

مروری جامع و سیستماتیک از کاربردهای بلاکچین در امنیت زنجیره تامین

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۵

کد مقاله: ۵۵۲۰۷

حسین کلانتریون^۱، علی شهیدی^{۲*}

چکیده

این تحقیق مروری جامع و سیستماتیک از کاربردهای بلاک چین در امنیت زنجیره تامین با تمرکز بر افزایش شفافیت، قابلیت ردیابی، یکپارچگی داده ها و اتوماسیون ارائه می کند. سیستم دفتر کل تغییر ناپذیر بلاک چین ردیابی محصول را بهبود می بخشد، تقلب را کاهش می دهد و از اصالت اطمینان می دهد. علاوه بر این، یکپارچگی داده ها را با جلوگیری از دستکاری از طریق تکنیک های رمزنگاری تقویت می کند. قراردادهای هوشمند فرآیندها را خودکار می کند و از انطباق و کارایی عملیاتی اطمینان می دهد. این مطالعه چالش های کلیدی در پذیرش بلاک چین، از جمله مقیاس پذیری، مصرف انرژی و مسائل نظارتی را شناسایی می کند. ذینفعان مختلف با چالش های متفاوتی روبرو هستند که بر پذیرش فناوری تأثیر می گذارد. روندهای آینده شامل ادغام بلاک چین با اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، توسعه راه حل های مقیاس پذیر و پیشرفت در چارچوب های نظارتی است. این بررسی با برجسته کردن نیاز به مطالعات بین رشته ای در مورد بلاک چین و فناوری های نوظهور به تحقیقات کمک می کند. برای پزشکان، بینش هایی در مورد مزایای عملی بلاک چین و اهمیت پرداختن به موانع فنی و قانونی برای اجرای موفقیت آمیز ارائه می دهد. در نهایت، فناوری بلاک چین پتانسیل قابل توجهی برای تغییر امنیت زنجیره تامین دارد، اما پتانسیل کامل آن نیازمند غلبه بر چالش های موجود است.

واژگان کلیدی: زنجیره تامین، بلاک چین، امنیت، شفافیت، قراردادهای هوشمند

۱- کارشناسی ارشد، رشته مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

hosseinkalantariun@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، رشته اقتصاد، دانشگاه تهران

فناوری بلاک چین که در ابتدا با ارتباط آن با ارزشهای رمزنگاری شده مانند بیت کوین رایج شد، به یک نیروی دگرگون کننده در صنایع مختلف، به ویژه در مدیریت زنجیره تامین، تبدیل شده است. بلاک چین با سیستم دفتر کل توزیع شده غیرمتمرکز آن مشخص می شود که روشی امن و شفاف برای ثبت تراکنش ها و ردیابی دارایی ها فراهم می کند (ناکاموتو، ۲۰۰۸). این فناوری چندین ویژگی کلیدی را ارائه می دهد: تغییر ناپذیری، عدم تمرکز، شفافیت و امنیت. هر تراکنش ثبت شده در یک بلاک چین رمزگذاری شده و به تراکنش قبلی مرتبط می شود و زنجیره ای از بلوک ها را تشکیل می دهد که عملاً ضد دستکاری است (Queiroz, Telles, & Bonilla, 2020). اهمیت بلاک چین در توانایی آن برای تقویت اعتماد در میان ذینفعان با حذف نیاز به واسطه ها و تضمین یکپارچگی داده ها از طریق تکنیک های رمزنگاری نهفته است (چانگ و چن، ۲۰۲۰). در زنجیره های تامین سنتی، عدم تقارن اطلاعات، تقلب، جعل و ناکارآمدی به دلیل دخالت چندین نهاد از تامین کنندگان مواد خام تا مصرف کنندگان نهایی، مسائل رایجی هستند. فناوری بلاک چین با ارائه یک منبع حقیقت واحد که برای همه طرف های مجاز در دسترس است، به این چالش ها رسیدگی می کند و در نتیجه کارایی عملیاتی را بهبود می بخشد و خطرات را کاهش می دهد (Longo et al., 2019). فناوری بلاک چین به دلیل ماهیت توزیع شده آن با پایگاه های داده سنتی تفاوت اساسی دارد. برخلاف پایگاه های داده متمرکز که توسط یک نهاد واحد مدیریت می شوند، شبکه های بلاک چین توسط یک شبکه همتا به همتا مدیریت می شوند. این عدم تمرکز تضمین می کند که هیچ نهاد واحدی نمی تواند داده ها را کنترل یا دستکاری کند، که به طور قابل توجهی توجیهی امنیت و اعتماد را افزایش می دهد (Azzi, Chamoun, & Sokhn, 2019). هر شرکت کننده در شبکه به کل دفتر دسترسی دارد، و هرگونه تغییر یا اضافه شدن به دفتر کل باید با یک مکانیسم اجماع، معمولاً اثبات کار یا اثبات سهام، بسته به پروتکل بلاک چین مورد استفاده تأیید شود (کراسبی و همکاران ۲۰۱۶، a.l.).

یکی دیگر از ویژگی های مهم فناوری بلاک چین تغییر ناپذیری آن است. هنگامی که یک تراکنش در بلاک چین ثبت می شود، نمی توان آن را تغییر داد یا حذف کرد. این تغییر ناپذیری از طریق هش رمزنگاری به دست می آید، که تضمین می کند که هر تلاشی برای تغییر یک تراکنش مستلزم تغییر تمام بلوک های بعدی در زنجیره است، کاری غیرقابل اجرا با توجه به توان محاسباتی مورد نیاز (Iansiti & Lakhani, 2017). این ویژگی، زنجیره بلوکی را به یک راه حل ایده آل برای صنایعی تبدیل می کند که یکپارچگی و اعتماد داده ها در آن ها اولویت دارند، مانند مدیریت زنجیره تامین. فناوری بلاک چین همچنین باعث افزایش شفافیت در زنجیره تامین می شود. هر تراکنش در بلاک چین برای همه شرکت کنندگان در شبکه قابل مشاهده است و فرآیندهای زنجیره تامین را کاملاً مشاهده می کند. این شفافیت به شناسایی و رسیدگی به ناکارآمدی ها، کاهش تقلب و اطمینان از انطباق با الزامات نظارتی کمک می کند (Seebacher & Schüritz, 2017). به عنوان مثال، در صنعت غذا، بلاک چین می تواند سفر محصولات غذایی را از مزرعه به میز ردیابی کند، و اطمینان حاصل کند که مصرف کنندگان محصولات ایمن و با کیفیت بالا را دریافت می کنند (Francisco & Swanson, 2018).

قراردادهای هوشمند یکی دیگر از نوآوری های قابل توجهی است که توسط فناوری بلاک چین به وجود آمده است. قراردادهای هوشمند قراردادهایی هستند که خوداجرای می شوند و شرایط توافق نامه به طور مستقیم در کد نوشته شده است. این قراردادها زمانی که شرایط از پیش تعریف شده برآورده شود، به طور خودکار شرایط توافق نامه را اجرا و اجرا می کند و نیاز به واسطه ها را کاهش می دهد و خطر خطای انسانی را به حداقل می رساند (Szabo, 1997). در مدیریت زنجیره تامین، قراردادهای هوشمند می توانند فرآیندهایی مانند پرداخت ها، مدیریت موجودی، و انجام سفارش را خودکار کنند، کارایی را افزایش داده و هزینه ها را کاهش دهند (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). ادغام بلاک چین با سایر فناوری های نوظهور مانند اینترنت اشیا (IoT) پتانسیل آن را بیشتر تقویت می کند. دستگاه های اینترنت اشیا می توانند داده های بلادرنگ را از نقاط مختلف زنجیره تامین جمع آوری کرده و این داده ها را روی بلاک چین ثبت کنند و دید جامع و دقیقی از عملیات زنجیره تامین ارائه دهند. این ادغام قابلیت ردیابی را افزایش می دهد، زیرا هر حرکت و شرایط یک محصول را می توان از تولید تا تحویل، نظارت و ثبت کرد (Hofmann & Rüsich, 2017). علیرغم مزایای بی شماری که دارد، فناوری بلاک چین نیز با چالش هایی مواجه است که برای پذیرش گسترده در مدیریت زنجیره تامین باید مورد توجه قرار گیرد. این چالش ها شامل مسائل مقیاس پذیری می شود، زیرا شبکه های بلاک چین فعلی می توانند تنها تعداد محدودی از تراکنش ها در ثانیه را در مقایسه با پایگاه های داده سنتی انجام دهند (Vukolić, 2016). علاوه بر این، مصرف انرژی مرتبط با بلاک چین، به ویژه آنهایی که از مکانیسم های اجماع اثبات کار استفاده می کنند، نگرانی های زیست محیطی را افزایش می دهد (Vranken, 2017). قابلیت همکاری بین پلتفرم های مختلف بلاک چین و با سیستم های قدیمی موجود یکی دیگر از چالش های حیاتی است که باید برای اطمینان از یکپارچگی یکپارچه مورد توجه قرار گیرد (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۸).

علاوه بر این، مسائل قانونی و قانونی موانع قابل توجهی برای پذیرش فناوری بلاک چین ایجاد می کند. فقدان چارچوب ها و استانداردهای نظارتی روشن برای بلاک چین، عدم اطمینان و خطراتی را برای مشاغلی که به دنبال پذیرش این فناوری هستند، ایجاد می کند (Ganne, 2018). علاوه بر این، تشخیص قانونی و قابلیت اجرای قراردادهای هوشمند در حوزه های قضایی متفاوت است و اجرای راه حل های بلاک چین در زنجیره های تامین را پیچیده تر می کند (Clack, Bakshi, & Braine, 2016). در نتیجه، فناوری بلاک چین پتانسیل قابل توجهی را برای تغییر مدیریت زنجیره تامین با افزایش شفافیت، قابلیت ردیابی و امنیت ارائه می دهد. ماهیت غیرمتمرکز و تغییرناپذیر آن، همراه با توانایی ادغام با اینترنت اشیا و استفاده از قراردادهای هوشمند، چارچوبی قوی برای رسیدگی به چالش های زنجیره های تامین سنتی ارائه می دهد. با این حال، برای اینکه بلاک چین پتانسیل کامل خود را به کار گیرد، صنعت باید به مقیاس پذیری، قابلیت همکاری، نظارتی و چالش های قانونی مرتبط با پذیرش آن بپردازد. با ادامه پیشرفت تحقیق و توسعه در این زمینه، فناوری بلاک چین در حال تبدیل شدن به سنگ بنای مدیریت زنجیره تامین ایمن و کارآمد است.

امنیت زنجیره تامین برای اطمینان از یکپارچگی، قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری شبکه های تامین ضروری است. ماهیت جهانی زنجیره های تامین آنها را در معرض تهدیدات مختلف از جمله حملات سایبری، تقلب و اختلالات ناشی از رویدادهای ژئوپلیتیکی یا بلایای طبیعی قرار می دهد (Hassija et al., 2020). پیامدهای به خطر افتادن امنیت زنجیره تامین می تواند شدید باشد، از زیان های مالی و صدمه به شهرت گرفته تا تعهدات قانونی و اختلال در ارائه خدمات. پیچیدگی روزافزون زنجیره های تامین جهانی آنها را در برابر تهدیدات امنیتی آسیب پذیرتر کرده است. از آنجایی که زنجیره های تامین شامل چندین لایه از تامین کنندگان و پیمانکاران فرعی در مناطق مختلف می شود، تضمین امنیت چالش برانگیزتر می شود. هر پیوند اضافی در زنجیره تامین نقاط بالقوه شکست را معرفی می کند، جایی که نقض یا اختلالات امنیتی ممکن است رخ دهد (Islam, 2023). به عنوان مثال، حملات سایبری که سیستم های زنجیره تامین را هدف قرار می دهند، می توانند منجر به نقض داده ها، سرقت مالکیت معنوی و اختلال در عملیات حیاتی شوند (Bandhu et al., 2023).

فناوری بلاک چین به عنوان یک راه حل امیدوارکننده برای افزایش امنیت زنجیره تامین با ارائه مکانیسم های قوی برای حفاظت از داده ها، پیشگیری از تقلب و مدیریت ریسک پدیدار شده است. با فعال کردن ردیابی و راستی آزمایی بی درنگ محصولات و تراکنش ها، بلاک چین به شناسایی و کاهش فعالیت های تقلبی کمک می کند و تضمین می کند که فقط محصولات واقعی و سازگار به بازار می رسند (Dutta et al., 2020). ماهیت تغییرناپذیر سوابق بلاک چین تضمین می کند که هر تلاشی برای تغییر داده های تراکنش بلافاصله قابل شناسایی است و یک بازدارنده قوی در برابر تقلب ایجاد می کند (Chamoun, Azzi, & Sokhn, 2019).

یکی از جنبه های کلیدی امنیت زنجیره تامین، قابلیت ردیابی است که به توانایی ردیابی حرکت و تاریخچه محصولات در سراسر زنجیره تامین اشاره دارد. فناوری بلاک چین با ارائه یک رکورد شفاف و بدون دستکاری از هر تراکنش، قابلیت ردیابی را افزایش می دهد. این قابلیت به ویژه در صنایعی مانند داروسازی، مواد غذایی و کالاهای لوکس، که در آن جعل و تقلب رایج است، اهمیت دارد (Queiroz, Telles, & Bonilla, 2020). به عنوان مثال، در صنعت داروسازی، بلاک چین می تواند سفر داروها را از تولیدکننده به مصرف کننده ردیابی کند و اطمینان حاصل کند که محصولات تقلبی یا نامرغوب شناسایی شده و از زنجیره تامین حذف می شوند (Bandhu et al., 2023). بلاک چین همچنین نقش مهمی در بهبود شفافیت در زنجیره تامین ایفا می کند. شفافیت به در دسترس بودن اطلاعات دقیق و به موقع درباره فعالیت های زنجیره تامین برای همه ذینفعان اشاره دارد. بلاک چین یک دفتر کل غیرقابل تغییر را فراهم می کند که برای همه طرف های مجاز قابل دسترسی است و اطمینان می دهد که اطلاعات سازگار و قابل اعتماد هستند (Rejeb & Rejeb, 2020). این شفافیت به شناسایی ناکارآمدی ها، کاهش تاخیرها و بهبود عملکرد کلی زنجیره تامین کمک می کند (فرانسیسکو و سوانسون، 2018).

قراردادهای هوشمند، یکی از ویژگی های فناوری بلاک چین، امنیت زنجیره تامین را با خودکارسازی فرآیندها و اجرای انطباق با قوانین از پیش تعریف شده افزایش می دهد. قراردادهای هوشمند قراردادهایی هستند که خوداجرای می شوند و شرایط توافق نامه به طور مستقیم در کد نوشته شده است. آنها به طور خودکار اقداماتی مانند پرداخت ها، محموله ها و اعلان ها را در صورت تحقق شرایط خاص اجرا می کنند و نیاز به مداخله دستی را کاهش می دهند و خطر خطای انسانی را به حداقل می رسانند (وانگ و همکاران، 2020). در مدیریت زنجیره تامین، قراردادهای هوشمند می توانند اطمینان حاصل کنند که کالاها تنها زمانی ارسال می شوند که پرداخت دریافت می شود، یا اینکه بازرسی های کیفیت قبل از پذیرفته شدن محصولات انجام می شود (Xu et al., 2024).

ادغام بلاک چین با دستگاه های اینترنت اشیا، پتانسیل آن را در افزایش امنیت زنجیره تامین تقویت می کند. دستگاه های اینترنت اشیا می توانند داده های بلادرنگ را از نقاط مختلف زنجیره تامین مانند دما، رطوبت و مکان جمع آوری کنند و این داده ها را بر روی بلاک چین ثبت کنند. این ادغام یک دید جامع و دقیق از عملیات زنجیره تامین را فراهم می کند و شناسایی و حل و فصل

پیشگیرانه مسائل امنیتی را امکان پذیر می کند (Hofmann & Rüsich, 2017). به عنوان مثال، در صنایع غذایی، دستگاه‌های اینترنت اشیا می‌توانند شرایط کالاهای فاسد شدنی را در حین حمل و نقل نظارت کنند و اطمینان حاصل کنند که آنها در شرایط بهینه ذخیره و حمل می‌شوند (Francisco & Swanson, 2018). با وجود مزایای متعدد، پذیرش فناوری بلاک چین در امنیت زنجیره تامین بدون چالش نیست. مسائل مقیاس پذیری یک نگرانی قابل توجه است، زیرا شبکه‌های بلاک چین فعلی می‌توانند تنها تعداد محدودی از تراکنش‌ها را در ثانیه در مقایسه با پایگاه‌های داده سنتی انجام دهند (Vukolić, 2016). علاوه بر این، مصرف انرژی مرتبط با بلاک چین، به ویژه آنهایی که از مکانیسم‌های اجماع اثبات کار استفاده می‌کنند، نگرانی‌های زیست محیطی را افزایش می‌دهد (Vranken, 2017). قابلیت همکاری بین پلتفرم‌های مختلف بلاک چین و با سیستم‌های قدیمی موجود یکی دیگر از چالش‌های حیاتی است که باید برای اطمینان از یکپارچگی یکپارچه مورد توجه قرار گیرد (ژنگ و همکاران، 2018). مسائل قانونی و مقرراتی نیز موانع قابل توجهی برای پذیرش فناوری بلاک چین در امنیت زنجیره تامین ایجاد می‌کند. فقدان چارچوب‌ها و استانداردهای نظارتی روشن برای بلاک چین، عدم اطمینان و خطراتی را برای مشاغل که به دنبال پذیرش این فناوری هستند، ایجاد می‌کند (Ganne, 2018). علاوه بر این، تشخیص قانونی و قابلیت اجرای قراردادهای هوشمند در حوزه‌های قضایی متفاوت است و اجرای راه‌حل‌های بلاک چین در زنجیره‌های تامین را پیچیده‌تر می‌کند (Clack, Bakshi, & Braine, 2016). در نتیجه، امنیت زنجیره تامین برای اطمینان از عملکرد روان و قابل اعتماد شبکه‌های تامین جهانی از اهمیت بالایی برخوردار است. فناوری بلاک چین با ارائه مکانیسم‌های قوی برای حفاظت از داده‌ها، پیشگیری از تقلب و مدیریت ریسک، پتانسیل قابل توجهی را برای افزایش امنیت زنجیره تامین ارائه می‌دهد. ماهیت غیرمتمرکز و تغییرناپذیر آن، همراه با توانایی ادغام با اینترنت اشیا و استفاده از قراردادهای هوشمند، چارچوبی جامع برای پرداختن به چالش‌های پیش روی زنجیره‌های تامین سنتی فراهم می‌کند. با این حال، برای اینکه بلاک چین پتانسیل کامل خود را به کار گیرد، صنعت باید به مقیاس‌پذیری، قابلیت همکاری، نظارتی و چالش‌های قانونی مرتبط با پذیرش آن بپردازد. با ادامه پیشرفت تحقیق و توسعه در این زمینه، فناوری بلاک چین در حال تبدیل شدن به سنگ بنای مدیریت زنجیره تامین ایمن و کارآمد است.

۲- اهداف و محدوده بررسی

هدف اصلی این بررسی جامع و سیستماتیک، بررسی کاربردهای مختلف فناوری بلاک چین در افزایش امنیت زنجیره تامین است. هدف این بررسی ترکیب ادبیات موجود، شناسایی گرایش‌ها و چالش‌های کلیدی، و ارائه بینش‌هایی در مورد پیشرفت‌های بالقوه آینده در این زمینه است. به طور خاص، این بررسی به دنبال این است:

- بررسی کاربردهای مختلف فناوری بلاک چین در بهبود امنیت زنجیره تامین.
 - شناسایی عوامل حیاتی موفقیت و موانع پذیرش بلاک چین در امنیت زنجیره تامین.
- دامنه بررسی جنبه‌های مختلف امنیت زنجیره تامین، از جمله قابلیت ردیابی، شفافیت، یکپارچگی داده‌ها و نقش قراردادهای هوشمند را در بر می‌گیرد. با بررسی این حوزه‌ها، این بررسی قصد دارد درک جامعی از این که چگونه فناوری بلاک چین می‌تواند چالش‌های پیش روی زنجیره‌های تامین سنتی را برطرف کند و به سیستم مدیریت زنجیره تامین ایمن‌تر و کارآمدتر کمک کند، ارائه دهد.

۳- سوالات و روش تحقیق

برای دستیابی به اهداف ذکر شده در بالا، این بررسی به سوالات تحقیق زیر می‌پردازد:

- کاربردهای اصلی فناوری بلاک چین در افزایش امنیت زنجیره تامین چیست؟
 - عوامل حیاتی موفقیت و موانع پذیرش بلاک چین در امنیت زنجیره تامین چیست؟
- روش این بررسی شامل یک رویکرد مروری نظام مند ادبیات است که شامل مراحل زیر است:
- جستجوی ادبیات: جستجوی جامع پایگاه‌های اطلاعاتی دانشگاهی مانند Scopus, IEEE Xplore, Google Scholar و Web of Science با استفاده از کلمات کلیدی مانند "بلاک چین در زنجیره تامین"، "امنیت زنجیره تامین"، "ردیابی بلاک چین" و "بلاک چین" انجام شد. قراردادهای هوشمند.

معیارهای انتخاب: مقالاتی گنجانده شد که بر کاربرد فناوری بلاک چین در امنیت زنجیره تامین متمرکز بود، در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ منتشر شد و بینش‌های تجربی یا نظری مرتبط با سوالات تحقیق را ارائه کرد. استخراج و تجزیه و تحلیل داده‌ها: اطلاعات مرتبط از مقالات انتخاب شده شامل اهداف مطالعه، روش‌شناسی، یافته‌ها و نتیجه‌گیری استخراج شد. داده‌ها برای شناسایی مضامین، روندها و شکاف‌های رایج در ادبیات موجود تجزیه و تحلیل شدند.

ترکیب و گزارش: یافته‌ها برای ارائه یک نمای کلی جامع از پیشرفته‌ترین فناوری‌های بلاک چین در امنیت زنجیره تامین ترکیب شدند. نتایج به صورت ساختاریافته گزارش شده و به سؤالات تحقیق پرداخته و بینش‌هایی را در مورد جهت گیری های تحقیقاتی آینده ارائه می دهد. پس از غربالگری و ارزیابی مجموعه اولیه مقالات، ۱۵ مقاله به عنوان مقالات مروری نهایی انتخاب شدند. این بررسی سیستماتیک بر اساس این ۱۵ مقاله است که از تجزیه و تحلیل متمرکز و دقیق وضعیت فعلی و پتانسیل آینده فناوری بلاک چین در افزایش امنیت زنجیره تامین اطمینان حاصل می کند.

۴- مروری بر ادبیات موضوع

۴-۱- مروری بر فناوری بلاک چین

فناوری بلاک چین به عنوان یک سیستم دفتر کل غیرمتمرکز و توزیع شده تعریف می شود که تراکنش ها را در چندین رایانه ثبت می کند تا امنیت، شفافیت و تغییر ناپذیری را تضمین کند. هر تراکنش رمزگذاری شده و به تراکنش قبلی مرتبط می شود و زنجیره ای از بلوک ها را تشکیل می دهد که در برابر اصلاح مقاوم است (ناکاموتو، ۲۰۰۸). مفاهیم کلیدی بلاک چین شامل تمرکززدایی، هش رمزنگاری، مکانیسم‌های اجماع و قراردادهای هوشمند است.

تمرکززدایی نیاز به یک اقتدار مرکزی را از بین می برد و به تعاملات هم‌تا به هم‌تا اجازه می دهد. هش رمزنگاری یکپارچگی داده ها را با تولید یک هش منحصر به فرد برای هر بلوک تضمین می کند. مکانیسم‌های اجماع، مانند اثبات کار (PoW) و اثبات سهام (PoS)، تراکنش‌ها را تأیید می کنند و یکپارچگی بلاک چین را حفظ می کنند. قراردادهای هوشمند قراردادهایی هستند که خوداجرا با شرایطی که مستقیماً در کد نوشته شده‌اند، امکان خودکارسازی فرایندها و کاهش خطر خطای انسانی را فراهم می کنند (چانگ و چن، ۲۰۲۰).

۴-۱-۱- تکامل و روندهای کنونی

فناوری بلاک چین از زمان آغاز به کار آن با بیت کوین در سال ۲۰۰۸ به طور قابل توجهی تکامل یافته است. در ابتدا بر روی ارزهای رمزنگاری شده متمرکز شد، برنامه های بلاک چین در بخش های مختلفی از جمله مالی، مراقبت های بهداشتی و مدیریت زنجیره تامین گسترش یافته است (Queiroz, Telles, & Bonilla, 2020). روندهای اخیر در فناوری بلاک چین شامل توسعه بلاک چین های خصوصی و کنسرسیومی است که کنترل و حریم خصوصی بیشتری را در مقایسه با بلاک چین های عمومی ارائه می دهند. ادغام بلاک چین با سایر فناوری‌های نوظهور مانند اینترنت اشیا (IoT) و هوش مصنوعی (AI) نیز در حال افزایش است. دستگاه‌های اینترنت اشیا می‌توانند داده‌های بلادرنگ را به بلاک چین ارائه کنند و قابلیت ردیابی و شفافیت را در زنجیره‌های تامین افزایش دهند. هوش مصنوعی می تواند برای تجزیه و تحلیل داده های بلاک چین، ارائه بینش و بهبود فرآیندهای تصمیم گیری استفاده شود (هوفمن و روش، ۲۰۱۷). علاوه بر این، علاقه فزاینده ای به توسعه مکانیسم های اجماع کارآمدتر انرژی برای رسیدگی به نگرانی های زیست محیطی مرتبط با PoW وجود دارد (Vranken, ۲۰۱۷).

۴-۲- امنیت زنجیره تامین

امنیت زنجیره تامین به اقداماتی اطلاق می شود که برای محافظت از عملیات زنجیره تامین در برابر تهدیدات و اختلالات انجام می شود. این شامل حفاظت از یکپارچگی، قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری زنجیره‌های تامین در برابر خطراتی مانند حملات سایبری، کلاهبرداری و رویدادهای ژئوپلیتیکی است (Hassija et al., 2020). تضمین امنیت زنجیره تامین برای حفظ جریان روان کالاها و خدمات، حفاظت از اطلاعات حساس و حفظ شهرت کسب و کار ضروری است. اهمیت امنیت زنجیره تامین با افزایش پیچیدگی و جهانی شدن زنجیره تامین تقویت شده است. با وجود چندین لایه از تامین کنندگان و پیمانکاران فرعی که در مناطق مختلف پراکنده شده اند، زنجیره های تامین در برابر نقض های امنیتی آسیب پذیرتر هستند. اقدامات موثر امنیتی زنجیره تامین می تواند از ضررهای مالی جلوگیری کند، از مالکیت معنوی محافظت کند و از انطباق با الزامات نظارتی اطمینان حاصل کند (اسلام، ۲۰۲۳).

۴-۲-۱- چالش ها و مسائل کنونی

علیرغم اهمیت حیاتی امنیت زنجیره تامین، چالش ها و مسائل متعددی وجود دارد. یکی از چالش‌های اصلی، عدم دید و شفافیت در زنجیره تامین است. دخالت چندین نهاد اغلب به سیلوهای اطلاعاتی منجر می شود و ردیابی جایجایی کالاها و کشف فعالیت های متقلبانه را دشوار می کند (دوتا و همکاران، ۲۰۲۰). فناوری بلاک چین با ارائه یک دفتر کل شفاف و غیرقابل تغییر که همه طرف‌های مجاز می‌توانند به آن دسترسی داشته باشند، این مشکل را برطرف می‌کند و از ثبات و اعتماد داده‌ها اطمینان می‌دهد (Sokhn & Chamoun, Azzi, ۲۰۱۹). موضوع مهم دیگر خطر حملات سایبری است. زنجیره‌های تامین به طور فزاینده‌ای برای عملیات به سیستم‌های دیجیتال متکی هستند و آنها را در معرض تهدیدات سایبری قرار می‌دهد. بلاک چین امنیت سایبری

را با استفاده از تکنیک های رمزنگاری برای ایمن سازی داده ها و با اطمینان از اینکه هر گونه تلاش برای تغییر داده های تراکنش بلافاصله قابل تشخیص است، افزایش می دهد (باندو و همکاران، ۲۰۲۳). علاوه بر این، پذیرش بلاک چین در زنجیره تامین با موانعی مانند مقیاس پذیری، قابلیت همکاری و عدم قطعیت های نظارتی مواجه است. شبکه های بلاک چین کنونی می توانند تنها تعداد محدودی از تراکنش ها را در هر ثانیه در مقایسه با پایگاه های داده سنتی انجام دهند که چالش مقیاس پذیری را ایجاد می کند (Vukolić, ۲۰۱۶). قابلیت همکاری بین پلتفرم های مختلف بلاک چین و سیستم های قدیمی موجود برای یکپارچه سازی یکپارچه ضروری است، اما همچنان یک موضوع پیچیده است (ژنگ و همکاران، ۲۰۱۸). چالش های قانونی و قانونی نیز باعث ایجاد عدم قطعیت می شوند، زیرا فقدان چارچوب های روشن برای فناوری بلاک چین می تواند کسب و کارها را از پذیرش آن باز دارد (Ganne, 2018).

جدول ۱- بررسی ادبیات منتخب

نویسنده	عنوان	هدف، واقع گرایانه	روش شناسی	یافته های کلیدی	ارتباط با سوالات تحقیق
آزی، چمن و سخن (۲۰۱۹)	قدرت یک زنجیره تامین مبتنی بر بلاک چین	تاثیر بلاک چین بر کارایی و امنیت زنجیره تامین را بررسی کنید	بررسی ادبیات و مطالعات موردی	بلاک چین قابلیت ردیابی را افزایش می دهد، تقلب را کاهش می دهد و یکپارچگی داده ها را بهبود می بخشد	به برنامه ها و مزایای بلاک چین می پردازد
باندو و همکاران (۲۰۲۳)	ایمن کردن زنجیره تامین دارو، قابل ردیابی و کارآمد کردن	پیاده سازی بلاک چین و قراردادهای هوشمند در زنجیره تامین دارویی	مطالعه تجربی	افزایش قابلیت ردیابی و امنیت در زنجیره تامین دارو، کاهش داروهای تقلبی	کاربردها و مزایای خاصی را نشان می دهد
چانگ و چن (۲۰۲۰)	زمانی که بلاک چین با زنجیره تامین روبرو می شود	تحولات و کاربردهای فعلی بلاک چین در زنجیره تامین را مرور کنید	مروری بر ادبیات سیستماتیک	کاربردهای کلیدی، مزایا و چالش های بلاک چین در زنجیره تامین را شناسایی می کند	مروری جامع بر برنامه های بلاک چین
دوتا و همکاران (۲۰۲۰)	فناوری بلاک چین در عملیات زنجیره تامین	برنامه های بلاک چین، چالش ها و فرصت های تحقیقاتی در زنجیره تامین را بررسی کنید	تحلیل نظری و مطالعات موردی	بلاک چین کارایی عملیاتی، یکپارچگی داده ها و جلوگیری از تقلب را بهبود می بخشد	مزایا و عوامل حیاتی موفقیت را تجزیه و تحلیل می کند
فرانسیسکو و سوانسون (۲۰۱۸)	زنجیره تامین لباس ندارد: فناوری بلاک چین برای شفافیت زنجیره تامین	پتانسیل بلاک چین برای شفافیت زنجیره تامین را بررسی کنید	چارچوب مفهومی با استفاده از UTAUT	بلاک چین شفافیت، قابلیت ردیابی و اعتماد را در بین ذینفعان افزایش می دهد	در مورد شفافیت و موانع پذیرش بحث می کند
حسیجا و همکاران (۲۰۲۰)	بررسی امنیت زنجیره تامین	حوزه های کاربردی، تهدیدات امنیتی و راه حل ها در زنجیره تامین را بررسی کنید	مروری بر ادبیات سیستماتیک	تهدیدهای امنیتی و راه حل های مبتنی بر بلاک چین را برجسته می کند	بر چالش های امنیتی و راه حل های بلاک چین تمرکز می کند
Hofman & Rüsich (2017)	Industry 4.0 وضعیت فعلی و همچنین چشم اندازهای آینده در لجستیک	تاثیر فناوری های Industry 4.0 بر لجستیک را تجزیه و تحلیل کنید	بررسی ادبیات و تحلیل صنعت	ادغام اینترنت اشیا و بلاک چین ردیابی و شفافیت در زنجیره تامین را در زمان واقعی افزایش می دهد	ادغام با سایر فناوری ها را بررسی می کند
اسلام (۲۰۲۳)	نظرسنجی در مورد استفاده از بلاک چین برای دستیابی به امنیت زنجیره تامین	برنامه های بلاک چین را برای امنیت زنجیره تامین بررسی کنید	مروری بر ادبیات سیستماتیک	بلاک چین مکانیزم های امنیتی قوی را فراهم می کند، قابلیت ردیابی و یکپارچگی داده ها را افزایش می دهد	مروری جامع بر مزایای امنیتی بلاک چین
لونگو و همکاران (۲۰۱۹)	زنجیره تامین فعال با بلاک چین	آزمایش با بلاک چین در سناریوهای زنجیره تامین	مطالعه تجربی	مزایای عملی بلاک چین از جمله کارایی و کاهش تقلب را نشان می دهد	شواهد تجربی از مزایای بلاک چین ارائه می کند
کی روش، تلس، و بونیلا (۲۰۲۰)	ادغام مدیریت زنجیره بلاک و زنجیره تامین: بررسی سیستماتیک ادبیات	بررسی ادغام بلاک چین با مدیریت زنجیره تامین	مروری بر ادبیات سیستماتیک	چالش های کلیدی یکپارچه سازی و مزایای بلاک چین در زنجیره تامین را شناسایی می کند	بررسی جامع یکپارچه سازی و چالش های آن
Rejeb & Rejeb (2020)	بلاک چین و پایداری زنجیره تامین	نقش بلاک چین در افزایش پایداری زنجیره تامین را بررسی کنید	مروری بر ادبیات سیستماتیک	بلاک چین از شیوه های پایدار از طریق بهبود قابلیت ردیابی و شفافیت پشتیبانی می کند	مزایا و کاربردهای پایداری را مورد بحث قرار می دهد
Seebacher & Schüritz (2017)	فناوری بلاک چین به عنوان یک توانمندساز سیستم های خدماتی	پتانسیل بلاک چین را به عنوان یک فعال کننده سیستم خدماتی مرور کنید	بررسی ادبیات ساختاری	بلاک چین ارائه خدمات را از طریق شفافیت، قابلیت ردیابی و اعتماد افزایش می دهد	برنامه ها و مزایای مربوط به خدمات را مورد بحث قرار می دهد

نویسنده	عنوان	هدف، واقع‌گرایانه	روش شناسی	یافته های کلیدی	ارتباط با سوالات تحقیق
وو کولینج (۲۰۱۶)	تلاش برای پارچه بلاک چین مقیاس پذیر: اثبات کار در مقابل تکرار BFT	مکانیسم های اجماع را برای مقیاس پذیری در بلاک چین مقایسه کنید	تحلیل نظری	چالش های مقیاس پذیری و راه حل های بالقوه برای شبکه های بلاک چین را برجسته می کند	به مسائل مقیاس پذیری و راه حل های بالقوه می پردازد
Vranke n (2017)	پایداری بیت کوین و بلاک چین	تاثیر زیست محیطی فناوری بلاک چین را بررسی کنید	بررسی ادبیات و تحلیل تجربی	مکانیسم های اجماع اثبات کار مصرف انرژی قابل توجهی دارند و نیاز به راه حل های پایدار را برجسته می کند	در مورد نگرانی های زیست محیطی و نیاز به راه حل های کارآمد بحث می کند
وانگ و همکاران (۲۰۲۰)	بلاک چین و مدیریت زنجیره تامین: یک الگوی جدید برای یکپارچه سازی زنجیره تامین	نقش بلاک چین در یکپارچه سازی و همکاری زنجیره تامین را تجزیه و تحلیل کنید	مروری بر ادبیات سیستماتیک	بلاک چین همکاری را افزایش می دهد، ناکارآمدی ها را کاهش می دهد و یکپارچگی داده ها را تضمین می کند	مزایای یکپارچه سازی و همکاری را بررسی می کند

۵- کاربردهای بلاک چین در امنیت زنجیره تامین

۵-۱- قابلیت ردیابی و شفافیت

۵-۱-۱- مبدا و ردیابی محصول

فناوری بلاک چین قابلیت ردیابی و شفافیت منشا محصول را در زنجیره تامین افزایش می دهد. با ایجاد یک دفتر کل غیرقابل تغییر تراکنش ها، بلاک چین تضمین می کند که هر مرحله در زنجیره تامین ثبت و تأیید می شود (Azzi, Chamoun, & Sokhn, 2019). این قابلیت به ویژه برای صنایعی که منشأ محصولات در آنها حیاتی است، مانند داروها، مواد غذایی و کالاهای لوکس بسیار مهم است. به عنوان مثال، در صنعت داروسازی، بلاک چین می تواند مسیر داروها را از تولیدکننده به مصرف کننده ردیابی کند و اطمینان حاصل کند که محصولات تقلبی یا نامرغوب شناسایی شده و از زنجیره تامین حذف می شوند (Bandhu et al., 2023). ماهیت غیرمتمرکز بلاک چین به همه ذینفعان زنجیره تامین، از جمله تامین کنندگان، تولیدکنندگان و مصرف کنندگان اجازه می دهد تا به تاریخچه یک محصول دسترسی داشته باشند و آن را تأیید کنند. این شفافیت به شناسایی ناکارآمدی ها، کاهش تاخیرها و بهبود عملکرد کلی زنجیره تامین کمک می کند (فرانسیسکو و سوانسون، ۲۰۱۸). علاوه بر این، ادغام بلاک چین با دستگاه های اینترنت اشیا امکان ردیابی بی درنگ محصولات را فراهم می کند و اطلاعات دقیق و به موقعی را در مورد موقعیت و وضعیت آن ها ارائه می دهد (Hofmann & Rüsck, 2017).

۵-۱-۲- اقدامات ضد جعل

تغییرناپذیری و شفافیت بلاک چین نیز نقش مهمی در مبارزه با جعل دارد. بلاک چین با ارائه یک رکورد ضد دستکاری از هر تراکنش تضمین می کند که هرگونه تلاش برای تغییر اطلاعات محصول بلافاصله قابل تشخیص است. این ویژگی برای صنایعی مانند کالاهای لوکس، داروسازی و الکترونیک، که در آن محصولات تقلبی خطرات قابل توجهی دارند، ضروری است (Queiroz, Telles, & Bonilla, 2020). به عنوان مثال، Everledger، یک پلتفرم مبتنی بر بلاک چین، منشأ الماس ها را دنبال می کند تا اطمینان حاصل کند که آنها از نظر اخلاقی منشأ می شوند و در مناطق درگیر درگیر نیستند (چانگ و چن، ۲۰۲۰). به طور مشابه، در صنعت غذا، ومارت از بلاک چین برای ردیابی منشأ محصولات، تضمین ایمنی و اصالت مواد غذایی استفاده می کند (Longo et al., 2019). این اقدامات نه تنها از مصرف کنندگان محافظت می کند، بلکه اعتبار و اعتماد برند را نیز افزایش می دهد.

جدول ۲- کاربردهای بلاک چین در قابلیت ردیابی و شفافیت

کاربرد	شرح	مثال	فواید
مبدا و ردیابی محصول	رکورد تغییرناپذیر سفر محصول از مبدا تا مصرف کننده	صنعت داروسازی، صنایع غذایی	قابلیت ردیابی را افزایش می دهد، ناکارآمدی ها را شناسایی می کند
اقدامات ضد جعل	سابقه ضد دستکاری برای مبارزه با جعل	، (الماس) Everledger (غذا) Walmart	از مصرف کنندگان محافظت می کند، شهرت برند را افزایش می دهد

۵-۲- یکپارچگی داده و امنیت اطلاعات

۵-۲-۱- به اشتراک گذاری امن داده ها

فناوری بلاک چین با استفاده از تکنیک های رمزنگاری برای محافظت از اطلاعات، اشتراک امن داده ها را در شبکه های زنجیره تامین تضمین می کند. هر تراکنش در بلاک چین رمزگذاری شده و به تراکنش قبلی مرتبط می شود و زنجیره ای از بلوک ها را ایجاد می کند که در برابر دستکاری مقاوم است (Seebacher & Schüritz, 2017). این ویژگی به ویژه در زنجیره های تامین مهم است که در آن اطلاعات حساس مانند اسرار تجاری و مالکیت معنوی باید محافظت شود (Dutta et al., 2020). با ارائه یک دفتر کل غیرقابل تغییر و قابل دسترسی برای همه طرف های مجاز، بلاک چین سیلوهای اطلاعات را حذف می کند و ثبات داده ها را تضمین می کند. این شفافیت به شناسایی و کاهش فعالیت های متقلبانه کمک می کند و اعتماد را در بین ذینفعان بهبود می بخشد (حسیجا و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، ماهیت غیرمتمرکز بلاک چین خطر حملات سایبری را کاهش می دهد، زیرا هیچ نقطه شکست واحدی وجود ندارد (Islam, 2023).

۵-۲-۲- جلوگیری از دستکاری داده ها

تعمیرناپذیری سوابق بلاک چین تضمین می کند که هرگونه تلاش برای تغییر داده های تراکنش بلافاصله قابل تشخیص است. این ویژگی برای حفظ یکپارچگی داده ها و جلوگیری از تقلب در زنجیره تامین بسیار مهم است. به عنوان مثال، در صنعت لجستیک، بلاک چین می تواند برای تأیید صحت اسناد حمل و نقل و جلوگیری از دستکاری استفاده شود (فرانسیسکو و سوانسون، ۲۰۱۸). مکانیسم های اجماع بلاک چین، مانند اثبات کار (PoW) و اثبات سهام (PoS)، با الزام شرکت کنندگان شبکه به اعتبارسنجی تراکنش ها، امنیت را بیشتر افزایش می دهند. این مکانیسم ها عملاً تغییر سوابق بلاک چین را بدون شناسایی شدن برای بازیگران مخرب غیرممکن می کنند (Vukolić, ۲۰۱۶). علاوه بر این، استفاده از قراردادهای هوشمند می تواند انطباق با قوانین از پیش تعریف شده را خودکار کند و خطر خطای انسانی و تقلب را کاهش دهد (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۳- کاربردهای بلاک چین در قراردادهای هوشمند و اتوماسیون

کاربرد	شرح	مثال	فواید
به اشتراک گذاری امن داده ها	حفاظت رمزنگاری از اطلاعات، اطمینان از سازگاری داده ها	اسرار تجاری، مالکیت معنوی	تقلب را تشخیص می دهد، اعتماد را بهبود می بخشد
جلوگیری از دستکاری داده ها	سوابق تغییرناپذیر و مکانیسم های اجماع برای جلوگیری و تشخیص دستکاری	صنعت لجستیک، اسناد حمل و نقل	یکپارچگی داده ها را حفظ می کند، تقلب را کاهش می دهد

۵-۳- قراردادهای هوشمند و اتوماسیون

۵-۳-۱- اجرای قرارداد و رعایت آن

قراردادهای هوشمند قراردادهایی هستند که خوداجرای می شوند و شرایط توافق نامه به طور مستقیم در کد نوشته شده است. این قراردادها به طور خودکار اقداماتی مانند پرداخت ها، محموله ها و اعلان ها را در صورت تحقق شرایط خاص اجرا می کنند و نیاز به مداخله دستی را کاهش می دهند و خطر خطای انسانی را به حداقل می رسانند (چانگ و چن، ۲۰۲۰). در مدیریت زنجیره تامین، قراردادهای هوشمند می توانند اطمینان حاصل کنند که کالاها تنها زمانی ارسال می شوند که پرداخت دریافت می شود یا اینکه بازرسی های کیفیت قبل از پذیرش محصولات انجام می شود (Longo et al., 2019).

قراردادهای هوشمند کارایی را با خودکار کردن وظایف معمول و اجرای قوانین از پیش تعریف شده افزایش می دهند. این اتوماسیون نه تنها هزینه های عملیاتی را کاهش می دهد، بلکه تضمین می کند که همه طرف ها به شرایط توافق شده پایبند هستند و خطر اختلافات را کاهش می دهد (وانگ و همکاران، ۲۰۲۰). به عنوان مثال، IBM و Maersk یک پلتفرم مبتنی بر بلاک چین ایجاد کرده اند که از قراردادهای هوشمند برای ساده سازی فرآیندهای حمل و نقل بین المللی استفاده می کند و از انطباق با الزامات نظارتی اطمینان می دهد (Sokhn & Chamoun, Azzi, ۲۰۱۹).

۵-۳-۲- کاهش تقلب و خطا

قراردادهای هوشمند با خودکارسازی اجرای قرارداد و انطباق، احتمال تقلب و خطا در معاملات زنجیره تامین را کاهش می دهند. شفافیت و تغییرناپذیری سوابق بلاک چین تضمین می کند که همه اقدامات ثبت و قابل تأیید هستند و یک مسیر حسابرسی واضح را ارائه می دهند (فرانسیسکو و سوانسون، ۲۰۱۸). این ویژگی به ویژه برای صنایعی که رعایت استانداردهای نظارتی حیاتی است، مانند داروها و مواد غذایی بسیار مهم است. به عنوان مثال، صنعت داروسازی می تواند از قراردادهای هوشمند برای خودکارسازی تأیید صحت دارو استفاده کند و اطمینان حاصل کند که فقط محصولات سازگار توزیع می شوند (Bandhu et

al., 2023). به طور مشابه، در صنعت غذا، قراردادهای هوشمند می توانند بررسی های کیفیت را خودکار کنند و اطمینان حاصل کنند که محصولات قبل از رسیدن به مصرف کنندگان، استانداردهای ایمنی را برآورده می کنند (Rejeb & Rejeb, 2020).

جدول ۴- کاربردهای بلاک چین در قراردادهای هوشمند و اتوماسیون

کاربرد	شرح	مثال	فواید
به اشتراک گذاری امن داده ها	حفاظت رمزنگاری از اطلاعات، اطمینان از سازگاری داده ها	اسرار تجاری، مالکیت معنوی	تقلب را تشخیص می دهد، اعتماد را بهبود می بخشد
جلوگیری از دستکاری داده ها	سوابق تغییرناپذیر و مکانیسم های اجماع برای جلوگیری و تشخیص دستکاری	صنعت لجستیک، اسناد حمل و نقل	یکپارچگی داده ها را حفظ می کند، تقلب را کاهش می دهد

۴-۵- مطالعات موردی و کاربردهای دنیای واقعی

۴-۵-۱- نمونه های خاص صنعت

فناوری بلاک چین با موفقیت در صنایع مختلف پیاده سازی شده است و مزایای بی شماری را از نظر قابلیت ردیابی، شفافیت و امنیت ارائه می دهد. به عنوان مثال، صنعت الماس از بلاک چین برای ردیابی منشأ الماس و اطمینان از منشأ اخلاقی آنها استفاده می کند (چانگ و چن، ۲۰۲۰). صنعت غذا از بلاک چین برای افزایش ایمنی و قابلیت ردیابی مواد غذایی استفاده می کند، با شرکت هایی مانند المارت از بلاک چین برای ردیابی منشأ محصولات غذایی (Longo et al., 2019). در صنعت داروسازی، بلاک چین برای جلوگیری از داروهای تقلبی و اطمینان از اصالت محصولات استفاده می شود. به عنوان مثال، پروژه MediLedger از زنجیره بلوکی برای ردیابی و تأیید زنجیره تامین داروها استفاده می کند و اطمینان حاصل می کند که فقط محصولات اصلی به دست مصرف کنندگان می رسد (Bandhu et al., 2023). به طور مشابه، صنعت خودرو از بلاک چین برای افزایش شفافیت و ردیابی زنجیره تامین استفاده می کند، با شرکت هایی مانند BMW که راه حل های بلاک چین را برای ردیابی منشأ و اصالت قطعات خودرو پیاده سازی می کنند (Xu et al., 2024).

۴-۵-۲- تأثیر تحول آفرین فناوری بلاک چین بر امنیت زنجیره تامین

چندین داستان موفقیت، تأثیر تحول آفرین فناوری بلاک چین بر امنیت زنجیره تامین را برجسته می کند. به عنوان مثال، پلتفرم بلاک چین Everledger منشأ بیش از دو میلیون الماس را با موفقیت ردیابی کرده است و اطمینان حاصل می کند که آنها عاری از تضاد و منشأ اخلاقی هستند (Queiroz, Telles, & Bonilla, 2020). به طور مشابه، ابتکار بلاک چین المارت زمان مورد نیاز برای ردیابی منشأ محصولات غذایی را از روز به ثانیه کاهش داده است و ایمنی و شفافیت مواد غذایی را افزایش می دهد (Hofmann & Rüsich, 2017). این داستان های موفقیت، مزایای عملی فناوری بلاک چین، از جمله بهبود قابلیت ردیابی، کاهش تقلب، و افزایش کارایی را نشان می دهد. با این حال، آنها همچنین بر اهمیت پرداختن به چالش هایی مانند مقیاس پذیری، قابلیت همکاری، و انطباق با مقررات برای تحقق کامل پتانسیل بلاک چین در زنجیره های تامین تأکید می کنند (اسلام، ۲۰۲۳).

جدول ۵- مطالعات موردی و یافته های کاربردی

صنعت	کاربرد	مثال	فواید
صنعت الماس	ردیابی منشأ	Everledger	منابع اخلاقی را تضمین می کند، شفافیت را افزایش می دهد
صنایع غذایی	ایمنی مواد غذایی و قابلیت ردیابی	المارت	زمان ردیابی را کاهش می دهد، ایمنی مواد غذایی را افزایش می دهد
صنعت داروسازی	پیشگیری از تقلب	مدی لجر	اصالت را تضمین می کند، از داروهای تقلبی جلوگیری می کند
صنعت خودرو	شفافیت و قابلیت ردیابی زنجیره تامین	بی ام و	منشأ و اصالت قطعات خودرو را ردیابی می کند

۶- بحث و تحلیل

۶-۱- تحلیل مقایسه ای راه حل های بلاک چین

فناوری بلاک چین راه حل های مختلفی را برای افزایش امنیت زنجیره تامین معرفی کرده است. پلتفرم های مختلف بلاک چین و فناوری های مرتبط با آنها ویژگی ها، مزایا و محدودیت های منحصر به فردی را ارائه می دهند. این تحلیل مقایسه ای این راه حل ها را برای درک مناسب بودن آنها برای کاربردهای مختلف زنجیره تامین ارزیابی می کند. بلاک چین های عمومی در مقابل خصوصی: بلاک چین های عمومی مانند بیت کوین و اتریوم غیرمتمرکز هستند و برای همه قابل دسترسی هستند. این پلتفرم ها به دلیل شبکه بزرگ شرکت کنندگان و مکانیسم های اجماع مانند اثبات کار (PoW)

شفافیت و امنیت بالایی را ارائه می دهند (Vukolić, ۲۰۱۶). با این حال، بلاک چین های عمومی با مشکلات مقیاس پذیری و مصرف انرژی بالا مواجه هستند (ورانکن، ۲۰۱۷). در مقابل، بلاک چین های خصوصی به گروه خاصی از شرکت کنندگان محدود می شوند و کنترل و حریم خصوصی بیشتری را فراهم می کنند. آنها از مکانیسم های اجماع مانند تحمل خطای بیزاسی (PBFT) استفاده می کنند که از نظر انرژی کارآمدتر و مقیاس پذیرتر هستند (Seebacher & Schüritz, ۲۰۱۷). بلاک چین های خصوصی برای برنامه های سازمانی مناسب هستند که در آن حریم خصوصی و سرعت داده ها بسیار مهم است (Queiroz, Telles, و Bonilla, ۲۰۲۰).

پلتفرم های بلاک چین: پلتفرم های مختلف بلاک چین قابلیت های متفاوتی را ارائه می دهند. به عنوان مثال، Hyperledger Fabric برای استفاده سازمانی طراحی شده است و معماری مدولار و مقیاس پذیری را ارائه می دهد. از تراکنش ها و کانال های خصوصی پشتیبانی می کند و آن را برای برنامه های زنجیره تامین که نیاز به محرمانه بودن دارند ایده آل می کند (Sokhn و Chamoun, Azzi, ۲۰۱۹). اتریوم که به دلیل قابلیت های قرارداد هوشمند قوی خود شناخته شده است، به طور گسترده برای ایجاد برنامه های غیرمتمرکز (DApps) استفاده می شود (چانگ و چن، ۲۰۲۰).

جدول ۶- تجزیه و تحلیل مقایسه ای راه حل های بلاک چین برای زنجیره تامین

راه حل بلاک چین	ویژگی های کلیدی	مزایای	معایب
بلاک چین های عمومی	غیرمتمرکز، دسترسی باز	شفافیت بالا، امنیت قوی	مسائل مقیاس پذیری، مصرف انرژی بالا
بلاک چین های خصوصی	دسترسی محدود، محیط کنترل شده	حریم خصوصی پیشرفته، مقیاس پذیری بهتر، انرژی کارآمد	شفافیت محدود، نیازمند اعتماد به شرکت کنندگان است
پارچه های پیرلجر	معماری مدولار، معاملات خصوصی	مقیاس پذیری، محرمانه بودن، سازمانی دوستانه	راه اندازی پیچیده، به تخصص فنی نیاز دارد
اتریوم	قراردادهای غیرمتمرکز و هوشمند	انعطاف پذیری قوی، DApps بالا	کارمزد تراکنش بالا، چالش های مقیاس پذیری

۲-۶- مزایا و محدودیت های بلاک چین در امنیت زنجیره تامین

فناوری بلاک چین مزایای قابل توجهی برای امنیت زنجیره تامین ارائه می دهد، اما با محدودیت های خاصی نیز همراه است. درک این جنبه ها برای ارزیابی اثربخشی آن و شناسایی زمینه های بهبود حیاتی است.

مزایا

قابلیت ردیابی پیشرفته: بلاک چین یک رکورد شفاف و تغییرناپذیر از هر تراکنش فراهم می کند و امکان ردیابی دقیق محصولات را از مبدا تا مقصد فراهم می کند (Bandhu et al., 2023). این قابلیت تقلب را کاهش می دهد و اصالت محصول را تضمین می کند (Dutta et al., 2020).

بهبود یکپارچگی داده ها: تغییرناپذیری سوابق بلاک چین از دستکاری جلوگیری می کند و از دقت و قابلیت اطمینان داده ها اطمینان می دهد (Hassija et al., 2020). این ویژگی برای حفظ اعتماد در میان شرکت کنندگان زنجیره تامین حیاتی است (اسلام، ۲۰۲۳).

افزایش شفافیت: ماهیت غیرمتمرکز بلاک چین به همه ذینفعان اجازه می دهد تا به داده های تراکنش دسترسی داشته باشند و آنها را تأیید کنند و شفافیت و اعتماد را افزایش دهند (فرانسیسکو و سوانسون، ۲۰۱۸).

محدودیت ها

مسائل مقیاس پذیری: شبکه های بلاک چین فعلی، به ویژه شبکه های عمومی، با مقیاس پذیری دست و پنجه نرم می کنند و تعداد تراکنش هایی را که می توانند در ثانیه انجام دهند محدود می کنند (Vukolić, ۲۰۱۶). این موضوع بر مناسب بودن آنها برای زنجیره تامین در مقیاس بزرگ تأثیر می گذارد (ورانکن، ۲۰۱۷).

مصرف انرژی: مکانیسم های اجماع مانند PoW انرژی بر هستند و نگرانی هایی را در مورد تأثیر زیست محیطی فناوری بلاک چین ایجاد می کنند (Vranken, ۲۰۱۷).

چالش های نظارتی و قانونی: فقدان چارچوب های نظارتی روشن برای فناوری بلاک چین، عدم اطمینان و خطراتی را برای مشاغل ایجاد می کند (Ganne, 2018). شناسایی قانونی و قابلیت اجرای قراردادهای هوشمند نیز در حوزه های قضایی متفاوت است (Clack, Bakshi, & Braine, 2016).

۶-۳- دیدگاه های ذینفعان و چالش های پذیرش

پذیرش فناوری بلاک چین در زنجیره تامین، ذینفعان مختلفی را درگیر می کند که هر کدام دیدگاه ها و چالش های خود را دارند. این بخش این دیدگاه ها را بررسی می کند و موانع پذیرش بلاک چین را شناسایی می کند.

-دیدگاه های ذینفعان

تولیدکنندگان: تولیدکنندگان از قابلیت ردیابی و یکپارچگی داده ها بهره می برند که کنترل کیفیت را بهبود می بخشد و خطرات تقلبی را کاهش می دهد (Bandhu et al., 2023). با این حال، هزینه های بالای پیاده سازی فناوری بلاک چین می تواند یک مانع مهم باشد (چانگ و چن، ۲۰۲۰).

تامین کنندگان: تامین کنندگان از شفافیت و اعتماد بهبود یافته، تسهیل همکاری و کارایی بهتر در عملیات زنجیره تامین سود می برند (Rejeb & Rejeb, 2020). چالش در ادغام بلاک چین با سیستم های قدیمی موجود است (اسلام، ۲۰۲۳).
مصرف کنندگان: مصرف کنندگان از تضمین اصالت و ایمنی محصول سود می برند که منجر به افزایش اعتماد به برندها می شود (فرانسیسکو و سوانسون، ۲۰۱۸). با این حال، ممکن است مصرف کنندگان همیشه از مزایای فناوری بلاک چین آگاه نباشند (Dutta et al., 2020).

-چالش های پذیرش

پیچیدگی فنی: پیاده سازی فناوری بلاک چین به تخصص و منابع فنی قابل توجهی نیاز دارد که می تواند مانعی برای بسیاری از سازمان ها باشد (Azzi, Chamoun, & Sokhn, 2019).
مسائل قابلیت همکاری: اطمینان از یکپارچگی یکپارچه بین پلتفرم های مختلف بلاک چین و سیستم های زنجیره تامین موجود پیچیده و چالش برانگیز است (Zheng et al., 2018).
عدم قطعیت نظارتی: عدم وجود دستورالعمل های نظارتی روشن برای فناوری بلاک چین، عدم اطمینان و خطرات قانونی بالقوه ایجاد می کند (Ganne, 2018).

جدول ۷- دیدگاه های ذی نفعان و چالش های پذیرش

چالش ها	فواید	ذینفع
هزینه های اجرایی بالا	قابلیت ردیابی پیشرفته، کنترل کیفیت بهبود یافته	تولید کنندگان
ادغام با سیستم های قدیمی	شفافیت بهبود یافته، همکاری بهتر	تامین کنندگان
عدم آگاهی از مزایای بلاک چین	اطمینان از اصالت محصول، افزایش اعتماد	مصرف کنندگان
تخصص فنی، مسائل مربوط به قابلیت همکاری	پیچیدگی فنی، عدم قطعیت نظارتی	چالش های پذیرش

۶-۴- روندهای آینده و تحولات بالقوه

فناوری بلاک چین به تکامل خود ادامه می دهد و چندین روند و تحولات بالقوه می تواند آینده آن را در امنیت زنجیره تامین شکل دهد.

-روندهای آتی

ادغام با فناوری های نوظهور: ادغام بلاک چین با اینترنت اشیا و هوش مصنوعی ردیابی و تجزیه و تحلیل داده ها را در زمان واقعی افزایش می دهد و شفافیت و کارایی زنجیره تامین را بهبود می بخشد (Hofmann & Rüsich, 2017).
توسعه راه حل های مقیاس پذیر: تلاش هایی برای توسعه پلتفرم های بلاک چین مقیاس پذیرتر، مانند پلتفرم هایی که از اثبات سهام (PoS) یا دیگر مکانیسم های اجماع انرژی کارآمد استفاده می کنند، در حال انجام است (Vukolić, 2016).
پیشرفت های نظارتی: با بلوغ فناوری بلاک چین، انتظار می رود چارچوب های نظارتی جامع تری پدیدار شود که عدم اطمینان را کاهش می دهد و پذیرش را تشویق می کند (Ganne, 2018).

-تحولات بالقوه

قابلیت همکاری پیشرفته: پیشرفت های آینده ممکن است بر بهبود قابلیت همکاری بین پلتفرم های مختلف بلاک چین و سیستم های زنجیره تامین موجود متمرکز شود و یکپارچگی یکپارچه را تسهیل کند (Zheng et al., 2018).
افزایش تمرکز بر پایداری: پرداختن به تأثیر زیست محیطی فناوری بلاک چین، به ویژه از نظر مصرف انرژی، یک حوزه کلیدی توسعه خواهد بود (Vranken, 2017).

پذیرش گسترده تر قراردادهای هوشمند: با بهبود شناخت قانونی قراردادهای هوشمند، استفاده از آنها در خودکارسازی و ایمن سازی فرآیندهای زنجیره تامین احتمالاً افزایش می یابد (کلاک، باکشی و برین، ۲۰۱۶).

جدول ۷- روند های آتی و تاثیرات بالقوه

روند آینده	شرح	تاثیر بالقوه
ادغام با فناوری های نوظهور	ترکیب بلاک چین با اینترنت اشیا و هوش مصنوعی	ردیابی بلادرنگ پیشرفته، تجزیه و تحلیل داده ها بهبود یافته است.
توسعه راه حل های مقیاس پذیر	ایجاد پلتفرم های بلاک چین مقیاس پذیر و کارآمدتر	مقیاس پذیری بهتر، کاهش مصرف انرژی
پیشرفت های نظارتی	ایجاد چارچوب های نظارتی روشن برای بلاک چین	کاهش عدم اطمینان، افزایش پذیرش
قابلیت همکاری پیشرفته	بهبود یکپارچگی بین پلتفرم های بلاک چین و سیستم های موجود	ادغام بدون درز، عملکرد بهتر
افزایش تمرکز بر پایداری	پرداختن به اثرات زیست محیطی بلاک چین	راه حل های بلاک چین پایدارتر
پذیرش گسترده تر قراردادهای هوشمند	گسترش استفاده از قراردادهای هوشمند به رسمیت شناخته شده قانونی	افزایش اتوماسیون، افزایش امنیت

۷- نتیجه گیری

این بررسی جامع و سیستماتیک از کاربردهای بلاک چین در امنیت زنجیره تامین، پتانسیل تحول آفرین فناوری بلاک چین را در تقویت جنبه های مختلف مدیریت زنجیره تامین روشن کرده است. یافته های کلیدی این بررسی بر توانایی بلاک چین برای افزایش قابلیت ردیابی و شفافیت، بهبود یکپارچگی داده ها و امنیت اطلاعات و خودکارسازی فرآیندها از طریق قراردادهای هوشمند تأکید می کند. بلاک چین یک دفتر کل غیرقابل تغییر و شفاف از تراکنش ها را فراهم می کند که امکان ردیابی دقیق محصولات را از مبدأ تا مقصد فراهم می کند. این قابلیت به طور قابل توجهی تقلب را کاهش می دهد، اصالت محصول را تضمین می کند و شفافیت کلی زنجیره تامین را افزایش می دهد. به عنوان مثال، در صنعت داروسازی، بلاک چین می تواند مسیر داروها را از تولیدکننده به مصرف کننده ردیابی کند و اطمینان حاصل کند که محصولات تقلبی یا نامرغوب شناسایی شده و از زنجیره تامین حذف می شوند (Azzi, Chamoun, & Sokhn, 2019; Bandhu et al., 2023). به طور مشابه، در صنعت غذا، والمارت از بلاک چین برای ردیابی منشأ محصولات، تضمین ایمنی و اصالت مواد غذایی استفاده می کند (Longo et al., 2019). علاوه بر این، تغییرناپذیری بلاک چین از دستکاری داده ها جلوگیری می کند و از صحت و قابلیت اطمینان اطلاعات اطمینان می دهد. استفاده از تکنیک های رمزنگاری و ماهیت غیرمتمرکز امنیت داده ها را افزایش می دهد و خطر حملات سایبری و فعالیت های کلاهبرداری را کاهش می دهد. با ارائه یک دفتر کل غیرقابل تغییر و قابل دسترسی برای همه طرف های مجاز، بلاک چین سیلوهای اطلاعاتی را حذف می کند و ثبات داده ها را تضمین می کند، در نتیجه اعتماد بین سهامداران را افزایش می دهد (Hassija et al., 2020; Islam, 2023).

قراردادهای هوشمند، که قراردادهای خوداجرا با شرایط توافق نامه به طور مستقیم در کد نوشته شده اند، اجرای قرارداد و مطابقت را به صورت خودکار انجام می دهند و نیاز به مداخله دستی را کاهش می دهند و خطر خطای انسانی را به حداقل می رسانند. این قراردادها کارایی عملیاتی را افزایش داده و پایداری به قوانین از پیش تعریف شده را تضمین می کند. به عنوان مثال، IBM و Maersk یک پلتفرم مبتنی بر بلاک چین ایجاد کرده اند که از قراردادهای هوشمند برای ساده سازی فرآیندهای حمل و نقل بین المللی استفاده می کند و از انطباق با الزامات نظارتی اطمینان می دهد (Chang & Chen, 2020; Azzi, Chamoun, & Sokhn, 2019). با وجود این مزایای قابل توجه، پذیرش بلاک چین در زنجیره تامین با چالش های متعددی مواجه است. مسائل مقیاس پذیری تعداد تراکنش هایی را که شبکه های بلاک چین فعلی می توانند در هر ثانیه انجام دهند محدود می کند و بر مناسب بودن آنها برای زنجیره های تامین در مقیاس بزرگ تأثیر می گذارد (Vukolić, 2016). علاوه بر این، مصرف بالای انرژی مرتبط با مکانیسم های اجماع مانند اثبات کار (PoW) نگرانی های زیست محیطی را افزایش می دهد (Vranken, 2017). فقدان چارچوب های نظارتی واضح برای فناوری بلاک چین، عدم اطمینان و خطرات قانونی بالقوه را برای مشاغل ایجاد می کند، در حالی که تشخیص قانونی و قابلیت اجرای قراردادهای هوشمند در حوزه های قضایی متفاوت است و اجرای آنها را پیچیده تر می کند (Clack, Bakshi, & Braine, 2016; Ganne, 2018).

ذینفعان مختلف، از جمله تولید کنندگان، تامین کنندگان و مصرف کنندگان، دیدگاه های متفاوتی در مورد پذیرش بلاک چین دارند. تولید کنندگان از قابلیت ردیابی و یکپارچگی داده ها، که کنترل کیفیت را بهبود می بخشد و خطرات تقلبی را کاهش می دهد، سود می برند، اما با هزینه های اجرایی بالایی مواجه هستند. تامین کنندگان از شفافیت و اعتماد بهبود یافته، تسهیل همکاری و

کارایی بهتر در عملیات زنجیره تامین سود می برند، با این حال با یکپارچه سازی بلاک چین با سیستم های قدیمی موجود مبارزه می کنند. مصرف کنندگان از تضمین اصالت و ایمنی محصول سود می برند که منجر به افزایش اعتماد به برندها می شود، اما ممکن است همیشه از مزایای فناوری بلاک چین آگاه نباشند (Bandhu و همکاران، ۲۰۲۳؛ Francisco & Swanson، ۲۰۱۸). آینده بلاک چین در امنیت زنجیره تامین، با چندین روند و پیشرفت های بالقوه که احتمالاً مسیر آن را شکل می دهند، امیدوارکننده است. ادغام با فناوری های نوظهور مانند اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، ردیابی و تجزیه و تحلیل داده ها را در زمان واقعی افزایش می دهد، شفافیت و کارایی زنجیره تامین را بهبود می بخشد. تلاش هایی برای توسعه راه حل های بلاک چین مقیاس پذیرتر و کارآمدتر، مانند راه حل هایی که از اثبات سهام (PoS) یا سایر مکانیسم های اجماع نوآورانه استفاده می کنند، در حال انجام است. همانطور که فناوری بلاک چین به بلوغ می رسد، انتظار می رود چارچوب های نظارتی جامع تری ظهور کند که عدم اطمینان را کاهش می دهد و پذیرش را تشویق می کند (هوفمن و روش، ۲۰۱۷؛ ووکولچ، ۲۰۱۶).

تحقیقات آینده باید بر روی توسعه و آزمایش راه حل های بلاک چین مقیاس پذیر و کارآمد، بررسی چارچوب های نظارتی جامع و استانداردهای قانونی و کاوش در ادغام بلاک چین با فناوری های نوظهور تمرکز کند. علاوه بر این، برای درک کاربردهای عملی و تاثیرات بلاک چین در زمینه های مختلف زنجیره تامین، مطالعات موردی و تحقیقات خاص صنعت مورد نیاز است. مطالعات طولی که پیاده سازی و نتایج راه حل های بلاک چین را در طول زمان ردیابی می کنند، می توانند درک عمیق تری از پایداری و مزایای بلندمدت آن ها ارائه دهند (Chang & Chen, 2020; Queiroz, Telles, & Bonilla, 2020). در نتیجه، فناوری بلاک چین با افزایش شفافیت، قابلیت ردیابی و یکپارچگی داده ها و با خودکارسازی فرآیندها از طریق قراردادهای هوشمند، پتانسیل قابل توجهی را برای تغییر امنیت زنجیره تامین ارائه می دهد. با این حال، برای تحقق کامل این پتانسیل، پرداختن به چالش های مربوط به مقیاس پذیری، مصرف انرژی، چارچوب های نظارتی و دیدگاه های ذینفعان ضروری است. با ادامه پیشرفت تحقیق و توسعه در این زمینه، فناوری بلاک چین در حال تبدیل شدن به سنگ بنای مدیریت زنجیره تامین ایمن و کارآمد است.

منابع

1. Ahmed, W. A., & MacCarthy, B. L. (2023). Blockchain-enabled supply chain traceability—How wide? How deep?. *International Journal of Production Economics*, 263, 108963.
2. Azzi, R., Chamoun, R. K., & Sokhn, M. (2019). The power of a blockchain-based supply chain. *Computers & industrial engineering*, 135, 582-592.
3. Bandhu, K. C., Litoriya, R., Lowanshi, P., Jindal, M., Chouhan, L., & Jain, S. (2023). Making drug supply chain secure traceable and efficient: a Blockchain and smart contract based implementation. *Multimedia Tools and Applications*, 82(15), 23541-23568.
4. Chang, S. E., & Chen, Y. (2020). When blockchain meets supply chain: A systematic literature review on current development and potential applications. *Ieee Access*, 8, 62478-62494.
5. Chang, S. E., & Chen, Y. (2020). When blockchain meets supply chain: A systematic literature review on current development and potential applications. *IEEE Access*, 8, 62478-62494.
6. Dujak, D., & Sajter, D. (2019). Blockchain applications in supply chain. *SMART supply network*, 21-46.
7. Dutta, P., Choi, T. M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation research part e: Logistics and transportation review*, 142, 102067.
8. Dutta, P., Choi, T. M., Somani, S., & Butala, R. (2020). Blockchain technology in supply chain operations: Applications, challenges and research opportunities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 142, 102067.
9. Francisco, K., & Swanson, D. (2018). The Supply Chain Has No Clothes: Technology Adoption of Blockchain for Supply Chain Transparency. *Logistics*, 2(1), 2.
10. Han, Y., & Fang, X. (2024). Systematic review of adopting blockchain in supply chain management: bibliometric analysis and theme discussion. *International Journal of Production Research*, 62(3), 991-1016.
11. Hassija, V., Chamola, V., Gupta, V., Jain, S., & Guizani, N. (2020). A survey on supply chain security: Application areas, security threats, and solution architectures. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(8), 6222-6246.
12. Hofmann, E., & Rüsçh, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34.

13. Islam, M. D. (2023). A survey on the use of blockchains to achieve supply chain security. *Information Systems*, 117, 102232.
14. Jum'a, L. (2023). The role of blockchain-enabled supply chain applications in improving supply chain performance: the case of Jordanian manufacturing sector. *Management Research Review*, 46(10), 1315-1333.
15. Kolasani, S. (2023). Blockchain-driven supply chain innovations and advancement in manufacturing and retail industries. *Transactions on Latest Trends in IoT*, 6(6), 1-26.
16. Kolasani, S. (2023). Blockchain-driven supply chain innovations and advancement in manufacturing and retail industries. *Transactions on Latest Trends in IoT*, 6(6), 1-26.
17. Longo, F., Nicoletti, L., Padovano, A., d'Atri, G., & Forte, M. (2019). Blockchain-enabled supply chain: An experimental study. *Computers & Industrial Engineering*, 136, 57-69.
18. Oriekhoe, O. I., Oyeyemi, O. P., Bello, B. G., Omotoye, G. B., Daraojimba, A. I., & Adefemi, A. (2024). Blockchain in supply chain management: A review of efficiency, transparency, and innovation. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 173-181.
19. Oriekhoe, O. I., Oyeyemi, O. P., Bello, B. G., Omotoye, G. B., Daraojimba, A. I., & Adefemi, A. (2024). Blockchain in supply chain management: A review of efficiency, transparency, and innovation. *International Journal of Science and Research Archive*, 11(1), 173-181.
20. Queiroz, M. M., Telles, R., & Bonilla, S. H. (2020). Blockchain and supply chain management integration: a systematic review of the literature. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 241-254.
21. Ray, R. K., Chowdhury, F. R., & Hasan, M. R. (2024). Blockchain Applications in Retail Cybersecurity: Enhancing Supply Chain Integrity, Secure Transactions, and Data Protection. *Journal of Business and Management Studies*, 6(1), 206-214.
22. Rejeb, A., & Rejeb, K. (2020). Blockchain and supply chain sustainability. *Logforum*, 16.(۳)
23. Risso, L. A., Ganga, G. M. D., Godinho Filho, M., de Santa-Eulalia, L. A., Chikhi, T., & Mosconi, E. (2023). Present and future perspectives of blockchain in supply chain management: a review of reviews and research agenda. *Computers & Industrial Engineering*, 179, 109195.
24. Seebacher, S., & Schüritz, R. (2017). Blockchain Technology as an Enabler of Service Systems: A Structured Literature Review. In *International Conference on Exploring Services Science* (pp. 12-23). Springer, Cham.
25. Vranken, H. (2017). Sustainability of bitcoin and blockchains. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 1-9.
26. Vukolić, M. (2016). The quest for scalable blockchain fabric: Proof-of-work vs. BFT replication. In *International Workshop on Open Problems in Network Security* (pp. 112-125). Springer, Cham.
27. Wang, M., Wu, Y., Chen, B., & Evans, M. (2020). Blockchain and supply chain management: a new paradigm for supply chain integration and collaboration. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 14(1), 111-122.
28. Xu, X., Tatge, L., Xu, X., & Liu, Y. (2024). Blockchain applications in the supply chain management in German automotive industry. *Production Planning & Control*, 35(9), 917-931.