

اینترنت اشیا انقلابی در دنیای متصل

سعید صفایی

استاد درس : دکتر علی یاری فرد

پاییز ۱۴۰۳

فهرست مطالب

۱	مقدمه.....	۱
۲	مراحل اولیه توسعه اینترنت اشیا.....	۷
۲.۱	ماشین کوکاکولا به عنوان اولین نمونه عملی اینترنت اشیا (دهه ۱۹۸۰).....	۷
۲.۲	معرفی اصطلاح "اینترنت اشیا" توسط Kevin Ashton سال ۱۹۹۹.....	۷
۲.۳	نخستین شبکه‌های بی‌سیم و دستگاه‌های متصل (اوایل دهه ۱۹۸۰).....	۷
۲.۴	معرفی TCP/IP به عنوان پروتکل زیرساخت اصلی اینترنت (دهه ۱۹۷۰).....	۷
۲.۵	توسعه حسگرها و دستگاه‌های هوشمند (دهه ۲۰۰۰).....	۸
۲.۶	اینترنت اشیا به عنوان یکی از ارکان اصلی تحول دیجیتال (سال ۲۰۱۰).....	۸
۳	نقاط عطف تاریخی در فناوری اینترنت اشیا.....	۸
۳.۱	توسعه RFID.....	۸
۳.۲	ظهور پروتکل TCP/IP.....	۹
۳.۳	تحول در دهه ۲۰۱۰.....	۱۰
۴	تکنولوژی‌های اساسی.....	۱۰
۴.۱	حسگرها.....	۱۱
۴.۲	شبکه‌های بی‌سیم.....	۱۱
۴.۳	دستگاه‌های پردازش.....	۱۱
۴.۴	پروتکل‌های اینترنت.....	۱۲
۵	کاربردهای اینترنت اشیا.....	۱۳
۵.۱	تولید یا صنعت هوشمند.....	۱۳
۵.۲	حمل و نقل یا خودرو هوشمند.....	۱۳
۵.۳	انرژی.....	۱۳
۵.۴	خرده‌فروشی هوشمند.....	۱۴
۵.۵	شهر هوشمند.....	۱۴

۵.۶	سلامت هوشمند	۱۴
۵.۷	زنجیره تأمین هوشمند	۱۵
۵.۸	کشاورزی هوشمند	۱۵
۵.۹	ساختمان‌های هوشمند	۱۵
۵.۱۰	سایر	۱۵

۶ چالش‌های اینترنت اشیاء

۶.۱	امنیت	۱۶
۶.۲	استانداردها و سازگاری	۱۶
۶.۳	مقیاس‌پذیری	۱۷
۶.۴	وابستگی به اینترنت	۱۷
۶.۵	هزینه	۱۷
۶.۶	مدیریت داده	۱۸
۶.۷	مسائل قانونی و نظارتی	۱۸
۶.۸	پیچیدگی فنی	۱۸

۷ سخت‌افزار اینترنت اشیاء

۷.۱	حسگرها	۱۹
۷.۲	ماژول‌های ارتباطی	۲۰
۷.۳	پردازنده‌ها	۲۰
۷.۴	واحدهای ذخیره‌سازی	۲۱
۷.۵	عملگرها و کنترلرها	۲۱
۷.۶	باتری‌ها و منابع تغذیه	۲۲
۷.۷	نمایشگرها و رابط‌های کاربری	۲۲
۷.۸	واحدهای مخابراتی	۲۳
۷.۹	ماژول‌های GPS	۲۳

۸ نرم‌افزار اینترنت اشیاء

۸.۱	سیستم‌عامل‌های اینترنت اشیاء	۲۴
-----	------------------------------	----

۸.۲	پلتفرم‌های اینترنت اشياء.....	۲۴
۸.۳	پروتکل‌های ارتباطی.....	۲۵
۸.۴	ابزارهای تحلیل داده‌ها.....	۲۶
۸.۵	امنیت در اینترنت اشياء.....	۲۶
۸.۶	مدیریت دستگاه‌ها.....	۲۷
۹	نتیجه‌گیری.....	۲۸
۹.۱	نقاط قوت و فرصت‌ها.....	۲۸
۹.۲	چالش‌ها و مسائل.....	۲۸
۹.۳	آینده اینترنت اشياء.....	۲۹
۱۰	منابع.....	۲۹

اینترنت اشیاء^۱ یک موضوع مهم در صنایع فناوری^۲، سیاست‌گذاری^۳ و مهندسی^۴ است و به تیترا اخبار در رسانه‌های تخصصی و عمومی تبدیل شده است. این فناوری در طیف وسیعی از محصولات، سیستم‌ها و حسگرهای شبکه‌ای^۵ تجلی می‌یابد که با بهره‌گیری از پیشرفت‌های قدرت محاسباتی^۶، مینیاتوری‌سازی^۷ الکترونیک^۸ و اتصالات شبکه^۹، قابلیت‌های جدیدی ارائه می‌دهد که قبلاً امکان‌پذیر نبود. تعداد زیادی کنفرانس، گزارش و مقالات خبری به بررسی و بحث در مورد تأثیرات احتمالی "اینترنت اشیاء" پرداخته‌اند؛ از فرصت‌های جدید بازار و مدل‌های کسب و کار^{۱۰} تا نگرانی‌های مربوط به امنیت^{۱۱}، حریم خصوصی^{۱۲} و قابلیت همکاری فنی^{۱۳}.

پیاده‌سازی گسترده دستگاه‌های اینترنت اشیاء وعده تغییر بسیاری از جنبه‌های زندگی ما را می‌دهد. برای مصرف‌کنندگان، محصولات جدید اینترنت اشیاء مانند لوازم متصل به اینترنت، اجزای اتوماسیون خانگی^{۱۴} و دستگاه‌های مدیریت انرژی^{۱۵}، ما را به سمت چشم‌انداز "خانه هوشمند"^{۱۶} حرکت می‌دهند که امنیت و کارایی انرژی بیشتری ارائه می‌دهند. دستگاه‌های شخصی دیگر مانند دستگاه‌های پوشیدنی^{۱۷} مانیتورینگ سلامت^{۱۸} و تناسب اندام و دستگاه‌های پزشکی متصل^{۱۹} به شبکه نیز نحوه ارائه خدمات بهداشتی را متحول می‌کنند. این فناوری قول می‌دهد که برای افراد دارای معلولیت و سالمندان مفید باشد، زیرا به آنها امکان می‌دهد با هزینه‌ای معقول، سطح بالاتری از استقلال و کیفیت زندگی را تجربه کنند. سیستم‌های اینترنت اشیاء مانند وسایل نقلیه شبکه‌ای^{۲۰}، سیستم‌های هوشمند ترافیک^{۲۱} و حسگرهای جاسازی شده^{۲۲} در جاده‌ها و پل‌ها ما را به ایده "شهرهای

^۱ Internet of Things (iot)

^۲ Technology Industries

^۳ Policy-making

^۴ Engineering

^۵ Networked Sensors

^۶ Computational Power

^۷ Electronics Miniaturization

^۸ Network Connectivity

^۹ Business Models

^{۱۰} Security

^{۱۱} Privacy

^{۱۲} Technical Interoperability

^{۱۳} Home Automation

^{۱۴} Energy Management

^{۱۵} Smart Home

^{۱۶} Wearable Devices

^{۱۷} Health Monitoring

^{۱۸} Connected Medical Devices

^{۱۹} Networked Vehicles

^{۲۰} Smart Traffic Systems

^{۲۱} Embedded Sensors

هوشمند^۱ نزدیک‌تر می‌کنند که به کاهش ترافیک و مصرف انرژی کمک می‌کند. فناوری اینترنت اشیا امکان تحول کشاورزی، صنعت و تولید و توزیع انرژی را با افزایش دسترسی به اطلاعات در طول زنجیره ارزش تولید^۲ از طریق حسگرهای شبکه‌ای فراهم می‌کند. با این حال، اینترنت اشیا مسائل و چالش‌های زیادی را نیز به همراه دارد که برای بهره‌برداری از مزایای بالقوه آن باید مورد توجه قرار گیرد.

تعداد زیادی شرکت و سازمان تحقیقاتی پیش‌بینی‌های گسترده‌ای درباره تاثیر احتمالی اینترنت اشیا بر اینترنت و اقتصاد در پنج تا ده سال آینده ارائه کرده‌اند. به عنوان مثال،^۳ هواوی پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۳۰ تعداد اتصالات اینترنت اشیا به ۳۰ میلیارد خواهد رسید [۱]. موسسه جهانی مک‌کنزی نشان می‌دهد که تاثیر مالی اینترنت اشیا بر اقتصاد جهانی ممکن است تا سال ۲۰۲۵ به ۳.۹ تا ۱۱.۱ تریلیون دلار برسد. در حالی که تنوع در پیش‌بینی‌ها باعث می‌شود هر عدد خاصی سوال‌برانگیز باشد، به طور کلی تصویری از رشد و تاثیر قابل توجه را نشان می‌دهد.

برخی ناظران، اینترنت اشیا را به عنوان یک دنیای کاملاً متصل و هوشمند از پیشرفت، کارایی و فرصت می‌بینند که پتانسیل افزودن میلیاردها دلار ارزش به صنعت و اقتصاد جهانی را دارد. دیگران هشدار می‌دهند که اینترنت اشیا نمایانگر یک دنیای تاریک از نظارت^۴، نقض حریم خصوصی^۵ و امنیت و قفل شدن مصرف‌کننده است. عناوین خبری جذاب درباره هک خودروهای متصل به اینترنت، نگرانی‌های نظارتی ناشی از ویژگی‌های تشخیص صدا در تلویزیون‌های هوشمند^۶ و ترس‌های حریم خصوصی ناشی از سوء استفاده احتمالی از داده‌های اینترنت اشیا توجه عمومی را جلب کرده‌اند. این بحث "وعده در مقابل خطر" همراه با ورود حجم زیادی از اطلاعات از طریق رسانه‌های عمومی و بازاریابی، می‌تواند موضوع اینترنت اشیا را به یک موضوع پیچیده تبدیل کند.

حتی اگر پیش‌بینی‌های متواضعانه درست باشند، انفجار برنامه‌های اینترنت اشیا می‌تواند یک تغییر اساسی در نحوه تعامل کاربران با اینترنت و تأثیرگذاری آن‌ها بر اینترنت ایجاد کند، که مسائل جدید و ابعاد مختلفی از چالش‌های موجود در زمینه‌های نگرانی‌های کاربر/مصرف‌کننده، فناوری، سیاست‌گذاری و قانون^۷ را مطرح می‌کند. اینترنت اشیا همچنین احتمالاً تأثیرات متفاوتی در اقتصادها و مناطق مختلف خواهد داشت، که فرصت‌ها و چالش‌های متنوعی را در سراسر جهان به همراه دارد.

^۱ Smart Cities

^۲ Production Value Chain

^۳ Predictions

^۴ Surveillance

^۵ Privacy Violation

^۶ Smart TVs

^۷ Law

۲ مراحل اولیه توسعه اینترنت اشیا

۲،۱ ماشین کوکاکولا^۱ به عنوان اولین نمونه عملی اینترنت اشیا (دهه ۱۹۸۰)

در اوایل دهه ۱۹۸۰، محققان دانشگاه کارنگی ملون اولین نمونه عملی اینترنت اشیا را معرفی کردند. آنها یک دستگاه خودکار فروش نوشیدنی کوکاکولا را به اینترنت متصل کردند تا بتوانند وضعیت موجودی نوشیدنی‌ها و دمای آنها را بررسی کنند. این پروژه نشان‌دهنده اولین تلاش‌ها برای استفاده از شبکه‌های کامپیوتری برای کنترل و نظارت بر دستگاه‌های فیزیکی بود [۱].

۲،۲ معرفی اصطلاح "اینترنت اشیا" توسط Kevin Ashton سال ۱۹۹۹

در سال ۱۹۹۹، Kevin Ashton، یکی از بنیان‌گذاران Auto-ID Center در MIT، برای اولین بار اصطلاح "اینترنت اشیا" را مطرح کرد. او این اصطلاح را برای توصیف شبکه‌ای از اشیا فیزیکی که از طریق سنسورها و اتصالات شبکه‌ای به اینترنت متصل می‌شوند و داده‌ها را جمع‌آوری و به اشتراک می‌گذارند، استفاده کرد. این ایده به سرعت به یکی از مفاهیم کلیدی در فناوری اطلاعات و ارتباطات تبدیل شد [۲].

۲،۳ نخستین شبکه‌های بی‌سیم^۲ و دستگاه‌های متصل (اوایل دهه ۱۹۸۰)

در اوایل دهه ۱۹۸۰، با توسعه شبکه‌های بی‌سیم و افزایش استفاده از دستگاه‌های متصل، مفهوم اینترنت اشیا به تدریج شکل گرفت. شبکه‌های بی‌سیم امکان ارتباط بدون سیم بین دستگاه‌های مختلف را فراهم کردند و این امر منجر به توسعه دستگاه‌هایی شد که قادر بودند به صورت خودکار داده‌ها را ارسال و دریافت کنند. این پیشرفت‌ها زمینه‌ساز شکل‌گیری شبکه‌های گسترده‌ای از دستگاه‌های متصل شدند که بعدها به عنوان اینترنت اشیا شناخته شدند.

۲،۴ معرفی TCP/IP^۳ به عنوان پروتکل زیرساخت اصلی اینترنت (دهه ۱۹۷۰)

در دهه ۱۹۷۰، پروتکل TCP/IP به عنوان پروتکل اصلی برای ارتباطات شبکه‌ای معرفی شد. TCP/IP، زیرساخت اصلی اینترنت را فراهم کرد و امکان ارتباطات شبکه‌ای بین دستگاه‌های مختلف را تسهیل کرد. این پروتکل با ارائه یک چارچوب استاندارد برای تبادل داده‌ها، به طور غیر مستقیم به توسعه اینترنت اشیا نیز کمک کرد.

^۱ Coca-Cola Machine

^۲ Wireless Networks

^۳ Transmission Control Protocol/Internet Protocol

۲,۵ توسعه حسگرها و دستگاه‌های هوشمند^۱ (دهه ۲۰۰۰)

در دهه ۲۰۰۰، توسعه حسگرها و دستگاه‌های هوشمند به جمع‌آوری داده‌ها و ارائه اطلاعات دقیق‌تر کمک کرد. این حسگرها با قابلیت‌های پیشرفته خود، امکان نظارت و کنترل دقیق‌تر بر فرآیندها و دستگاه‌ها را فراهم کردند. همچنین، با افزایش قدرت محاسباتی و کاهش هزینه‌های^۲ تولید، دستگاه‌های هوشمند به صورت گسترده‌تری در دسترس قرار گرفتند و استفاده از آنها در زمینه‌های مختلف افزایش یافت.

۲,۶ اینترنت اشیاء به عنوان یکی از ارکان اصلی تحول دیجیتال^۳ (سال ۲۰۱۰)

در سال ۲۰۱۰ و پس از آن، اینترنت اشیاء به عنوان یکی از ارکان اصلی تحول دیجیتال شناخته شد. این فناوری با ارائه راه‌حل‌های هوشمند برای مدیریت منابع، بهبود کارایی و افزایش کیفیت زندگی، توانست به یکی از عوامل کلیدی در تحول دیجیتال تبدیل شود. اینترنت اشیاء در زمینه‌های مختلفی از جمله حمل و نقل^۴، سلامت، انرژی^[۳]، کشاورزی و صنعت نقش مهمی ایفا کرد و به بهبود فرآیندها و کاهش هزینه‌ها کمک کرد.

۳ نقاط عطف تاریخی در فناوری اینترنت اشیاء

۳,۱ توسعه RFID^۵

فناوری شناسایی با استفاده از امواج رادیویی (RFID) در دهه ۱۹۸۰ اختراع شد و از آن زمان تا کنون به یکی از پایه‌های اصلی اینترنت اشیاء تبدیل شده است. این فناوری امکان شناسایی و ردیابی اشیاء بدون نیاز به تماس مستقیم را فراهم می‌کند. در سیستم‌های RFID، یک تگ (برچسب) به اشیاء متصل می‌شود که شامل یک چیپ کوچک و یک آنتن است. این تگ‌ها می‌توانند اطلاعات را از طریق امواج رادیویی به یک خواننده RFID ارسال کنند.

یکی از کاربردهای اصلی RFID در صنایع مختلف است، از جمله در مدیریت انبار^۶ها، زنجیره تأمین^۷، حمل و نقل و سلامت. به عنوان مثال، در یک انبار، هر کالایی می‌تواند با یک تگ RFID برچسب‌گذاری شود. خواننده‌های

^۱ Smart Devices

^۲ Cost Reduction

^۳ Digital Transformation

^۴ Transportation

^۵ Radio Frequency Identification

^۶ Inventory Management

^۷ Supply Chain

RFID در ورودی و خروجی انبار نصب می‌شوند و به طور خودکار ورود و خروج کالاها را ثبت می‌کنند. این امر می‌تواند به بهبود دقت و کارایی عملیات انبار کمک کند و احتمال اشتباهات انسانی را کاهش دهد.

در زنجیره تأمین، RFID می‌تواند برای ردیابی محصولات از تولید تا تحویل به مشتری نهایی استفاده شود. این فناوری به شرکت‌ها امکان می‌دهد تا هر لحظه از مکان دقیق محصولات خود آگاه باشند و عملیات لجستیک را بهبود بخشند. همچنین، در صنعت حمل و نقل، RFID می‌تواند برای پرداخت الکترونیکی عوارض جاده‌ای و نظارت بر ترافیک استفاده شود.

در حوزه سلامت، تگ‌های RFID می‌توانند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای نظارت بر بیماران و مدیریت تجهیزات پزشکی استفاده شوند. به عنوان مثال، بیمارستان‌ها می‌توانند بیماران را با تگ‌های RFID برچسب‌گذاری کنند تا از هر لحظه وضعیت و مکان آنها آگاه باشند. همچنین، تجهیزات پزشکی گران‌قیمت می‌توانند با استفاده از RFID ردیابی شوند تا از سرقت و گم شدن آنها جلوگیری شود.

۳،۲ ظهور پروتکل TCP/IP

پروتکل TCP/IP در اوایل دهه ۱۹۹۰ معرفی شد و به عنوان زیرساخت اصلی ارتباطات شبکه‌ای اینترنت شناخته می‌شود. این پروتکل‌ها، اساس اینترنت را تشکیل می‌دهند و امکان ارتباطات شبکه‌ای بین دستگاه‌های مختلف را فراهم می‌کنند.

TCP/IP دو پروتکل اصلی را شامل می‌شود: پروتکل کنترل انتقال (TCP) و پروتکل اینترنت (IP). (IP) مسئول برقراری ارتباط مطمئن بین دو دستگاه و ارسال داده‌ها به صورت قطعات بسته‌بندی شده است، در حالی که IP وظیفه آدرس‌دهی و مسیریابی بسته‌های داده را بر عهده دارد. این پروتکل‌ها با هم همکاری می‌کنند تا داده‌ها به درستی از یک دستگاه به دستگاه دیگر منتقل شوند.

یکی از ویژگی‌های اصلی TCP/IP، مقیاس‌پذیری آن است که اجازه می‌دهد تعداد زیادی دستگاه به شبکه متصل شوند. این ویژگی به گسترش اینترنت و افزایش تعداد کاربران کمک کرده است. همچنین، استفاده از پروتکل‌های استاندارد شده TCP/IP، امکان ارتباط بین دستگاه‌های مختلف از تولیدکنندگان مختلف را فراهم کرده است، که این امر به توسعه اینترنت اشیاء کمک زیادی کرده است.

۳،۳ تحول در دهه ۲۰۱۰

در دهه ۲۰۱۰، توانایی‌های پردازشی و برنامه‌نویسی دستگاه‌های کوچک به طور چشمگیری ارتقاء یافت. این پیشرفت‌ها به سازمان‌ها امکان داد تا داده‌های جمع‌آوری‌شده از دستگاه‌های مختلف را به طور مؤثر تحلیل و بهره‌برداری کنند.

یکی از تحولات مهم در این دهه، ظهور پردازنده‌های قوی‌تر و انرژی‌کارآمدتر بود که می‌توانستند در دستگاه‌های کوچک قرار بگیرند. این پردازنده‌ها، امکان اجرای برنامه‌های پیچیده و پردازش داده‌های بزرگ^۱ را فراهم کردند. همچنین، پیشرفت‌های نرم‌افزاری، امکان توسعه برنامه‌های کاربردی هوشمند و کارآمد را برای دستگاه‌های اینترنت اشیا^۲ فراهم کرد.

ارتقاء در توانایی‌های پردازشی و برنامه‌نویسی دستگاه‌های کوچک، باعث شد که این دستگاه‌ها بتوانند به صورت خودکار داده‌ها را جمع‌آوری، تحلیل و به اشتراک بگذارند. به عنوان مثال، در یک کارخانه هوشمند، حسگرهای نصب‌شده در ماشین‌آلات می‌توانند به طور پیوسته داده‌های عملکرد را جمع‌آوری و تحلیل کنند و به مدیریت کارخانه اطلاع دهند که آیا نیاز به تعمیر و نگهداری دارد یا خیر.

همچنین، در دهه ۲۰۱۰، فناوری‌های ابری به یکی از ارکان اصلی اینترنت اشیا تبدیل شدند. با استفاده از سرویس‌های ابری، سازمان‌ها می‌توانند داده‌های جمع‌آوری‌شده را در سرورهای ابری ذخیره و پردازش کنند و از قابلیت‌های مقیاس‌پذیری و انعطاف‌پذیری ابری بهره‌مند شوند.

فناوری‌های اینترنت اشیا نیز در این دهه به طور گسترده‌تری در زندگی روزمره مردم جای گرفتند. دستگاه‌های هوشمند خانگی مانند ترموستات‌های هوشمند، دوربین‌های امنیتی، و لوازم خانگی متصل به اینترنت، به بخشی از زندگی مردم تبدیل شدند و کارایی و راحتی را افزایش دادند.

۴ تکنولوژی‌های اساسی

اینترنت اشیا به واسطه ترکیب مجموعه‌ای از فناوری‌ها و دستگاه‌ها به وجود آمده است که هر کدام نقش حیاتی در عملکرد این سیستم پیچیده دارند. در اینجا به تفصیل به چهار تکنولوژی اساسی که پایه و اساس اینترنت اشیا را تشکیل می‌دهند، می‌پردازیم: حسگرها، شبکه‌های بی‌سیم، دستگاه‌های پردازش و پروتکل‌های اینترنت.

^۱ Big Data Processing

^۲ Internet of Things devices

۴,۱ حسگرها^۱

حسگرها اصلی ترین ابزار برای جمع آوری داده ها از محیط اطراف هستند. این دستگاه های کوچک و گاهی بسیار پیچیده قادرند انواع مختلفی از داده ها را اندازه گیری و ثبت کنند، از جمله دما، رطوبت، نور، حرکت، فشار، و بسیاری پارامترهای دیگر. به عنوان مثال، حسگرهای دما می توانند دمای محیط را اندازه گیری کنند و به سیستم های تهویه مطبوع اطلاعات دقیقی برای تنظیم دما بدهند. حسگرهای حرکت در سیستم های امنیتی^۲ برای تشخیص ورود غیرمجاز استفاده می شوند [۵], [۴].

یکی از پیشرفت های مهم در زمینه حسگرها، کوچک سازی و کاهش هزینه های تولید آنهاست. این پیشرفت ها امکان استفاده گسترده تر از حسگرها در انواع مختلفی از کاربردها را فراهم کرده است. همچنین، حسگرهای جدید با دقت بالاتر و قابلیت های بیشتر، امکان جمع آوری داده های دقیق تر و تحلیلی تر را فراهم می کنند که به بهبود عملکرد سیستم های اینترنت اشیا کمک می کند.

۴,۲ شبکه های بی سیم

شبکه های بی سیم نقش حیاتی در اتصال دستگاه های مختلف به اینترنت ایفا می کنند. این شبکه ها امکان ارتباط بی سیم بین دستگاه ها و سیستم های مرکزی را فراهم می کنند که این امر به کاهش نیاز به سیم کشی و افزایش انعطاف پذیری در نصب و استفاده از دستگاه های اینترنت اشیا کمک می کند. فناوری های مختلفی برای شبکه های بی سیم وجود دارند، از جمله Wi-Fi، Bluetooth، Zigbee، و LoRaWAN [۶].

هر یک از این فناوری ها ویژگی ها و مزایای خاص خود را دارند. به عنوان مثال، Wi-Fi سرعت بالایی را برای انتقال داده ها فراهم می کند و در مکان های داخلی بسیار رایج است. Bluetooth مناسب برای ارتباط بین دستگاه های نزدیک به هم با مصرف انرژی پایین است. Zigbee یک پروتکل کم مصرف با برد متوسط است که به طور خاص برای کاربردهای اینترنت اشیا طراحی شده است. LoRaWAN نیز یک فناوری برای ارتباطات دوربرد با مصرف انرژی پایین است که در کاربردهای صنعتی و شهری بسیار مفید است [۴].

۴,۳ دستگاه های پردازش^۳

دستگاه های پردازش وظیفه پردازش داده های جمع آوری شده توسط حسگرها و اتخاذ تصمیمات بر اساس این داده ها را دارند. این دستگاه ها می توانند از میکروکنترلرهای ساده^۴ تا پردازنده های پیچیده و قدرتمند، متغیر باشند.

^۱ Sensors

^۲ Security Systems

^۳ Processing devices

^۴ Simple Microcontrollers

در سیستم‌های اینترنت اشیا، دستگاه‌های پردازش به عنوان مغز سیستم عمل می‌کنند و تحلیل داده‌ها، اجرای الگوریتم‌ها و ارسال دستورات به دستگاه‌های متصل را انجام می‌دهند.

یکی از پیشرفت‌های مهم در این زمینه، توسعه پردازنده‌های کم‌مصرف با قدرت پردازشی بالا است. این پردازنده‌ها امکان اجرای الگوریتم‌های پیچیده و تحلیل داده‌های بزرگ^۱ را فراهم می‌کنند و در عین حال انرژی کمی مصرف می‌کنند که برای دستگاه‌های اینترنت اشیا که معمولاً با باتری کار می‌کنند، بسیار مهم است. همچنین، استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در دستگاه‌های پردازش، امکان تحلیل داده‌های پیچیده‌تر و اتخاذ تصمیمات هوشمندتر را فراهم می‌کند[۴].

۴،۴ پروتکل‌های اینترنت

پروتکل‌های اینترنت نقشی کلیدی در ارتباط بین دستگاه‌ها و سیستم‌های مرکزی ایفا می‌کنند. این پروتکل‌ها مجموعه‌ای از قوانین و استانداردها هستند که نحوه تبادل داده‌ها بین دستگاه‌ها را تعیین می‌کنند. پروتکل‌های اینترنتی مانند TCP/IP، MQTT^۲، CoAP^۳ و HTTP^۴ از جمله پرکاربردترین پروتکل‌ها در سیستم‌های اینترنت اشیا هستند[۵].

پروتکل TCP/IP، که یکی از مهم‌ترین پروتکل‌های اینترنتی است، زیرساخت ارتباطات شبکه‌ای را فراهم می‌کند و امکان انتقال داده‌ها به صورت مطمئن و سازماندهی‌شده بین دستگاه‌ها را فراهم می‌کند. پروتکل MQTT یک پروتکل سبک و کم‌مصرف برای ارسال داده‌های سنسورها و کنترل دستگاه‌های اینترنت اشیا است که برای کاربردهای با پهنای باند کم و تأخیر پایین طراحی شده است. CoAP نیز یک پروتکل سبک برای ارتباطات دستگاه‌های کم‌مصرف است که برای استفاده در شبکه‌های محلی و اینترنت طراحی شده است. HTTP نیز به عنوان یکی از پروتکل‌های اصلی برای انتقال داده‌ها و ارتباطات وب، در سیستم‌های اینترنت اشیا کاربرد دارد.

این پروتکل‌ها با فراهم کردن استانداردهای ارتباطی، امکان همکاری بین دستگاه‌های مختلف از تولیدکنندگان مختلف را فراهم می‌کنند و به توسعه و گسترش اینترنت اشیا کمک می‌کنند[۴].

^۱ Big Data Analytics

^۲ Message Queuing Telemetry Transport

^۳ Constrained Application Protocol

^۴ Hypertext Transfer Protocol

۵ کاربردهای اینترنت اشیا

اینفوگرافی نشان می‌دهد که چگونه اینترنت اشیا در ده بخش مختلف از زندگی روزمره و صنعت کاربرد دارد. هر کدام از این بخش‌ها نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی و افزایش کارایی ایفا می‌کنند. بیایید به طور مفصل به این ده بخش پردازیم و کاربردهای اینترنت اشیا را در هر کدام بررسی کنیم.

۵,۱ تولید یا صنعت هوشمند^۱

اینترنت اشیا در صنعت تولید به عنوان یک انقلاب صنعتی جدید شناخته می‌شود. دستگاه‌ها و ماشین‌آلات متصل به اینترنت می‌توانند به طور خودکار داده‌ها را جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل کنند. این داده‌ها به مدیران کارخانه‌ها کمک می‌کند تا بهره‌وری را افزایش دهند، هزینه‌ها را کاهش دهند و عملیات تعمیر و نگهداری را بهینه‌سازی کنند. به عنوان مثال، حسگرهای نصب‌شده بر روی ماشین‌آلات می‌توانند وضعیت عملکرد آن‌ها را نظارت کنند و قبل از وقوع خرابی، هشدار دهند. این امر منجر به کاهش زمان توقف و افزایش عمر مفید تجهیزات می‌شود [۵].

۵,۲ حمل و نقل یا خودرو هوشمند^۲

در حوزه حمل و نقل، اینترنت اشیا می‌تواند به بهبود ایمنی، کارایی و راحتی کمک کند. خودروهای متصل به اینترنت می‌توانند با سایر خودروها و زیرساخت‌های شهری ارتباط برقرار کنند. این ارتباطات می‌توانند به کاهش تصادفات، بهینه‌سازی مسیرها و کاهش ترافیک کمک کنند. به عنوان مثال، خودروهای هوشمند می‌توانند اطلاعاتی از وضعیت ترافیک در زمان واقعی دریافت کنند و به راننده‌ها اطلاع دهند که از مسیرهای پرتراфик جلوگیری کنند. همچنین، خودروهای خودران با استفاده از داده‌های جمع‌آوری‌شده از محیط اطراف می‌توانند به طور خودکار و بدون نیاز به راننده انسانی حرکت کنند [۵].

۵,۳ انرژی^۳

در حوزه انرژی، اینترنت اشیا می‌تواند به بهبود مدیریت منابع انرژی و افزایش کارایی کمک کند. شبکه‌های هوشمند که از حسگرها و دستگاه‌های متصل استفاده می‌کنند، می‌توانند توزیع انرژی را بهینه‌سازی کنند و از اتلاف انرژی جلوگیری کنند. به عنوان مثال، حسگرهای نصب‌شده بر روی خطوط انتقال برق می‌توانند نوسانات ولتاژ را تشخیص دهند و به صورت خودکار تنظیمات لازم را انجام دهند. همچنین، سیستم‌های مدیریت انرژی

^۱ Smart Manufacturing or Industry

^۲ Smart Transportation or Vehicles

^۳ Energy

هوشمند در منازل و ساختمان‌ها می‌توانند مصرف انرژی را کنترل کنند و با کاهش مصرف انرژی در ساعات اوج مصرف، هزینه‌ها را کاهش دهند [۶].

۵,۴ خرده‌فروشی هوشمند^۱

در صنعت خرده‌فروشی، اینترنت اشیا می‌تواند تجربه خرید را بهبود بخشد و کارایی عملیات را افزایش دهد. فروشگاه‌های هوشمند می‌توانند از حسگرها و دستگاه‌های متصل برای نظارت بر موجودی کالاها، تحلیل رفتار مشتریان و ارائه خدمات شخصی‌سازی شده استفاده کنند. به عنوان مثال، حسگرهای نصب‌شده بر روی قفسه‌های فروشگاه می‌توانند به صورت خودکار موجودی کالاها را مانیتور کنند و به مدیر فروشگاه اطلاع دهند که چه کالاهایی نیاز به تجدید موجودی دارند. همچنین، دستگاه‌های پرداخت هوشمند می‌توانند فرآیند پرداخت را سریع‌تر و آسان‌تر کنند [۶].

۵,۵ شهر هوشمند^۲

شهرهای هوشمند از تکنولوژی‌های اینترنت اشیا برای بهبود کیفیت زندگی شهروندان استفاده می‌کنند. سیستم‌های حمل و نقل هوشمند، مدیریت زباله هوشمند، نظارت بر کیفیت هوا و مدیریت ترافیک تنها برخی از کاربردهای اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند هستند. به عنوان مثال، حسگرهای نصب‌شده در سطح شهر می‌توانند اطلاعاتی از وضعیت ترافیک، کیفیت هوا و سطوح زباله را جمع‌آوری کنند و به صورت خودکار به سیستم‌های مدیریت شهری ارسال کنند. این اطلاعات به مدیران شهری کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری برای بهبود خدمات شهری بگیرند [۶].

۵,۶ سلامت هوشمند^۳

در حوزه سلامت، اینترنت اشیا می‌تواند به بهبود مراقبت‌های پزشکی و افزایش کیفیت زندگی بیماران کمک کند. دستگاه‌های پوشیدنی که وضعیت سلامت افراد را نظارت می‌کنند، می‌توانند داده‌های پزشکی را به پزشکان ارسال کنند و به آن‌ها کمک کنند تا به موقع تشخیص‌های دقیق‌تری بدهند. به عنوان مثال، دستگاه‌های پوشیدنی می‌توانند ضربان قلب، فشار خون و سطح فعالیت‌های بدنی افراد را مانیتور کنند و در صورت بروز هرگونه ناهنجاری به پزشک اطلاع دهند. این اطلاعات به پزشکان کمک می‌کند تا بیماری‌ها را زودتر شناسایی و درمان کنند [۵].

^۱ Smart Retail

^۲ Smart City

^۳ Smart Health

۵,۷ زنجیره تأمین هوشمند^۱

در مدیریت زنجیره تأمین، اینترنت اشیا می‌تواند به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها کمک کند. حسگرها و دستگاه‌های متصل می‌توانند حرکت کالاها در طول زنجیره تأمین را نظارت کنند و اطلاعات دقیقی از وضعیت موجودی و حمل و نقل کالاها ارائه دهند. به عنوان مثال، حسگرهای نصب‌شده بر روی کانتینرهای حمل و نقل می‌توانند دما، رطوبت و موقعیت جغرافیایی کالاها را مانیتور کنند و به مدیران زنجیره تأمین اطلاع دهند. این اطلاعات به مدیران کمک می‌کند تا مشکلات احتمالی را زودتر شناسایی و حل کنند و از خسارات ناشی از خرابی کالاها جلوگیری کنند [۴].

۵,۸ کشاورزی هوشمند^۲

در حوزه کشاورزی، اینترنت اشیا می‌تواند به افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف منابع کمک کند. حسگرها و دستگاه‌های متصل می‌توانند شرایط محیطی مانند دما، رطوبت خاک و نور خورشید را نظارت کنند و اطلاعات دقیقی از وضعیت زمین‌های کشاورزی ارائه دهند. به عنوان مثال، حسگرهای نصب‌شده در زمین‌های کشاورزی می‌توانند به کشاورزان اطلاع دهند که چه زمانی نیاز به آبیاری یا کوددهی دارند. این اطلاعات به کشاورزان کمک می‌کند تا منابع را بهینه‌تر مصرف کنند و محصول بیشتری برداشت کنند [۵].

۵,۹ ساختمان‌های هوشمند^۳

ساختمان‌های هوشمند از تکنولوژی‌های اینترنت اشیا برای بهبود کارایی انرژی، افزایش امنیت و راحتی ساکنان استفاده می‌کنند. حسگرها و دستگاه‌های متصل می‌توانند وضعیت روشنایی، دما، رطوبت و مصرف انرژی ساختمان‌ها را نظارت کنند و به صورت خودکار تنظیمات لازم را انجام دهند. به عنوان مثال، حسگرهای نصب‌شده در ساختمان‌ها می‌توانند تشخیص دهند که چه زمانی افراد در اتاق حضور دارند و به صورت خودکار روشنایی و دمای اتاق را تنظیم کنند. این امر به کاهش مصرف انرژی و افزایش راحتی ساکنان کمک می‌کند [۵].

۵,۱۰. سایر^۴

بخش‌های دیگری نیز وجود دارند که اینترنت اشیا می‌تواند در آن‌ها کاربرد داشته باشد. این بخش‌ها شامل هر چیزی از حوزه‌های مختلف مانند آموزش، تفریح و سرگرمی، مدیریت محیط زیست و غیره می‌شود. به عنوان مثال،

^۱ Smart Supply Chain

^۲ Smart Agriculture

^۳ Smart Buildings

^۴ Others

در حوزه آموزش، اینترنت اشیا می‌تواند به بهبود فرآیند یادگیری و افزایش تعامل بین معلمان و دانش‌آموزان کمک کند. در حوزه تفریح و سرگرمی، دستگاه‌های هوشمند می‌توانند تجربیات جدید و جذاب‌تری برای کاربران فراهم کنند.

۶ چالش‌های اینترنت اشیا

این تصویر به بررسی هشت چالش اساسی مرتبط با اینترنت اشیا پرداخته است. هر یک از این چالش‌ها نقش مهمی در توسعه و پذیرش فناوری‌های اینترنت اشیا ایفا می‌کنند. در ادامه به تفصیل به هر یک از این چالش‌ها پرداخته می‌شود.

۶،۱ امنیت

امنیت یکی از بزرگترین چالش‌های اینترنت اشیا است. دستگاه‌های اینترنت اشیا به دلیل ماهیت متصل بودنشان، به شدت در معرض حملات سایبری^۱ قرار دارند. ضعف‌های امنیتی در این دستگاه‌ها می‌تواند به راحتی مورد سوءاستفاده قرار گیرد و منجر به سرقت اطلاعات حساس، کنترل غیرمجاز دستگاه‌ها و حتی ایجاد اختلال در شبکه‌های بزرگ شود. به عنوان مثال، در سال‌های اخیر حملات DDoS (حملات منع سرویس توزیع‌شده) که از دستگاه‌های اینترنت اشیا ناامن به عنوان زامبی‌ها استفاده می‌کنند، افزایش یافته‌اند. برای مقابله با این چالش، تولیدکنندگان و توسعه‌دهندگان باید توجه ویژه‌ای به امنیت نرم‌افزارها و سخت‌افزارهای اینترنت اشیا داشته باشند و از تکنیک‌های پیشرفته‌ای مانند رمزنگاری داده‌ها و احراز هویت^۲ دو مرحله‌ای استفاده کنند [۶]، [۵].

۶،۲ استانداردها و سازگاری

یکی دیگر از چالش‌های مهم اینترنت اشیا، نبود استانداردهای واحد و هماهنگ برای ارتباطات و تعاملات بین دستگاه‌ها است. در حال حاضر، تعداد زیادی پروتکل و استاندارد مختلف برای اینترنت اشیا وجود دارد که هر کدام از آنها توسط تولیدکنندگان مختلف به کار گرفته می‌شود. این تنوع استانداردها و پروتکل‌ها منجر به مشکلات سازگاری و همکاری بین دستگاه‌ها می‌شود. به عنوان مثال، یک دستگاه تولید شده توسط یک شرکت ممکن است نتواند به درستی با دستگاه تولید شده توسط شرکت دیگری ارتباط برقرار کند. برای حل این مشکل، نیاز به ایجاد استانداردهای بین‌المللی و هماهنگ برای اینترنت اشیا احساس می‌شود. این استانداردها باید تمامی جنبه‌های ارتباطی، امنیتی و عملکردی دستگاه‌ها را پوشش دهند [۶].

^۱ Cyber Attacks

^۲ Authentication

۶,۳ مقیاس پذیری

یکی از ویژگی‌های اساسی سیستم‌های اینترنت اشیاء، توانایی آنها در پشتیبانی از تعداد زیادی دستگاه و حسگر است. با این حال، مدیریت و هماهنگی تعداد زیادی از دستگاه‌ها و حسگرها می‌تواند چالش برانگیز باشد. مقیاس‌پذیری به معنای توانایی سیستم در پشتیبانی از افزایش تعداد دستگاه‌ها و حجم داده‌ها بدون کاهش عملکرد است. به عنوان مثال، یک شبکه اینترنت اشیاء در یک شهر هوشمند باید بتواند تعداد زیادی حسگر و دستگاه‌های مختلف را مدیریت کند. برای رسیدن به مقیاس‌پذیری بالا، نیاز به استفاده از زیرساخت‌های پیشرفته‌ای مانند رایانش ابری و شبکه‌های توزیع شده است. همچنین، الگوریتم‌های کارآمد برای مدیریت داده‌ها و هماهنگی بین دستگاه‌ها باید توسعه یابند [۵].

۶,۴ وابستگی به اینترنت

یکی از مشکلات اساسی دستگاه‌های اینترنت اشیاء، وابستگی شدید آنها به اینترنت است. این وابستگی به معنای این است که دستگاه‌های اینترنت اشیاء بدون دسترسی به اینترنت نمی‌توانند به درستی کار کنند یا داده‌ها را منتقل کنند. این مشکل می‌تواند در مکان‌هایی که دسترسی به اینترنت پایدار یا قابل اعتماد نیست، مشکلات جدی ایجاد کند. به عنوان مثال، در مناطق روستایی یا در حال توسعه که دسترسی به اینترنت محدود است، استفاده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء ممکن است مشکل باشد. برای حل این مشکل، باید راهکارهایی برای افزایش استقلال دستگاه‌های اینترنت اشیاء از اینترنت ارائه شود. یکی از این راهکارها، استفاده از شبکه‌های محلی و سیستم‌های پردازش در لبه^۱ است که به دستگاه‌ها اجازه می‌دهد تا بخشی از پردازش‌ها و ذخیره‌سازی داده‌ها را به صورت محلی انجام دهند [۶].

۶,۵ هزینه

یکی دیگر از چالش‌های بزرگ اینترنت اشیاء، هزینه‌های بالای توسعه، پیاده‌سازی و نگهداری این سیستم‌ها است. هزینه‌های مرتبط با اینترنت اشیاء شامل هزینه‌های سخت‌افزار، نرم‌افزار، نصب و نگهداری، و هزینه‌های مربوط به امنیت و پردازش داده‌ها است. برای بسیاری از کسب‌وکارها و سازمان‌ها، این هزینه‌ها می‌تواند مانع بزرگی برای پذیرش و استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیاء باشد. به عنوان مثال، نصب حسگرها و دستگاه‌های اینترنت اشیاء در یک کارخانه ممکن است هزینه‌های اولیه بالایی داشته باشد. برای کاهش این هزینه‌ها، نیاز به توسعه راهکارهای

^۱ Edge Computing

اقتصادی‌تر و کارآمدتر احساس می‌شود. به عنوان مثال، استفاده از تکنولوژی‌های رایانش ابری و مدل‌های پرداخت بر اساس مصرف^۱ می‌تواند به کاهش هزینه‌ها کمک کند[۴].

۶،۶ مدیریت داده

اینترنت اشیاء با تولید حجم عظیمی از داده‌ها همراه است. مدیریت این داده‌ها، از جمع‌آوری و ذخیره‌سازی تا تحلیل و استفاده از آنها، یک چالش بزرگ است. داده‌های تولید شده توسط دستگاه‌های اینترنت اشیاء معمولاً به صورت جریان‌های پیوسته و در زمان واقعی تولید می‌شوند که نیاز به سیستم‌های پیشرفته‌ای برای پردازش و تحلیل دارند. یکی از مشکلات اصلی در مدیریت داده‌های اینترنت اشیاء، تضمین صحت و کامل بودن داده‌ها و جلوگیری از ازدحام اطلاعات است. به عنوان مثال، در یک شبکه اینترنت اشیاء صنعتی، داده‌های تولید شده توسط حسگرهای مختلف باید به صورت همزمان جمع‌آوری و تحلیل شوند تا به مدیران کمک کنند تصمیمات بهتری بگیرند. برای مدیریت این حجم عظیم از داده‌ها، نیاز به استفاده از تکنولوژی‌های پردازش داده‌های بزرگ^۲ و الگوریتم‌های پیشرفته تحلیل داده است[۵]، [۴].

۶،۷ مسائل قانونی و نظارتی^۳

استفاده از دستگاه‌های اینترنت اشیاء مسائل قانونی و نظارتی جدیدی را مطرح می‌کند. یکی از این مسائل، حفاظت از حریم خصوصی کاربران است. دستگاه‌های اینترنت اشیاء معمولاً داده‌های حساسی را جمع‌آوری می‌کنند که می‌تواند شامل اطلاعات شخصی، محل زندگی و حتی رفتار کاربران باشد. حفاظت از این داده‌ها و اطمینان از اینکه فقط افراد مجاز به آنها دسترسی دارند، یک چالش قانونی و نظارتی بزرگ است. به عنوان مثال، در بسیاری از کشورها قوانین سخت‌گیرانه‌ای برای حفاظت از داده‌های شخصی وجود دارد که باید در طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های اینترنت اشیاء رعایت شود. همچنین، مسائل مرتبط با مالکیت داده‌ها و حقوق کاربران^۴ در استفاده از داده‌های خود نیز باید مورد توجه قرار گیرد[۶]، [۵].

۶،۸ پیچیدگی فنی

اینترنت اشیاء شامل ترکیبی از تکنولوژی‌های مختلف است که همه آنها باید به صورت هماهنگ با هم کار کنند. این ترکیب تکنولوژی‌های مختلف منجر به پیچیدگی‌های فنی^۵ زیادی می‌شود. به عنوان مثال، یک سیستم اینترنت اشیاء باید بتواند داده‌ها را از حسگرهای مختلف جمع‌آوری کند، آنها را پردازش کند، و به سیستم‌های

^۱ Pay-as-you-go Models

^۲ Big Data

^۳ Legal and Regulatory Issues

^۴ User Rights

^۵ Technical Complexities

مرکزی یا دیگر دستگاه‌ها ارسال کند. هر کدام از این مراحل نیاز به تکنولوژی‌ها و پروتکل‌های خاص خود دارند که باید به درستی تنظیم و پیکربندی شوند. این پیچیدگی‌های فنی می‌تواند به مشکلاتی مانند ناسازگاری بین دستگاه‌ها، خطاهای سیستم و کاهش عملکرد منجر شود. برای کاهش این پیچیدگی‌ها، نیاز به توسعه ابزارها و چارچوب‌های ساده‌تری برای طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های اینترنت اشیا^[۴] است.

۷ سخت‌افزار اینترنت اشیا

اینترنت اشیا به ترکیبی از سخت‌افزارها و نرم‌افزارها نیاز دارد تا بتواند داده‌ها را جمع‌آوری، پردازش و به اشتراک بگذارد. این سخت‌افزارها شامل حسگرها، ماژول‌های ارتباطی، پردازنده‌ها، واحدهای ذخیره‌سازی^۱، و انواع مختلفی از عملگرها^۲ و کنترلرها^۳ هستند. هر یک از این اجزا نقش حیاتی در عملکرد و کارایی سیستم‌های اینترنت اشیا ایفا می‌کنند.

۷،۱ حسگرها

همان طور که گفتیم حسگرها ابزارهایی هستند که اطلاعات را از محیط اطراف جمع‌آوری می‌کنند. این اطلاعات می‌تواند شامل داده‌های فیزیکی مانند دما، رطوبت، فشار، نور، حرکت، و غیره باشد. انواع مختلفی از حسگرها وجود دارد که هر کدام برای کاربردهای خاصی طراحی شده‌اند. به عنوان مثال:

- **حسگرهای دما و رطوبت^۴**: این حسگرها برای اندازه‌گیری دما و رطوبت محیط استفاده می‌شوند و در کاربردهایی مانند کشاورزی هوشمند، سیستم‌های تهویه مطبوع و هوشمندسازی منازل کاربرد دارند^[۵].
- **حسگرهای فشار^۵**: این حسگرها برای اندازه‌گیری فشار گازها و مایعات به کار می‌روند و در کاربردهایی مانند مانیتورینگ صنعتی و پزشکی استفاده می‌شوند^[۵].
- **حسگرهای نور^۶**: این حسگرها میزان نور محیط را اندازه‌گیری می‌کنند و در سیستم‌های نورپردازی هوشمند و دستگاه‌های الکترونیکی کاربرد دارند^[۵].
- **حسگرهای حرکت^۷**: این حسگرها برای تشخیص حرکت افراد یا اشیاء استفاده می‌شوند و در سیستم‌های امنیتی و هوشمندسازی ساختمان‌ها کاربرد دارند^[۵].

^۱ Storage Units

^۲ Actuators

^۳ Controllers

^۴ Temperature and humidity sensors

^۵ Pressure sensors

^۶ Light sensors

^۷ Motion sensors

۷,۲ ماژول‌های ارتباطی

ماژول‌های ارتباطی ابزارهایی هستند که امکان ارتباط بین دستگاه‌های اینترنت اشیاء و سیستم‌های مرکزی را فراهم می‌کنند. این ماژول‌ها از پروتکل‌های مختلفی برای انتقال داده‌ها استفاده می‌کنند. برخی از پرکاربردترین ماژول‌های ارتباطی عبارتند از:

- **ماژول‌های Wi-Fi**: این ماژول‌ها امکان اتصال دستگاه‌های اینترنت اشیاء به شبکه‌های بی‌سیم را فراهم می‌کنند. ماژول ESP8266 یکی از محبوب‌ترین ماژول‌های Wi-Fi در پروژه‌های اینترنت اشیاء است [۶].
- **ماژول‌های Bluetooth**: این ماژول‌ها برای ارتباطات نزدیک استفاده می‌شوند و در دستگاه‌های پوشیدنی و هوشمندسازی منازل کاربرد دارند [۶].
- **ماژول‌های Zigbee**: این ماژول‌ها برای ارتباطات کم‌مصرف و با برد متوسط طراحی شده‌اند و در کاربردهای صنعتی و اتوماسیون خانگی استفاده می‌شوند [۶].
- **ماژول‌های GSM**: این ماژول‌ها امکان ارتباط دستگاه‌های اینترنت اشیاء از طریق شبکه‌های تلفن همراه را فراهم می‌کنند و در کاربردهایی مانند ردیابی خودروها و سیستم‌های نظارتی استفاده می‌شوند [۶].

۷,۳ پردازنده‌ها

پردازنده‌ها واحدهای پردازش مرکزی هستند که داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرها را پردازش می‌کنند و تصمیمات لازم را اتخاذ می‌کنند. پردازنده‌ها می‌توانند از میکروکنترلرهای ساده تا پردازنده‌های پیچیده و قدرتمند متغیر باشند. برخی از پرکاربردترین پردازنده‌ها در پروژه‌های اینترنت اشیاء عبارتند از:

- **میکروکنترلرهای Arduino**: این میکروکنترلرها به دلیل سادگی در برنامه‌نویسی و قیمت پایین، به طور گسترده‌ای در پروژه‌های اینترنت اشیاء استفاده می‌شوند [۴].
- **بردهای Raspberry Pi**: این بردها دارای پردازنده‌های قدرتمندی هستند که امکان اجرای سیستم‌عامل‌های پیشرفته و برنامه‌های پیچیده را فراهم می‌کنند [۴].
- **پردازنده‌های ARM**: این پردازنده‌ها به دلیل کارایی بالا و مصرف انرژی کم، در بسیاری از دستگاه‌های اینترنت اشیاء استفاده می‌شوند [۴].

۷,۴ واحدهای ذخیره‌سازی

واحدهای ذخیره‌سازی برای ذخیره‌سازی داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگرها و پردازنده‌ها استفاده می‌شوند. این واحدها می‌توانند شامل حافظه‌های داخلی^۱ دستگاه‌ها یا سرویس‌های ذخیره‌سازی ابری باشند. برخی از انواع واحدهای ذخیره‌سازی عبارتند از:

- **حافظه‌های داخلی^۲:** این حافظه‌ها برای ذخیره‌سازی موقت داده‌ها در دستگاه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شوند و دارای سرعت بالا و عمر طولانی هستند[۶].
- **سرویس‌های ذخیره‌سازی ابری^۳:** این سرویس‌ها امکان ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها در سرورهای ابری را فراهم می‌کنند و به کاربران اجازه می‌دهند تا به داده‌های خود از هر مکان دسترسی داشته باشند[۶].

۷,۵ عملگرها و کنترلرها

عملگرها و کنترلرها ابزارهایی هستند که وظایف خاصی را در پاسخ به داده‌های جمع‌آوری شده انجام می‌دهند. این ابزارها می‌توانند شامل موتورها، سوئیچ‌ها^۴، رله‌ها^۵ و دستگاه‌های مشابه باشند. برخی از کاربردهای عملگرها و کنترلرها عبارتند از:

- **موتورهای پله‌ای^۶:** این موتورها برای حرکت دقیق و کنترل شده استفاده می‌شوند و در رباتیک، پرینترهای سه‌بعدی و دستگاه‌های CNC^۷ کاربرد دارند[۴].
- **سوئیچ‌ها و رله‌ها:** این ابزارها برای کنترل روشنایی، دستگاه‌های الکتریکی و سیستم‌های امنیتی استفاده می‌شوند[۴].
- **کنترلرهای PLC^۸:** این کنترلرها برای اتوماسیون صنعتی و کنترل فرآیندها در کارخانه‌ها و صنایع مختلف استفاده می‌شوند[۴].

^۱ Internal Memory

^۲ Flash Memory

^۳ Cloud Storage

^۴ Switches

^۵ Relays

^۶ Stepper Motors

^۷ Computer numerical control

^۸ Programmable Logic Controllers

۷,۶ باتری‌ها و منابع تغذیه^۱

باتری‌ها و منابع تغذیه اجزای حیاتی دیگری در سیستم‌های اینترنت اشیا هستند. این اجزا انرژی لازم برای عملکرد دستگاه‌های اینترنت اشیا را تامین می‌کنند. انواع مختلفی از باتری‌ها و منابع تغذیه وجود دارند که بسته به نیازهای پروژه انتخاب می‌شوند. برخی از رایج‌ترین آنها عبارتند از:

- **باتری‌های لیتیوم-یون^۲** : این باتری‌ها به دلیل ظرفیت بالا و عمر طولانی، به طور گسترده‌ای در دستگاه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شوند.
- **باتری‌های قابل شارژ^۳** : این باتری‌ها برای دستگاه‌هایی که نیاز به استفاده مکرر دارند، مناسب هستند.
- **منابع تغذیه^۴ AC/DC** : این منابع تغذیه برای دستگاه‌هایی که به منبع برق ثابت نیاز دارند، استفاده می‌شوند [۶].

۷,۷ نمایشگرها و رابط‌های کاربری^۵

نمایشگرها و رابط‌های کاربری ابزارهایی هستند که به کاربران اجازه می‌دهند تا با دستگاه‌های اینترنت اشیا تعامل کنند. این ابزارها می‌توانند شامل نمایشگرهای LCD^۶، OLED^۷، و صفحات لمسی^۸ باشند [۴]. برخی از کاربردهای نمایشگرها و رابط‌های کاربری عبارتند از:

- **نمایشگرهای LCD^۸** : این نمایشگرها برای نمایش اطلاعات متنی و گرافیکی در دستگاه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شوند [۴].
- **صفحات لمسی^۹** : این صفحات برای ایجاد رابط‌های کاربری تعاملی و کاربرپسند در دستگاه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شوند.
- **نمایشگرهای OLED^۹** : این نمایشگرها به دلیل کیفیت تصویر بالا و مصرف انرژی کم، در بسیاری از دستگاه‌های اینترنت اشیا استفاده می‌شوند.

^۱ Batteries and Power Supplies

^۲ Lithium-Ion Batteries

^۳ Rechargeable Batteries

^۴ AC/DC Power Supplies

^۵ Displays and User Interfaces

^۶ LCD Displays

^۷ Touch Screens

^۸ LCD Displays

^۹ OLED Displays

۷,۸ واحدهای مخابراتی^۱

واحدهای مخابراتی ابزارهایی هستند که ارتباطات بین دستگاه‌های اینترنت اشیاء و سیستم‌های مرکزی را تسهیل می‌کنند. این واحدها می‌توانند شامل انواع مودم‌ها، روترها و گیت‌وی‌ها باشند [۶]. برخی از انواع واحدهای مخابراتی عبارتند از:

- **مودم‌های LTE^۲ و 5G^۳:** این مودم‌ها برای ارتباطات با سرعت بالا و کم‌تاخیر در پروژه‌های اینترنت اشیاء استفاده می‌شوند [۶].
- **روترهای بی‌سیم^۴:** این روترها برای اتصال دستگاه‌های اینترنت اشیاء به شبکه‌های بی‌سیم استفاده می‌شوند [۶].
- **گیت‌وی‌های اینترنت اشیاء:** این گیت‌وی‌ها برای ترجمه پروتکل‌ها و انتقال داده‌ها بین دستگاه‌های اینترنت اشیاء و سرورهای مرکزی استفاده می‌شوند [۶].

۷,۹ ماژول‌های GPS^۵

ماژول‌های GPS^۶ ابزارهایی هستند که امکان تعیین موقعیت جغرافیایی دقیق دستگاه‌های اینترنت اشیاء را فراهم می‌کنند. این ماژول‌ها با استفاده از سیگنال‌های ماهواره‌ای، مختصات دقیق دستگاه را شناسایی کرده و به سیستم‌های مرکزی یا دیگر دستگاه‌ها ارسال می‌کنند [۴]. کاربردهای ماژول‌های GPS در اینترنت اشیاء شامل موارد زیر است:

- **ردیابی خودروها:** یکی از مهم‌ترین کاربردهای ماژول‌های GPS، ردیابی خودروها و ناوگان حمل‌ونقل است. این ماژول‌ها می‌توانند اطلاعات دقیق و زمان واقعی از موقعیت جغرافیایی خودروها را به سیستم‌های مرکزی ارسال کنند. این اطلاعات به مدیران حمل‌ونقل کمک می‌کند تا مسیرها را بهینه‌سازی کرده و عملکرد ناوگان را بهبود بخشند.
- **نظارت بر حمل‌ونقل:** ماژول‌های GPS در صنایع حمل‌ونقل برای نظارت بر مسیرها و کالاها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این ماژول‌ها می‌توانند به بهبود زمان‌بندی و مدیریت بهینه منابع کمک کنند.

^۱ Communication Units

^۲ Long-Term Evolution

^۳ LTE and 5G Modems

^۴ Wi-Fi Routers

^۵ GPS Modules

^۶ Global Positioning System

- **سیستم‌های موقعیت‌یابی جغرافیایی^۱:** ماژول‌های GPS در سیستم‌های موقعیت‌یابی جغرافیایی استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها به کاربران امکان می‌دهند تا موقعیت دقیق خود را در هر نقطه‌ای از جهان شناسایی کنند. به عنوان مثال، در دستگاه‌های ردیابی حیوانات خانگی، ماژول‌های GPS می‌توانند موقعیت حیوان را در هر لحظه ردیابی کرده و به مالک اطلاع دهند.

۸ نرم‌افزار اینترنت اشیا

نرم‌افزارهای اینترنت اشیا به منظور مدیریت و تحلیل داده‌ها، برقراری ارتباط بین دستگاه‌ها، و ارائه خدمات هوشمند استفاده می‌شوند. نرم‌افزارهای اینترنت اشیا شامل سیستم‌عامل‌ها، پلتفرم‌ها، پروتکل‌ها، و ابزارهای مدیریت داده‌ها و تحلیل‌های پیشرفته هستند.

۸،۱ سیستم‌عامل‌های اینترنت اشیا

سیستم‌عامل‌های اینترنت اشیا به منظور مدیریت و کنترل دستگاه‌های اینترنت اشیا طراحی شده‌اند. این سیستم‌عامل‌ها معمولاً سبک و کم‌حجم هستند و بر روی میکروکنترلرها و پردازنده‌های کم‌مصرف اجرا می‌شوند. برخی از محبوب‌ترین سیستم‌عامل‌های اینترنت اشیا عبارتند از:

- **اینترنت اشیا OS^۲:** یک سیستم‌عامل سبک و کارآمد برای دستگاه‌های اینترنت اشیا است که از پروتکل‌های مختلف شبکه‌ای پشتیبانی می‌کند [۴].
- **FreeRTOS^۴:** یک سیستم‌عامل متن‌باز و بلادرنگ برای میکروکنترلرها است که در پروژه‌های اینترنت اشیا به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود [۵].
- **TinyOS^۵:** یک سیستم‌عامل کم‌حجم و کارآمد برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم و دستگاه‌های اینترنت اشیا است [۴].

۸،۲ پلتفرم‌های اینترنت اشیا

پلتفرم‌های اینترنت اشیا مجموعه‌ای از ابزارها و سرویس‌ها هستند که به توسعه‌دهندگان کمک می‌کنند تا دستگاه‌های اینترنت اشیا را مدیریت، پیکربندی و به‌روزرسانی کنند. این پلتفرم‌ها معمولاً شامل خدمات

^۱ Geolocation Systems

^۲ Operating Systems

^۳ Operating System

^۴ FreeRTOS

^۵ TinyOS

^۶ Platforms

ذخیره‌سازی ابری، مدیریت دستگاه‌ها، و ابزارهای تحلیل داده‌ها^۱ هستند. برخی از محبوب‌ترین پلتفرم‌های اینترنت اشیا عبارتند از:

- **AWS^۲ اینترنت اشیا^۳**: یک پلتفرم ابری قدرتمند است که خدمات کاملی برای مدیریت دستگاه‌های اینترنت اشیا، تحلیل داده‌ها و امنیت فراهم می‌کند [۴].
- **Microsoft Azure^۴ اینترنت اشیا^۴**: یک پلتفرم جامع و انعطاف‌پذیر است که خدمات مختلفی برای توسعه و مدیریت پروژه‌های اینترنت اشیا ارائه می‌دهد [۴].
- **Google Cloud^۵ اینترنت اشیا^۵**: یک پلتفرم ابری با قابلیت‌های قدرتمند برای جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های اینترنت اشیا است [۴].

۸،۳ پروتکل‌های ارتباطی^۶

پروتکل‌های ارتباطی نقش حیاتی در اینترنت اشیا دارند و تعیین می‌کنند که چگونه داده‌ها بین دستگاه‌های اینترنت اشیا و سیستم‌های مرکزی منتقل می‌شوند. برخی از پرکاربردترین پروتکل‌های ارتباطی عبارتند از:

- **MQTT^۷**: یک پروتکل سبک و کارآمد برای ارسال داده‌ها بین دستگاه‌های اینترنت اشیا و سرورها است که به ویژه در کاربردهایی با پهنای باند کم و تأخیر پایین مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶], [۴].
- **CoAP^۸**: یک پروتکل سبک برای ارتباطات دستگاه‌های کم‌مصرف است که برای استفاده در شبکه‌های محلی و اینترنت طراحی شده است.
- **HTTP^۹**: یکی از پروتکل‌های اصلی برای انتقال داده‌ها و ارتباطات وب است که در سیستم‌های اینترنت اشیا نیز کاربرد دارد [۶], [۴].
- **BLE^{۱۰}**: یک پروتکل بی‌سیم کم‌مصرف است که برای ارتباطات نزدیک و دستگاه‌های پوشیدنی مناسب است [۶], [۴].

^۱ Data Analytics Tools

^۲ Amazon Web Services

^۳ Amazon Web Services (AWS) اینترنت اشیا

^۴ Microsoft Azure اینترنت اشیا

^۵ Google Cloud اینترنت اشیا

^۶ Communication Protocols

^۷ Message Queuing Telemetry Transport

^۸ Constrained Application Protocol

^۹ Hypertext Transfer Protocol

^{۱۰} Bluetooth Low Energy

۸,۴ ابزارهای تحلیل داده‌ها

یکی از ویژگی‌های مهم سیستم‌های اینترنت اشیا، قابلیت جمع‌آوری و تحلیل حجم عظیمی از داده‌ها است. ابزارهای تحلیل داده‌ها به توسعه‌دهندگان و مدیران کمک می‌کنند تا از داده‌های جمع‌آوری شده اطلاعات مفیدی استخراج کنند و تصمیمات بهتری بگیرند. برخی از ابزارهای محبوب تحلیل داده‌ها در پروژه‌های اینترنت اشیا عبارتند از:

- ^۱ Apache Kafka: یک پلتفرم جریان داده‌ها است که امکان جمع‌آوری، پردازش و تحلیل داده‌های زمان واقعی را فراهم می‌کند [۶], [۴].
- ^۲ Elasticsearch: یک موتور جستجوی قدرتمند است که به تحلیل داده‌های بزرگ و جستجوی سریع در داده‌ها کمک می‌کند [۶], [۴].
- ^۳ Tableau: یک ابزار تحلیل و بصری‌سازی داده‌ها است که به توسعه‌دهندگان و مدیران امکان می‌دهد تا داده‌ها را به صورت گرافیکی و قابل فهم نمایش دهند [۶], [۴].
- ^۴ Hadoop: یک فریم‌ورک متن‌باز است که برای ذخیره‌سازی و پردازش داده‌های بزرگ استفاده می‌شود [۶], [۴].

۸,۵ امنیت در اینترنت اشیا

امنیت یکی از مسائل حیاتی در سیستم‌های اینترنت اشیا است. دستگاه‌های اینترنت اشیا به دلیل متصل بودن به اینترنت، در معرض حملات سایبری قرار دارند. نرم‌افزارهای امنیتی برای محافظت از دستگاه‌ها و داده‌ها طراحی شده‌اند و شامل تکنیک‌های مختلفی مانند رمزنگاری داده‌ها، احراز هویت دو مرحله‌ای و مدیریت دسترسی‌ها^۵ هستند. برخی از راهکارهای امنیتی در پروژه‌های اینترنت اشیا عبارتند از:

^۱ Apache Kafka

^۲ Elasticsearch

^۳ Tableau

^۴ Hadoop

^۵ Access Management

- ^{۱۲}SSL/TLS: پروتکل‌های رمزنگاری^۳ برای محافظت از داده‌های انتقالی^۴ بین دستگاه‌ها و سرورها. این پروتکل‌ها اطمینان می‌دهند که داده‌ها به صورت امن از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل می‌شوند و هرگونه تلاشی برای نفوذ به داده‌ها با شکست مواجه می‌شود.
- ^۵OAuth: یک پروتکل برای مدیریت دسترسی‌ها و احراز هویت کاربران. این پروتکل به کاربران امکان می‌دهد تا به صورت امن و با دسترسی محدود به منابع و خدمات مختلف دسترسی پیدا کنند، بدون اینکه نیاز به اشتراک‌گذاری مستقیم کلمات عبور خود داشته باشند.
- ^{۶۷}IDS/IPS: سیستم‌های تشخیص و جلوگیری از نفوذ که فعالیت‌های مشکوک را شناسایی و مسدود می‌کنند. این سیستم‌ها به طور مداوم شبکه‌ها و سیستم‌های اینترنت اشیاء را نظارت می‌کنند و هرگونه تلاش برای نفوذ و حمله را شناسایی و متوقف می‌کنند.
- ^۸Firewall: دیوارهای آتش که بین شبکه داخلی و اینترنت قرار می‌گیرند و ترافیک ورودی و خروجی را کنترل می‌کنند. این ابزارها به جلوگیری از دسترسی‌های غیرمجاز و حملات سایبری کمک می‌کنند.

۸,۶ مدیریت دستگاه‌ها

مدیریت دستگاه‌ها یکی از جنبه‌های حیاتی سیستم‌های اینترنت اشیاء است. ابزارها و سرویس‌های مدیریت دستگاه‌ها به توسعه‌دهندگان امکان می‌دهند تا دستگاه‌های اینترنت اشیاء را پیکربندی، نظارت و به‌روزرسانی کنند. برخی از وظایف مدیریت دستگاه‌ها عبارتند از:

- **پیکربندی اولیه دستگاه‌ها:** تنظیمات اولیه دستگاه‌های اینترنت اشیاء شامل تنظیمات شبکه، امنیت و پروتکل‌های ارتباطی است.
- **نظارت و مانیتورینگ:** نظارت بر عملکرد دستگاه‌ها و جمع‌آوری داده‌ها از حسگرها و عملگرها. این نظارت به توسعه‌دهندگان کمک می‌کند تا مشکلات احتمالی را زودتر شناسایی و رفع کنند.

^۱ Secure Sockets Layer / Transport Layer Security

^۲ SSL/TLS

^۳ Encryption Protocols

^۴ Transmitted Data

^۵ OAuth

^۶ Intrusion Detection/Prevention Systems

^۷ Intrusion Detection/Prevention Systems (IDS/IPS)

^۸ Firewall

^۹ Initial configuration of devices

^{۱۰} Supervision and monitoring

- به‌روزرسانی نرم‌افزار^۱: به‌روزرسانی نرم‌افزارها و فریم‌ورک‌های دستگاه‌های اینترنت اشیا برای اطمینان از عملکرد بهینه و امنیت بیشتر.
- مدیریت چرخه عمر دستگاه‌ها^۲: از زمان نصب و راه‌اندازی تا پایان عمر مفید دستگاه‌ها، مدیریت چرخه عمر دستگاه‌ها شامل نگهداری، تعمیر و تعویض دستگاه‌ها است.

۹ نتیجه‌گیری

اینترنت اشیا به عنوان یکی از فناوری‌های نوظهور و تحول‌آفرین، پتانسیل^۴ بزرگی برای بهبود کیفیت زندگی انسان‌ها و افزایش بهره‌وری در صنایع مختلف دارد. در طول گفت‌وگوی امروز، به بررسی اجزای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری اینترنت اشیا، چالش‌های مرتبط با این فناوری و راهکارهای مختلف برای مقابله با این چالش‌ها پرداختیم.

۹،۱ نقاط قوت و فرصت‌ها

اینترنت اشیا قادر است دستگاه‌های مختلف را به هم متصل کند و از طریق جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، تصمیمات هوشمندانه‌تری بگیرد. استفاده از حسگرهای پیشرفته، ماژول‌های ارتباطی متعدد، پردازنده‌های قدرتمند و نرم‌افزارهای مدیریت داده‌ها، امکان پیاده‌سازی پروژه‌های متنوعی را فراهم کرده است. این پروژه‌ها می‌توانند در حوزه‌های مختلفی مانند خانه‌های هوشمند، شهرهای هوشمند، حمل و نقل هوشمند، سلامت، کشاورزی هوشمند و صنعت به کار گرفته شوند.

۹،۲ چالش‌ها و مسائل

با وجود فرصت‌های فراوان، اینترنت اشیا نیز با چالش‌های متعددی روبروست. امنیت داده‌ها و دستگاه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است، چرا که حملات سایبری می‌توانند به شدت مخرب باشند. علاوه بر این، نبود استانداردهای یکپارچه و هماهنگ، مقیاس‌پذیری سیستم‌ها، هزینه‌های بالا و مدیریت داده‌های بزرگ از دیگر چالش‌های اینترنت اشیا به شمار می‌آیند. مسائل قانونی و نظارتی نیز نیاز به توجه ویژه‌ای دارند تا حریم خصوصی کاربران محفوظ بماند و حقوق آنها رعایت شود.

^۱ Software updates

^۲ frameworks

^۳ Device Lifecycle Management

^۴ Potential

۹,۳ آینده اینترنت اشیاء

با پیشرفت تکنولوژی^۱ و توسعه راهکارهای نوین، انتظار می‌رود که اینترنت اشیاء در سال‌های آینده به یکی از ارکان اصلی زندگی مدرن تبدیل شود. توسعه استانداردهای بین‌المللی، ارتقاء امنیت دستگاه‌ها، کاهش هزینه‌ها و بهبود ابزارهای تحلیل داده‌ها، می‌تواند به افزایش پذیرش و کاربرد گسترده‌تر اینترنت اشیاء کمک کند.

در نهایت، اینترنت اشیاء با ترکیب فناوری‌های مختلف، امکان بهبود کیفیت زندگی و افزایش بهره‌وری را فراهم می‌کند. با توجه به پیشرفت‌های مستمر در این حوزه، می‌توان امیدوار بود که اینترنت اشیاء به یکی از مهم‌ترین عوامل تحول دیجیتال در دهه‌های آینده تبدیل شود.

۱۰ منابع

- [۱] "zoomit," ۲۰۲۴, [Online]. Available: <https://www.zoomit.ir/tech/۳۷۱۵۷۸-internet-of-things-complete-guide/>
- [۲] "sepehranformatic," ۲۰۲۴, [Online]. Available: <https://sepehranformatic.com/%D8%A7%DB%AC%D9%A6%D8%AA%D8%B1%D9%A6%D8%AA-%D8%A7%D8%B4%DB%AC%D8%A7-%D9%AA-%D8%AF%D8%B2%D8%AA%DA%AF%D8%A7%D9%A7%E2%A0%A6%D9%A7%D8%A7%DB%AC-iot/>
- [۳] M. Haras and T. Skotnicki, "Thermoelectricity for IoT—A review," *Nano Energy*, vol. ۵۴, pp. ۴۶۱–۴۷۶, ۲۰۱۸.
- [۴] P. Gokhale, O. Bhat, and S. Bhat, "Introduction to IOT," *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. ۵, no. ۱, pp. ۴۱–۴۴, ۲۰۱۸.
- [۵] A. A. Laghari, K. Wu, R. A. Laghari, M. Ali, and A. A. Khan, "A review and state of art of Internet of Things (IoT)," *Arch. Comput. Methods Eng.*, pp. ۱–۱۹, ۲۰۲۱.
- [۶] R. A. R. A. Mouha and others, "Internet of things (IoT)," *J. Data Anal. Inf. Process.*, vol. ۹, no. ۰۲, p. ۷۷, ۲۰۲۱.

^۱ Technological Advancement