



ارزیابی پیاده‌سازی فناوری زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران با

رویکرد مدل‌سازی ساختاری-تفسیری

علی ناصری پور^{۱*}، مجید پرچمی جلال^۲، محمدرضا کاظمی نجف‌آبادی^۳

۱ کارشناسی ارشد، گروه مدیریت پروژه، دانشگاه پارس، تهران، ایران.

۲ دانشیار، گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳ گروه حقوق بین‌الملل، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

سابقه مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۲۷

چکیده

صنعت نفت و گاز به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین ارکان اقتصادی ایران، با چالش‌های فزاینده‌ای در زمینه بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین و ارتقاء شفافیت و امنیت اطلاعات مواجه است. فناوری زنجیره بلوکی به‌عنوان راهکاری نوظهور، ظرفیت بالایی در تحول فرآیندهای لجستیکی، مدیریت قراردادها و رهگیری دارایی‌ها دارد. با این حال، پیاده‌سازی آن در صنعت نفت و گاز ایران مستلزم شناسایی دقیق موانع و عوامل مؤثر است. هدف این پژوهش، ارائه مدلی ساختاری برای تحلیل و اولویت‌بندی عوامل کلیدی مؤثر بر پذیرش زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران است. بدین منظور، ابتدا با مرور نظام‌مند ادبیات موضوع و تحلیل محتوای مطالعات پیشین، ۱۵ عامل کلیدی شناسایی شد. سپس با بهره‌گیری از نظرات خبرگان دانشگاهی و صنعتی، داده‌ها گردآوری و با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری (ISM) تحلیل شدند. نتایج نشان داد که عواملی نظیر الزام به همکاری مؤثر با شرکای زنجیره تأمین، نیاز به ارتقاء سطح امنیت اطلاعات و افزایش شفافیت و قابلیت ردیابی اطلاعات در بالاترین سطح سلسله‌مراتب قرار داشته و به‌عنوان محرک‌های اصلی تغییر عمل می‌کنند. همچنین، عواملی مانند کمبود زیرساخت فناوری اطلاعات و کمبود داده‌های مرجع بیشترین قدرت نفوذ را دارا بودند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به مدیران و سیاست‌گذاران کمک کند تا با شناخت دقیق نقاط حساس سیستم، مسیر بهینه‌تری برای پیاده‌سازی زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ترسیم کنند.

کلمات کلیدی: فناوری زنجیره بلوکی، صنعت نفت و گاز، زنجیره تأمین پایدار، مدل‌سازی ساختاری-تفسیری

¹ ali.naseripoor@yahoo.com

۱ مقدمه

صنعت نفت و گاز نقشی بنیادین در اقتصاد جهانی دارد. این صنعت با تأمین بخش عمده انرژی اولیه، تأثیر بسزایی بر توسعه اجتماعی و صنعتی ایفا می‌کند (فو و هه^۱، ۲۰۲۴: ۲۳۱۵؛ لو و همکاران^۲، ۲۰۱۹: ۴۱۴۲۶). بر اساس گزارش آماری شرکت بریتیش پترولیوم، نفت و گاز طبیعی در مجموع ۵۷ درصد از مصرف انرژی جهانی را تشکیل می‌دهند. همچنین نرخ رشد سالانه مصرف نفت ۸.۱ درصد و گاز طبیعی ۳ درصد برآورد شده است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۴۰، این منابع همچنان بیش از ۵۰ درصد از ترکیب انرژی جهانی را به خود اختصاص دهند (مونیم و همکاران^۳، ۲۰۲۲). این اتکای بلندمدت، ضرورت بهبود بهره‌وری عملیاتی و نوآوری فناوری را دوچندان می‌کند.

در دو دهه اخیر، این صنعت شاهد تحولات فناوریانه گسترده‌ای بوده است. روش‌های پیشرفته حفاری، تصویربرداری سه‌بعدی لرزه‌ای، مدیریت هوشمند میادین و سامانه‌های خودکار، از جمله این موارد هستند (لاخانپال و ساموئل^۴، ۲۰۱۸؛ لو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴۲۶؛ نچولی و پوخریال^۵، ۲۰۱۹). این نوآوری‌ها صنعت را به سمت دیجیتالی‌شدن و تصمیم‌گیری داده‌محور سوق داده‌اند (لو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴۲۶). با این حال، چالش‌های ساختاری همچنان مانع ارتقای کارایی و تاب‌آوری این صنعت می‌شوند.

نوسانات قیمت جهانی نفت، به‌ویژه افت شدید آن در دهه گذشته، یکی از عوامل اصلی بروز این چالش‌هاست (دیپرسیو^۶، ۲۰۲۰). این کاهش قیمت موجب افت درآمد شرکت‌ها و اجرای سیاست‌های انقباضی مانند تعدیل نیرو و تعویق سرمایه‌گذاری شد (هیلر^۷، ۲۰۱۹؛ هندسکامب و همکاران^۸، ۲۰۱۶). کاهش سودآوری، ناکارآمدی‌های مدیریتی سنتی را آشکار کرد. این شیوه‌ها غالباً با هزینه‌های زیاد و واکنش‌گند به تغییرات بازار همراه هستند (لو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴۲۶). در دوره‌های سودآوری زیاد، شرکت‌ها انگیزه چندانی برای اصلاح فرآیندها نداشتند

¹ Fu & He² Lu et al.³ Munim et al.⁴ Lakhanpal & Samuel⁵ Nechully & Pokhriyal⁶ Depersio⁷ Hiller⁸ Handscomb et al.

(نچولی و پوخریال، ۲۰۱۹). همین امر باعث عقب‌ماندگی آن‌ها در پذیرش فناوری‌های نوین نسبت به سایر صنایع شد (دوتا و بانرجی^۱، ۲۰۱۸: ۱).

امروزه بهینه‌سازی زنجیره تأمین، یک اولویت راهبردی در این صنعت محسوب می‌شود. دیجیتال‌سازی زنجیره تأمین، امکان یکپارچگی میان عملیات بالادستی، میان‌دستی و پایین‌دستی را فراهم می‌کند. این تحول موجب ارتقای شفافیت، کاهش تأخیرها و بهبود همکاری میان ذی‌نفعان می‌شود (خان و همکاران^۲، ۲۰۲۱). فناوری زنجیره بلوکی به عنوان یک ابزار نوظهور، ظرفیت بالایی برای پشتیبانی از این تحول دارد (ای، ۲۰۲۰؛ لاکانپال و ساموئل، ۲۰۱۸).

زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز می‌تواند فرآیندهایی نظیر تجارت، مدیریت قراردادها و رهگیری دارایی‌ها را ساده‌سازی کند. توانایی این فناوری در ذخیره ایمن داده‌ها، کاغذبازی را کاهش و امنیت تراکنش‌ها را افزایش می‌دهد (لو و همکاران، ۲۰۱۹). ادغام زنجیره بلوکی با حسگرهای هوشمند، زمان فرآیندها و هزینه‌های عملیاتی را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد (EY، ۲۰۲۰). این فناوری در تمام بخش‌ها، از اکتشاف تا توزیع، فرصت‌هایی برای بهبود بهره‌برداری از دارایی‌ها و ارتقای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند. برای مثال، در بخش بالادستی، زنجیره بلوکی تبادل داده‌های زمین‌شناسی را میان شرکا تسهیل کرده و تأخیر در اکتشاف را کاهش می‌دهد. در بخش‌های پایین‌دستی نیز امکان مشاهده بلادرنگ جابه‌جایی محموله‌ها و تأیید اصالت محصول فراهم می‌شود (لو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴۲۸؛ لاکانپال و ساموئل، ۲۰۱۸).

نیازی^۳ (۲۰۱۸) بیان می‌کند که در زمان کاهش قیمت نفت، هزینه‌های پروژه‌های بالادستی به‌طور نامتناسبی افزایش می‌یابد. این امر فشار بر شرکت‌ها را برای ارتقای بهره‌وری در بخش پایین‌دستی بیشتر می‌کند. در چنین شرایطی، زنجیره بلوکی با تسریع تصمیم‌گیری و بهبود دقت داده‌ها، سودآوری را افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش الزامات قانونی، ارائه سوابق شفاف و غیرقابل دستکاری، اعتماد میان شرکا و نهادهای نظارتی را تقویت می‌کند.

صنعت نفت و گاز، ستون فقرات اقتصاد و منبع اصلی درآمدهای صادراتی ایران است؛ از این رو، به‌کارگیری زنجیره بلوکی در آن یک فرصت راهبردی محسوب می‌شود. این صنعت با چالش‌های متعددی از جمله محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها، دسترسی محدود به نظام مالی بین‌المللی،

¹ Dutta & Banerjee

² Khan et al.

³ Niazi

ناکارآمدی در هماهنگی زنجیره تأمین و کمبود شفافیت در فرآیندهای معاملاتی مواجه است. همچنین زیرساخت‌های فرسوده و کندی در پذیرش فناوری‌های نوین اطلاعاتی، توان رقابتی این صنعت را در بازارهای جهانی و در واکنش به تغییرات بازار محدود ساخته است. با توجه به نقش راهبردی نفت و گاز در توسعه اقتصادی ایران و ضرورت ارتقای بهره‌وری عملیاتی، افزایش شفافیت، امنیت و همکاری در سراسر زنجیره تأمین امری حیاتی است. ظرفیت‌های زنجیره بلوکی در پاسخ به این نیازها -در کنار همسویی با روندهای جهانی دیجیتال‌سازی و پایداری- آن را به یک توانمندساز کلیدی برای رقابت‌پذیری آینده این بخش بدل می‌کند. از این رو، شناسایی عوامل کلیدی موفقیت در پیاده‌سازی زنجیره بلوکی در زنجیره تأمین صنعت نفت و گاز ایران و تحلیل نظام‌مند روابط میان این عوامل، گامی ضروری در تدوین یک نقشه راه کارآمد برای پذیرش این فناوری خواهد بود.

بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که چالش‌های متعددی بر سر راه پذیرش زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز وجود دارد. مهم‌ترین موانع شناسایی‌شده شامل کمبود تخصص در زمینه فناوری زنجیره بلوکی، عدم همکاری مؤثر میان شرکای زنجیره تأمین و دغدغه‌های مرتبط با هزینه‌های اجرایی است. در شرایطی که صنعت نفت و گاز ایران نیازمند بهینه‌سازی هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری است، عدم بهره‌گیری از فناوری‌های نوین می‌تواند منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی، کاهش سودآوری و کاهش رقابت‌پذیری در بازارهای بین‌المللی شود. با توجه به این چالش‌ها، نیاز به یک چارچوب تصمیم‌گیری جامع جهت ارزیابی راهبردهای پذیرش زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران احساس می‌شود. تاکنون مطالعات اندکی به بررسی دقیق موانع و عوامل مؤثر بر پذیرش زنجیره بلوکی در این صنعت پرداخته‌اند و همچنان خلأهای پژوهشی در این حوزه وجود دارد. در این راستا، پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و بهره‌گیری از تجربیات سایر کشورها، به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل کلیدی تأثیرگذار بر پذیرش زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران بپردازد. نتایج این پژوهش می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای سیاست‌گذاران، مدیران شرکت‌های نفت و گاز و سایر ذی‌نفعان باشد تا با شناخت بهتر موانع و فرصت‌های پذیرش زنجیره بلوکی، راهبردهای مناسبی برای پیاده‌سازی این فناوری در صنعت نفت و گاز ایران تدوین کنند.

۲ پیشنهاد تحقیق

صنعت نفت و گاز در به‌کارگیری فناوری‌هایی نظیر شکست هیدرولیکی و تصویربرداری لرزه‌ای پیشرفته، بسیار نوآورانه عمل کرده است. با این حال، این صنعت در زمینه مدیریت و پذیرش فناوری‌های دیجیتال جدید، رویکردی محافظه‌کارانه و کند دارد (لاکانپال و ساموئل، ۲۰۱۸). این صنعت معمولاً به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود: بالادستی، میان‌دستی و پایین‌دستی (شوکلا و کرکی^۱، ۲۰۱۶: ۴۹۰). بر اساس گفته‌های خان و همکاران (۲۰۱۷)، بخش بالادستی شامل اکتشاف و توسعه منابع نفت و گاز از جمله حفاری و تولید است. بخش میان‌دستی مربوط به حمل‌ونقل و بازاریابی منابع بوده و بخش پایین‌دستی شامل پالایش، ذخیره‌سازی و فروش فرآورده‌ها می‌شود. دوتا و بانرجی (۲۰۱۸) چالش‌های خاص هر بخش را تبیین کرده‌اند. در بخش بالادستی، ردیابی تجهیزات متعدد دشوار و پرهزینه است. در بخش میان‌دستی، خطر جعل تراکنش‌ها در قراردادهای طرف‌ثالث وجود دارد و در بخش پایین‌دستی، امنیت و یکپارچگی داده‌ها از نگرانی‌های اصلی محسوب می‌شود.

ماهیت داده‌محور و کاغذبازی گسترده در این صنعت موجب اتلاف زمان و هزینه می‌شود. همچنین، تعدد ذی‌نفعان در زنجیره تأمین، اعتماد متقابل را دشوار و روند تراکنش‌ها را کند می‌سازد (لو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴۲۶). فناوری زنجیره بلوکی راهکاری برای حل این چالش‌ها ارائه می‌دهد (دوتا و بانرجی، ۲۰۱۸: ۱). برای نمونه، قراردادهای هوشمند با اجرای خودکار توافقات، نیاز به واسطه‌ها و احتمال تقلب را کاهش می‌دهند (کریستیدیس و دوتسیکیوتیس^۲، ۲۰۱۶: ۲۲۹۲). از سوی دیگر، تغییرناپذیری داده‌ها پس از تأیید، یک مزیت کلیدی در این صنعت پیچیده است (لو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴۳۱). همچنین دیجیتالی‌سازی اسناد تجاری مانند سفارش‌های خرید و رسیدها، ثبات زنجیره تأمین را افزایش می‌دهد (کوپن و همکاران^۳، ۲۰۱۸).

یکی دیگر از کاربردهای مهم زنجیره بلوکی، تسهیل پرداخت‌های برون‌مرزی است. با توجه به حجم و ارزش بالای معاملات بین‌المللی نفت، استفاده از ارزهای دیجیتال می‌تواند زمان انتقال

¹ Shukla & Karki

² Christidis & Devetsikiotis

³ Koeppen et al.

پول و مراحل تسویه را کاهش دهد (لو و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر این، شفافیت زنجیره بلوکی به رعایت قوانین در مناقصات کمک کرده و از ارائه پیشنهادات نامعتبر جلوگیری می‌کند.

در سطح عملیاتی، پروژه‌هایی مانند VAKT گام‌های مؤثری برداشته‌اند. این سکو که توسط شرکت‌های بزرگی چون، ING, Mercuria, Koch, Gunvor, Shell, Equinor, Chevron, Reliance و Total حمایت می‌شود، به دنبال ایجاد نخستین بستر زنجیره بلوکی در سطح سازمانی برای تجارت کالا است (VAKT، ۲۰۲۰). همچنین کنسرسیوم‌های آمریکایی نظیر Chevron و Exxon در پی استانداردسازی این فناوری هستند (گالاگر و چمپیون^۱، ۲۰۱۹: ۵۸۶). با وجود این پتانسیل‌ها، نرخ پیاده‌سازی واقعی زنجیره بلوکی همچنان پایین است و بسیاری از پروژه‌ها در مراحل آزمایشی متوقف مانده‌اند.

پژوهش‌های متعددی در ایران به بررسی سازوکار استفاده در فناوری زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز پرداخته‌اند. رضوی و کاشانی (۱۴۰۴) با هدف مقابله با محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های اقتصادی، به ارائه الگوی فرایندی برای تسویه مالی بین‌المللی درآمدهای ارزی نفت با استفاده از رمزارز مشترک بر بستر زنجیره بلوکی پرداختند. پژوهش با بهره‌گیری از تحلیل مضمون و مصاحبه با خبرگان حوزه نفت و رمزارزها، ضمن بررسی سیستم سوئیفت و ظرفیت‌های زنجیره بلوکی، به طراحی سیستمی برای بازگرداندن درآمدهای نفتی تحریم‌شده اختصاص یافت. نتایج نشان داد استفاده از رمزارز توکنیزه‌شده می‌تواند جایگزینی مؤثر برای کانال‌های مالی محدودشده باشد و فرصتی برای همکاری با کشورها و نهادهای مشابه در شرایط تحریم فراهم آورد.

روشنی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با هدف ارائه الگوی استقرار زنجیره بلوکی در قراردادهای بین‌المللی صنعت نفت و گاز، به بررسی پیشایندها و پسایندهای این فناوری پرداختند. با استفاده از روش‌های کیفی (تحلیل محتوای اسناد) و کمی (پرسشنامه و تحلیل معادلات ساختاری)، داده‌هایی از مدیران و خبرگان فناوری اطلاعات شرکت گاز آذربایجان شرقی گردآوری شد. نتایج نشان داد عوامل سازمانی، محیطی، فنی و مداخله‌گر نقش مهمی در استقرار زنجیره بلوکی دارند. این مطالعه با ارائه الگویی کاربردی، مسیر مناسبی برای ارزیابی آمادگی پذیرش زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز فراهم می‌سازد.

¹ Gallacher & Champion

البرز و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی با رویکرد آمیخته، الگویی پنج‌عاملی برای استفاده از فناوری زنجیره بلوکی در تجارت بین‌الملل مشتقات نفتی ارائه کردند. داده‌ها از طریق مصاحبه با خبرگان و تحلیل عاملی ساختاری جمع‌آوری و تحلیل شد. عوامل اصلی شناسایی شده شامل شرایط علی، پدیده محوری، راهبردها، شرایط زمینه‌ای و شرایط مداخله‌گر بودند. نتایج نشان داد این مدل توانایی پیش‌بینی بخشی از واریانس تجارت بین‌الملل و بهبود عرضه مشتقات نفتی را دارد. این پژوهش با ارائه چارچوبی کاربردی، نقش زنجیره بلوکی را در بهینه‌سازی تجارت بین‌المللی نفت تقویت می‌کند.

نیلفروشان و ایازی (۱۳۹۹) در پژوهشی با رویکرد توصیفی-کاربردی به ارزیابی میزان آمادگی حوزه‌های مختلف فعالیت شرکت‌های نفت و گاز برای پذیرش فناوری زنجیره بلوکی پرداختند. آن‌ها با استفاده از نظرات خبرگان و مقایسات زوجی، چارچوبی برای سنجش آمادگی تدوین کردند. نتایج نشان داد که بالاترین سطح آمادگی مربوط به حوزه تجارت انرژی در فروش به سایر شرکت‌هاست و پس از آن فروش به مشتری و توسعه برنامه‌های کاربردی قرار دارند. این مطالعه از نخستین گام‌ها در تحلیل آمادگی زنجیره بلوکی در صنایع سنگین به شمار می‌رود و مبنای مطالعات بعدی محسوب می‌شود.

بررسی پیشینه پژوهش و مرور نظام‌مند ادبیات موضوع نشان می‌دهد که عوامل کلیدی مؤثر بر یکپارچه‌سازی فناوری زنجیره بلوکی در زنجیره تأمین سازمان‌ها به طور کلی در دو دسته اصلی انگیزه‌ها و موانع قابل طبقه‌بندی هستند. انگیزه‌ها به‌عنوان محرک‌های اصلی، سازمان‌ها را به سمت پذیرش و به‌کارگیری این فناوری سوق می‌دهند و عمدتاً شامل فشارهای ناشی از محیط کسب‌وکار، ضرورت ارتقای شفافیت و امنیت و نیاز به بهبود کارایی عملیاتی می‌شوند. در مقابل، موانع به‌عنوان چالش‌ها و محدودیت‌هایی عمل می‌کنند که می‌توانند سرعت یا میزان پذیرش این فناوری را کاهش دهند؛ این موانع شامل مشکلات فنی و زیرساختی، کمبود منابع انسانی متخصص، ضعف در هماهنگی میان شرکای زنجیره تأمین و محدودیت‌های ناشی از بلوغ ناکافی فناوری هستند. در این پژوهش، با اتکا به یافته‌های پژوهش‌های پیشین و تحلیل محتوای مطالعات معتبر داخلی و خارجی، در مجموع ۱۵ عامل کلیدی به‌عنوان شاخص‌های اصلی ارزیابی پیاده‌سازی فناوری زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران شناسایی شد. این عوامل به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوانند ابعاد مختلف فنی، سازمانی و محیطی مرتبط با پذیرش و

استقرار زنجیره بلوکی را پوشش دهند. تعریف دقیق و منبع هر یک از این عوامل در جدول ۱ ارائه شده است تا مبنایی شفاف برای مراحل بعدی تحلیل و مدل سازی فراهم شود.

جدول ۱. عوامل پذیرش فناوری زنجیره بلوکی در زنجیره تأمین صنعت نفت و گاز

شناسه	عوامل پذیرش	تعریف و منبع
E _۱	الزام به همکاری مؤثر با شرکای زنجیره تأمین	فشار ناشی از ضرورت همکاری برای تحقق اهداف مشترک در پیاده سازی زنجیره بلوکی. صابری و همکاران (۲۰۱۹) تأکید کرده اند که اصلی ترین فشار در زنجیره تأمین، نیاز به تعامل سازنده با شرکا به منظور بهره برداری کامل از این فناوری است.
E _۲	فشارهای وارده از سوی مشتریان	مشتریان در سال های اخیر توجه ویژه ای به پایداری داشته و تمایل دارند محصولات پایدار خریداری کنند و شخصاً صحت این موضوع را ارزیابی نمایند (نیکولاکیس و همکاران ^۱ ، ۲۰۱۸). این رویکرد، شرکت ها را به استفاده از زنجیره بلوکی ترغیب می کند، زیرا این فناوری امکان رهگیری و اعتبارسنجی محصولات را در کل زنجیره تأمین فراهم می سازد (آصف و همکاران ^۲ ، ۲۰۱۹؛ کوهی زاده و همکاران، ۲۰۲۱).
E _۳	فشارهای ناشی از رقابت بازار	بازار نیز محرک مهمی در پذیرش زنجیره بلوکی است. در بخش نفت و گاز، سازمان ها به دلیل بی توجهی به پایداری، با فشارهای رقابتی مواجهند (پارک و همکاران ^۳ ، ۲۰۱۸). زنجیره بلوکی می تواند از مرحله طراحی تا حمل و نقل، انتشار کربن را کاهش داده و موجب تغییر راهبردهای سازمان ها برای جلب رضایت مشتریان شود (صابری و همکاران ^۴ ، ۲۰۱۹؛ د سوزا جیور و همکاران ^۵ ، ۲۰۱۹).
E _۴	نیاز به ارتقاء سطح امنیت اطلاعات	امنیت اطلاعات از مهم ترین انگیزه های استفاده از زنجیره بلوکی است. این فناوری با استفاده از زمان مهر ^۶ در اسناد دیجیتال و الگوریتم های اجماع مانند «اثبات کار» و «اثبات سهام»، دسترسی مهاجمان را محدود می کند. همچنین، تنها دارندگان کلید خصوصی به دارایی های دیجیتال دسترسی دارند (رحمادیکا و همکاران ^۷ ، ۲۰۱۸؛ بوپرو ^۸ ، ۲۰۱۸).

¹ Nikolakis et al.

² Asif et al.

³ Park et al.

⁴ Saberi et al.

⁵ de Sousa Jabbour et al.,

⁶ Timestamp

⁷ Rahmadika et al.

⁸ Boireau

E _۵	ضرورت کاهش هزینه‌های عملیاتی	ساختار غیرمتمرکز زنجیره بلوکی نیاز به واسطه‌های مالی را حذف کرده، سرعت تراکنش‌ها را افزایش داده و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد (رحمدیکا و همکاران ^۱ ، ۲۰۱۸). شفافیت ایجادشده نیز ممیزی‌های پرهزینه را غیرضروری کرده و با ارائه مستقیم داده‌های شفاف، از هزینه‌های اضافی جلوگیری می‌کند (کرازبی و همکاران، ۲۰۱۶).
E _۶	نیاز به افزایش قابلیت ردیابی و شفافیت اطلاعات	رهگیری جریان کالا و اطلاعات در زنجیره تأمین یک مزیت رقابتی کلیدی است (کاستا و همکاران ^۲ ، ۲۰۱۳). ادغام زنجیره بلوکی، شفافیت و قابلیت ردیابی را بهبود بخشیده و مشتریانی را جذب می‌کند که خواهان اطلاعات دقیق‌تری درباره محصولات هستند (صابری و همکاران، ۲۰۱۹).
E _۷	کمبود نیروی انسانی متخصص در زمینه فناوری زنجیره بلوکی	فقدان مهارت‌های لازم یکی از موانع اصلی پذیرش است. باوجود توجه گسترده به زنجیره بلوکی، تعداد افراد با درک عمیق از این فناوری اندک بوده و طراحان و توسعه‌دهندگان فعال در این حوزه محدود هستند (کلیرز ^۳ ، ۲۰۱۷).
E _۸	فقدان ابزارهای لازم برای پیاده‌سازی فناوری زنجیره بلوکی	بسیاری از سازمان‌ها فاقد زیرساخت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری کافی برای پیاده‌سازی زنجیره بلوکی هستند. این امر مستلزم سرمایه‌گذاری و فراهم‌سازی دسترسی بلادرنگ برای کاربران در مناطق مختلف است (جبار و همکاران ^۴ ، ۲۰۲۱). اجرای الگوریتم‌هایی مانند «اثبات کار» نیازمند سخت‌افزارهای تخصصی است (کوکو و همکاران ^۵ ، ۲۰۱۷)، هرچند شبکه‌های خصوصی زنجیره بلوکی این نیاز را کاهش می‌دهند (آگروال و همکاران ^۶ ، ۲۰۲۱).
E _۹	نبود داده‌های مرجع برای الگوبرداری در اجرای فناوری زنجیره بلوکی	فقدان مدل‌های موفق کسب‌وکار و استانداردهای مرجع، مانع توسعه زنجیره بلوکی در سازمان‌هاست (منگلا و همکاران ^۷ ، ۲۰۱۷).
E _{۱۰}	آگاهی پایین مشتریان نسبت به	آگاهی محدود مشتریان از کاربردهای زنجیره بلوکی مانع پذیرش آن است. ضعف ارتباط میان شرکای زنجیره و اختلاف نظر در اولویت‌ها، موجب ناآگاهی مشتریان نسبت به

¹ Rahmadika et al.² Costa et al.³ Glaser⁴ Jabbar et al.⁵ Cocco et al.⁶ Agrawal et al.⁷ Mangla et al.

فناوری زنجیره بلوکی	پهچیدگی ذاتی این فناوری نیز این چالش را تشدید می کند (لوترا و همکاران ^۱ ، ۲۰۱۶).
E _{۱۱} ضعف در همکاری میان شرکای زنجیره تأمین	موفقیت پیاده سازی زنجیره بلوکی مستلزم تعهد و همسرانی اطلاعات میان شرکا است. برخی سازمان ها از همسرانی داده ها خودداری می کنند، زیرا آن را تهدیدی برای مزیت رقابتی خود می دانند (سایوگو و همکاران، ۲۰۱۵). این عدم همکاری مانع گسترش فناوری ای است که ذاتاً بر شفافیت و قابلیت ردیابی متکی است (صابری و همکاران، ۲۰۱۹؛ سرکیس و ژو ^۲ ، ۲۰۱۸).
E _{۱۲} عدم وجود هماهنگی کافی در زنجیره تأمین	زنجیره بلوکی نیازمند تبادل دقیق اطلاعات و منابع است. فقدان هماهنگی، یکی از موانع اصلی محسوب می شود (صابری و همکاران، ۲۰۱۹). هماهنگی مستلزم آگاهی از نقش، زمان بندی و اهداف هر بخش است (رایت، ۲۰۱۵). ساختارهای سلسله مراتبی و اختلاف اولویت ها این هماهنگی را تضعیف می کنند (کوهی زاده و همکاران، ۲۰۲۱)، هرچند حتی هماهنگی در جزئی ترین امور می تواند اثرگذار باشد (دوبروونیک و همکاران ^۳ ، ۲۰۱۸).
E _{۱۳} بلوغ ناکافی فناوری زنجیره بلوکی در صنعت	نوپا بودن زنجیره بلوکی، چالش هایی چون محدودیت مقیاس پذیری، کاربرپسندی و تعامل پذیری ایجاد کرده است (کازینو و همکاران ^۴ ، ۲۰۱۹). در زنجیره بلوکی های عمومی مشکلاتی مانند تأخیر و ظرفیت پایین پردازش تراکنش ها مشهود است (دباغ و همکاران ^۵ ، ۲۰۲۱). این محدودیت ها هرچند موقتی اند، نیازمند توسعه بیشتر فناوری هستند (مندلینگ و همکاران ^۶ ، ۲۰۱۸؛ گلیرز، ۲۰۱۷) و افزایش اندازه بلوک یکی از راهکارهای پیشنهادی است (داسگوپتا و همکاران ^۷ ، ۲۰۱۹).
E _{۱۴} محدودیت زیرساخت های فناوری اطلاعات	اجرای موفق زنجیره بلوکی مستلزم زیرساخت قوی است. هزینه های نگهداری ممکن است از هزینه خرید بیشتر باشد. محدودیت اندازه بلوک، توان پردازشی و ظرفیت تراکنش ها می تواند منجر به افزایش مصرف انرژی در هر تراکنش شود. افزایش حجم تراکنش ها نیز نگرانی هایی درباره اتلاف منابع ایجاد می کند (کوگو و همکاران، ۲۰۱۷).

¹ Luthra et al.² Sarkis & Zhu³ Wright⁴ Dobrovnik et al.⁵ Casino et al.⁶ Dabbagh et al.⁷ Mendling et al.⁸ Dasgupta et al.

E _{۱۵}	نگرانی‌های موجود در زمینه امنیت فناوری زنجیره بلوکی	با وجود رمزنگاری قوی و ساختار غیرمتمرکز، زنجیره بلوکی همچنان در معرض تهدیدهای امنیتی است. یی-هومو و همکاران ^۱ (۲۰۱۶) گزارش کرده‌اند که مواردی از نقض امنیتی، به‌ویژه در حوزه ارزهای دیجیتال، رخ داده است. آسیب‌پذیرترین بخش‌ها شامل کیف پول‌ها، برنامه‌های غیرمتمرکز و صرافی‌ها هستند (داسگوپتا و همکاران، ۲۰۱۹). ارتباط زنجیره بلوکی با وب تاریک نیز بر نگرش منفی به آن افزوده است (صابری و همکاران، ۲۰۱۹). گرچه کاربردهای قانونی آن رشد یافته، برخی سازمان‌ها همچنان برای اجتناب از پیچیدگی‌های قانونی، در پذیرش آن مرددند (هیراموتو و تسوچیا ^۲ ، ۲۰۲۰؛ تردیننیک ^۳ ، ۲۰۱۹).
-----------------	---	--

۳ مبانی نظری

زنجیره بلوکی یک دفتر کل توزیع‌شده و مشترک است که امکان ثبت تراکنش‌ها و ردیابی دارایی‌ها را در یک شبکه تجاری فراهم می‌کند. این دارایی‌ها می‌توانند هم ملموس باشند، مانند خودرو، خلنه یا زمین و هم ناملموس مانند حق مالکیت معنوی یا اختراعات. در بستر زنجیره بلوکی، هر نوع ارزشی به‌صورت دیجیتال تبادل و پایش می‌شود. این فرآیند به کاهش هزینه‌ها و ریسک‌های معاملاتی کمک شایانی می‌کند (گوپتا^۴، ۲۰۱۷). ویژگی اصلی این فناوری، ثبت تغییرناپذیر و ردیابی‌شونده تراکنش‌هاست که مانع از هرگونه تقلب یا دست‌کاری در اطلاعات می‌شود (ایانسیتی و لاخانی^۵، ۲۰۱۷: ۱۱۸). اگرچه بیت‌کوین شناخته‌شده‌ترین کاربرد این فناوری در حوزه رمزارزهاست (کرازبی و همکاران^۶، ۲۰۱۶: ۷۱)، اما پتانسیل زنجیره بلوکی فراتر از این حوزه است. زنجیره بلوکی یک «فناوری زیرساختی» محسوب می‌شود که می‌تواند بنیان‌های اقتصادی را دگرگون کند؛ هرچند این تحول فرآیندی زمان‌بر خواهد بود (ایانسیتی و لاخانی، ۲۰۱۷: ۱۲۱). پیاده‌سازی موفق این فناوری نیازمند ادغام با سایر ابزارهای نوین مانند کلان‌داده‌ها^۷ و رایانش ابری است. این ضرورت، پیاده‌سازی زنجیره بلوکی را به امری پیچیده‌تر

¹ Yli-Huumo et al.

² Hiramoto & Tsuchiya

³ Tredinnick

⁴ Gupta

⁵ Iansiti & Lakhani

⁶ Crosby et al.

⁷ Big Data

از یک ترکیب ساده فناورانه تبدیل کرده است (لو و همکاران، ۲۰۱۹: ۴۱۴۳۱). به همین دلیل، روند پذیرش آن آهسته ولی پیوسته در حال پیشرفت است.

دو عامل اصلی بر روند توسعه یک فناوری زیربنایی مانند زنجیره بلوکی و کاربردهای تجاری آن تأثیر می‌گذارند: نوآوری و پیچیدگی (ایانسیتی و لاکانی، ۲۰۱۷: ۱۲۱). نوآوری به میزان تازگی کاربرد اشاره دارد؛ به این معنا که هرچه یک فناوری جدیدتر باشد، نیاز به آموزش و آگاهی‌بخشی برای درک ارزش آن بیشتر می‌شود. پیچیدگی نیز به سطح هماهنگی میان عوامل محیطی و تعداد ذی‌نفعان درگیر در استفاده از فناوری اشاره دارد. برای نمونه، زمانی که تنها یک فرد در یک شبکه اجتماعی عضو باشد، ارزش چندانی ایجاد نمی‌شود؛ ولی با افزایش تعداد کاربران، ارزش شبکه افزایش می‌یابد. این موضوع با نظریه «اثر شبکه‌ای» توجیه می‌شود که بیان می‌کند هرچه تعداد کاربران یک سکو بیشتر باشد، ارزش آن برای تمام اعضا نیز افزایش می‌یابد (پارکر و ون آلستین^۱، ۲۰۰۵: ۱۴۹۴).

یانگ^۲ (۲۰۱۹) سه نسل از زنجیره بلوکی را مطرح می‌کند. زنجیره بلوکی ۱.۰ بر کاربردهای مالی و رمزارزها تمرکز دارد؛ در حالی که زنجیره بلوکی ۲.۰ حوزه‌هایی نظیر قراردادهای هوشمند و اتوماسیون دیجیتال را شامل می‌شود. در مقابل، زنجیره بلوکی ۳.۰ به‌عنوان پیشرفته‌ترین نسل این فناوری، بر کاربردهای سازمانی و نهادی تمرکز دارد و در سناریوهای تجاری واقعی استفاده می‌شود (ماسا و موری^۳، ۲۰۲۰: ۹۹). مدیریت زنجیره تأمین یکی از نمونه‌های بارز زنجیره بلوکی ۳.۰ است که در آن شفافیت و تاب‌آوری از طریق ویژگی‌های ذاتی زنجیره بلوکی محقق می‌شود. از آنجا که تمرکز اصلی صنعت نفت و گاز بر کاربردهای سازمانی و هماهنگی میان‌بخشی است، به‌کارگیری این فناوری در این صنعت کاملاً با ویژگی‌های نسل سوم زنجیره بلوکی هم‌راستا است (مونیم و همکاران، ۲۰۲۲).

۴ روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از حیث روش انجام، در گروه پژوهش‌های توصیفی-پیمایشی قرار می‌گیرد. این مطالعه با توجه به نحوه جمع‌آوری داده‌ها، از نوع غیرآزمایشی بوده و

^۱ Parker & Van Alstyne

^۲ Young

^۳ Maesa & Mori

به دلیل بررسی متغیرها در یک بازه زمانی مشخص، در زمره پژوهش‌های مقطعی محسوب می‌شود. برای تدوین مبانی نظری و پیشینه پژوهش، از روش کتابخانه‌ای استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصل از مرور نظام‌مند ادبیات، ۱۵ عامل کلیدی موفقیت در پیاده‌سازی زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران شناسایی شد، که جزئیات آن در جدول ۱ ارائه شده است. پس از تأیید اعتبار صوری این عوامل توسط خبرگان دانشگاهی، پرسشنامه ماتریسی برای جمع‌آوری نظرات تخصصی تدوین شد. مطابق با دیدگاه ساعتی^۱ (۱۹۹۰)، در روش‌های خبره‌محور انتخاب ۱۵ نفر به عنوان نمونه کفایت می‌کند. بر این اساس، خبرگان پژوهش شامل متخصصان دانشگاهی و مدیران ارشد زنجیره تأمین صنعت نفت بودند. این افراد دارای کمینه مدرک کارشناسی ارشد و بیش از پنج سال سابقه تخصصی در حوزه زنجیره بلوکی و مدیریت زنجیره تأمین بودند.

تحلیل داده‌ها با استفاده از روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری (ISM)^۲ انجام شد. این روش که نخستین بار وارفیلد (۱۹۷۳) معرفی کرد، یک فرآیند یادگیری تعاملی برای شناسایی روابط میان متغیرهاست. ماهیت تفسیری این روش به قضاوت گروهی خبرگان در تعیین نوع روابط بستگی دارد و جنبه ساختاری آن، چارچوبی کلی از پیوندهای موجود در سیستم را ارائه می‌دهد. از مزایای اصلی این روش می‌توان به ارائه دیدگاه کل‌نگر، شناسایی روابط پنهان و تسهیل توافق جمعی در سیستم‌های پیچیده اشاره کرد. (اصغرپور سرشکه و همکاران، ۱۴۰۳: ۶)

- در نخستین گام از روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری، ماتریس خودتعاملی ساختاری (SSIM) تشکیل می‌شود. از این ماتریس برای شناسایی و تعیین روابط بین شاخص‌ها استفاده می‌شود. در این مرحله، خبرگان معیارها را به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه کرده و نوع ارتباط آن‌ها را بر اساس چهار نماد تعریف‌شده مشخص می‌کنند: نماد V بیانگر آن است که عامل ii سطر موجب تحقق عامل ستون jj می‌شود؛ نماد A نشان‌دهنده آن است که عامل ستون jj موجب تحقق عامل سطر ii می‌شود؛ نماد X به معنای وجود رابطه دوطرفه بین دو عامل است؛ و نماد O حاکی از عدم وجود ارتباط میان دو عامل می‌باشد.
- در گام دوم، ماتریس دستیابی اولیه بر اساس نتایج حاصل از ماتریس SSIM ایجاد می‌شود. تبدیل داده‌ها از ماتریس SSIM به این ماتریس بر مبنای قواعد مشخص انجام می‌شود؛ به عنوان مثال، اگر خانه $(i,j)(i,j)$ در ماتریس SSIM دارای نماد V باشد، در ماتریس دستیابی

¹ Saaty² Interpretive Structural Modelling

مقدار ۱ در خانه $(i,j)(i,j)$ و مقدار صفر در خانه $(j,i)(j,i)$ ثبت می‌شود. به همین ترتیب، برای $Amad$ ، مقدار صفر در خانه $(i,j)(i,j)$ و مقدار ۱ در خانه $(j,i)(j,i)$ درج می‌گردد. در حالت نماد X ، هر دو خانه متناظر مقدار ۱ خواهند داشت و در حالت O ، هر دو خانه متناظر مقدار صفر خواهند بود.

- سومین گام به تشکیل ماتریس دستیابی نهایی اختصاص دارد. در این مرحله، ماتریس دستیابی اولیه با لحاظ کردن روابط ثانویه و زنجیره‌ای بین متغیرها اصلاح و تکمیل می‌شود. این فرآیند منجر به افزودن مسیرهای دسترسی غیرمستقیم به ماتریس شده و برخی از مقادیر صفر به عدد ۱ تغییر می‌یابند تا سازگاری و جامعیت روابط تضمین شود.
- در گام چهارم، سطح‌بندی شاخص‌ها صورت می‌پذیرد. برای این منظور، ابتدا مجموعه قابل دستیابی^۱ و مجموعه مقدم^۲ برای هر شاخص بر اساس ماتریس دستیابی نهایی استخراج می‌شوند. مجموعه قابل دستیابی شامل تمام عواملی است که از عامل مورد نظر قابل دستیابی هستند و مجموعه مقدم شامل عواملی است که می‌توانند به عامل مذکور دسترسی داشته باشند. سپس با محاسبه اشتراک این دو مجموعه، مجموعه مشترک به دست می‌آید. چنانچه مجموعه مشترک با مجموعه قابل دستیابی یکسان باشد، آن شاخص در بالاترین سطح اولویت قرار می‌گیرد. با حذف این شاخص‌ها و تکرار فرآیند، سطوح سایر شاخص‌ها نیز تعیین می‌گردد.
- در نهایت، در گام پنجم، مدل ساختاری-تفسیری ترسیم می‌شود. این مدل بر مبنای سطوح تعیین‌شده و روابط موجود در ماتریس دستیابی نهایی شکل گرفته و ارتباطات سلسله‌مراتبی میان شاخص‌ها را به‌صورت نمودار نمایان می‌سازد.

۵ یافته‌های تحقیق

در این پژوهش، به‌منظور تحلیل ساختاری عوامل کلیدی موفقیت در پیاده‌سازی فناوری زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران، با هدف دستیابی به زنجیره تأمین پایدار، از روش مدل‌سازی ساختاری-تفسیری بهره‌گیری شده است. این روش به پژوهشگر اجازه می‌دهد تا روابط پیچیده

¹ Reachability Set

² Antecedent Set

و درهم‌تنیده میان عوامل را از یک حالت کیفی و مبهم به یک ساختار سلسله‌مراتبی و نظام‌مند تبدیل کند. پس از شناسایی عوامل مؤثر از طریق مطالعات پیشین و مصاحبه با خبرگان، پرسشنامه خاص این روش که به‌صورت یک ماتریس مقایسه‌ای برای تعیین روابط بین عوامل طراحی شده است، در اختیار گروهی از خبرگان قرار گرفت. در گام نخست، برای تدوین ساختار تعاملی، ماتریس خودتعاملی ساختاری تشکیل شد. به‌منظور دستیابی به ماتریس دسترسی اولیه، نظرات خبرگان در مورد نوع ارتباط میان هر دو عامل گردآوری شده و از طریق روش آماری مُد، رابطه غالب میان آن‌ها استخراج شد. بر همین اساس، جدول ۲ (ماتریس دستیابی اولیه) تشکیل شد که بیانگر روابط مستقیم و بدون واسطه میان عوامل پانزده‌گانه در زنجیره تأمین نفت و گاز است. در این ماتریس، عدد ۱ نشان‌دهنده وجود رابطه علی مستقیم و عدد ۰ بیانگر عدم تأثیرگذاری مستقیم یک عامل بر دیگری است.

جدول ۲. ماتریس دستیابی اولیه

E_{15}	E_{14}	E_{13}	E_{12}	E_{11}	E_{10}	E_9	E_8	E_7	E_6	E_5	E_4	E_3	E_2	E_1	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	E_1
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	E_2
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۱	E_3
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	E_4
۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	E_5
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	E_6
۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	E_7
۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	E_8
۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	E_9
۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	E_{10}
۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۰	E_{11}
۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	E_{12}
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	E_{13}
۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	E_{14}
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	E_{15}

منبع: یافته‌های پژوهش

در گام بعد، به‌منظور دستیابی به یک مدل سازگار و جامع، با اعمال قواعد تعدی در روابط میان عوامل، ماتریس دسترسی نهایی به دست آمد. قاعده تعدی به این معناست که اگر عامل A بر B

و عامل B بر C اثر بگذارد، آنگاه عامل A نیز بر C اثر خواهد داشت. این مرحله برای درک روابط پنهان و غیرمستقیم در شبکه پیچیده عوامل زنجیره بلوکی ضروری است. نتایج این تحلیل در جدول ۳ ارائه شده است که در آن اعداد ستاره‌دار (*۱) نشان‌دهنده روابط استخراج‌شده بر اساس قاعده تعدی هستند.

جدول ۳. ماتریس دستیابی نهایی

E_{15}	E_{14}	E_{13}	E_{12}	E_{11}	E_{10}	E_9	E_8	E_7	E_6	E_5	E_4	E_3	E_2	E_1	
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	E_1
۱*	۱*	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱*	۱	۱	۱	E_2
۱*	۱*	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	E_3
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	E_4
۱	۱	۱*	۰	۰	۰	۱*	۱*	۰	۱*	۱	۱*	۰	۰	۱	E_5
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	E_6
۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱*	۰	۱	۱	۰	۰	۱*	۱*	۱*	E_7
۱	۰	۱	۱*	۱	۱	۱	۱	۰	۱*	۰	۱*	۱*	۱*	۱*	E_8
۱	۰	۱	۱	۱*	۱	۱	۱	۰	۱	۱*	۱*	۱	۱	۱	E_9
۱	۰	۱	۰	۰	۱	۱*	۰	۰	۱*	۰	۱*	۱*	۱*	۱*	E_{10}
۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱*	۰	۰	۱	۰	۰	۱*	۱	۱*	E_{11}
۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۱*	۱	۱	۱	E_{12}
۱	۰	۱	۱*	۰	۱*	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۱	۱	E_{13}
۱	۱	۱	۱*	۱*	۱*	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱*	۱*	۱	E_{14}
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۰	E_{15}

منبع: یافته‌های پژوهش

بر مبنای ماتریس دسترسی نهایی، برای هر عامل، دو مجموعه در دسترس و پیش‌نیاز تعیین شد. مجموعه در دسترس شامل عاملی است که در نظر گرفته شده به همراه سایر عواملی که در راستای تحقق آن نقش دارند و مجموعه پیش‌نیاز شامل همان عامل و عواملی است که تحقق آن‌ها لازمه تحقق عامل مورد نظر است. این مرحله در واقع پیوند میان ماتریس‌های ریاضی و ساختار سلسله‌مراتبی مدل را برقرار می‌کند. این مجموعه‌ها به تفصیل در جدول ۴ نمایش داده شده‌اند. در ادامه، اشتراک بین دو مجموعه فوق برای هر عامل محاسبه شد که به آن «مجموعه تقاطع» اطلاق می‌شود. سپس، عواملی که مجموعه در دسترس و مجموعه تقاطع آن‌ها یکسان بودند، به عنوان سطح نخست سلسله‌مراتب انتخاب شدند.

جدول ۴. سطح‌بندی در تکرار اول

عامل	مجموعه قابل دستیابی	مجموعه پیش‌نیاز	مجموعه تقاطع	سطح
E _۱	۱	۱,۲,۳,۵,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۱	I
E _۲	۱,۲,۳,۴,۱۴,۱۵	۲,۳,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۲,۳,۱۴	
E _۳	۱,۲,۳,۴,۱۴,۱۵	۲,۳,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۲,۳,۱۴	
E _۴	۴	۲,۳,۴,۵,۸,۹,۱۰,۱۲,۱۴,۱۵	۴	I
E _۵	۱,۴,۵,۶,۸,۹,۱۳,۱۴,۱۵	۲,۳,۵,۹,۱۱,۱۲	۵,۹	
E _۶	۶	۵,۶,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴,۱۵	۶	I
E _۷	۱,۲,۳,۶,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۵	۷	۷	
E _۸	۱,۲,۳,۴,۶,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۵	۵,۸,۱۴	۸	
E _۹	۱,۲,۳,۴,۵,۶,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۵	۵,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۵,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳	
E _{۱۰}	۱,۲,۳,۴,۶,۹,۱۰,۱۳,۱۵	۷,۸,۹,۱۰,۱۳,۱۴	۹,۱۰,۱۳	
E _{۱۱}	۱,۲,۳,۶,۹,۱۱,۱۲,۱۳,۱۵	۷,۸,۹,۱۱,۱۲,۱۴	۹,۱۱,۱۲	
E _{۱۲}	۱,۲,۳,۴,۹,۱۱,۱۲,۱۳,۱۵	۷,۸,۹,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۹,۱۱,۱۲,۱۳	
E _{۱۳}	۱,۲,۳,۶,۹,۱۰,۱۲,۱۳,۱۵	۵,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۹,۱۰,۱۲,۱۳	
E _{۱۴}	۱,۲,۳,۴,۶,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴,۱۵	۲,۳,۵,۱۴	۲,۳,۱۴	
E _{۱۵}	۴,۶,۱۵	۲,۳,۵,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴,۱۵	۱۵	

منبع: یافته‌های پژوهش

فرآیند تعیین سطوح به‌صورت رفت و برگشتی (تکراری) انجام شد تا تمام عوامل در جایگاه ساختاری خود قرار گیرند. نتایج حاصل از این فرآیند در جدول ۵ ارائه شده و حاکی از طبقه‌بندی عوامل شناسایی‌شده در هفت سطح متمایز می‌باشد. این جدول، نقشه راه راهبردی پژوهش را ترسیم می‌کند؛ به‌طوری‌که عوامل واقع در سطوح پایین‌تر (مانند سطح VII)، زیربنایی‌ترین محرک‌ها برای پذیرش زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز محسوب می‌شوند و عوامل سطوح بالاتر، خروجی‌ها یا نتایج نهایی سیستم هستند.

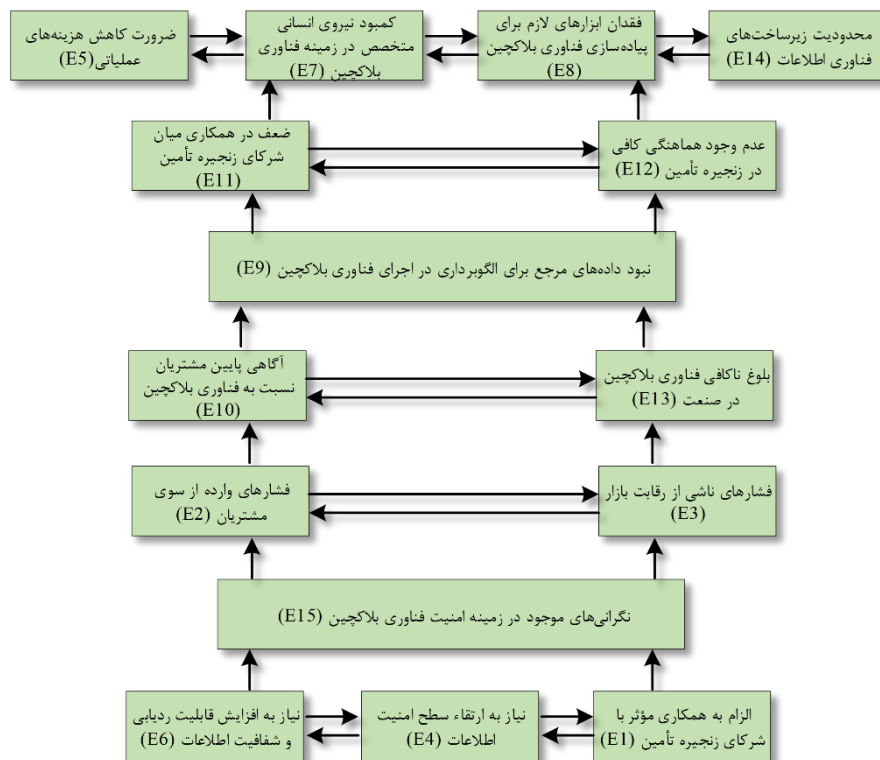
جدول ۵. سطح‌بندی کامل و نهایی

عامل	مجموعه قابل دستیابی	مجموعه پیش‌نیاز	مجموعه تقاطع	سطح
E _۱	۱	۱,۲,۳,۵,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۱	I
E _۴	۴	۲,۳,۴,۵,۸,۹,۱۰,۱۲,۱۴,۱۵	۴	I
E _۶	۶	۵,۶,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴,۱۵	۶	I
E _{۱۵}	۱۵	۲,۳,۵,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴,۱۵	۱۵	II
E _۲	۲,۳,۱۴	۲,۳,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۲,۳,۱۴	III
E _۳	۲,۳,۱۴	۲,۳,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۲,۳,۱۴	III
E _{۱۰}	۹,۱۰,۱۳	۷,۸,۹,۱۰,۱۳,۱۴	۹,۱۰,۱۳	IV
E _{۱۳}	۹,۱۰,۱۲,۱۳	۵,۷,۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲,۱۳,۱۴	۹,۱۰,۱۲,۱۳	IV
E _۹	۵,۹,۱۱,۱۲	۵,۷,۸,۹,۱۱,۱۲,۱۴	۵,۹,۱۱,۱۲	V
E _{۱۱}	۱۱,۱۲	۷,۸,۱۱,۱۲,۱۴	۱۱,۱۲	VI
E _{۱۲}	۱۱,۱۲	۷,۸,۱۱,۱۲,۱۴	۱۱,۱۲	VI
E _۵	۵,۸,۱۴	۵	۵	VII
E _۷	۷,۸,۱۰	۷	۷	VII
E _۸	۸,۱۰	۵,۸,۱۴	۸	VII
E _{۱۴}	۸,۱۴	۵,۱۴	۱۴	VII

منبع: یافته‌های پژوهش

پس از مشخص شدن سطوح، مدل نهایی در قالب نمودار ISM در شکل ۱ ترسیم شده است. این مدل تصویری، ساختار سلسله‌مراتبی عوامل تأثیرگذار را به‌طور نظام‌مند نشان داده و درک بهتری از تعاملات بین آن‌ها را از منظر سیستمی فراهم می‌سازد. پیکربندی سلسله‌مراتبی در این نمودار از بالا به پایین ترسیم شده و بیانگر میزان قدرت محرک عوامل است؛ به‌طوری‌که عوامل قرار گرفته در سطوح پایین‌تر دارای تأثیرگذاری بیشتر و نقش زیرساختی‌تر در پیاده‌سازی فناوری زنجیره بلوکی هستند. همچنین جهت پیکان‌ها در نمودار نشان‌دهنده روابط علی و تأثیرگذاری یک عامل بر عامل دیگر در ساختار کلان سیستم می‌باشد. تحلیل‌های نهایی نشان می‌دهند که «الزام به همکاری مؤثر با شرکای زنجیره تأمین»، «نیاز به ارتقاء سطح امنیت اطلاعات» و «نیاز به افزایش

قابلیت ردیابی و شفافیت اطلاعات» به‌عنوان عوامل سطح اول، نقش کلیدی در موفقیت پیاده‌سازی فناوری زنجیره بلوکی در زنجیره تأمین سازمان‌ها ایفا می‌کنند. در ادامه، عواملی نظیر «نگرانی‌های موجود در زمینه امنیت فناوری زنجیره بلوکی»، «فشارهای وارده از سوی مشتریان» و «فشارهای ناشی از رقابت بازار» در سطوح بالاتری قرار گرفته‌اند. این عوامل ضمن ایفای نقش واسطه، زمینه‌ساز بهبود زیرساخت‌های فنی و تقویت فرهنگ سازمانی شده و در نهایت به تسهیل فرآیند پذیرش و استقرار فناوری زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز کمک می‌کنند.



شکل ۱. مدل ساختاری تفسیری به کارگیری فناوری زنجیره بلوکی در صنعت نفت و گاز ایران

منبع: یافته‌های پژوهش

مدل ISM برای نمایش ارتباط میان عوامل از مقادیر باینری صفر و یک بهره می‌گیرد؛ با این حال، این مدل شدت یا قدرت روابط بین عوامل را مشخص نمی‌کند. به‌منظور تکمیل یافته‌های

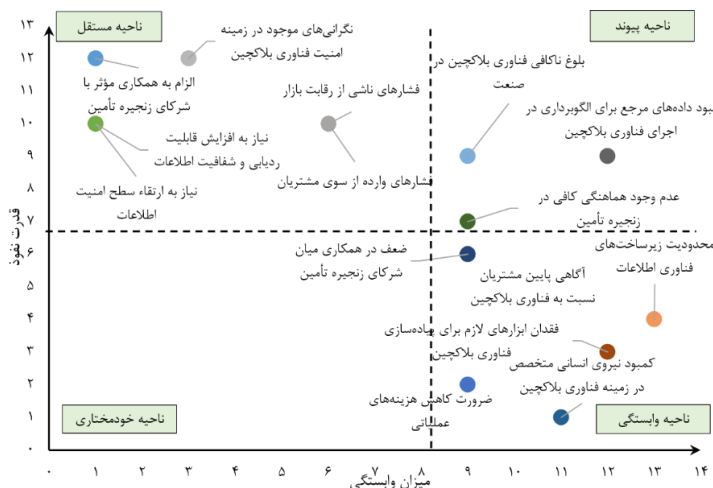
ساختاری و دسته‌بندی راهبردی عوامل بر اساس ماهیت تأثیرگذاری‌شان، در این پژوهش از تحلیل MICMAC استفاده شده است. این تحلیل به سیاست‌گذاران صنعت نفت کمک می‌کند تا بدانند کدام عوامل محرک اصلی هستند و کدام عوامل صرفاً نتیجه تغییرات دیگر می‌باشند. جدول ۶ مقادیر این دو شاخص را برای هر یک از عوامل نشان می‌دهد. این مقادیر مستقیم از جمع سطرها (قدرت نفوذ) و جمع ستون‌ها (میزان وابستگی) در ماتریس دسترسی نهایی استخراج شده‌اند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که عواملی با قدرت نفوذ بالا، کلیدی‌ترین متغیرهایی هستند که مدیران باید برای تحول دیجیتال در زنجیره تأمین بر آن‌ها تمرکز کنند.

جدول ۶. امتیاز عوامل بر اساس قدرت نفوذ و میزان وابستگی

شناسه	عامل	قدرت نفوذ	میزان وابستگی
E _۱	الزام به همکاری مؤثر با شرکای زنجیره تأمین	۱	۱۲
E _۲	فشارهای وارده از سوی مشتریان	۶	۱۰
E _۳	فشارهای ناشی از رقابت بازار	۶	۱۰
E _۴	نیاز به ارتقاء سطح امنیت اطلاعات	۱	۱۰
E _۵	ضرورت کاهش هزینه‌های عملیاتی	۹	۲
E _۶	نیاز به افزایش قابلیت ردیابی و شفافیت اطلاعات	۱	۱۰
E _۷	کمبود نیروی انسانی متخصص در زمینه فناوری زنجیره بلوکی	۱۱	۱
E _۸	فقدان ابزارهای لازم برای پیاده‌سازی فناوری زنجیره بلوکی	۱۲	۳
E _۹	نبود داده‌های مرجع برای الگوبرداری در اجرای فناوری زنجیره بلوکی	۱۲	۹
E _{۱۰}	آگاهی پایین مشتریان نسبت به فناوری زنجیره بلوکی	۹	۶
E _{۱۱}	ضعف در همکاری میان شرکای زنجیره تأمین	۹	۶
E _{۱۲}	عدم وجود هماهنگی کافی در زنجیره تأمین	۹	۷
E _{۱۳}	بلوغ ناکافی فناوری زنجیره بلوکی در صنعت	۹	۹
E _{۱۴}	محدودیت زیرساخت‌های فناوری اطلاعات	۱۳	۴
E _{۱۵}	نگرانی‌های موجود در زمینه امنیت فناوری زنجیره بلوکی	۳	۱۲

منبع: یافته‌های پژوهش

تحلیل یافته‌های حاصل از جدول ۶ بر مبنای دو شاخص قدرت نفوذ و میزان وابستگی، امکان دسته‌بندی عوامل را در چهار ناحیه راهبردی فراهم آورده است (شکل ۲). در همین راستا، عوامل پیوند شامل «کمبود داده‌های مرجع»، «عدم بلوغ فناوری» و «ناهماهنگی زنجیره تأمین» به دلیل دارا بودن نفوذ و وابستگی متقابل بالا، ماهیتی ناپایدار داشته و هرگونه تغییر در آن‌ها منجر به نوسان در کل سیستم می‌شود. در مقابل، متغیرهای مستقل نظیر «نیاز به همکاری شرکا»، «نگرانی‌های امنیتی»، «قابلیت ردیابی» و «فشارهای بازار»، با برخورداری از قدرت نفوذ بالا و وابستگی اندک، به‌عنوان محرک‌های کلیدی سیستم عمل می‌کنند. همچنین، عواملی همچون «کاهش هزینه‌های عملیاتی»، «فقدان تخصص و ابزارهای پیاده‌سازی»، «محدودیت زیرساخت‌های IT» و «سطح آگاهی مشتریان» در ناحیه وابسته جای می‌گیرند؛ این متغیرها اگرچه تأثیرگذاری پایینی دارند، اما به‌شدت تحت تأثیر سایر عوامل بوده و خروجی عملکرد سیستم محسوب می‌شوند. در نهایت، متغیرهایی که در هر دو شاخص نفوذ و وابستگی امتیاز پایینی کسب کرده‌اند، در ناحیه خودمختار طبقه‌بندی می‌شوند که نشان‌دهنده ارتباط حداقلی آن‌ها با سایر اجزای مدل است.



شکل ۲. نمودار MICMAC بر اساس میزان وابستگی و قدرت نفوذ

منبع: یافته‌های پژوهش

۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پژوهش حاضر نشان داد که استقرار فناوری زنجیره بلوکی در زنجیره تأمین صنعت نفت و گاز ایران، نه یک انتخاب صرفاً فنی، بلکه یک تحول سیستمی و راهبردی است که موفقیت آن بیش از هر چیز در شناخت دقیق روابط علیّ میان لایه‌های زیرین و عوامل محرک نهفته است. بر اساس یافته‌های حاصل از مدل‌سازی ساختاری-تفسیری (ISM)، مشخص شد که عوامل شناسایی‌شده در هفت سطح سلسله‌مراتبی سازمان‌دهی شده‌اند؛ در این میان، مهم‌ترین خروجی ملموس برای سیاست‌گذاران این صنعت حاکی از آن است که عوامل سطح اول نظیر «الزام به همکاری» و «شفافیت»، تنها خروجی و ویرترین نهایی موفقیت سیستم هستند و نباید به‌عنوان نقطه شروع عملیات تلقی شوند. در واقع، ریشه‌ای‌ترین محرک‌های فعلی در لایه هفتم مدل، یعنی «نقص زیرساخت‌های انسانی» و «فقدان ابزارهای فنی»، قرار دارند و تا زمانی که این گره‌های زیربنایی مرتفع نشوند، دستیابی به اهداف غایی در سطوح بالاتر عملاً غیرممکن یا به‌صورت جزیره‌ای و ناپایدار خواهد بود. نتایج حاصل از سطح‌بندی نشان داد که عامل «کمبود نیروی انسانی متخصص» در پایین‌ترین سطح قرار دارد. این یافته با مطالعات گلپزر (۲۰۱۷) که فقدان مهارت را مانع بنیادین استقرار زنجیره بلوکی می‌دانستند، هم‌سو است.

در تکمیل این ساختار، تحلیل MICMAC با ارائه یک اولویت‌بندی عملیاتی نشان داد که متغیرهایی مانند «محدودیت زیرساخت‌های فناوری اطلاعات» و «کمبود داده‌های مرجع» دارای بالاترین قدرت نفوذ در کل شبکه هستند؛ لذا توصیه راهبردی این پژوهش به وزارت نفت آن است که تخصیص بودجه‌های سنواتی را به جای خرید نرم‌افزارهای آماده، بر تدوین استانداردها و پروتکل‌های بومی تبادل داده متمرکز کند، چراکه این محرک‌ها قدرت تغییر کل سیستم را دارا می‌باشند. از سوی دیگر، یافته‌ها نشان می‌دهد که بهبود امنیت اطلاعات در بستر زنجیره بلوکی، لزوماً از طریق بخشنامه‌های اداری حاصل نمی‌شود، بلکه این عامل یک متغیر وابسته است که تحقق آن مستلزم اصلاح زیرساخت‌های فنی و تقویت لایه‌های نفوذ شناسایی‌شده در مدل است. ضرورت تقویت همکاری میان شرکا به عنوان یک خروجی کلیدی در این پژوهش شناسایی شد که مؤید نظریه صابری و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص نقش تعاملات سازنده در زنجیره تأمین است.

به‌منظور تبدیل این یافته‌ها به اقدامات اجرایی، پیشنهاد می‌شود که صنعت نفت ایران با تشکیل یک کنسرسیوم مشترک میان شرکت‌های اصلی و پیمانکاران، به ایجاد یک بانک داده مرجع برای اشتراک‌گذاری تجارب زنجیره بلوکی اقدام نماید تا یکی از اصلی‌ترین موانع زیربنایی مدل (نبود داده مرجع) برطرف شود. همچنین با توجه به سطح‌بندی ISM، پیاده‌سازی گام‌به‌گام این فناوری باید از بخش‌های با حساسیت امنیتی کمتر اما حجم تراکنش بالا، مانند زنجیره تأمین قطعات یدکی، آغاز گردد تا پس از بلوغ نیروی انسانی و زیرساخت‌ها، به بخش‌های راهبردی فروش نفت خام تسری یابد.

با وجود ارائه این مدل ساختاری، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مواجه بود که از جمله آن‌ها می‌توان به تمرکز بر دیدگاه خبرگان ستادی اشاره کرد که ممکن است با چالش‌های لایه عملیاتی در پایانه‌های نفتی متفاوت باشد؛ همچنین مدل ISM روابط را به‌صورت ایستا می‌بیند و پویایی سیستم در طول زمان را لحاظ نمی‌کند. بر این اساس پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، از روش‌های دینامیک سیستم برای مدل‌سازی رفتار عوامل در بازه‌های زمانی بلندمدت استفاده شده و مطالعات موردی دقیق‌تری بر روی تحلیل هزینه-فایده زنجیره بلوکی در بخش‌های خاص، مانند شبکه توزیع فرآورده‌های نفتی و کنترل قاچاق سوخت، صورت گیرد تا دقت تصمیم‌گیری‌های کلان ارتقا یابد.

۷ مراجع

۱. اصغری‌پور سرشکه، محمدحسین؛ معصومی، سیدسینا؛ سلیمانی، معین (۱۴۰۳). طراحی یک چارچوب ساختاری تفسیری برای کاربری موفق فناوری زنجیره بلوکی در زنجیره تأمین سازمان‌های کوچک و متوسط، نشریه آموزش و مدیریت کارآفرینی، ۳(۲)، ۱-۲۲.
۲. البرز، امیررضا؛ احمدی شریف، محمود؛ هاشمی، محمود (۱۴۰۱). ارائه الگوی استفاده از فناوری زنجیره بلوکی در تجارت بین الملل (مشتقات نفتی)، مجله اقتصاد و توسعه منطقه ای، ۲۹(۲۳)، ۱-۳۰.

۳. رضوی، سید عبدالله؛ کاشانی، لیلا (۱۴۰۴). ارائه الگوی فرایندی تسویه مالی بین المللی درآمدهای ارزی نفت از طریق رمزارز مشترک در قالب توکن بر بستر زنجیره بلوکی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۲۱(۸۴)، ۱۰۷-۱۵۲.
۴. روشنی، علی؛ بوداقتی، حسین؛ جعفری نویمی پور، نیما؛ آل عمران، رویا؛ قره بیگلر، حسین (۱۴۰۱). بررسی و ارائه الگوی استقرار زنجیره بلوکی در قراردادهای بین المللی صنعت نفت و گاز (مطالعه موردی شرکت گاز استان آذربایجان شرقی)، نشریه مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی، ۱۳(۵۲)، ۲۳-۳۶.
۵. نیلفروشان، هادی؛ ایازی، سید علی (۱۳۹۹). ارزیابی قلمرو فعالیت شرکت های حوزه نفت و گاز بر شاخص های کلان آمادگی پذیرش فناوری زنجیره بلوکی، فصلنامه مطالعات مدیریت کسب و کار هوشمند، ۹(۳۳)، ۲۴۷-۲۸۶.
6. Agrawal, T. K., Kumar, V., Pal, R., Wang, L., & Chen, Y. (2021). Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. *Computers & industrial engineering*, 154, 107130. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107130>
7. Asif, M., Jajja, M. S. S., & Searcy, C. (2019). Social compliance standards: Re-evaluating the buyer and supplier perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 227, 457-471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.157>
8. Boireau, O. (2018). Securing the blockchain against hackers. *Network Security*, 2018(1), 8-11. [https://doi.org/10.1016/S1353-4858\(18\)30006-0](https://doi.org/10.1016/S1353-4858(18)30006-0)
9. BP (2018). *BP Statistical Review of World Energy 67th edition*. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>.
10. BP (2019). *BP Energy Outlook 2019 edition*. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf>.
11. Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and informatics*, 36, 55-81. <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>
12. Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE access*, 4, 2292-2303. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339>

13. Cocco, L., Pinna, A., & Marchesi, M. (2017). Banking on blockchain: Costs savings thanks to the blockchain technology. *Future internet*, 9(3), 25. <https://doi.org/10.3390/fi9030025>
14. Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sarriá, D., & Menesatti, P. (2013). A review on agri-food supply chain traceability by means of RFID technology. *Food and bioprocess technology*, 6(2), 353-366. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0958-7>
15. Crosby, M., Pattanayak, P., Verma, S., & Kalyanaraman, V. (2016). Blockchain technology: Beyond bitcoin. *Applied innovation*, 2(6-10), 71.
16. Dabbagh, M., Choo, K. K. R., Beheshti, A., Tahir, M., & Safa, N. S. (2021). A survey of empirical performance evaluation of permissioned blockchain platforms: Challenges and opportunities. *computers & security*, 100, 102078. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.102078>
17. Dasgupta, D., Shrein, J. M., & Gupta, K. D. (2019). A survey of blockchain from security perspective. *Journal of Banking and Financial Technology*, 3(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s42786-018-00002-6>
18. de Sousa Jabbour, A. B. L., Chiappetta Jabbour, C. J., Sarkis, J., Gunasekaran, A., Furlan Matos Alves, M. W., & Ribeiro, D. A. (2019). Decarbonisation of operations management—looking back, moving forward: a review and implications for the production research community. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 4743-4765. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1421790>
19. Depersio, G. (2020). Why Did Oil and Natural Gas Prices Plummet in 2014. *Investopedia*. Retrieved from <https://www.investopedia.com/ask/answers/030315/why-did-oil-prices-drop-so-much-2014.asp>.
20. Dobrovnik, M., Herold, D. M., Fürst, E., & Kummer, S. (2018). Blockchain for and in Logistics: What to Adopt and Where to Start. *Logist.* <https://doi.org/10.3390/logistics2030018>
21. Dutta, S., & Banerjee, S. (2018). Blockchain Adoption in Oil & Gas: a Framework to Assess Your Company's Readiness. *TCS*, 1-7.
22. EY. (2020). *Blockchain in oil and gas*. Retrieved from https://www.ey.com/en_id/oil-gas/blockchain.
23. Fu, E., & He, W. (2024). The development and utilization of shale oil and gas resources in China and economic analysis of energy security under the background of global energy crisis. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 14(8), 2315-2341. <https://doi.org/10.1007/s13202-024-01818-3>
24. Gallacher, L. C., & Champion, D. (2019). Blockchain in oil and gas: a collaborative approach. *The APPEA Journal*, 59(2), 586-590. <https://doi.org/10.1071/AJ18216>
25. Glaser, F. (2017). Pervasive decentralisation of digital infrastructures: a framework for blockchain enabled system and use case analysis.
26. Gupta, S. S. (2017). *Blockchain*.

27. Handscomb, C., Sharabura, S., & Woxholth, J. (2016). The oil and gas organization of the future. *McKinsey & Company*.
28. Hiller, J. (2019). *US Shale Producers Turn to Jobs Cuts As Investor Pressures Mount*.
29. Hiramoto, N., & Tsuchiya, Y. (2020). Measuring dark web marketplaces via Bitcoin transactions: From birth to independence. *Forensic Science International: Digital Investigation*, 35, 301086. <https://doi.org/10.1016/j.fsidi.2020.301086>
30. Iansiti, M., & Lakhani, K. R. (2017). The truth about blockchain. *Harvard business review*, 95(1), 118-127.
31. Jabbar, S., Lloyd, H., Hammoudeh, M., Adebisi, B., & Raza, U. (2021). Blockchain-enabled supply chain: analysis, challenges, and future directions. *Multimedia systems*, 27(4), 787-806. <https://doi.org/10.1007/s00530-020-00687-0>
32. Khan, S. A., Naim, I., Kusi-Sarpong, S., Gupta, H., & Idrisi, A. R. (2021). A knowledge-based experts' system for evaluation of digital supply chain readiness. *Knowledge-Based Systems*, 228, 107262. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2021.107262>
33. Khan, W. Z., Aalsalem, M. Y., Khan, M. K., Hossain, M. S., & Atiquzzaman, M. (2017, February). A reliable Internet of Things based architecture for oil and gas industry. In *2017 19th International conference on advanced communication Technology (ICACT)* (pp. 705-710). IEEE. <https://doi.org/10.23919/ICACT.2017.7890184>
34. Koeppen, M., Shrier, D., & Bazilian, M. (2017). Is Blockchain's Future in Oil and Gas Transformative or Transient?. *Deloitte Development LLC*.
35. Kouhizadeh, M., Saberi, S., & Sarkis, J. (2021). Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. *International journal of production economics*, 231, 107831. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107831>
36. Lakhanpal, V., & Samuel, R. (2018, September). Implementing blockchain technology in oil and gas industry: A review. In *SPE Annual Technical Conference and Exhibition?* (p. D031S032R003). SPE. <https://doi.org/10.2118/191750-MS>
37. Lu, H., Huang, K., Azimi, M., & Guo, L. (2019). Blockchain technology in the oil and gas industry: A review of applications, opportunities, challenges, and risks. *Ieee Access*, 7, 41426-41444. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2907695>
38. Lu, Y. (2019). The blockchain: State-of-the-art and research challenges. *Journal of Industrial Information Integration*, 15, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2019.04.002>
39. Luthra, S., Mangla, S. K., Xu, L., & Diabat, A. (2016). Using AHP to evaluate barriers in adopting sustainable consumption and production initiatives in a

- supply chain. *International Journal of Production Economics*, 181, 342-349. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.04.001>
40. Maesa, D. D. F., & Mori, P. (2020). Blockchain 3.0 applications survey. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 138, 99-114. <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2019.12.019>
41. Mangla, S. K., Govindan, K., & Luthra, S. (2017). Prioritizing the barriers to achieve sustainable consumption and production trends in supply chains using fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Journal of cleaner production*, 151, 509-525. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.099>
42. Mendling, J., Weber, I., Aalst, W. V. D., Brocke, J. V., Cabanillas, C., Daniel, F., ... & Zhu, L. (2018). Blockchains for business process management-challenges and opportunities. *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, 9(1), 1-16. <https://doi.org/10.1145/3183367>
43. Munim, Z. H., Balasubramaniyan, S., Kouhizadeh, M., & Hossain, N. U. I. (2022). Assessing blockchain technology adoption in the Norwegian oil and gas industry using Bayesian Best Worst Method. *Journal of Industrial Information Integration*, 28, 100346. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2022.100346>
44. Nechully, S., & Pokhriyal, D. S. (2019). Adoption of Innovative Drilling Technologies in Upstream Oil and Gas. *Journal of Management*, 6(2).
45. Niazi, L. (2018). IBM Cross Business Unit. Retrieved from
46. Nikolakis, W., John, L., & Krishnan, H. (2018). How blockchain can shape sustainable global value chains: An evidence, verifiability, and enforceability (EVE) framework. *Sustainability*, 10(11), 3926. <https://doi.org/10.3390/su10113926>
47. Park, L. W., Lee, S., & Chang, H. (2018). A sustainable home energy prosumer-chain methodology with energy tags over the blockchain. *Sustainability*, 10(3), 658. <https://doi.org/10.3390/su10030658>
48. Parker, G. G., & Van Alstyne, M. W. (2005). Two-sided network effects: A theory of information product design. *Management science*, 51(10), 1494-1504. <https://doi.org/10.1287/mnsc.1050.0400>
49. Rahmadika, S., Ramdania, D. R., & Harika, M. (2018). Security analysis on the decentralized energy trading system using blockchain technology. *Jurnal Online Informatika*, 3(1), 44-47. <https://doi.org/10.15575/join.v3i1.207>
50. Saaty, T. L. (1990). The analytic hierarchy process in conflict management. *International Journal of Conflict Management*, 1(1), 47-68. <https://doi.org/10.1108/eb022672>
51. Saberi, S., Kouhizadeh, M., & Sarkis, J. (2019). Blockchains and the supply chain: Findings from a broad study of practitioners. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 95-103. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2928264>

52. Sarkis, J., & Zhu, Q. (2018). Environmental sustainability and production: taking the road less travelled. *International Journal of Production Research*, 56(1-2), 743-759. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1365182>
53. Sayogo, D. S., Zhang, J., Luna-Reyes, L., Jarman, H., Tayi, G., Andersen, D. L., ... & Andersen, D. F. (2015). Challenges and requirements for developing data architecture supporting integration of sustainable supply chains. *Information Technology and Management*, 16(1), 5-18. <https://doi.org/10.1007/s10799-014-0203-3>
54. Shukla, A., & Karki, H. (2016). Application of robotics in onshore oil and gas industry—A review Part I. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 490-507. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2015.09.012>
55. Tredinnick, L. (2019). Cryptocurrencies and the blockchain. *Business Information Review*, 36(1), 39-44. <https://doi.org/10.1177/0266382119836314>
56. VAKT. (n.d.). VAKT - Building the world's first enterprise-level blockchain platform. ThoughtWorks. Retrieved on November 5, 2020, from <https://www.thoughtworks.com/clients/vakt>.
57. Wright, J. U. (2015). *Working Well Together: How coordination happens* [Video]. YouTube. Retrieved from https://youtu.be/B85K_uklrTo
58. Yli-Huumo, J., Ko, D., Choi, S., Park, S., & Smolander, K. (2016). Where is current research on blockchain technology?—a systematic review. *PloS one*, 11(10), e0163477. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>

Research paper

Evaluating the Implementation of Blockchain Technology in Iran's Oil and Gas Industry Using the Interpretive Structural Modeling Approach

Ali Naseri Pour¹, Majid Parchami Jalal², Mohammadreza Kazemi Najafabadi³

1. M.S, Department of Project Management, Pars University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Department of Project Management and Construction, Faculty of Architecture, Tehran University, Tehran, Iran.
3. Department of International Law, Faculty of Law and Political Science, Allameh Tabatabaie University, Tehran, Iran.

Received: 23/12/2025

Accepted: 17/06/2026

Abstract

The oil and gas industry, as one of the most critical pillars of Iran's economy, is facing escalating challenges in optimizing supply chain performance and enhancing information transparency and security. Blockchain technology, as an emerging solution, demonstrates significant potential to transform logistics processes, contract management, and asset traceability. However, its implementation within Iran's oil and gas sector necessitates a systematic identification of barriers and influencing factors. The present study aims to develop a structural model for analyzing and prioritizing the key factors affecting blockchain adoption in Iran's oil and gas industry. To this end, a systematic literature review and content analysis of prior studies were conducted, resulting in the identification of fifteen key factors. Subsequently, data were collected through expert elicitation from academic scholars and industry practitioners, and analyzed using the Interpretive Structural Modeling (ISM) approach. The findings indicate that factors such as the requirement for effective collaboration with supply chain partners, the need to enhance information security, and the improvement of transparency and traceability of information occupy the highest levels of the hierarchical structure and function as primary drivers of change. In addition, factors including deficiencies in information technology infrastructure and the lack of reliable reference data exhibit the highest driving power within the system. The results of this research provide actionable insights for managers and policymakers by identifying critical leverage points within the system, thereby facilitating a more effective and strategically aligned pathway for blockchain implementation in Iran's oil and gas industry.

Keywords: Blockchain Technology; Oil and Gas Industry; Sustainable Supply Chain; Interpretive Structural Modeling (ISM); Technology Adoption.

DOI: 10.22034/jsqm.2026.567494.1686