industry: an interpretive structural modeling approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(38), 89889-89909.
- Singh, A. K., Kumar, V. P., Irfan, M., Mohandes, S. R., & Awan, U. (2023). Revealing the barriers of blockchain technology for supply chain transparency and sustainability in the construction industry: an application of pythagorean FAHP methods. *Sustainability*, 15(13), 10681.
- Singh, A. K., Mohandes, S. R., Awuzie, B. O., Omotayo, T., Kumar, V. P., & Kidd, C. (2024). A roadmap for overcoming barriers to implementation of blockchain-enabled smart contracts in sustainable construction projects. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- Waqar, A., Alharbi, L. A., Abdullah Alotaibi, F., Alrasheed, K. A., Khan, A. M., & Almujiabah, H. (2024). Challenges of blockchain implementation in construction. *Journal of Engineering*, 2024(1), 2442345.
- Wu, H., Zhang, P., Li, H., Zhong, B., Fung, I. W., & Lee, Y. Y. R. (2022). Blockchain technology in the construction industry: Current status, challenges, and future directions. *Journal of construction engineering and management*, 148(10), 03122007.
- Wu, H., Zhong, W., Zhong, B., Li, H., Guo, J., & Mehmood, I. (2025). Barrier identification, analysis and solutions of blockchain adoption in construction: a fuzzy DEMATEL and TOE integrated method. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 32(1), 409-426.
- Xu, Y., Chong, H. Y., & Chi, M. (2023). Modelling the blockchain adoption barriers in the AEC industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 30(1), 125-153.