



نقش اینترنت اشیا در بهینه‌سازی زنجیره تأمین تجارت الکترونیک

محمد محمودبابویی^{۱*}

۱- دانشجوی مقطع کارشناسی گروه کامپیوتر موسسه آموزش عالی غیر انتفاعی مارلیک نوشهر، مازندران، ایران

mh.mohammad6283@gmail.com

چکیده:

رشد روزافزون تجارت الکترونیک، فشاری مضاعف بر زنجیره‌های تأمین برای افزایش سرعت، دقت و شفافیت وارد کرده است. در این راستا، فناوری اینترنت اشیا به عنوان یکی از کلیدی‌ترین ابزارهای تحول دیجیتال، نقشی محوری در هوشمندسازی فرآیندهای لجستیکی ایفا می‌کند. این مقاله به بررسی همه‌جانبه نقش، مزایا و چالش‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیا در بهینه‌سازی زنجیره تأمین تجارت الکترونیک می‌پردازد. با اتکا به مرور ادبیات و مبانی نظری، مقاله به تشریح معماری اینترنت اشیا و اهمیت تعامل آن با فناوری‌های مکملی چون هوش مصنوعی، بلاک‌چین و رایانش لبه می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که اینترنت اشیا کاربردهای گسترده‌ای در زنجیره تأمین دارد؛ از جمله: شفافیت و رهگیری لحظه‌ای کالا، مدیریت هوشمند موجودی و پیش‌بینی تقاضا، نگهداری پیش‌بینانه تجهیزات، و بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل. دستاوردهای کلیدی این فناوری شامل افزایش چشمگیر بهره‌وری عملیاتی، کاهش هزینه‌ها، ارتقای تجربه مشتری از طریق ارائه داده‌های دقیق و افزایش پایداری زیست‌محیطی است. با این حال، پیاده‌سازی اینترنت اشیا با موانع قابل توجهی روبروست. چالش‌های عمده شامل تهدیدات امنیت سایبری و نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی داده‌ها، عدم وجود استانداردهای یکپارچه و مشکلات سازگاری فناوری‌ها، هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه و پیچیدگی‌های فنی در یکپارچه‌سازی سیستم‌ها می‌باشد. این مقاله راهکارهایی نظیر استفاده از بلاک‌چین برای افزایش امنیت، توسعه معماری‌های مبتنی بر رایانش لبه و تدوین استانداردهای مشترک را برای غلبه بر این موانع بررسی می‌کند. همچنین، مطالعات موردی شرکت‌هایی چون آمازون، Nestlé و DHL به عنوان نمونه‌های موفق در ادغام اینترنت اشیا تحلیل می‌شوند. در مجموع، نتیجه‌گیری می‌شود که اینترنت اشیا فراتر از یک ابزار فنی، یک عامل تحول‌زای راهبردی است که نیازمند رویکردی کل نگر، فرهنگ‌سازی داده‌محور و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های امن و یکپارچه برای تحقق کامل پتانسیل خود در زنجیره تأمین مدرن است.

کلمات کلیدی: اینترنت اشیا، زنجیره تأمین، تجارت الکترونیک، بهینه‌سازی، امنیت.



۱. مقدمه

رشد روزافزون تجارت الکترونیک طی دهه گذشته، ساختار سنتی زنجیره‌های تأمین را دچار دگرگونی عمیق کرده است. افزایش تنوع کالاها، سفارش‌های فوری، و انتظارات مشتریان برای تحویل سریع‌تر و خدمات دقیق‌تر، شرکت‌ها را مجبور کرده است تا از فناوری‌های نوین برای مدیریت کارآمد فرآیندهای لجستیکی استفاده کنند [۱]. در این میان، فناوری اینترنت اشیا به عنوان یکی از محرک‌های کلیدی تحول دیجیتال در زنجیره تأمین مطرح شده است؛ فناوری‌ای که با توانایی ایجاد ارتباط میان اشیاء، جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ، و پردازش هوشمند اطلاعات، مرزهای جدیدی برای تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی در کسب‌وکارها گشوده است [۲].

اینترنت اشیا با اتصال تجهیزات مختلف مانند حسگرها، برچسب‌های شناسایی با امواج رادیویی^۱، پهپادها، و سیستم‌های ردیابی هوشمند، امکان پایش مداوم وضعیت کالا، محیط انبار، و مسیرهای حمل‌ونقل را فراهم می‌کند. چنین داده‌هایی به مدیران زنجیره تأمین اجازه می‌دهند تا اختلالات احتمالی مانند تأخیر در ارسال، خرابی تجهیزات یا نوسان دما را پیش‌بینی کرده و در زمان مناسب اقدام اصلاحی انجام دهند [۳]. این قابلیت‌ها نه تنها بهره‌وری عملیاتی را افزایش می‌دهند، بلکه سطح رضایت مشتریان را نیز از طریق شفافیت و قابلیت رهگیری بالا ارتقا می‌بخشند.

در دنیای تجارت الکترونیک، که رقابت شدید و نیاز به پاسخگویی سریع به تغییرات بازار وجود دارد، اینترنت اشیا به عنوان ستون اصلی هوشمندسازی زنجیره تأمین شناخته می‌شود. شرکت‌های پیشرو همچون آمازون، DHL و علی‌بابا از فناوری‌های مبتنی بر اینترنت اشیا برای خودکارسازی فرایندها، مدیریت هوشمند انبار و بهینه‌سازی مسیرهای توزیع استفاده می‌کنند [۴]. این شرکت‌ها با ترکیب اینترنت اشیا و تحلیل داده‌های بزرگ، توانسته‌اند تأخیرها را کاهش داده، موجودی‌ها را بهینه و عملکرد لجستیکی خود را به شکل قابل توجهی بهبود بخشند.

با وجود این مزایا، پیاده‌سازی اینترنت اشیا در زنجیره تأمین بدون چالش نیست. یکی از موانع مهم، عدم وجود استانداردهای یکپارچه برای تبادل داده‌ها بین سیستم‌های مختلف است که می‌تواند منجر به ناسازگاری و ناهماهنگی در عملیات شود [۵]. علاوه بر آن، تهدیدات امنیت سایبری و نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی داده‌ها از دیگر موانع عمده محسوب می‌شوند؛ زیرا حجم عظیمی از اطلاعات حساس سازمانی و مشتریان در فضای دیجیتال مبادله می‌شود [۶]. هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه و نیاز به زیرساخت‌های فناورانه نیز موجب می‌شود برخی از شرکت‌های کوچک و متوسط در پذیرش اینترنت اشیا با تردید مواجه شوند.

از منظر راهبردی، نقش اینترنت اشیا فراتر از صرفاً یک ابزار فناوری است. این فناوری می‌تواند به عنوان یک عامل تحول‌زا، فرهنگ سازمانی را به سمت تصمیم‌گیری داده‌محور سوق دهد. بر اساس یافته‌های [Idrissi, 2024]، ادغام اینترنت اشیا با فناوری‌های مکمل مانند هوش مصنوعی و بلاک‌چین می‌تواند سطح جدیدی از شفافیت، قابلیت پیش‌بینی و هماهنگی بین ذینفعان زنجیره تأمین ایجاد کند. برای مثال، ترکیب اینترنت اشیا و بلاک‌چین باعث می‌شود داده‌های مربوط به حمل‌ونقل و موجودی کالاها به صورت ایمن و تغییرناپذیر در کل زنجیره ذخیره شوند.

از سوی دیگر، موفقیت در استفاده از اینترنت اشیا نیازمند رویکردی کل‌نگر است که شامل آموزش کارکنان، اصلاح فرآیندها و ایجاد زیرساخت‌های دیجیتال منعطف باشد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که سازمان‌هایی که از راهبردهای تدریجی برای پیاده‌سازی اینترنت اشیا استفاده کرده‌اند، توانسته‌اند ریسک‌های ناشی از پذیرش فناوری را کاهش دهند و بازده سرمایه‌گذاری بالاتری کسب کنند [۸].

^۱ RFID



در مجموع، اینترنت اشیا به عنوان نیروی محرکه تحول دیجیتال، نه تنها به بهینه سازی عملیاتی کمک می کند بلکه قابلیت تاب آوری زنجیره تأمین در برابر بحران هایی مانند پاندمی کرونا یا اختلالات جهانی حمل و نقل را نیز افزایش می دهد [۹]. از این رو، درک عمیق تر از نقش، مزایا و چالش های اینترنت اشیا برای مدیران و پژوهشگران این حوزه حیاتی است تا بتوانند مسیر توسعه پایدار و هوشمند زنجیره تأمین را ترسیم کنند.

بنابراین، این مقاله با هدف بررسی همه جانبه نقش اینترنت اشیا در بهینه سازی زنجیره تأمین تجارت الکترونیک، ضمن تبیین مبانی نظری، به بررسی مطالعات موردی موفق، مزایا، چالش ها و راهکارهای اجرایی خواهد پرداخت تا چارچوبی جامع برای تحقیقات آینده ارائه دهد.

۲. مبانی نظری و مرور ادبیات

۲.۱ تعریف و معماری اینترنت اشیا در زنجیره تأمین

اینترنت اشیا^۲ مجموعه ای از دستگاه های فیزیکی مجهز به حسگرها، ارتباطات و قابلیت جمع آوری داده است که به طور پیوسته با هم و با سیستم های پردازش مرکزی تبادل داده انجام می دهند. این فناوری در زنجیره تأمین به معنای اتصال کالاها، وسایل نقلیه، تجهیزات انبار و بسته ها در یک شبکه داده ای بلا درنگ است و امکان رصد و کنترل جریان کالا و اطلاعات را فراهم می سازد [۱۰].

از منظر معماری، اینترنت اشیا معمولاً دارای سه لایه قابل تشخیص است: لایه ادراک^۳ برای جمع آوری داده از حسگرها؛ لایه شبکه^۴ برای انتقال داده ها؛ و لایه کاربرد^۵ برای تحلیل، تصمیم گیری و ارائه خدمات [۱۱].

علاوه بر این، مطالعات اخیر نشان می دهد که برای زنجیره تأمین دیجیتال، لایه های میانجی مانند لایه و ابری نیز به معماری افزوده شده اند، تا تأخیر کاهش یابد و پردازش در نزدیکی منبع داده انجام شود [۱۲].

یکی از ویژگی های کلیدی معماری اینترنت اشیا در زنجیره تأمین، امکان تولید داده های لحظه ای است که مدیران را قادر می سازد وضعیت کالاها، منابع و فرآیندها را در لحظه مشاهده کنند و تصمیمات سریع تر و آگاهانه تری بگیرند [۱۳].

با این وجود، طراحی معماری اینترنت اشیا برای زنجیره تأمین نیازمند سازگاری با الزامات امنیتی، حریم خصوصی، مقیاس پذیری و تعامل پذیری میان دستگاه ها است؛ زمینه ای که در مطالعات «Quality and Security Frameworks for IOT-Architecture Models Evaluation» بررسی شده است [۱۴].

بنابراین، تعریف شفاف، معماری مناسب و لایه بندی دقیق ساختار اینترنت اشیا، پیش شرط مهمی برای موفقیت پیاده سازی در زنجیره تأمین به شمار می رود.

² Internet of Things(IOT)

³ Perception

⁴ Network

⁵ Application



۲.۲ ساختار زنجیره تأمین در تجارت الکترونیک

مدیریت زنجیره تأمین^۶ در بستر تجارت الکترونیک به فرایندهای تأمین، تولید، انبارداری، توزیع و تحویل کالاها یا خدمات از نقطه مبدا تا مشتری نهایی اطلاق می‌شود؛ به‌ویژه زمانی که فروش کالاها از طریق پلتفرم‌های آنلاین انجام می‌گردد [۱۵].

در ساختار زنجیره تأمین تجارت الکترونیک، سرعت و دقت تحویل، قابلیت رهگیری، بهینه‌سازی موجودی و یکپارچگی داده‌های سفارشات اهمیت بیشتری یافته‌اند؛ زیرا مشتریان انتظار دارند از وضعیت سفارش خود به‌صورت بلادرنگ باخبر باشند.

اینترنت اشیا در این ساختار با ارائه داده‌های لحظه‌ای از حرکت کالاها، وضعیت حمل‌ونقل، شرایط نگهداری (مانند دما و رطوبت)، امکان تصمیم‌گیری پویا، تخصیص بهینه منابع و کاهش تاخیر را فراهم می‌کند [۱۰]. به‌عنوان مثال، مطالعه «IOT-based Supply Chain Performance Measurement System» نشان می‌دهد که استفاده از حسگرها و پردازش داده در لبه، ساختار عملکرد زنجیره را بهبود می‌بخشد و امکان ارزیابی شاخص‌های کلیدی عملکرد را فراهم می‌سازد [۱۲].

علاوه بر عملیات، نمایه مدیریتی نیز تغییر کرده است؛ داده‌های اینترنت اشیا به مدیران ارشد اجازه می‌دهند تا دیدگاه کل‌نگر نسبت به زنجیره داشته باشند و نه صرفاً فرایندهای منفرد؛ این تحول‌گرایی در ساختار زنجیره تأمین، به افزایش تاب‌آوری کمک می‌کند [۱۳].

در نتیجه، ساختار زنجیره تأمین در تجارت الکترونیک با ورود اینترنت اشیا به سمت یک سیستم پویا، خود تنظیم و داده‌محور حرکت کرده است و این تغییر زیرساختی، فرصت‌های متعددی برای بهبود عملکرد فراهم می‌کند.

۲.۳ تعامل اینترنت اشیا با سایر فناوری‌ها

اینترنت اشیا زمانی به‌صورت کامل اثرگذار می‌شود که با فناوری‌های مکمل دیگر نظیر هوش مصنوعی، تحلیل کلان‌داده^۷، رایانش لبه^۸ و بلاک‌چین ترکیب گردد. این ادغام باعث می‌شود تا داده‌های حسگرها به بینش‌های عملی تبدیل شوند و تصمیم‌گیری خودکار صورت گیرد [۱۶].

برای مثال، ترکیب اینترنت اشیا و بلاک‌چین در ساختار زنجیره تأمین سبز^۹ امکان ردیابی اصالت کالاها، اطمینان از شرایط محیطی و افزایش شفافیت و اعتماد میان شرکا را فراهم کرده است [همان]. به‌کارگیری هوش مصنوعی بر داده‌های اینترنت اشیا باعث شده است الگوریتم‌های پیش‌بینی تقاضا، زمان نگهداری پیش‌بینانه و مسیریابی هوشمند در زنجیره تأمین عملیاتی شوند؛ این رویکرد جدید کمک قابل‌توجهی به افزایش چابکی و کاهش ضایعات نموده است [۱۳].

^۶ Supply Chain Management (SCM)

^۷ Big Data Analytics

^۸ Edge Computing

^۹ Green Supply Chain

معماری «لبه به ابر»^{۱۰} نیز به عنوان راهکار فنی مطرح شده است: داده‌ها ابتدا در لبه شبکه پردازش می‌شوند و سپس نتایج به مرکز ابری منتقل می‌گردد تا تصمیم‌گیری بلادرنگ و تحلیل عمیق‌تر با تأخیر کمتر انجام شود [۱۱].
مطالعه «A Modular IOT-Based Architecture for Logistics Service Performance Assessment and Real-Time Scheduling» از اهمیت تعامل فناوری‌ها یاد کرده و راهکار ترکیبی را برای حمل‌ونقل هم‌زمان ارائه نموده است [۱۷].
در مجموع، تعامل میان اینترنت اشیا و سایر فناوری‌ها موجب خلق ارزش افزوده بیشتری در زنجیره تأمین شده و به شرکت‌ها کمک می‌کند مزیت رقابتی پایدارتری ایجاد کنند.

۲.۴ مرور ادبیات پیشین: روندها، فرصت‌ها و محدودیت‌ها

بازخوانی نظام‌مند ادبیات نشان می‌دهد که پژوهش درباره اینترنت اشیا در زنجیره تأمین از سال‌های ۲۰۲۰ به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است؛ بعنوان مثال، مرور نظام‌مند «IOT-based supply chain management: A systematic literature review» نشان داد که اینترنت اشیا در مدیریت زنجیره تأمین اثرات متعددی دارد اما هنوز به بلوغ کامل نرسیده است [۵].
فرصت‌های اصلی اینترنت اشیا عبارتند از افزایش شفافیت، ردیابی لحظه‌ای، پاسخ سریع به اختلالات و بهبود پایداری محیطی؛ این دستاوردها در مطالعات مختلف به اثبات رسیده‌اند [۱۰].
محدودیت‌ها نیز چشمگیر هستند؛ از جمله مشکلات امنیت داده، تنوع فناوری، نبود استاندارد واحد و چالش‌های مقیاس‌پذیری در محیط‌های چندشرکتی و جهانی [۱۱].
یکی از روندهای نوظهور، توسعه شاخص‌های عملکرد مرتبط با اینترنت اشیا و زنجیره تأمین است که می‌تواند به ارزیابی بهتر اثربخشی پیاده‌سازی‌ها کمک کند [۱۲].
همچنین، ادبیات به نیاز به تجربه‌های میدانی در کشورهای در حال توسعه و صنایع خاص (مثلاً زنجیره سرد یا مواد حساس) اشاره کرده است تا شکاف‌های پژوهشی موجود پر شود [۵].
به‌طور خلاصه، ادبیات نشان می‌دهد که اینترنت اشیا پتانسیل تحول‌آفرینی دارد؛ اما برای بهره‌گیری کامل، نیازمند مدیریت چالش‌ها، چارچوب‌های استاندارد و تحقیقات بیشتر است.

۳. کاربردها و نقش‌های اینترنت اشیا در بهینه‌سازی زنجیره تأمین تجارت الکترونیک

۳.۱ شفافیت و رهگیری لحظه‌ای

در بسیاری از سازمان‌های تجارت الکترونیک، یکی از اولین و مهم‌ترین کاربردهای اینترنت اشیا، توانایی رهگیری لحظه‌ای^{۱۱} کالاها، محموله‌ها و تجهیزات لجستیکی است. حسگرهای موقعیت‌یاب، برچسب‌های شناسایی با امواج رادیویی،

¹⁰ Edge-to-Cloud

¹¹ real-time tracking



سامانه موقعیت یاب جهانی^{۱۲} و دستگاه‌های محیطی (مانند دما، رطوبت، لرزش) امکان داده‌اند تا وضعیت دقیق و در لحظه‌ی کالاها در زنجیره تأمین دیده شود، که این امر به کاهش خطاها، بهبود سطح خدمات و افزایش رضایت مشتری منجر شده است. [۱۳]

ادغام داده‌های بلادرنگ باعث شده است تا شرکت‌ها بتوانند انحرافات مسیر، تأخیرها یا شرایط ناسازگار را سریع‌تر شناسایی کرده و واکنش دهند؛ به‌عنوان مثال، حسگرهایی که تغییرات دمایی در زنجیره سرد را ثبت می‌کنند، هشدار اولیه می‌دهند تا از خسارت کالا جلوگیری شود. [۱۸]

افزون بر این، قرارگیری داده‌های موقعیت در داشبوردهای مدیریتی و سامانه‌های کنترل، به مدیران امکان می‌دهد دیدی جامع از جریان کالا داشته باشند و تصمیمات به‌موقع درباره انحراف‌ها یا اختلالات بگیرند. [۵]

بنابراین، رهگیری و شفافیت بلادرنگ به‌عنوان پایه‌ای برای بسیاری از کاربردهای پیشرفته‌تر اینترنت اشیا در زنجیره تأمین شناخته می‌شود.

۳.۲ مدیریت هوشمند موجودی و پیش‌بینی تقاضا

یکی از چالش‌های اصلی در زنجیره تأمین تجارت الکترونیک، مدیریت موجودی و هماهنگ‌سازی آن با تقاضای بازار است. حسگرهای اینترنت اشیا در انبارها می‌توانند سطح موجودی، شرایط نگهداری، وضعیت پالت‌ها و حتی محیط را در لحظه ثبت کنند، و این داده‌ها وارد سیستم‌های تحلیل شده و وضعیت موجودی را به‌صورت خودکار به‌روزرسانی می‌کنند. [۱۸]

در ادامه، ترکیب داده‌های حسگر با الگوریتم‌های یادگیری ماشین باعث شده است که مدل‌های پیش‌بینی تقاضا دقیق‌تر شوند؛ به‌گونه‌ای که سفارش‌دهی مجدد و تخصیص منابع بر اساس داده‌های واقعی و نه صرفاً تجربه صورت گیرد. [۱۹]

تحلیل‌ها نشان داده‌اند که سیستم‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا باعث کاهش کمبود کالا و انباشت بیهوده شده‌اند، که در نتیجه هزینه نگهداری موجودی و فضای انبار را کاهش می‌دهد. [۳]

به‌علاوه، این سیستم‌ها امکان تنظیم پویا سطح موجودی را در پاسخ به نوسانات بازار یا رویدادهای ناگهانی فراهم می‌آورند، که برای تجارت الکترونیک با سیکل سریع ضروری است. [۱۲]

بنابراین، مدیریت هوشمند موجودی و پیش‌بینی دقیق تقاضا از مهم‌ترین کاربردهای اینترنت اشیا در زنجیره تأمین هستند.

۳.۳ نگهداری پیش‌بینانه و لجستیک هوشمند

در بخش لجستیک و عملیات، اینترنت اشیا امکان نظارت مستمر بر تجهیزات، وسایل نقلیه، ابزار انبار و سایر اجزای فیزیکی را فراهم کرده است؛ حسگرهایی که وضعیت ماشین‌آلات را از لحاظ دما، لرزش، فشار برق ثبت می‌کنند، داده‌هایی فراهم می‌آورند که با تحلیل‌های پیش‌بینی، زمان مناسب تعمیر یا تعویض را پیشنهاد می‌دهند. [۵]

¹² GPS



این رویکرد نگهداری پیش‌بینانه^{۱۳} مانع توقف‌های ناگهانی، کاهش زمان خرابی و بهبود بهره‌وری خطوط می‌شود. از دیدگاه تجارت الکترونیک، فراهم کردن تحویل بی‌وقفه و کاهش تأخیرها، از سوی مشتری بسیار مهم است. [۱۸]

در محیط انبارهای هوشمند، حسگرها و سیستم‌های خودکار (مانند ربات‌ها) نیز با اینترنت اشیا ترکیب شده‌اند تا فرآیند بسته‌بندی، جابه‌جایی و توزیع کالاها بهینه‌تر شود؛ این امر زمان پردازش سفارش را کاهش داده و خطاهای انسانی را کاهش می‌دهد. [۱۹]

در نتیجه، نگهداری پیش‌بینانه و لجستیک هوشمند نشان داده‌اند که چگونه اینترنت اشیا می‌تواند از صرفاً رصد وضعیت به عملکرد فعال تبدیل شود — عملکردی که منجر به کاهش هزینه، افزایش سرعت و انعطاف‌پذیری بیشتر در زنجیره تأمین می‌شود.

۳.۴ بهینه‌سازی مسیرها و زمان تحویل

یکی از جنبه‌های کلیدی تجارت الکترونیک، سرعت و دقت تحویل به مشتری نهایی است. اینترنت اشیا با جمع‌آوری داده‌های موقعیت ناوگان، وضعیت ترافیک، شرایط جاده و محیط حمل‌ونقل، امکان ارائه مسیرهای بهینه‌تر را می‌دهد و در صورت بروز اختلال (مثلاً ترافیک، بسته شدن جاده) می‌تواند مسیر جایگزین پیشنهاد دهد. [۱۸]

ترکیب این داده‌ها با الگوریتم‌های یادگیری ماشین و تحلیل بلادرنگ باعث شده است که مسیریابی ناوگان دیگر یک فرایند ثابت نباشد بلکه پویا و خودتنظیم شود، که این امر منجر به کاهش زمان تحویل، کاهش مصرف سوخت و افزایش رضایت مشتری شده است. [۱۹]

همچنین، سیستم‌های اینترنت اشیا می‌توانند داده‌های مربوط به وضعیت مرسوله (دمای بار، شرایط محیطی، لرزش) را ثبت کرده و در صورت وقوع شرایط نادرست، بازخورد فوری داده شوند؛ این امر در فرآیند تحویل کالاهای حساس مانند دارو یا غذا بسیار حیاتی است. [۵]

در مجموع، بهینه‌سازی مسیرها و زمان تحویل مبتنی بر داده‌های اینترنت اشیا به تبدیل زنجیره تأمین از صرفاً «حرکت کالا» به «تحویل هوشمند و مشتری‌محور» کمک می‌کند.

۳.۵ ارتقای تجربه مشتری و خدمات ارزش‌افزوده

تجربه مشتری در تجارت الکترونیک نقش تعیین‌کننده‌ای دارد و اینترنت اشیا یکی از فناوری‌هایی است که به تقویت این تجربه کمک کرده است. داده‌های بلادرنگ درباره وضعیت کالا، مسیر تحویل، شرایط نگهداری و زمان رسیدن به مشتری می‌تواند در اپلیکیشن مشتری نمایش داده شود و حس اطمینان بیشتری به مشتری می‌دهد. [۱۸]

افزون بر این، خدمات ارزش‌افزوده مانند اطلاع‌رسانی خودکار، زمان‌بندی دقیق تحویل، گزینه‌های جایگزین تحویل و ردیابی وضعیت لحظه‌ای از طریق حسگرهای اینترنت اشیا امکان‌پذیر شده است؛ این امر به افزایش وفاداری مشتری و کاهش تماس‌های پشتیبانی منجر شده است. [۱۹]

در بازارهای رقابتی تجارت الکترونیک، شرکت‌هایی که از اینترنت اشیا برای شخصی‌سازی تحویل و خدمات پس از فروش استفاده کرده‌اند، گزارش کرده‌اند که نرخ بازگشت کالا و نارضایتی مشتری کاهش یافته است. [۵]

¹³ predictive maintenance

بنابراین، اینترنت اشیا نه تنها عملیات داخلی زنجیره تأمین را بهینه می‌کند، بلکه تجربه نهایی مشتری را ارتقا می‌دهد و این امر بهبود مزیت رقابتی را برای شرکت‌ها فراهم می‌کند.

۴. مزایا و دستاوردهای کلیدی پیاده‌سازی اینترنت اشیا

۴.۱ افزایش شفافیت و دید لحظه‌ای زنجیره

یکی از برجسته‌ترین دستاوردهای اینترنت اشیا، امکان مشاهده و رصد زنجیره تأمین در زمان واقعی است. حسگرها و دستگاه‌های متصل می‌توانند موقعیت کالا، شرایط محیطی (مانند دما، رطوبت، لرزش) و وضعیت حمل‌ونقل را ثبت کنند و آن را به سامانه مرکزی ارسال نمایند. این سطح شفافیت به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا اختلالات را زودتر تشخیص داده و سریع‌تر واکنش نشان دهند [۲۰]

علاوه بر کنترل داخلی، دید لحظه‌ای زنجیره به مشتریان، تأمین‌کنندگان و سایر ذی‌نفعان نیز امکان می‌دهد که وضعیت سفارش یا محموله را پیگیری کنند؛ این امر باعث افزایش اعتماد مشتری، کاهش شکایات و بهبود تصویر برند شرکت می‌شود [۲۱]

این شفافیت بیشتر، زمینه‌ساز بهبود عملکرد کل زنجیره می‌شود؛ شرکت‌ها می‌توانند با داده‌های لحظه‌ای مسیرهای تأمین را بهینه کنند، موجودی‌های غیرفعال را حذف نمایند و کارایی عملیات را ارتقا دهند. در مطالعه‌ای گزارش شده است که استفاده از اینترنت اشیا باعث کاهش اختلال‌ها و افزایش سرعت تصمیم‌گیری شده است [۲۲]

بنابراین، افزایش شفافیت و دید لحظه‌ای از جمله مهم‌ترین دستاوردهای به‌کارگیری اینترنت اشیا در زنجیره تأمین است که پایه‌ای برای سایر مزایا محسوب می‌شود.

۴.۲ بهبود مدیریت موجودی و پیش‌بینی تقاضا

با اتصال حسگرها به موجودی‌های انبار، دستگاه‌ها می‌توانند به‌طور مستمر میزان کالا، شرایط نگهداری و حتی وضعیت بسته‌بندی را گزارش دهند. این داده‌ها به‌صورت بلادرنگ تحلیل شده و سیستم‌ها قادر هستند سفارش‌دهی را به‌طور خودکار انجام دهند تا همچون کاهش کمبود یا انباشت اضافی کالا رخ ندهد. مطالعه‌ای نشان داده است که اینترنت اشیا امکان کنترل دقیق‌تر موجودی و کاهش اشتباهات را فراهم کرده است [همان]

علاوه بر آن، الگوریتم‌های پیش‌بینی مبتنی بر داده‌های حسگر و اشباع بازار، به شرکت‌ها کمک می‌کند تا نه فقط موجودی را مدیریت کنند، بلکه تقاضا را نیز پیش‌بینی نمایند و تولید و توزیع را با آن هم‌راستا سازند؛ این امر به ویژه در تجارت الکترونیک که تقاضا بسیار پویا است، اهمیت دارد [۲۳]

بهبود مدیریت موجودی از طریق اینترنت اشیا موجب کاهش هزینه‌های نگهداری، بهبود چرخش کالا و کاهش فضای انبار غیرفعال می‌شود. همچنین شرکت‌ها می‌توانند به سرعت تغییرات بازار را مشاهده کرده و سطح موجودی را تنظیم نمایند. این کارایی در محیط‌های تجارت الکترونیک بسیار حیاتی است [۵]



در نتیجه، بهبود مدیریت موجودی و پیش‌بینی تقاضا یکی از مزایای کلیدی است که به شرکت‌ها کمک می‌کند انعطاف‌پذیری بیشتری داشته باشند و سودآوری را ارتقا دهند.

۴.۳ افزایش بهره‌وری عملیاتی و کاهش هزینه‌ها

پیاده‌سازی اینترنت اشیا در فرایندهای عملیاتی—مانند خطوط تولید، بسته‌بندی، انبارداری و حمل‌ونقل—باعث گردیده است که عملکرد تجهیزات و فرآیندها به صورت مداوم پایش شود. دستگاه‌های حسگر می‌توانند داده‌هایی نظیر دما، لرزش، فشار را جمع‌آوری کنند و در صورت مشاهده انحراف، هشدار دهند؛ این امر به کاهش توقف‌های ناگهانی و هزینه‌های تعمیرات اضطراری کمک می‌کند [همان]

فعالیت‌های لجستیکی مبتنی بر اینترنت اشیا امکان تخصیص بهینه منابع، کاهش زمان جابه‌جایی کالاها، و حذف فعالیت‌های پشتیبانی انسانی زائد را فراهم کرده‌اند. این کارایی سبب افزایش بازدهی کلی عملیات شده است [۲۱] در مطالعه‌ای گزارش شده است که شرکت‌ها با بهره‌گیری از اینترنت اشیا توانسته‌اند هزینه‌های عملیاتی را کاهش داده و بهره‌وری را افزایش دهند؛ به‌عنوان مثال، بررسی نشان داده است که اینترنت اشیا منجر به بهبود عملکرد لجستیکی و کاهش ضایعات شده است [۲۰]

بنابراین، افزایش بهره‌وری عملیات و کاهش هزینه‌های مرتبط با زنجیره تأمین از دیگر دستاوردهای مهم پیاده‌سازی اینترنت اشیا است.

۴.۴ بهبود تجربه مشتری و ارائه خدمات ارزش افزوده

در عصر تجارت الکترونیک، تجربه مشتری یکی از عوامل تمایز رقابتی است. اینترنت اشیا امکان می‌دهد تا مشتریان به‌صورت زنده وضعیت سفارش، مسیر محموله و شرایط نگهداری را مشاهده کنند؛ این توانمندی باعث افزایش اطمینان مشتری، کاهش تماس‌های پشتیبانی و بهبود رضایت مشتری شده است [۲۴] علاوه بر آن، شرکت‌ها می‌توانند خدمات ارزش‌افزوده مانند ارسال هشدارهای وضعیت، زمان‌بندی هوشمند تحویل، گزینه‌های تحویل هم‌زمان یا سرعتی را ارائه کنند؛ این خدمات باعث افزایش وفاداری مشتری و کاهش بازگشت کالا می‌شوند [۲۵]

دستآورد دیگر اینکه شرکت‌ها می‌توانند فرآیندهای پس از فروش، نگهداری و تعمیر را نیز بهبود دهند؛ داده‌های اینترنت اشیا می‌توانند پیشنهاد تعمیر یا نگهداری پیش از وقوع خرابی را ارائه دهند و این امر سطح خدمت را ارتقا می‌دهد. این امر در تجارت الکترونیک به کاهش نارضایتی و هزینه بازگشت کالا کمک می‌کند. به‌طور خلاصه، بهبود تجربه مشتری و ارائه خدمات ارزش‌افزوده، یکی از مسیرهای کلیدی است که اینترنت اشیا به کسب‌وکارها امکان می‌دهد مزیت رقابتی کسب کنند.



۴.۵ پایداری زیست محیطی و کاهش ردپای کربنی

یکی از مزایای راهبردی اینترنت اشیا، تأثیر آن بر پایداری و محیط زیست است. حسگرها و دستگاه های متصل می توانند میزان مصرف انرژی، سوخت حمل و نقل و سایر منابع را در زنجیره تأمین پایش کنند و شرکت ها را قادر سازند تا نقاط پرمصرف را شناسایی و بهینه نمایند [۲۶]

به ویژه در بخش حمل و نقل و لجستیک، داده های اینترنت اشیا کمک می کنند تا مسیرها بهینه تر شده، مصرف سوخت کاهش یابد و انتشار گازهای گلخانه ای کاهش پیدا کند. این امر با الزامات بین المللی پایداری و مصرف مسئول سازگار است.

مطالعات نشان داده اند که شرکت هایی که اینترنت اشیا را برای مدیریت محیطی زنجیره تأمین به کار گرفته اند، موفق شده اند ضایعات و انرژی مصرفی را کاهش دهند و به عملکرد سبزتری دست یابند [۲۰]

بنابراین، دستاورد پایداری زیست محیطی نه تنها مزیتی اخلاقی و اجتماعی است، بلکه در بلندمدت به کاهش هزینه ها و ارتقای تصویر برند شرکت کمک می کند.

۴.۶ تسهیل تصمیم گیری داده محور و مدیریت ریسک

با جمع آوری حجم وسیعی از داده های بلا درنگ توسط حسگرها، شرکت ها توانسته اند فرآیندهای تصمیم گیری خود را مبتنی بر داده انجام دهند؛ این امر باعث می شود تصمیم ها سریع تر، دقیق تر و مبتنی بر اطلاعات باشد، نه صرفاً تجربه یا شهود [۶]

در شرایط بحران یا اختلال زنجیره (مثلاً پاندمی، اختلال لجستیک)، سیستم های اینترنت اشیا قادرند پیش بینی و هشدار دهند و شرکت ها را برای واکنش سریع آماده کنند؛ این امر تاب آوری زنجیره را افزایش می دهد.

ترکیب داده های اینترنت اشیا با تحلیل پیش بینی^{۱۴} و یادگیری ماشین منجر به شناسایی زود هنگام ریسک ها، تعیین نقاط آسیب پذیر و طرح ریزی برنامه های پشتیبان شده است؛ این رویکرد از بروز خسارات بیشتر جلوگیری می کند [همان]

لذا، بهره گیری از داده های اینترنت اشیا برای تصمیم گیری هوشمند و مدیریت ریسک، یکی دیگر از مزایای بلندمدت پیاده سازی این فناوری در زنجیره تأمین است.

۵. چالش ها و موانع پیاده سازی اینترنت اشیا

۵.۱ چالش های امنیت و حریم خصوصی داده ها

یکی از اصلی ترین موانع در مسیر پیاده سازی اینترنت اشیا، تهدیدات امنیتی و نقض حریم خصوصی است. دستگاه های متصل به اینترنت حجم عظیمی از داده های حساس را منتقل می کنند که در صورت حمله سایبری، می تواند

¹⁴ Predictive Analytics



منجر به افشای اطلاعات محرمانه مشتریان و شرکای تجاری شود. به‌ویژه در زنجیره تأمین تجارت الکترونیک که چندین نهاد درگیر هستند، ضعف امنیتی در یک گره ممکن است کل شبکه را در معرض خطر قرار دهد [۲۷].

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که فقدان رمزگذاری استاندارد، احراز هویت ضعیف، و مدیریت ناکافی گواهی‌نامه‌ها از چالش‌های کلیدی امنیتی اینترنت اشیا محسوب می‌شوند. بسیاری از سازمان‌ها به دلیل هزینه‌های بالای استقرار سیستم‌های امنیتی پیشرفته یا کمبود نیروی متخصص، در برابر تهدیدهای سایبری آسیب‌پذیر باقی می‌مانند [۲۸].

از سوی دیگر، نگرانی درباره جمع‌آوری داده‌های بیش از حد از مصرف‌کنندگان، مشکلات قانونی و اخلاقی را نیز مطرح کرده است. قوانین جدید مانند آیین نامه حفاظت از داده‌های عمومی اتحادیه اروپا^{۱۵}، شرکت‌ها را ملزم به مدیریت شفاف داده‌ها کرده‌اند که رعایت آن در سیستم‌های اینترنت اشیا چندلایه دشوار است [۲۹].

۵.۲ چالش‌های استانداردسازی و سازگاری فناوری

اکوسیستم اینترنت اشیا شامل طیف وسیعی از دستگاه‌ها، پروتکل‌ها و پلتفرم‌ها است که اغلب با یکدیگر ناسازگارند. این عدم استانداردسازی مانع تبادل داده مؤثر بین اجزای زنجیره تأمین می‌شود و هزینه‌های یکپارچه‌سازی را افزایش می‌دهد [۳۰].

شرکت‌ها برای پیاده‌سازی اینترنت اشیا باید بین پروتکل‌هایی مانند صف بندی پیام^{۱۶}، کاربردی محدود^{۱۷} و انتقال ابر متن^{۱۸} یکی را انتخاب کنند، اما نبود چارچوب مشترک باعث می‌شود انتقال داده میان سیستم‌های مختلف دچار تأخیر و خطا شود. این مسأله در محیط‌های چندتأمین‌کننده تجارت الکترونیک بیشتر نمود پیدا می‌کند [۳۱].

در سال‌های اخیر تلاش‌هایی از سوی سازمان‌های بین‌المللی مانند انجمن مهندسان برق و الکترونیک^{۱۹} و استانداردسازی^{۲۰} برای تدوین استانداردهای جامع انجام شده است، اما به دلیل تنوع کاربردها و سرعت رشد فناوری، هماهنگی کامل هنوز حاصل نشده است [۳۲].

۵.۳ چالش‌های مالی و هزینه‌های استقرار

هزینه‌های بالای سخت‌افزار، نرم‌افزار، نگهداری و امنیت از جمله موانع اصلی پیاده‌سازی اینترنت اشیا در زنجیره تأمین است. شرکت‌های کوچک و متوسط اغلب توانایی مالی لازم برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های هوشمند را ندارند [۳۳].

علاوه بر هزینه اولیه، نگهداری مستمر تجهیزات و به‌روزرسانی نرم‌افزارها بار مالی زیادی ایجاد می‌کند. در محیط‌های پویا، هرگونه خرابی در حسگرها یا شبکه، هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد [۳۴].

¹⁵ GDPR

¹⁶ MQTT

¹⁷ COAP

¹⁸ HTTP

¹⁹ IEEE

²⁰ ISO

برخی پژوهش‌ها تأکید دارند که نبود مدل‌های تجاری روشن برای بازگشت سرمایه، انگیزه شرکت‌ها را برای پذیرش اینترنت اشیا کاهش می‌دهد. در واقع، تا زمانی که مزایای مالی به صورت کمی و قابل اندازه‌گیری ارائه نشود، تصمیم‌گیران در سرمایه‌گذاری مردد خواهند ماند [۳۵].

۵.۴ چالش‌های فنی و پیچیدگی پیاده‌سازی

یکپارچه‌سازی اینترنت اشیا در زنجیره تأمین مستلزم ترکیب فناوری‌های گوناگون مانند سنسورهای بی‌سیم، شبکه‌های ۵G، سیستم‌های ابری و الگوریتم‌های هوش مصنوعی است. این امر نیازمند تخصص‌های چندرشته‌ای و هماهنگی بین تیم‌های مختلف است که در عمل چالش‌برانگیز می‌شود [۳۶].

مقیاس‌پذیری سیستم‌ها نیز یکی از موانع اصلی است. با افزایش تعداد دستگاه‌ها، مدیریت داده، ذخیره‌سازی و پردازش بلادرنگ دشوارتر می‌شود و در صورت ضعف زیرساخت، کارایی سیستم کاهش می‌یابد [۱۱].

به علاوه، نبود مهارت فنی در بین کارکنان و کمبود نیروی متخصص باعث شده است که بسیاری از پروژه‌های اینترنت اشیا در مرحله آزمایشی باقی بمانند و به فاز عملیاتی نرسند [۳۷].

۵.۵ چالش‌های حقوقی و اخلاقی

با گسترش کاربرد اینترنت اشیا، چالش‌های حقوقی مربوط به مالکیت داده، مسئولیت در برابر خطاهای سیستم و تبعیت از مقررات افزایش یافته است. در تجارت الکترونیک، زنجیره تأمین اغلب شامل چند کشور است و تفاوت قوانین ملی، اجرای یکپارچه را دشوار می‌کند [۳۸].

همچنین، پرسش‌های اخلاقی پیرامون جمع‌آوری و تحلیل داده‌های رفتاری کاربران، مرز میان رضایت آگاهانه و نظارت ناخواسته را مخدوش کرده است. این موضوع به ویژه در محیط‌های دیجیتال متصل که تعامل انسان و ماشین زیاد است، اهمیت می‌یابد [۲۹].

در نتیجه، نبود چارچوب‌های حقوقی و اخلاقی روشن می‌تواند مانع پذیرش گسترده اینترنت اشیا شود، زیرا شرکت‌ها نگران ریسک‌های قانونی و اعتباری^{۲۱} هستند [۳۵].

۵.۶ چالش‌های مربوط به قابلیت اطمینان و پایداری سیستم‌ها

در زنجیره تأمین هوشمند، وقفه در عملکرد حسگرها یا قطع ارتباط شبکه می‌تواند کل عملیات را مختل کند. پایداری سیستم در شرایط بحرانی مانند قطعی برق، حملات سایبری یا نقص تجهیزات یکی از دغدغه‌های اصلی مدیران است [۳۱].

بسیاری از دستگاه‌های اینترنت اشیا عمر محدودی دارند و در محیط‌های صنعتی ممکن است در معرض گرما، رطوبت یا لرزش بالا قرار گیرند. این موضوع قابلیت اطمینان داده‌ها را کاهش داده و هزینه‌های تعمیر و تعویض را افزایش می‌دهد [۳۲].

علاوه بر این، مقیاس بزرگ شبکه‌های اینترنت اشیا باعث دشواری در مانیتورینگ سلامت سیستم‌ها و نیاز به مکانیزم‌های خودترمیم‌گر شده است؛ این ویژگی هنوز در مراحل تحقیقاتی است [۳۷].

²¹ Reputational

۶. راهکارها و رویکردهای نوین برای غلبه بر چالش‌ها

۶.۱ توسعه معماری‌های امنیتی پیشرفته و بلاک‌چین

یکی از مهم‌ترین راهکارها برای مقابله با چالش‌های امنیت و حریم خصوصی، طراحی معماری چندلایه امنیتی است که هم رمزنگاری داده‌ها را در دستگاه‌ها و هم احراز هویت قوی کاربران و دستگاه‌ها را در نظر دارد. این معماری‌ها باید با مفهوم «عدم اعتماد پیش‌فرض» طراحی شوند؛ به این معنا که هیچ دستگاه یا گره‌ای به صورت خودکار قابل اعتماد نیست. [۶]

فناوری بلاک‌چین یکی از ابزارهای کلیدی در این حوزه است که امکان ثبت تغییرناپذیر تراکنش‌ها، شفافیت بیشتر و اعتماد میان ذی‌نفعان زنجیره تأمین را فراهم می‌کند؛ با استفاده از این فناوری می‌توان مسیر کالا، شرایط محیطی، مالکیت و انتقال را در شبکه‌ای امن ثبت نمود. [۳۹]

علاوه بر این، ادغام هوش مصنوعی با شبکه‌های امنیتی اینترنت اشیا برای تشخیص خودکار تهدیدات و رفتارهای غیرعادی در دستگاه‌ها می‌تواند سطح مقاومت زنجیره تأمین را ارتقا دهد؛ این سامانه‌ها می‌توانند به صورت پیشگیرانه هشدار ارسال کنند و واکنش سریع را فعال سازند. [۴۰]

برای موفقیت، شرکت‌ها باید استانداردهای بین‌المللی امنیت اینترنت اشیا را پیاده نمایند، مانند استاندارد بین‌المللی امنیت برای اینترنت اشیا^{۲۲}، و سیاست‌های امنیت داده و حریم خصوصی را به‌روزرسانی کنند تا با مقررات منطقه‌ای و بین‌المللی هم‌راستا باشند. [۳۲]

این راهکارها به شرکت‌های تجارت الکترونیک کمک می‌کند تا از سیستم‌های هشدار زود هنگام و ثبت داده‌های امن استفاده کنند، که در نهایت منجر به کاهش خسارت از اختلالات امنیتی، محافظت از داده‌های مشتری و ارتقای اعتماد ذی‌نفعان می‌شود.

نتیجه این است که معماری امنیتی پیشرفته همراه با فناوری‌های بلاک‌چین و هوش مصنوعی، خود را به‌عنوان پایه‌ای برای موفقیت در پیاده‌سازی اینترنت اشیا در زنجیره تأمین نشان داده است.

۶.۲ ارتقاء زیرساخت‌های فنی و بهره‌گیری از فناوری‌های نوظهور

زیرساخت‌های فنی، شامل شبکه‌های ارتباطی، حسگرها، درگاه‌ها و مراکز داده، از الزامات اساسی پیاده‌سازی موفق اینترنت اشیا هستند. استفاده از شبکه‌های نسل پنجم، اینترنت اشیا باند باریک^{۲۳} و شبکه گسترده کم مصرف^{۲۴} به شرکت‌ها امکان می‌دهد تعداد بیشتری دستگاه متصل با تأخیر کمتر و مصرف انرژی پایین‌تر را اداره کنند. [۵]

پردازش لبه‌ای یکی از اجزای کلیدی است که اجازه می‌دهد بخش عمده‌ای از داده‌ها نزدیک به منبع تولید پردازش شود و بار شبکه مرکزی کاهش یابد؛ این امر به خصوص در محیط‌های دارای داده حساس مانند زنجیره سرد اهمیت دارد. [۲]

²² ISO/IEC ۲۷۴۰۰

²³ NB-IOT

²⁴ LPWAN



شرکت‌ها همچنین باید به سمت معماری‌های ترکیبی «بری-لبه» حرکت کنند تا انعطاف‌پذیری بیشتر، مقیاس‌پذیری بالا و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کمتر را به‌دست آورند. ترکیب این دو محیط به بهینه‌سازی عملکرد و مدیریت بهتر داده‌ها منجر می‌شود. [۱۲]

استفاده از حسگرهایی با مصرف انرژی بسیار پایین، فناوری‌های جمع‌آوری انرژی از محیط و دستگاه‌های هوشمند کم‌هزینه نیز از دیگر راهکارها برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و افزایش نگهداری پایدار است. [۴۰]

در نهایت، مقاومت زیرساخت در برابر تغییرات سریع فناوری و شرایط محیطی با اتکا به شبکه‌های چندمسیره، مراکز داده محلی و به‌روزرسانی مستمر سخت‌افزار باید تضمین شود. [۱۱]

این اقدامات باعث می‌شود که سازمان‌ها بتوانند آماده‌تر برای آینده باشند و از سرعت دیجیتالی‌شدن زنجیره تأمین بهره ببرند.

۶.۳ استانداردسازی و تعامل‌پذیری میان‌سیستمی

یکی از موانع عمده پیاده‌سازی اینترنت اشیا، عدم وجود استانداردهای جهانی یکنواخت برای دستگاه‌ها، پروتکل‌ها و قالب‌های داده است. برای غلبه بر این مانع، ایجاد پروتکل‌های باز و همکاری بین‌المللی در تدوین استانداردها ضروری است. [۳۱]

پروتکل‌هایی همچون صف بندی پیام، کاربردی محدود و پروتکل یکپارچه برای ارتباطات صنعتی^{۲۵} از جمله استانداردهایی هستند که می‌توانند تعامل دستگاه‌ها و سامانه‌های مختلف را فراهم کنند؛ پذیرش گسترده این پروتکل‌ها می‌تواند هزینه‌های یکپارچه‌سازی را کاهش دهد. [۳۲]

ایجاد رابط‌های برنامه‌نویسی کاربردی^{۲۶} و لایه‌های میانی^{۲۷} نیز به دستگاه‌های متنوع امکان می‌دهد داده‌ها را در قالب استاندارد ارسال کنند و فرآیندهای ترکیبی میان سامانه‌های برنامه‌ریزی منابع^{۲۸}، مدیریت زنجیره تأمین و اینترنت اشیا فراهم گردد. [۵]

پلتفرم‌های اکوسیستمی مشترک که توسط چند شرکت یا تأمین‌کننده ایجاد شده‌اند نیز امکان می‌دهند شرکت‌های کوچک‌تر بدون سرمایه‌گذاری کلان از فناوری بهره ببرند و مقیاس‌پذیری را تجربه کنند. [۳۹]

در نتیجه، استانداردسازی و تعامل‌پذیری بین سیستم‌های قدیمی و نوین، یکی از کلیدی‌ترین راهکارها برای موفقیت گسترده اینترنت اشیا در زنجیره تأمین است.

۶.۴ آموزش، فرهنگ‌سازی و توسعه مهارت‌های انسانی

فناوری اینترنت اشیا زمانی می‌تواند موفق باشد که نیروی انسانی، فرهنگ سازمانی و فرایندهای کسب‌وکار آن را همراهی کنند؛ لذا سرمایه‌گذاری در مهارت‌های کارکنان، آموزش مستمر و فرهنگ داده‌محور از الزامات است. [۱۳]

ایجاد آزمایشگاه‌های نوآوری، پروژه‌های پایلوت و نمایشگاه فناوری به کارکنان کمک می‌کند تا با فناوری‌های اینترنت اشیا آشنا شوند، خطاهای اولیه را تجربه کنند و آماده ورود به فرایندهای عملیاتی شوند. [۱۸]

²⁵ OPC-UA

²⁶ APIs

²⁷ Middleware

²⁸ ERP



مشارکت دانشگاه‌ها، موسسات تحقیقاتی و شرکت‌ها در توسعه دوره‌های تخصصی اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و تحلیل داده، نیز شکاف مهارت‌ها را کاهش می‌دهد و سرمایه انسانی لازم را برای تحول دیجیتال ایجاد می‌کند. [۴۰]

مدیریت تغییر، ارتباط شفاف، آموزش کارکنان در مورد امنیت داده و مزایای فناوری نیز برای کاهش مقاومت سازمانی و افزایش پذیرش ضروری است؛ بدون پذیرش فرهنگی، احتمالاً فناوری به درستی بهره‌برداری نمی‌شود. [۶]

در مجموع، آموزش، فرهنگ‌سازی و مهارت انسانی را می‌توان به عنوان ستون چهارم موفقیت اینترنت اشیا در زنجیره تأمین در نظر گرفت.

۶.۵ مدل‌های همکاری و اکوسیستم‌های مشارکتی

تحول دیجیتال زنجیره تأمین نیازمند همکاری میان تأمین‌کنندگان، شرکت‌های فناوری، دانشگاه‌ها و نهادهای دولتی است؛ شکل‌گیری اکوسیستم‌های مشارکتی یکی از راهکارهای کلیدی برای تسریع پذیرش اینترنت اشیا است. [۳]

شرکت‌ها می‌توانند از پلتفرم‌های مشترک داده و زیرساخت‌های ابری استفاده نمایند تا هزینه‌ها را با دیگر ذی‌نفعان تقسیم کنند و مزایای مقیاس‌پذیری را دریافت کنند. [۲]

قراردادهای هوشمند مبتنی بر بلاک‌چین نیز سبب خودکارسازی تعاملات میان طرفین و کاهش واسطه‌ها می‌شوند؛ این ویژگی همکاری را ساده‌تر و شفاف‌تر می‌کند. [۳۹]

دولت‌ها و نهادهای تنظیم‌گر با ایجاد سیاست‌های تشویقی، مراکز نوآوری و حمایت از استانداردسازی، می‌توانند نقش تسهیل‌کننده را ایفا کنند و شرکت‌های کوچک را به مشارکت تشویق کنند. [۳۱]

این مدل همکاری به شرکت‌ها کمک می‌کند تا سریع‌تر فناوری اینترنت اشیا را پیاده نمایند، ریسک را کاهش دهند و از تجربه مشترک بهره‌مند شوند.

۶.۶ ادغام فناوری‌های مکمل و تحول دیجیتال

ترکیب فناوری‌های مکمل با اینترنت اشیا، مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، کلان‌داده و اتوماسیون، به شرکت‌ها امکان می‌دهد تا نه فقط داده تولید کنند، بلکه بینش عملیاتی و پیش‌بینی‌کننده از آن استخراج نمایند؛ این امر منجر به تحول فراگیر در زنجیره تأمین می‌شود. [۳]

مفهوم «دوقلوی دیجیتال» نیز این امکان را فراهم می‌کند که نسخه‌ای مجازی از زنجیره تأمین ایجاد شود، داده‌های واقعی به آن تزریق شود و سناریوهای مختلف شبیه‌سازی گردند تا تصمیم‌گیری بهتر صورت گیرد. [۵]

اتوماسیون مبتنی بر اینترنت اشیا در انبارها، مراکز توزیع و حمل‌ونقل، قادر شده است زمان پردازش سفارشات را کاهش دهد، کارایی را افزایش دهد و خطاهای انسانی را کمتر نماید؛ به عنوان مثال شرکت‌هایی گزارش داده‌اند کاهش قابل توجه زمان تحویل را با این رویکرد تجربه کرده‌اند. [۲۲]

زیرساخت‌های فناوری نسل جدید مانند نسل پنجم، پردازش سریع لبه و حسگرهای کم‌مصرف نیز این امکان را فراهم کرده‌اند که زنجیره تأمین به سمت خودکارسازی کامل حرکت کند و نه فقط بهبود یابد. [۲]

بنابراین، ادغام جامع فناوری‌ها مسیر دستیابی به زنجیره تأمین هوشمند، چابک و مقاوم را هموار می‌سازد.



۷. مطالعات موردی و نمونه‌های موفق

۷.۱ مطالعه موردی اول: آمازون – تحول دیجیتال و زنجیره تأمین هوشمند

شرکت آمازون به عنوان یکی از پیشگامان تجارت الکترونیک، نمونه‌ای برجسته از به کارگیری فناوری‌های متصل و داده‌محور در زنجیره تأمین است. این شرکت با استفاده از حسگرها، ربات‌ها، پلتفرم‌های داده و ابزارهای اینترنت اشیا توانسته فرآیندهای لجستیکی خود را بازطراحی کند و سرعت تحویل را به صورت چشمگیر کاهش دهد [۴۱].

در این مطالعه، مشخص شده است که ادغام فناوری‌های دیجیتال (از جمله اینترنت اشیا، کلان داده و پردازش ابری) با عملیات لجستیک آمازون باعث افزایش کارایی و بهبود چرخش موجودی گردیده است؛ اگرچه اثر آن به تنهایی برای عملکرد زنجیره تأمین به صورت کاملاً معنادار آماری گزارش نشده است [همان].

علاوه بر این، بخش لجستیک آمازون از داده‌های بلادرنگ استفاده کرده است تا تصمیماتی مانند اولویت بندی ارسال، تخصیص ذخیره در مراکز توزیع و مسیریابی کارا تر بگیرند. این رویکرد مبتنی بر اینترنت اشیا و هوش مصنوعی به کاهش تأخیر، خطا و هزینه کمک کرده است [42].

نتیجه این است که مطالعه آمازون نشان می‌دهد موفقیت در پیاده سازی اینترنت اشیا نیازمند سه عنصر کلیدی است: زیرساخت دیجیتال قوی، داده‌محوری در تصمیم‌گیری، و فرهنگ سازمانی نوآورانه. بدون هر کدام از این‌ها، اثرات فناوری ممکن است محدود باقی بماند.

۷.۲ مطالعه موردی دوم: Nestlé – مقیاس گذاری جهانی دستگاه‌های متصل در زنجیره تأمین

شرکت Nestlé در سال ۲۰۲۳ موفق شد بالغ بر ۲/۸ میلیون دستگاه متصل را تحت بستر اینترنت اشیا مرکزی خود مستقر نماید، که این امر نشان‌دهنده ظرفیت عظیم فناوری برای بهینه‌سازی زنجیره تأمین در صنایع سریع‌التغییر است [43].

این پروژه شامل به کارگیری حسگرها، اتصال دستگاه‌ها و تحلیل داده در محیط‌های جهانی (۹۷ کشور) بود. این زیرساخت اجازه داد شرکت به سرعت مدل‌های تکرارشونده برای نوآوری طراحی کند و زمان توسعه راهکارهای اینترنت اشیا را از ماه‌ها به هفته‌ها کاهش دهد [همان].

ابزار اینترنت اشیا به Nestlé کمک کرد تا وضعیت تولید، شرایط محیطی، مصرف انرژی و نگهداری دارایی‌ها را در زنجیره تأمین خود پایش نماید؛ این داده‌ها منجر به تصمیم‌گیری بهتر، کاهش توقف‌ها و ارتقای کیفیت شدند [همان].

این نمونه نیز نشان می‌دهد که مقیاس‌گذاری فناوری اینترنت اشیا در سطح جهانی، وقتی با یک چارچوب فنی و عملیاتی مناسب همراه شود، می‌تواند نتایج ملموسی ایجاد نماید؛ اما سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزی دقیق برای موفقیت حیاتی است.

۷.۳ مطالعه موردی سوم: DHL – رهگیری جهانی محموله‌ها با اینترنت اشیا

شرکت DHL یکی از شرکت‌های لجستیک است که فناوری اینترنت اشیا را در سطح بسته‌ها و کانتینرها مورد استفاده قرار داده است تا دید لحظه‌ای از وضعیت محموله‌ها، شرایط محیطی، مسیرها و ضربه‌ها ایجاد کند [۴].



این شرکت با ترکیب اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ توانست تحلیل بهتری از عملکرد زنجیره ارائه دهد، اختلالات را سریع‌تر شناسایی کند و گزینه‌های جایگزین را پیشنهاد دهد؛ به‌عنوان مثال، زمانی که شرایط محیطی برای کالاهای حساس تغییر می‌کند، سامانه هشدار می‌دهد و اقدام اصلاحی انجام می‌شود [همان].

از منظر پایداری، DHL گزارش داده است که با استفاده از اینترنت اشیا در نظارت بر مصرف سوخت، مسیریابی بهینه و کاهش توقف‌های ناگهانی، توانسته ردپای کربنی خود را کاهش دهد و به عملکرد زیست‌محیطی بهتری دست یابد [همان].

بنابراین، مطالعه DHL نشان می‌دهد که کاربرد اینترنت اشیا می‌تواند در صنایع لجستیکی گسترده با مجموعه بازیگران متعدد، امکان‌پذیر باشد، به شرط آن که فناوری، فرایندها و ساختار سازمانی با هم هماهنگ شوند.

۷.۴ تحلیل تطبیقی مطالعات موردی

مقایسه نمونه‌های آمازون، Nestlé و DHL نشان می‌دهد که علیرغم تفاوت صنایع و مقیاس، چند عامل مشترک موفقیت وجود دارد: استفاده از داده‌های بلادرنگ، تحول فرایندی هم‌راستا با فناوری و ساختار سازمانی که نوآوری را می‌پذیرد. همچنین، همه نمونه‌ها نشان داده‌اند که فناوری اینترنت اشیا بدون سرمایه‌گذاری در تحلیل داده، زیرساخت‌های مقیاس‌پذیر و نهادینه‌سازی فرایندها، مزایای کامل خود را نشان نمی‌دهد؛ به عبارت دیگر، اینترنت اشیا به تنهایی کافی نیست. علاوه بر این، چالش‌هایی نیز گزارش شده‌اند — برای مثال، در مطالعه آمازون به این نکته اشاره شده که اثر فناوری بر کارایی زنجیره تأمین ممکن است به تنهایی معنادار آماری نباشد و فاکتورهای میانی مانند فرهنگ سازمانی یا زیرساخت تأثیرگذارند [۴۱].

در نتیجه، این مطالعات موردی درس‌های عملی ارائه می‌دهند شامل نیاز به چشم‌انداز راهبردی، ترکیب فناوری با فرایندها و سرمایه‌گذاری در مهارت‌های انسانی، که برای موفقیت اینترنت اشیا در زنجیره تأمین ضروری هستند.

۸. نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده

۸.۱ نتیجه‌گیری کلی

در این مقاله نشان داده شد که اینترنت اشیا به‌طور قابل توجهی می‌تواند کارایی و شفافیت زنجیره تأمین تجارت الکترونیک را بهبود بخشد. با استفاده از حسگرها، دستگاه‌های متصل و تحلیل داده‌های بلادرنگ، سازمان‌ها می‌توانند فرآیندهای لجستیکی، موجودی و حمل‌ونقل را بهینه کنند و ریسک‌ها را کاهش دهند.

مطالعات موردی آمازون، Nestlé و DHL نشان دادند که پیاده‌سازی موفق اینترنت اشیا نیازمند همگرایی فناوری، فرایندهای سازمانی و فرهنگ داده‌محور است. بدون هماهنگی این سه بخش، بهره‌برداری کامل از مزایای اینترنت اشیا ممکن نیست.



مزایای کلیدی شامل کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت تحویل، بهبود پیش‌بینی موجودی و کاهش خطاهای انسانی بود. همچنین، مشاهده شد که اینترنت اشیا می‌تواند به افزایش پایداری محیطی از طریق بهینه‌سازی مسیرها و مصرف انرژی کمک کند.

در بخش چالش‌ها، مشکلاتی مانند امنیت داده، حریم خصوصی، پیچیدگی زیرساخت، نبود استانداردهای جهانی و مقاومت فرهنگی مشخص شد. با این حال، راهکارهای نوین همچون معماری‌های امنیتی پیشرفته، بلاک‌چین، پردازش لبه، استانداردسازی و آموزش کارکنان می‌توانند این موانع را به حداقل برسانند.

به‌طور کلی، اینترنت اشیا به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین شناخته شد که اگر به‌درستی با سیاست‌ها، مهارت‌ها و زیرساخت‌ها ترکیب شود، قادر است زنجیره تأمین تجارت الکترونیک را به یک سیستم هوشمند، چابک و مقاوم تبدیل کند.

۸.۲ پیشنهادها برای پژوهش‌های آینده

یکی از مهم‌ترین زمینه‌های تحقیقاتی، بررسی اثرات بلندمدت اینترنت اشیا بر پایداری زنجیره تأمین است. پژوهش‌های آینده می‌توانند نقش اینترنت اشیا در کاهش مصرف انرژی، مدیریت ضایعات و انتشار کربن را به‌صورت کمی اندازه‌گیری کنند.

پژوهش‌های آتی همچنین می‌توانند به تحلیل عملکرد ترکیبی فناوری‌های مکمل مانند هوش مصنوعی، بلاک‌چین و کلان‌داده در زنجیره تأمین بپردازند و مدل‌های تصمیم‌گیری هوشمند مبتنی بر داده را توسعه دهند.

تحقیقات می‌توانند به بررسی مقیاس‌پذیری اینترنت اشیا در صنایع کوچک و متوسط بپردازند تا نشان دهند که چگونه شرکت‌های غیرچندملیتی می‌توانند از این فناوری بهره‌مند شوند و هزینه‌های پیاده‌سازی را بهینه کنند.

حوزه امنیت و حریم خصوصی هنوز نیازمند مطالعات گسترده است. پژوهش‌های آینده می‌توانند چارچوب‌های امنیتی نوین و مدل‌های حفظ حریم خصوصی مبتنی بر اینترنت اشیا و بلاک‌چین را بررسی کنند.

توسعه استانداردهای جهانی و پروتکل‌های یکپارچه برای تعامل دستگاه‌ها، پلتفرم‌ها و سیستم‌های مختلف نیز یکی از اولویت‌های تحقیقاتی است؛ این امر به کاهش هزینه‌های یکپارچه‌سازی و افزایش پذیرش کمک می‌کند.

مطالعه اثرات فرهنگی و سازمانی بر پذیرش اینترنت اشیا نیز اهمیت دارد؛ پژوهش‌های آینده می‌توانند راهکارهای مدیریت تغییر، آموزش کارکنان و ایجاد فرهنگ داده‌محور را به صورت میدانی ارزیابی کنند.

در نهایت، ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی و دوقلوی دیجیتال برای پیش‌بینی رفتار زنجیره تأمین و ارزیابی سناریوهای مختلف، زمینه جدیدی برای تحقیق فراهم می‌کند.

۹. مراجع

1. Zhang, H., Wang, X., & Liu, Y. (2023). IoT adoption and supply chain performance: Evidence from global enterprises. *Journal of Business Research*, 155, 113468. Atluri, S.N. and Shen, S. (2002), "The Meshless Local Petrov-Galerkin (MLPG) Method", Tech Science Press, USA.
2. Al-Ibrahim, H. B., & Aksoy, M. S. (2024). IoT in Supply Chain Management: An Overview. *Journal of Advanced Management Science*.
3. Zaman, J., et al. (2025). Driving Supply Chain Transformation with IoT and AI. *Smart Cities*, 6(2), Article 21.

4. DHL Group. (2024, September 3). Insights Shaping Tomorrow: DHL Logistics Trend Radar 7.0 Unveils Emerging AI Trends and Sustainable Solutions.
5. Taj, S., Imran, A. S., Kastrati, Z., Daudpota, S. M., & Javed, A. (2023). IoT-based supply chain management: A systematic literature review. *Internet of Things*, 24, 100982.
6. Younis, H. (2025). An overarching framework for the successful adoption of IoT in supply chains. *Business Information Journal*.
7. Idrissi, Z. K., et al. (2024). Blockchain, IoT and AI in logistics and transportation: A systematic review. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*.
8. Zrelli, I. (2024). A bibliometric analysis of IoT applications in logistics and supply chain management. *Logistics*.
9. KPMG. (2024). Supply Chain Trends 2024: The Digital Shake-Up. KPMG Insights.
10. Rejeb, A., Simske, S., Rejeb, K., Treiblmaier, H., & Zailani, S. (2020). Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. *Internet of Things*, 12, 100318.
11. Li, K., Zhang, Y., Huang, Y., Tian, Z., & Sang, Z. (2023). Framework and capability of industrial IoT infrastructure for smart manufacturing. *Standards*, 3(1), 1–18.
12. Xu, P., Xia, D., Tang, Q., & Shuai, Z. (2024). IoT-based supply chain performance measurement system: A conceptual framework. *Proceedings of the 4th International Conference on Economic Management and Big Data Applications (ICEMBDA 2023)*.
13. Sallam, K., Mohamed, M., & Mohamed, A. W. (2023). Internet of Things (IoT) in supply chain management: Challenges, opportunities, and best practices. *Sustainable Machine Intelligence Journal*, 2(1), 1–32.
14. Čepinskis, J., & Čepinskis, V. (2023). Quality and security frameworks for IoT-architecture models evaluation. *Journal of Systems Architecture*, 134, 102-115.
15. de Vass, T., Shee, H., & Miah, S. J. (2020). The effect of "Internet of Things" on supply chain integration and performance: An organisational capability perspective. *Australasian Journal of Information Systems*, 24, 1-25.
16. Thakker, S. V., Rane, S. B., & Narwane, V. S. (2024). Implementation of blockchain-IoT-based integrated architecture in green supply chain. *Modern Supply Chain Research and Applications*, 6(2), 122–145.
17. MDPI. (2024). A modular IoT-based architecture for logistics service performance assessment and real-time scheduling. *Logistics*, 8(1), 12.
18. Johnson, O. (2024). Adopting Internet of Things (IoT) in Supply Chain Operations. Preprints.
19. Bhavikatta, N. B. (2025). AI-Driven Inventory Optimization in Supply Chains. *Journal of Computer Science & Technology Studies*.
20. Udeh, E. O., Amajuoyi, P., Adeusi, K. B., & Scott, A. O. (2024). The Role of IoT in Boosting Supply Chain Transparency and Efficiency. *Magna Scientia Advanced Research and Reviews*, 11(01), 178–197.
21. Woods, L. (2024). IoT-driven visibility and stakeholder trust in E-commerce supply chains. *Supply Chain Technology Review*, 22(4), 33-45.
22. Monsreal, M. M. (2022). Impact of IoT on Supply Chain Efficiency & Logistics. *Logistics Today*, 5, 84-97.
23. Ezekwueme, N. (2024). Predictive analytics for dynamic demand forecasting in E-commerce using IoT data. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 70, 103-145.
24. Fourie, D. (2024). Enhancing customer experience through real-time order tracking and IoT. *Journal of Consumer Satisfaction, Dissatisfaction and Complaining Behavior*, 37, 55-70.
25. Oliynyk, K. (2025, March 23). IoT in Supply Chain Management: Benefits, Challenges, and Real-World Examples. WebbyLab.

26. Khan, Y. (2022). Application of Internet of Things (IoT) in Sustainable Supply Chains. *Journal of Sustainable Management*, 15(1), 694-710.
27. Yoon, S., Kim, H., & Park, J. H. (2021). Security Issues in IoT-Based Logistics and Supply Chains. *IEEE Access*, 9, 156432–156448.
28. Alaba, F. A., Othman, M., Hashem, I. A. T., & Alotaibi, F. (2022). Internet of Things Security: A Review of Challenges and Solutions. *Computers & Security*, 122, 102921.
29. Perera, C., Jayawardena, S., & Yapa, S. R. (2023). Ethical and Privacy Challenges of IoT in E-Commerce Supply Chains. *Information Systems Frontiers*, 25(1), 145–162.
30. Kumar, N., & Mallick, P. K. (2020). Blockchain and IoT Integration Challenges for Supply Chain. *Computer Communications*, 155, 104–118.
31. Gupta, H., Kaur, A., & Singh, M. (2021). Standardization challenges in IoT-based supply chains. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(11), 9345-9356.
32. Li, X., & Yu, H. (2022). Interoperability and Standardization Issues in the IoT Ecosystem. *Sensors*, 22(10), 3758.
33. Chopra, S., Meindl, P., & Kalra, V. (2021). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson.
34. Kaur, R., Singh, S., & Malik, A. (2022). Cost and Investment Challenges in IoT Adoption for SMEs. *Technological Forecasting & Social Change*, 180, 121701.
35. Abideen, Z. U., Ahmed, M., & Rehman, M. H. (2023). Barriers to IoT Adoption in Supply Chain Management: A Systematic Review. *Journal of Industrial Information Integration*, 30, 100412.
36. Patel, K., & Patel, S. (2021). A Review on IoT Implementation Challenges in Supply Chains. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(6), 547–564.
37. Hashem, I. A. T., Qadir, J., & Imran, M. A. (2024). Scalability and Reliability Issues in Industrial IoT Systems. *IEEE Access*, 12, 48930–48952.
38. Hossain, M. S., Fotouhi, M., & Hasan, R. (2021). Towards an Analysis of Legal and Ethical Issues in IoT Deployment. *IEEE Internet Computing*, 25(2), 67–75.
39. Kumar, D., & Yu, H. (2023). Roadmap for integrating blockchain with Internet of Things in logistics and supply chains. *Technological Forecasting & Social Change*.
40. Adeusi, K. B., Adegbola, A. E., Amajuoyi, P., Adegbola, M. D., & Benjamin, L. B. (2024). The potential of IoT to transform supply chain management through enhanced connectivity and real-time data. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, 12(1), 145-151.
41. Alalade, E. O. (2025). Digital Transformation and Supply Chain Efficiency: A Case of Amazon Inc. *International Journal of Research and Innovation in Social Science*, 8(12), 3931-3944.
42. Qiu, T. (2024). Analysis and Research on Supply Chain Optimization of e-Commerce Platform: Taking Amazon and Alibaba as Examples. *Proceedings of the 1st International Conference on Engineering Management, Information Technology and Intelligence (EMITI 2024)*, 590-596.
43. AWS Case Study. (2023). Nestlé Scales to Millions of Connected Devices with AWS IoT. Amazon Web Services.