تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۲/۱۷

اینترنت اشیاء: اجزاء، کاربردها و چالش‌ها

نیما اسمی
کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر، دانشکدهٔ فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
پست الکترونیکی: nima.esmi@gmail.com

اسدالله شاه بهرامی*
دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
پست الکترونیکی: shahbahrami@guilan.ac.ir

چکیده

برای مقابله با برخی از چالش‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، مانند کنترل، نظارت و مدیریت هوشمند اشیاء و ارتباطات بین آن‌ها در کاربردهایی همچون مدیریت تولید و مصرف انرژی، ارتباطات بین خودرویی، کشاورزی و سلامت الکترونیکی، فناوری اینترنت اشیاء معرفی‌شده است. در این مقاله فناوری اینترنت اشیاء از نظر معماری و ارتباط بین اجزای آن، استانداردهای این فناوری، انواع میان‌افزارها مانند مبتنی بر رخداد و فضای تاپل، مبتنی بر عامل، خدمات محور، مبتنی بر ماشین مجازی و بر پایه پایگاه داده‌ها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند. همچنین برخی از مسائل و چالش‌های آتی اینترنت اشیاء از قبیل بحث‌های قانونی، امنیت و حریم خصوصی و مدیریت داده‌های چند رسانه‌ای از قبیل صدا، تصویر، ویدئو در زمینه جمع‌آوری، پردازش و ذخیره و بازیابی مطرح می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: فناوری اطلاعات و ارتباطات (فاوا)؛ اینترنت اشیاء (IoT)؛ میان افزار.

۱- مقدمه

فناوری اطلاعات و ارتباطات[1] (فاوا) تقریباً در تمامی بخش‌های زندگی انسان وارد شده و تحولات بسیاری را در زندگی او به‌وجود آورده، به‌گونه‌ای که بسیاری از روال‌های انجام عملیات درگذشته، اکنون باکیفیتی بیشتر و هزینه‌ای کم‌تر انجام می‌گیرد. کاربردهای فاوا در اکثر زمینه‌ها، موجب افزایش رضایت‌مندی مشتریان در استفاده از انواع خدمات الکترونیکی و اینترنتی شده است. کاربردهای فاوا بسیار متنوع هستند. این کاربردها گسترهٔ وسیعی از فعالیت‌ها را در بخش‌های مختلفی مانند دولت الکترونیکی، تجارت الکترونیکی، محیط‌زیست الکترونیکی، سلامت الکترونیکی، آموزش الکترونیکی، کشاورزی الکترونیکی و غیره شامل می‌شود. باوجود همهٔ این مزایا و کاربردها، چالش‌های بسیاری وجود دارد که هنوز توسط فاوا رفع نشده یا حتی به‌وسیله فاوا به‌وجود آمده است. برای مثال، مسائلی همچون مدیریت و نظارت هوشمند اشیاء و ارتباطات بین اشیاء در جهت استفادهٔ بهینه و مناسب از آن‌ها و استفاده بهینه از منابع

1-Information and Communications Technology (ICT)

* نویسندهٔ مسئول

فاوا، انواع نرم‌افزارها، سخت افزارها، شبکه‌ها و ارتباطات و زیرساخت در سازمان‌ها و به‌وجود آمدن مفاهیم معماری سازمانی مبتنی بر فاوا برخی از مسائل پیش رو هستند [۱].

برای کمک به پاسخ‌گویی به برخی از چالش‌های فاوا، فناوری اینترنت اشیاء[۲] (IoT) معرفی‌شده است. این فناوری شامل مجموعه‌ای از ابزارها و حسگرها برای سنجش و جمع‌آوری داده‌ها از اشیاء در محیط‌های مختلف و ارسال داده‌ها از طریق زیرساخت‌های ارتباطی متفاوت است. در IoT داده‌ها بر روی بسترهای مختلفی از رسانه‌های دیجیتالی ذخیره‌شده و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به‌منظور اخذ تصمیم‌های مناسب و هوشمند بر محیط پیرامون صورت می‌گیرد [۲]. اینترنت اشیاء با افزایش آگاهی ما از محیط پیرامون، خدمات فراوانی را در بخش‌های صنعت، کشاورزی، بانکداری، شهرهای هوشمند، محیط‌زیست، سلامت و غیره ارائه می‌کند [۳]. هدف از این مقاله، جمع‌آوری تحقیقات علمی درزمینهٔ IoT و تجزیه‌وتحلیل معماری، استانداردها، میان‌افزارها و کاربردهای آن است. علاوه بر این، برخی از چالش‌های موجود از قبیل بحث‌های قانونی این فناوری، امنیت و حریم خصوصی و مدیریت و ذخیره‌سازی داده‌ها مطرح می‌گردد.

در ادامهٔ این مقاله، در بخش دوم، فناوری اینترنت اشیاء شامل معماریِ IoT، اجزا و استانداردها مطرح می‌گردد و در بخش سوم میان‌افزارهای این فناوری شامل میان افزارهای مبتنی بر رخداد، فضای تاپل، عامل، خدمات محور، ماشین مجازی، پایگاه داده و کاربردهای خاص مورد بررسی قرار می‌گیرند. در بخش چهارم برخی از کاربردهای اینترنت اشیاء معرفی می‌گردد و مواردی از چالش‌ها و کارهای آتی پیش رو مانند بحث‌های قانونی، امنیت و مدیریت داده‌ها در بخش پنجم توضیح داده می‌شود. در انتها، در بخش ششم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

2-Internet of Things (IoT)

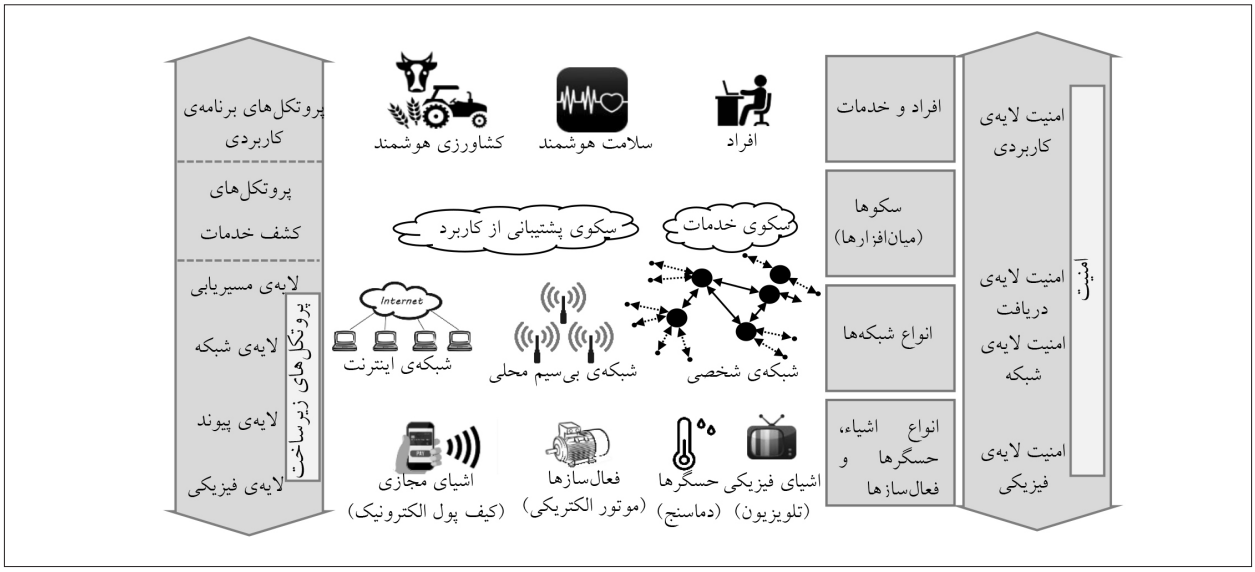
۲- اینترنت اشیاء

اینترنت اشیاء پاسخی برای برخی از چالش‌های فاوا در حوزه‌هایی مانند حمل و نقل، مدیریت هوشمند اشیاء، انرژی و سلامت الکترونیکی است. بر طبق تعریف اتحادیهٔ بین‌المللی مخابرات «IoT زیرساختی جهانی برای جامعهٔ اطلاعاتی است که خدمات پیشرفته‌ای را از طریق اشیای متصل‌به‌هم (فیزیکی و مجازی) و بر پایهٔ همکاری فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطیِ موجود و در حال ظهور ارائه می‌دهد» [۱۲]. این فناوری به‌سرعت در حال گسترش در سراسر جهان است. در ایران نیز ایجاد بُن‌سازه‌های آموزشی و پژوهشی، تدوین نقشهٔ راه و برگزاری نمایشگاه‌ها و همایش‌های متعدد، گواه حرکت سودبران (ذینفعان) متعدد فاوا در ایران به سمت فناوری IoT است [۱۳, ۱٤, ۱۵]. در این بخش، ابتدا معماری و اجزای اینترنت اشیاء شرح داده‌شده، برخی از استانداردها، میان‌افزارها و کاربردهای IoT معرفی می‌شوند. در آخر تعدادی از چالش‌ها و راهکارهای موجود برای آن‌ها، بیان می‌شوند.

۲-۱. معماری و اجزای اینترنت اشیاء

ازآنجاکه IoT باید قادر به اتصال تعداد زیادی شیء ناهمگون از طریق اینترنت باشد، به یک معماری لایه‌ای منعطف نیاز است. معماری‌های متعددی برای IoT معرفی‌شده که برای مثال می‌توان به [۱۹-۱٦] اشاره کرد. باوجود تفاوت‌هایی در این معماری‌ها، همهٔ آن‌ها در بخش‌هایی با یکدیگر مشترک هستند. ازاین‌رو، معماری ساده‌ای را به‌صورت شکل۱ می‌توان نمایش داد که در آن اجزای مختلفی مانند آنچه در جدول ۱ ارائه‌شده وجود دارند. اشیاء، حسگرها[۳] و فعال‌سازها[٤] در بستر معماری قرار می‌گیرند. در لایهٔ بالاتر، شبکه‌ها اتصال‌ها را برقرار می‌کنند. سپس در لایهٔ بُن‌سازه، خدماتی از طریق میان‌افزارها ارائه می‌شوند. در رأس معماری نیز اجزایی مانند انسان‌ها و خدمات متعلق به آن‌ها، وجود دارند. همهٔ لایه‌ها از طریق پروتکل‌های

3-Sensor
4-Actuator



شکل ۱: یک معماری ساده از فناوری اینترنت اشیاء [۲۳-۲۰].

جدول ۱: خلاصه‌ای از اجزای مختلف IoT [۲۰].

اجزا	توضیح
اشیای فیزیکی	هر موجودیت فیزیکی که در اطراف ما قرار دارد، مانند خودرو، تلویزیون، یخچال، ماشین لباسشویی و غیره.
حسگرها	سنجش محیط فیزیکی، مانند حسگرهای دما، فشار، رطوبت، نور، حرکت و غیره.
فعال‌سازها	تأثیر بر محیط فیزیکی، مانند انواع دستگاه‌های الکتریکی- مکانیکی برای باز و بسته کردن مدارها، شیرها، سوئیچ‌ها، دریچه‌ها و...
اشیای مجازی	بلیت‌ها، کتاب‌ها، کیف پول الکترونیکی و غیره.
شبکه‌ها	اتصال بی‌سیم و سیمیِ اجزای مختلف IoT به یکدیگر و ارائهٔ انواع استانداردها و پروتکل‌ها برای فراهم شدن اتصال فراگیر.
بُن‌سازه‌ها	نوعی میان‌افزار برای اتصال اجزای IoT (اشیاء، افراد، خدمات و...)، به‌منظور فراهم آوری عملیات مختلف مانند دسترسی به دستگاه‌ها، اطمینان از نصب و عملکرد صحیح دستگاه، تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و اتصال به شبکهٔ محلی، ابر و سایر دستگاه‌ها.
خدمات	برای مثال، خدمات ابر می‌توانند برای مواردی همچون پردازش داده‌های عظیم و تبدیل داده‌ها به اطلاعات مفید، ساخت و اجرای کاربردهای خلاقانه و بهینه‌سازی فرایندهای کسب‌وکار از طریق ادغام داده‌های دستگاه‌ها استفاده شوند.
افراد	برای مثال، کنترل محیط زندگی توسط انسان از طریق برنامه‌های کاربردی تلفن همراه.

استاندارد با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده‌شده، در یک تقسیم‌بندی، بخش‌های کلیدی امنیتی در معماری IoT به چهار دستهٔ لایه‌های فیزیکی، شبکه، دریافت و کاربردی تقسیم می‌شوند [۲۰, ۲۱, ۲۲].

۲-۲. استانداردهای اینترنت اشیاء

بسیاری از استانداردها و مجموعه‌ی قوانین و مقررات در IoT برای تسهیل و ساده‌سازیِ کارِ برنامه‌نویسان و فراهم آورندگان خدمات نوشته‌شده است. گروه‌های مختلفی برای ایجاد پروتکل‌ها به‌منظور حمایت از IoT ایجادشده که شامل تلاش‌هایی است که توسط کنسرسیوم وب[5]، نیروی ضربتی مهندسی اینترنت[6]، EPCglobal، مؤسسهٔ مهندسان برق و الکترونیک[7] و مؤسسهٔ استانداردهای مخابراتی اروپا[8] انجام‌شده است. در جدول ۲ خلاصه‌ای از مهم‌ترین پروتکل‌های تعریف‌شده توسط این گروه‌ها ارائه شده است. پروتکل‌های IoT به‌طورکلی به چهار دستهٔ گسترده

5- World Wide Web Consortium (W3C)
6- Internet Engineering Task Force (IETF)
7- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
8- European Telecommunications Standards Institute (ETSI)

جدول ۲ : برخی از استانداردهای اینترنت اشیاء [۲۲, ۲۴].

پروتکل‌های برنامهٔ کاربردی	CoAP/ REST	DDS	MQTT	MQTT-SN	XMPP	AMQP	Web-Socket	
پروتکل‌های کشف خدمات	mDNS			DNS-SD				
پروتکل‌های زیرساخت	پروتکل‌های مسیریابی	RPL						
	لایهٔ شبکه	6LoWPAN	IPv4/IPv6					
	لایهٔ پیوند	IEEE 802.15.4						
	لایهٔ فیزیکی / دستگاه	LTE-A	EPCglobal		IEEE 802.15.4	z-wave		
سایر پروتکل‌های تأثیرگذار	IEEE 1888.3, IPSec			IEEE 1905.1				

تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از: پروتکل‌های برنامه کاربردی[۹]، پروتکل‌های کشف خدمات[۱۰]، پروتکل‌های زیرساخت[۱۱] و سایر پروتکل‌های تأثیرگذار. برای مثال، در زمینهٔ پروتکل‌های زیرساخت، RPL پروتکلی متداول است.

برنامهٔ کاربردی به‌طور مستقیم با کاربر در ارتباط است، هر برنامهٔ کاربردی می‌تواند لایهٔ برنامهٔ کاربردی خاص خود را دارا باشد. پروتکل‌های مختلفی که برای حل مسائل IoT مطرح می‌شوند، عملکرد یکسانی ندارند [۲٤]. ارزیابی کاملی از همهٔ پروتکل‌های برنامهٔ کاربردی وجود ندارد، امّا هر یک از این پروتکل‌ها ممکن است که در سناریوها و محیط‌های خاص بهتر عمل نمایند. درنتیجه ارائهٔ یک نسخهٔ واحد برای همهٔ کاربردهای IoT عملی نخواهد بود. از مهم‌ترین پروتکل‌های برنامهٔ کاربردی می‌توان به DDS[۱۵]، MQTT[۱٤]، XMPP[۱۳]، AMQP[۱۲]، WebSocket و REST/CoAP[۱٦] اشاره کرد.

در جدول ۳ مقایسهٔ مختصری بین برخی از پروتکل‌های برنامهٔ کاربردی ازنظر RESTful، انتقال، انتشار، درخواست، امنیت، کیفیت خدمات و سرآیند نشان داده‌شده است.

همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، در انتقال TCP، تنها از ساختار امنیتیِ SSL[۱۷] استفاده می‌شود. آخرین ستون، حداقل اندازه‌ی سرآیندِ لازم برای هر پروتکل را نشان می‌دهد [۲۲].

مقیاس‌پذیری بالا برای IoT نیاز به روشی دارد که توانایی ثبت و کشف منابع و خدمات را به طریق خودپیکربندی‌شده[۱۸]، کارآمد و پویا داشته باشد. در حوزهٔ پروتکل‌های کشف خدمات، پروتکل‌هایی مانند کشف خدمت سیستم نام دامنه[۱۹] و سیستم نام دامنهٔ چندپخشی[۲۰] وجود دارند. گرچه این دو پروتکل در ابتدا برای دستگاه‌هایی که توانایی دسترسی به انواع امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری را داشتند طراحی‌شده بودند، امّا مطالعاتی انجام‌شده تا نسخه‌های سبک‌تری از آن‌ها برای محیط‌های اینترنت اشیاء تطبیق یابد [۲۲].

پروتکل‌های زیرساخت بر ارتباطات سطح پایین تمرکز دارند. این پروتکل‌ها در چهار سطحِ مسیریابی، لایهٔ شبکه، لایهٔ پیوند و لایهٔ فیزیکی مطرح‌شده‌اند. درزمینهٔ پروتکل‌های زیرساخت می‌توان از پروتکل‌هایی مانند RPL[۲۱]، IPv4/IPv6[۲۲]، 6LoWPAN[۲۳]، IEEE 802.15.4، z-wave ،

9- Application Protocol
10- Service Discovery Protocol
11- Infrastructure Protocol
12- Advanced Message Queuing Protocol (AMQP)
13- Extensible Messaging and Presence Protocol (XMPP)
14- MQ Telemetry Transport (MQTT)
15- Data Distribution Service (DDS)
16- Constrained Application Protocol (CoAP)

17- Secure Sockets Layer (SSL)
18- Self-configured
19- Domain Name System Service Discovery (DNS-SD)
20- multicast Domain Name System (mDNS)
21- Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks (RPL)
22- Internet Protocol version 4 (IPv4)/ Internet Protocol version 6 (IPv6)
23- IPv6 over Low power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)

جدول ۳: مقایسهٔ بین پروتکل‌های برنامهٔ کاربردی مربوط به IoT [۲۲].

پروتکل برنامهٔ کاربردی	RESTful	انتقال	انتشار/اشتراک	درخواست/پاسخ	امنیت	کیفیت خدمات	سرآیند (بایت)
COAP	✓	UDP	✓	✓	DTLS	✓	۴
MQTT	×	TCP	✓	×	SSL	✓	۲
MQTT-SN	×	TCP	✓	×	SSL	✓	۲
XMPP	×	TCP	✓	✓	SSL	×	-
AMQP	×	TCP	✓	×	SSL	✓	۸
DDS	×	TCP UDP	P	×	SSL DTLS	✓	-

EPCglobal و LTE-A نام برد [۲۲].

فراتر از استانداردها و پروتکل‌هایی که چهارچوب عملیاتی را برای کاربردهای IoT فراهم می‌کنند، ملاحظات دیگری مانند امنیت و قابلیت همکاری وجود دارد که باید در نظر گرفته شود. بهره‌برداری از پروتکل‌ها و استانداردهایی که چنین ملاحظاتی را در نظرگیرند، بر پذیرش سامانه‌های IoT تأثیرگذار است. برای مثال، IPSec[۲۴]، IEEE 1888.3 و IEEE 1905.1 به‌طور خاص بر کاربردهایی در بخش‌های امنیت یا قابلیت همکاری، تمرکز دارند. Codo پروتکلی برای ذخیرهٔ امن داده‌ها و IEEE 1905.1 نیز پروتکلی تأثیرگذار بر قابلیت همکاری است [۲۲].

۳. میان‌افزارهای اینترنت اشیاء

با توجه به معماری کلی IoT در شکل ۱، میان‌افزارها جزئی اساسی از این فناوری هستند. برخی از دلایل ضرورت میان‌افزارها برای این معماری عبارت‌اند از [۲۵]:

– از میان دامنه‌های کاربردی مختلفِ IoT و دستگاه‌های متنوعِ وابسته به آن‌ها، تعریف یک استاندارد مشترک، دشوار خواهد بود؛

– میان‌افزار می‌تواند به‌عنوان یک پیونددهنده، اجزای ناهمگون را به یکدیگر متصل کند؛

– دامنه‌های کاربردی مختلف نیازمند یک‌لایهٔ انتزاع یا تطبیق است؛

– میان‌افزار یک واسط برنامه‌نویسی کاربردی[۲۵] را برای لایهٔ فیزیکی ایجاد می‌کند تا جزییات تنوع عناصر را پنهان نماید.

شکل ۲ نحوهٔ ارتباط لایه‌های کاربردی و زیرساخت فناوری IoT را با لایهٔ میان‌افزار نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده‌شده است، لایهٔ میان‌افزار باید توانایی پشتیبانی از ویژگی‌های IoT ازنقطه‌نظر الزامات معماری، کیفی[۲۶] و عملکردی[۲۷] را داشته باشد. به‌عنوان‌مثال، چند ویژگی IoT ازنظر معماری عبارت‌اند از وجود دستگاه‌های مختلف و ناهمگون با محدودیت منابع که معمولاً بدون ساختار بوده و به‌صورت توزیع‌شده، نیاز به برقراری ارتباط با یکدیگر خواهند داشت.

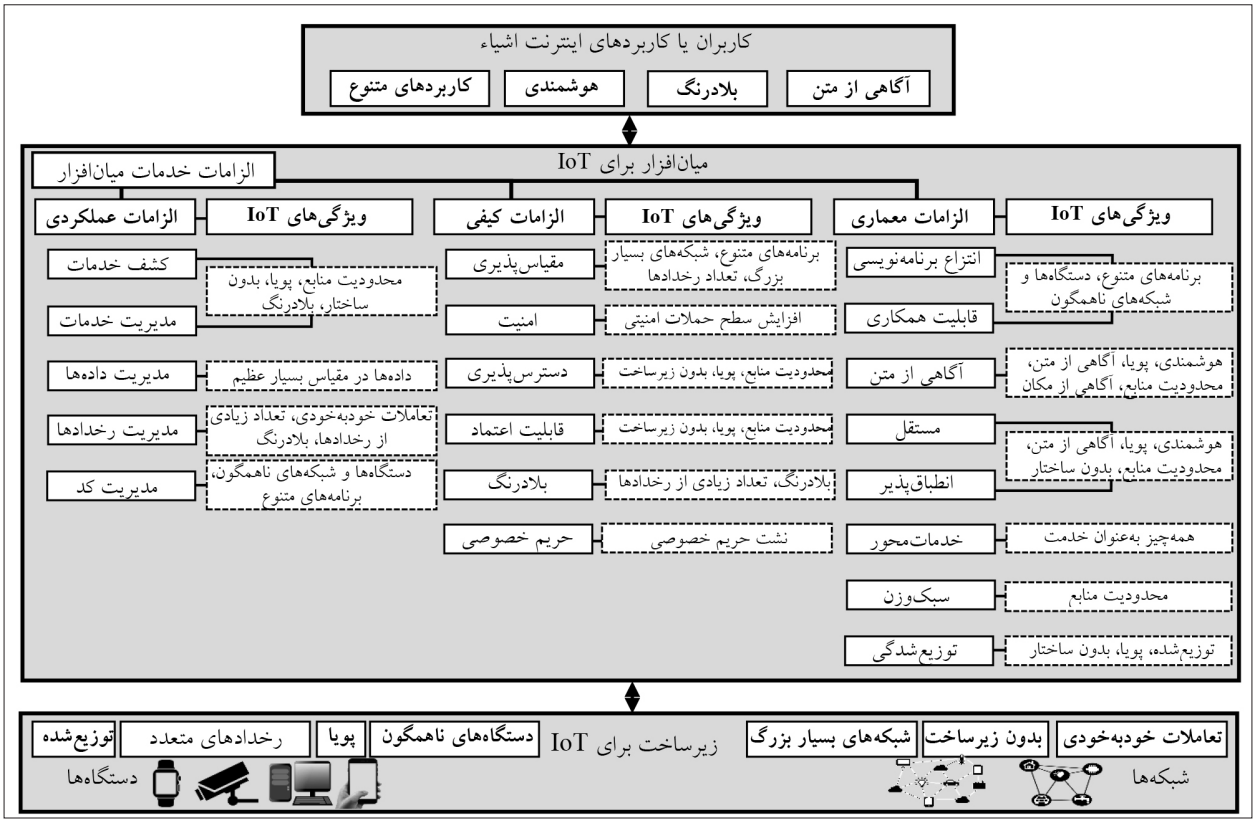
میان‌افزارها ازنقطه‌نظر طراحی به مواردی تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از میان‌افزارهای مبتنی بر رخداد[۲۸]، فضای تاپل[۲۹]، مبتنی بر عامل[۳۰]، خدمات محور، مبتنی بر ماشین مجازی[۳۱]، بر پایهٔ پایگاه داده‌ها و کاربرد خاص[۳۲] که در ادامه هر یک به طور مختصر شرح داده می‌شوند[۲۶].

۳-۱. میان‌افزارهای مبتنی بر رخداد

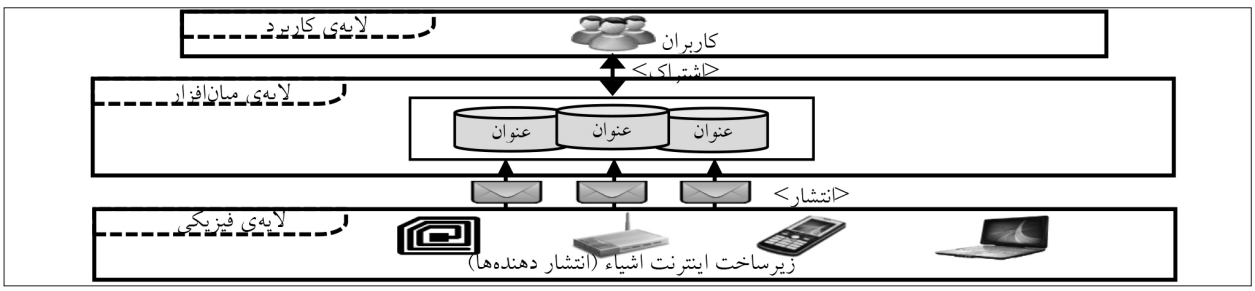
در میان‌افزارهای مبتنی بر رخداد، اجزا، نرم‌افزارها و سایر بخش‌های درگیر، از طریق رخداد با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. هر رخداد دارای یک نوع و همچنین مجموعه‌ای از مؤلفه‌های نوع است که مقادیر خاصّ آن‌ها نشان‌دهندهٔ تغییری خاص در وضعیت تولیدکنندهٔ آن‌ها است. رخدادها از طریق اجزای نرم‌افزاریِ ارسال (تولیدکننده‌ها) به اجزای نرم‌افزاری دریافت (مصرف‌کننده‌ها) انتشار می‌یابد. با توجه به شکل ۳ به‌طورمعمول، میان‌افزار مبتنی

24- Internet Protocol Security (IPsec)

25-Application Programming Interface (API)
26-Non-Functional
27-Functional
28-Event-Based
29-Tuple
30-Agent
31-Virtual Machine (VM)
32-Application-specific



شکل ۲: ارتباط بین لایه‌های کاربردی و زیرساختِ فناوری IoT با لایهٔ میان‌افزار [۲۶].



شکل ۳: مدل طراحی عمومی برای میان‌افزار مبتنی بر رخداد [۲۶].

بر رخداد از الگوی انتشـــار/ اشـــتراک بـــرای انتقال داده‌ها بین لایه‌های پایین و بالا اســـتفاده می‌کند. این الگو شـــامل تعدادی مشـــترک و مجموعه‌ای از انتشاردهنده‌ها است. در جدول ٤ سه نمونه از میان‌افزارهای مبتنی بر رخداد، شامل EMMA، Hermes و GREEN بـــه همـــراه ویژگی‌های آن‌ها در الزامـــات معماری، کیفی و عملکردی بیان‌شـــده اســـت. در میـــان ایـــن میان‌افزارها، Hermes عـــلاوه بر پویایی در انطباق‌پذیری، قابلیت محرمانگی در حوزهٔ امنیت را نیز تأمین می‌کند [۲۷].

۳-۲. میان‌افزارهای مبتنی بر فضای تاپل

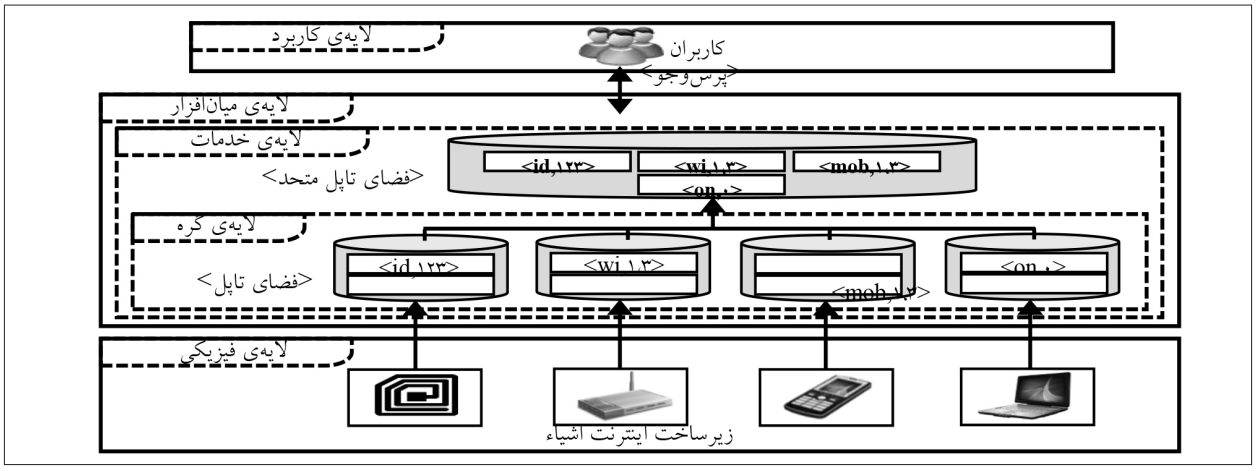
در میان‌افزارهـــای مبتنـــی بر فضای تاپـــل، هریک از زیرســـاخت‌ها یک ساختار فضای تاپل محلی را در اختیار دارد. فضـــای تاپل، مخزنـــی از داده‌ها اســـت که می‌تواند به‌طور هم‌زمان مورد دســـتیابی قرار گیرد. بر طبق شـــکل ٤ همهٔ فضاهـــای تاپل از یک فضای تاپـــلِ متحد، بر روی یک دروازه می‌آیند. هر یک از اشیاء در لایهٔ گره دارای یک فضای تاپل هستند. برای مثال، فضای تاپل مربوط به تلفن همراه شـــامل <mob,1,3> است و سایر اشیاء نیز فضای

جدول ۴: مقایسهٔ چند ویژگی میان‌افزارهای مبتنی بر رخداد EMMA ،Hermes و GREEN ازنظر الزامات معماری، کیفی و عملکردی [۲۶، ۲۸].

انتزاع	سبک‌وزن	بر پایه خدمات	انطباق‌پذیری	استقلال	توزیع‌شده	آگاهی از متن	قابلیت همکاری	الزامات معماری / نام میان‌افزار
دارد	حافظه	✓	پویا	دارد	✓	ندارد	شبکه/معنایی	Hermes
دارد	انرژی/حافظه	✓	ایستا	دارد	✓	ندارد	شبکه/معنایی	EMMA
دارد	حافظه	✓	پویا	ندارد	✓	دارد	شبکه	GREEN

محبوبیت	حریم خصوصی	بلادرنگ	قابلیت اطمینان	دسترس پذیری	امنیت	مقیاس‌پذیری	الزامات کیفی / نام میان‌افزار
متوسط	✓	بلادرنگ سخت	ارتباطات/داده	✓	محرمانگی	سطح نرم‌افزار، شبکه- IoT	Hermes
متوسط	✓	بلادرنگ نرم	داده	✓	✓	سطح شبکه- WSN	EMMA
متوسط	✓	بلادرنگ نرم	✓	✓	✓	سطح شبکه- IoT	GREEN

مدیریت کد	مدیریت رخداد	مدیریت داده‌ها	مدیریت منابع	کشف منابع	الزامات عملکردی / نام میان‌افزار
✓	مقیاس بزرگ	پردازش	ناظر منبع	متمرکز-توزیع‌شده	Hermes
تخصیص کد	مقیاس کوچک	ذخیره	ناظر منبع	متمرکز-خدمات، متمرکز-دستگاه	EMMA
تخصیص کد	مقیاس بزرگ	پردازش/ذخیره	ناظر منبع	توزیع‌شده-شبکه	GREEN



شکل ۴: مدل طراحی عمومی برای میان‌افزارِ فضای تاپل [۲۶].

تاپل مخصوص به خود را دارنـد. در لایهٔ خدمات فضای تاپلی وجود دارد که <mob,1,3> و سایر فضاهای تاپل در آن به‌صورت متحد قرار دارند [۲۶].

این رویکرد برای دسـتگاه‌های همراه در زیرسـاخت اینترنت اشـیاء مناسب اسـت زیرا دسـتگاه‌ها می‌توانند به‌طور موقت داده‌ها را باوجود محدودیت‌ها در اتصال به دروازه، به اشـتراک گذارند. نرم‌افزارها با نوشتن تاپل‌ها در فضای تاپلِ متحد و با خواندن آن‌ها از طریق مشخص کردن الگوی داده‌هایی که به آن‌ها علاقه‌مند هستند، ارتباط برقرار می‌کنند. در جدول ۵ سـه نمونـه از میان‌افزارهای فضای تاپل، شامل TeenyLIME، LIME و A3-TAG به همراه ویژگی‌های آن‌ها بیان‌شـده اسـت. همهٔ ایـن میان‌افزارها از قابلیت توزیع‌شـدگی پشـتیبانی می‌کننـد. در میان این میان‌افزارهـا، LIME بـرای محیط‌هـای بـزرگ مقیاس و متحرک، کاربرد فراوان دارد [۲۹].

۳-۳. میان‌افزارهای مبتنی بر عامل

در رویکردهای میان‌افزاری مبتنی بر عامل، نرم‌افزارها به برنامه‌های پیمانه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند تا از تزریق[۳۳] و

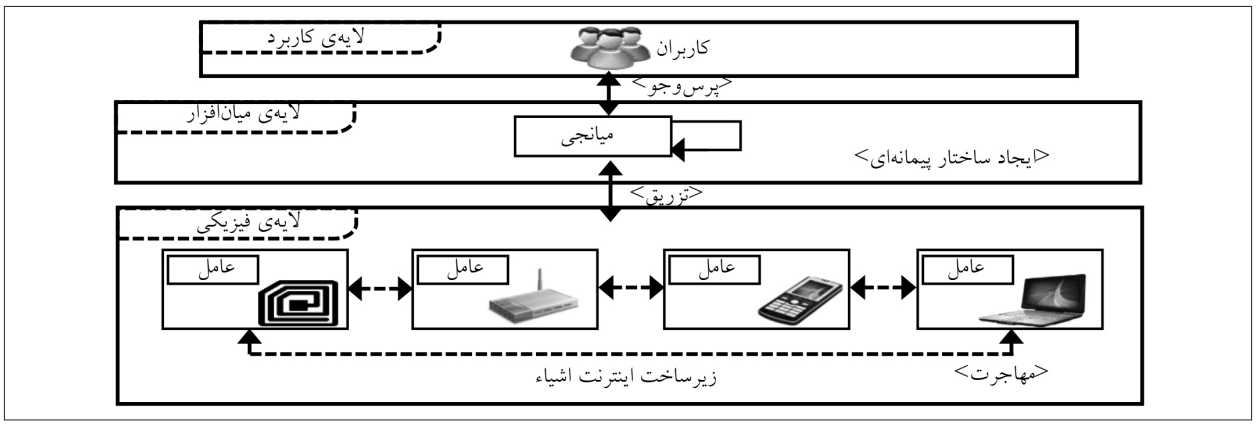
33-Injection

جدول ۵: مقایسهٔ چند ویژگی میان‌افزارهای فضای تاپل TeenyLIME، LIME و A3-TAG ازنظر الزامات معماری، کیفی و عملکردی [۳].

انتزاع	سبک‌وزن	بر پایهٔ خدمات	انطباق‌پذیری	استقلال	توزیع‌شده	آگاهی از متن	قابلیت همکاری	الزامات معماری / نام میان‌افزار
دارد	حافظه	✓	ندارد	ندارد	✓	دارد	شبکه	LIME
دارد	انرژی/حافظه	✓	؟	ندارد	✓	دارد	شبکه	TeenyLIME
دارد	انرژی/حافظه	✓	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه	A3-TAG

محبوبیت	حریم خصوصی	بلادرنگ	قابلیت اطمینان	دسترس‌پذیری	امنیت	مقیاس‌پذیری	الزامات کیفی / نام میان‌افزار
بالا	؟	بلادرنگ نرم	ندارد	ندارد	ندارد	سطح شبکه- WSN	LIME
بالا	؟	بلادرنگ نرم	ندارد	ندارد	ندارد	سطح شبکه- WSN	TeenyLIME
پایین	؟	بلادرنگ نرم	دارد	✓	؟	سطح شبکه- WSN	A3-TAG

مدیریت کد	مدیریت رخداد	مدیریت داده‌ها	مدیریت منابع	کشف منابع	الزامات عملکردی / نام میان‌افزار
مهاجرت کد	مقیاس بزرگ	تجمیع پردازش	ناظر منبع	متمرکز-دستگاه، متمرکز-خدمات	LIME
مهاجرت کد	مقیاس کوچک	تجمیع پردازش	ناظر منبع	متمرکز-دستگاه، متمرکز-خدمات	TeenyLIME
ندارد	مقیاس کوچک	تجمیع پردازش	ناظر منبع	متمرکز-دستگاه، متمرکز-خدمات	A3-TAG



شکل ۵: طراحی عمومی برای میان‌افزار مبتنی بر عامل [۲۶].

توزیع با استفاده از عامل‌های همراه و از طریق شبکه پشتیبانی کنند. درحالی‌که مهاجرت از یک گره به گره‌های دیگر صورت می‌گیرد، عامل‌ها همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، وضعیت پردازشی خود را حفظ می‌کنند و این عمل موجب تسهیل در طراحی یک سیستم غیرمتمرکز با قابلیت تحمل‌پذیری شکست‌های جزئی می‌شود. یک عامل می‌تواند برای جمع‌آوری فعال داده‌ها و به‌روزرسانی بخش‌هایی از نرم‌افزار، با سایر عامل‌ها درگیر شود. ضمناً رویکردهای مبتنی بر عامل به دستگاه‌های با محدودیت منابع توجه دارند. در جدول ٦ سه نمونه از میان‌افزارهای مبتنی بر عامل، شامل Smart message ، Impala و ActorNet به همراه ویژگی‌های آن‌ها بیان‌شده است [٢٦]. از میان این میان‌افزارها، Impala از انطباق‌پذیری پویا پشتیبانی کرده و در مقیاس بزرگ قادر به مدیریت رخداد و حفظ حریم خصوصی است؛ درنتیجه از محبوبیت زیادی برخوردار است [۳۰].

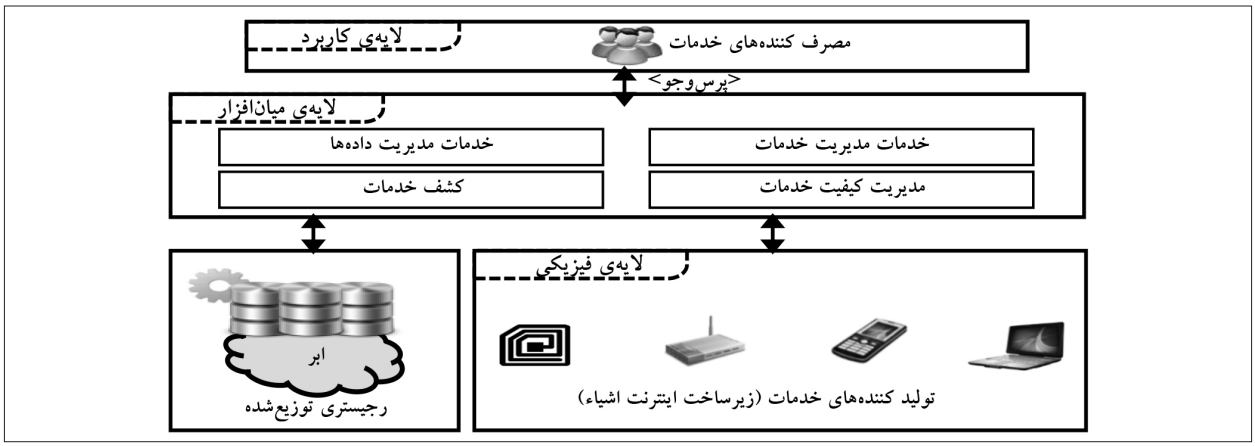
جدول ۶: مقایسهٔ چند ویژگی میان‌افزارهای مبتنی بر عامل Smart message ،Impala و ActorNet ازنظر الزامات معماری، کیفی و عملکردی [۲۶].

انتزاع	سبک‌وزن	بر پایهٔ خدمات	انطباق‌پذیری	استقلال	توزیع‌شده	آگاهی از متن	قابلیت همکاری	الزامات معماری / نام میان‌افزار
دارد	انرژی	✓	پویا	دارد	✓	ندارد	شبکه	Impala
دارد	؟	✓	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه	Smart message
دارد	انرژی/حافظه	✓	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه	ActorNet

محبوبیت	حریم خصوصی	بلادرنگ	قابلیت اطمینان	دسترس‌پذیری	امنیت	مقیاس‌پذیری	الزامات کیفی / نام میان‌افزار
بالا		بلادرنگ نرم	داده	ندارد	I,A	سطح نرم‌افزار، شبکه- WSN	Impala
متوسط	؟	بلادرنگ نرم	؟	✓	A	سطح شبکه- WSN	Smart message
پایین	ندارد	بلادرنگ نیست	داده	؟	؟	سطح شبکه- WSN	ActorNet

مدیریت کد	مدیریت رخداد	مدیریت داده‌ها	مدیریت منابع	کشف منابع	الزامات عملکردی / نام میان‌افزار
CA,CM	مقیاس بزرگ	تجمیع پردازش	RA-RM	توزیع‌شده-دستگاه	Impala
CA,CM	مقیاس کوچک	تجمیع پردازش	RA-RM	توزیع‌شده-شبکه	Smart message
CA,CM	مقیاس کوچک	تجمیع پردازش	RA	توزیع‌شده-دستگاه	ActorNet

I: ادغام A:دسترس‌پذیری RA:تخصیص منبع RM:ناظر منبع CA:تخصیص کد CM: مهاجرت کد



شکل ۶: مدل طراحی عمومی برای میان‌افزار خدمات محور [۲۶].

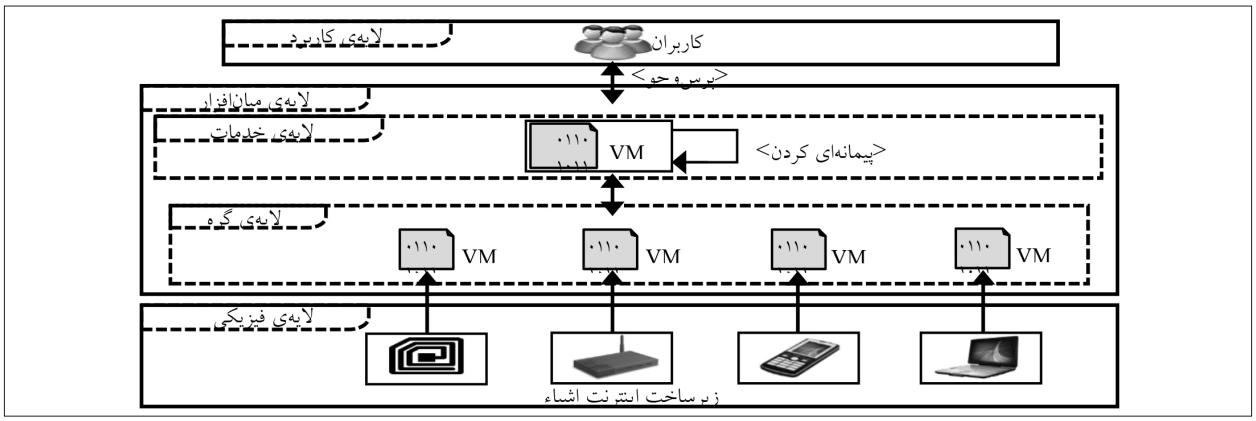
۳-٤. میان‌افزارهای خدمات محور

الگوهای طراحی خدمات محور، نرم‌افزارها را به شکل خدمات ایجاد می‌کنند. رایانش خدمات محور[34] بر پایهٔ رویکردهای معماری خدمات محور[35] و به‌طور سنتی برای درهم آمیختن سامانه‌های فناوری اطلاعات استفاده می‌شود. با توجه به شکل ٦ میان‌افزارهای خدمات محور قابلیت‌های مناسبی را برای استقرار، انتشار/کشف و خدمات دسترسی در زمان اجرا ارائه می‌نمایند. تعداد زیادی از میان‌افزارهای خدمات محور اینترنت اشیاء در دسترس هستند. این میان‌افزارها را می‌توان به دودستهٔ میان‌افزارهای خدمات محور مستقل استاندارد برای اینترنت اشیاء و یا خدمات میان‌افزاریِ فراهم آمده توسط بُن‌سازه‌های مدل رایانش ابری میان‌افزار به‌عنوان خدمات[36] تقسیم کرد [٢٦]. در جدول ٧ سه نمونه از میان‌افزارهای خدمات محور، شامل Sensewrap، Hydra و MUSIC به همراه ویژگی‌های آن‌ها بیان‌شده است. یکی از دلایل

34-Service-Oriented Computing (SOC)
35-Service-Oriented Architecture (SOA)
36-Platform as a Service (PaaS)

جدول ۷: مقایسهٔ چند ویژگی میان‌افزارهای خدمات محور Sensewrap ،Hydra و MUSIC ازنظر الزامات معماری، کیفی و عملکردی [۲۶].

انتزاع	سبک‌وزن	بر پایهٔ خدمات	انطباق‌پذیری	استقلال	توزیع‌شده	آگاهی از متن	قابلیت همکاری	الزامات معماری / نام میان‌افزار
دارد	انرژی	✓	پویا	؟	✓	دارد	شبکه	Hydra
دارد	حافظه	✓	ایستا	؟	✓	؟	شبکه	Sensewrap
دارد	ندارد	✓	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه	MUSIC
محبوبیت	حریم خصوصی	بلادرنگ	قابلیت اطمینان	دسترس پذیری	امنیت	مقیاس‌پذیری		الزامات کیفی / نام میان‌افزار
بالا	ندارد	بلادرنگ نرم	؟	ندارد	ندارد	سطح نرم‌افزار، شبکه-WSN		Hydra
کم	ندارد	بلادرنگ نرم	؟	ندارد	محرمانگی	سطح نرم‌افزار، شبکه- IoT		Sensewrap
متوسط	ندارد	؟	داده	✓	ندارد	سطح نرم‌افزار، شبکه-WSN		MUSIC
مدیریت کد	مدیریت رخداد	مدیریت داده‌ها	مدیریت منابع		کشف منابع			الزامات عملکردی / نام میان‌افزار
ندارد	مقیاس کوچک	تجمیع پردازش	ناظر منبع		توزیع‌شده-دستگاه			Hydra
ندارد	مقیاس کوچک	ذخیره	ناظر منبع		توزیع‌شده-دستگاه، توزیع‌شده-خدمات			Sensewrap
ندارد	ندارد	تجمیع پردازش/ذخیره	ناظر منبع		توزیع‌شده-خدمات			MUSIC
Nel: شبکه Sl: نحوی Sel: معنایی								



شکل ۷: مدل طراحی عمومی برای میان‌افزار مبتنی بر ماشین مجازی [۲۶]

محبوبیت Hydra، بهینه بودن مصرف انرژی در این میان‌افزار است [۳۱].

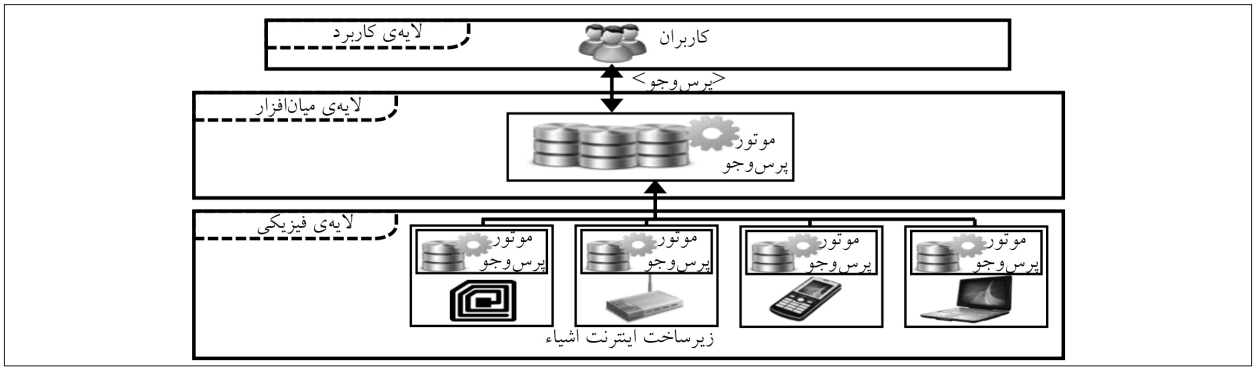
۳-۵. میان‌افزارهای مبتنی بر ماشین مجازی

طراحیِ میان‌افزار مبتنی بر ماشین مجازی، پشتیبانی برنامه‌نویسی برای محیط اجرای امن را به برنامه‌های کاربر ارائه می‌دهد. این امر از طریق مجازی‌سازیِ زیرساخت‌ها حاصل می‌شود. نرم‌افزارها به دو پیمانهٔ کوچکِ مجزا تقسیم می‌شوند که از طریق شبکه، تزریق و توزیع می‌شوند. مطابق شکل ۷ هر گره در شبکه یک ماشین مجازی را در اختیار دارد که پیمانه‌ها را تفسیر می‌نماید. این رویکرد، پاسخ‌گوی الزامات معماری همانند انتزاع برنامه‌نویسیِ سطح بالا، خودمدیریتی و قابلیت انطباق است. این در حالی است که از شفافیت[37] در زیرساخت‌های ناهمگون اینترنت اشیاء پشتیبانی می‌نماید. ماشین‌های مجازی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد؛ گروه اول ماشین‌های مجازی سطح میان‌افزار (ماشین‌هایی که بین سیستم‌عامل و نرم‌افزارهای کاربردی قرار می‌گیرند) و گروه دوم، ماشین‌های مجازی سطح سیستم

37-Transparency

جدول ۸: مقایسهٔ چند ویژگی میان‌افزارهای مبتنی بر ماشین مجازی MagnetOS ،Melete و Squawk ازنظر الزامات معماری، کیفی و عملکردی [۲۶].

انتزاع	سبک‌وزن	بر پایهٔ خدمات	انطباق‌پذیری	استقلال	توزیع‌شده	آگاهی از متن	قابلیت همکاری	الزامات معماری / نام میان‌افزار
دارد	حافظه	✓	پویا	؟	✓	ندارد	شبکه	Melete
دارد	انرژی/حافظه	✓	ایستا	؟	✓	ندارد	شبکه، معنایی	MagnetOS
دارد	حافظه	؟	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه	Squawk
محبوبیت	حریم خصوصی	بلادرنگ	قابلیت اطمینان	دسترس‌پذیری	امنیت	مقیاس‌پذیری		الزامات کیفی / نام میان‌افزار
کم	دارد	بلادرنگ نرم	ارتباطات	؟	محرمانگی	سطح‌نرم‌افزار، شبکه- WSN		Melete
کم	؟	بلادرنگ نرم	داده	✓	؟	سطح‌نرم‌افزار، شبکه- WSN		MagnetOS
متوسط	؟	بلادرنگ نرم	ارتباطات/داده	؟	؟	سطح‌نرم‌افزار، شبکه- WSN		Squawk
مدیریت کد	مدیریت رخداد	مدیریت داده‌ها		مدیریت منابع		کشف منابع		الزامات عملکردی / نام میان‌افزار
تخصیص کد، مهاجرت کد	مقیاس کوچک	ذخیره، تجمیع پردازش		تخصیص منبع، ناظر منبع، ترکیب منبعِ تطبیقی		توزیع‌شده-دستگاه		Melete
تخصیص کد	مقیاس کوچک	ذخیره، تجمیع پردازش		تخصیص منبع، ناظر منبع، ترکیب منبعِ تطبیقی		توزیع‌شده-دستگاه		MagnetOS
تخصیص کد	ندارد	ذخیره، تجمیع پردازش		تخصیص منبع، ناظر منبع		توزیع‌شده-دستگاه		Squawk



شکل ۸: میان‌افزارهای بر پایهٔ پایگاه داده‌ها [۲۶].

(جایگزینی برای سیستم‌عامل و یا کاملاً به‌جای آن). ماشین مجازی سطح میان‌افزار قابلیت‌هایی مثل هم‌روندی[۳۸] را به سیستم‌عاملی که تحت آن قرار دارد می‌افزایند. در جدول ۸ سه مورد از میان‌افزارهای مبتنی بر ماشین مجازی، شامل MagnetOS، Melete و Squawk و ویژگی‌های آن‌ها بیان‌شده است [۲۶]. همان‌طور که در جدول مشخص‌شده، همهٔ این میان‌افزارها از توزیع‌شدگی پشتیبانی می‌کنند.

۳-۶. میان‌افزارهای بر پایهٔ پایگاه داده‌ها

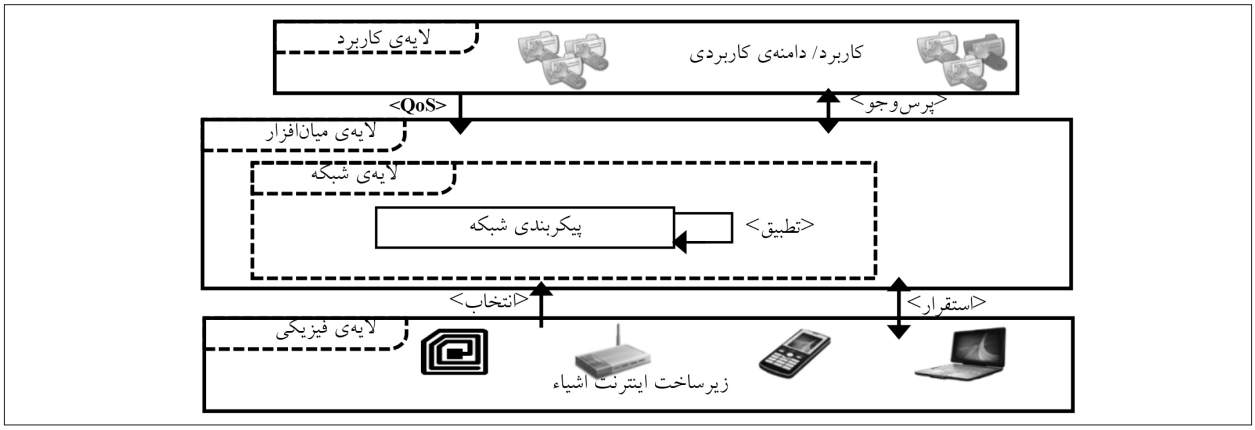
بر طبق شکل ۸ در میان‌افزارهای بر پایهٔ پایگاه داده‌ها، یک شبکهٔ حسگر به‌عنوان سیستم پایگاه داده‌های رابطه‌ایِ مجازی وجود دارد. برنامهٔ کاربردی می‌تواند از طریق یک‌زبان پرس‌وجوی[۳۹] SQL مانند که قادر به تدوین پرس‌وجوهای پیچیده است، پایگاه داده‌ها را پرس‌وجو نماید. یک رویکرد پایگاه داده‌ها برای میان‌افزار، همهٔ شبکه را به‌صورت یک سیستم پایگاه داده‌های مجازی می‌بیند. واسطهای کاربری که به‌آسانی قابل‌استفاده هستند، از پرس‌وجوهایی که کاربران برای شبکه‌های حسگر انجام می‌دهند، پشتیبانی می‌کنند تا داده‌های موردنظرِ کاربر، استخراج شوند. بااین‌حال تنها نتایج تقریبی بازگردانده

38-Concurrency

39-Structured Query Language (SQL)

جدول ۹: مقایسهٔ چند ویژگی میان‌افزارهای بر پایهٔ پایگاه داده‌های COUGAR ،SINA و TinyDB ازنظر الزامات معماری، کیفی و عملکردی [۲۶].

انتزاع	سبک‌وزن	بر پایهٔ خدمات	انطباق‌پذیری	استقلال	توزیع‌شده	آگاهی از متن	قابلیت همکاری	الزامات معماری / نام میان‌افزار
دارد	انرژی	ندارد	پویا	✓	ندارد	ندارد	ندارد	SINA
دارد	حافظه	ندارد	؟	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	COUGAR
دارد	انرژی	ندارد	پویا	ندارد	؟	دارد	؟	TinyDB
محبوبیت	حریم خصوصی	بلادرنگ	قابلیت اطمینان	دسترس‌پذیری	امنیت	مقیاس‌پذیری		الزامات کیفی / نام میان‌افزار
متوسط	ندارد	بلادرنگ نیست	ندارد	ندارد	ندارد	سطح شبکه- WSN		SINA
کم	✓	بلادرنگ نرم	؟	✓	ادغام	سطح شبکه- WSN		COUGAR
بالا	ندارد	بلادرنگ نیست	ندارد	ندارد	ندارد	سطح شبکه- WSN		TinyDB
مدیریت کد	مدیریت رخداد	مدیریت داده‌ها			مدیریت منابع	کشف منابع		الزامات عملکردی / نام میان‌افزار
ندارد	مقیاس کوچک	ذخیره، تجمیع پردازش			ناظر منبع	توزیع‌شده-دستگاه		SINA
ندارد	مقیاس بزرگ	ذخیره، تجمیع پردازش			ناظر منبع	توزیع‌شده-شبکه		COUGAR
؟	مقیاس کوچک	ذخیره، تجمیع پردازش، فیلترینگ پردازش			ناظر منبع	توزیع‌شده-دستگاه		TinyDB



شکل ۹: مدل طراحی عمومی برای میان‌افزار کاربردخاص [۲۶]

می‌شوند. بسیاری از برنامه‌های کاربردیِ IoT بلادرنگ هستند و در آن‌ها فضا و زمان دارای اهمیت ویژه‌ای است. میان‌افزارهای پایگاه داده‌ها از کاربردهای بلادرنگِ سخت[40] پشتیبانی نمی‌کنند درنتیجه از سوی پذیرندگان فناوری که منافع اصلی آن‌ها در امنیت برای سامانه‌های حیاتی است، مورد اقبال قرار نمی‌گیرند.

در جدول ۹ سه نمونه از میان‌افزارهای بر پایهٔ پایگاه داده‌ها، شامل COUGAR، SINA و TinyDB به همراه ویژگی‌های آن‌ها بیان‌شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، قابلیت بلادرنگ سخت در هیچ‌یک از آن‌ها لحاظ نشده است [۳۲, ۳۳, ۳۴].

۳-۷. میان‌افزارهای کاربرد خاص

یک رویکرد «کاربرد خاص» (کاربرد محور) به میان‌افزار، بر پشتیبانی از مدیریت منابع برای یک کاربرد خاص یا دامنهٔ کاربردی تمرکز دارد (به‌عنوان‌مثال، پشتیبانی از کیفیت خدمات[41]) و این کار را از طریق

40-Hard Real-time Applications

41-Quality of Service (QoS)

جدول ۱۰: مقایسهٔ چند ویژگی میان‌افزارهای کاربرد خاص MiLAN ،AutoSec و MidFusion ازنظر الزامات معماری، کیفی و عملکردی [۲۶, ۳۵].

انتزاع	سبک‌وزن	بر پایهٔ خدمات	انطباق‌پذیری	استقلال	توزیع‌شده	آگاهی از متن	قابلیت همکاری	الزامات‌معماری / نام میان‌افزار
ندارد	انرژی/حافظه	✓	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه	AutoSec
ندارد	انرژی	✓	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه، معنایی	MiLAN
ندارد	ندارد	✓	پویا	دارد	✓	دارد	شبکه	MidFusion

محبوبیت	حریم خصوصی	بلادرنگ	قابلیت اطمینان	دسترس‌پذیری	امنیت	مقیاس‌پذیری	الزامات‌معماری / نام میان‌افزار
متوسط	؟	بلادرنگ سخت	ارتباطات/داده	✓	؟	سطح شبکه- IoT	AutoSec
متوسط	؟	بلادرنگ سخت	ارتباطات	✓	؟	سطح شبکه- WSN	MiLAN
بالا	؟	بلادرنگ سخت	ارتباطات	✓	؟	سطح شبکه- WSN	MidFusion

مدیریت کد	مدیریت رخداد	مدیریت داده‌ها	مدیریت منابع	کشف منابع	الزامات‌معماری / نام میان‌افزار
تخصیص کد، مهاجرت کد	مقیاس بزرگ	ذخیره، تجمیع پردازش، تصفیه پردازش	تخصیص منبع، تخصیص ناظر، ترکیب منبع تطبیقی، تضاد منابع	متمرکز-خدمات	AutoSec
تخصیص کد، مهاجرت کد	مقیاس بزرگ	ذخیره، تجمیع پردازش	تخصیص منبع، تخصیص ناظر، ترکیب منبع تطبیقی	متمرکز-خدمات	MiLAN
تخصیص کد	مقیاس بزرگ	ذخیره، تجمیع پردازش، فشرده‌سازی پردازش، تصفیه پردازش	تخصیص منبع، تخصیص ناظر، ترکیب منبع تطبیقی	متمرکز-خدمات	MidFusion

پیاده‌سازیِ یک معماری که به‌دقت، شبکه یا زیرساخت‌های شبکه را بر اســاس نیازهای یک کاربرد یا دامنهٔ کاربردی تنظیم کرده، انجام می‌دهد [۲۶]. مدل طراحی عمومی برای میان‌افزارهای کاربرد خاص در شــکل ۹ نمایش داده‌شده اســت. راهکارهای کاربرد خاص، ناهمگونیِ زیرســاختِ IoT را در نظــر نمی‌گیرنــد، زیــرا بین کاربردهــا و لایهٔ میان‌افــزار اتصالی تنگاتنــگ وجود دارد. عــلاوه بر این، رویکردهای کاربرد خاص بــرای راهکارهای میان‌افزاری خاصی ایجادشــده و کاربردهای عمومی ندارند. ازآنجاکه راهکارهای IoT باید کاربردهای مختلفی را پشتیبانی نمایند، این‌گونه میان‌افزارها پاســخگوی الزامات میان‌افزاری IoT نخواهند بود. همچنین، همهٔ میان‌افزارهای کاربرد خاص که تاکنون ارائه‌شده، از یک روش کشف منبعِ متمرکز استفاده می‌کننــد؛ درنتیجــه رویکردی بــادوام برای یــک راهکار توزیع‌شــدهٔ غیرمتمرکز تحمل‌پذیر در برابر خطا نخواهند بــود. در جدول ۱۰ ســه نمونــه از میان‌افزارهای کاربرد خاص، به همراه ویژگی‌های آن‌ها بیان‌شده است. با توجه به جدول، میان‌افزارهای کاربرد خاص، قابلیت‌های مختلفی را در مدیریت داده‌ها ارائه می‌دهند. برای مثال، MidFusion در حوزهٔ کاربردهای شبکه‌های حسگر مورد استفاده قرار گرفته و از ذخیره، تجمیع پردازش، فشرده‌سازی پردازش و تصفیه‌ی پردازش پشتیبانی می‌کند [۳۵].

۴. کاربردهای اینترنت اشیاء

فنــاوری اینترنت اشــیاء ظرفیت‌های زیــادی را برای توســعه در کاربردهای هوشــمند، فراهم کرده و می‌کند. این مســئله عمدتاً به دو دلیل اســت؛ یکی توانایی سنجش به‌صورت موردی، بــرای مثال، اجازه می‌دهد که اطلاعات از یک پدیدهٔ طبیعی، مؤلفه‌های پزشــکی یــا عادات کاربر جمع‌آوری شــود و دیگری ارائهٔ خدمات متناسب با آن‌ها است. صرف‌نظر از زمینه‌های کاربردی، چنین کاربردهایی کیفیت زندگی روزمره را ارتقاء بخشیده و تأثیر عمیقی بر اقتصاد و جامعه خواهند داشــت. ایــن کاربردها جنبه‌های مختلفی را پوشــش می‌دهند: جنبه‌های شخصی، اجتماعی،

جدول ۱۱: کاربردهای IoT در دامنه‌های مختلف [۳].

دامنهٔ صنعت			
تدارکات و مدیریت در طول عمر محصول	زراعت و دام‌پروری		فرایندهای صنعتی
شناسایی مواد و محصولات از تولید تا دفع	ردیابی؛ کنترل کیفیت؛ کنترل عرضه		تشخیص خودروها؛ فرایند مونتاژ؛ کمک‌راننده
مدیریت انبار؛ خرده‌فروشی؛ فهرست موجودی	نظارت بر آبیاری؛ تولید مواد کشاورزی و خوراک		مدیریت چمدان‌ها؛ بلیت همراه
عملیات خرید؛ پرداخت سریع	مدیریت ثبت‌نام مزرعه		نظارت بر تأسیسات صنعتی
دامنهٔ شهرهای هوشمند			
تحرک هوشمند و گردشگری هوشمند	شبکهٔ توزیع برق هوشمند	خانه/ساختمان هوشمند	امنیت عمومی و نظارت محیطی
مدیریت ترافیک؛ به اشتراک‌گذاری خودروها	تولید، توزیع و ذخیره‌ی برق؛ مدیریت انرژی	مدیریت تأسیسات	نظارت محیطی و منطقه‌ای
نظارت بر وضع راه؛ پارکینگ؛ جمع‌آوری زباله	تحرک الکتریکی پایدار	روشنایی؛ آبیاری؛ تهویه	نظارت تصویری، رادار و ماهواره‌ای
سیستم پرداخت؛ سرگرمی؛ راهنمای گردشگری	ریز شبکه‌ها	مدیریت انرژی	ردیابی افراد درخطر؛ طرح‌های اضطراری
دامنهٔ سلامت و تندرستی			
پزشکی و مراقبت‌های بهداشتی	زندگی مستقل		
نظارت بر مؤلفه‌های سلامت، از راه دور؛ امکانات تشخیصی	کمک به سالمندان؛ کمک به معلولان		
ردیابی تجهیزات پزشکی؛ مدیریت و دسترسی ایمنِ به محیط‌های داخلی	دستیار همراه		
خدمات هوشمند بیمارستانی؛ خدمات سرگرمی	شمول اجتماعی		

شکل ۱۰: یک نمونه بُن‌سازهٔ سامانهٔ اطلاعات سلامت به کمک فناوری اینترنت اشیاء [۴۲].

روابط اجتماعی، پزشکی، محیط‌زیست و تدارکات، تنها بخشی از این کاربردها هستند. کاربردهای مختلف را می‌توان در سه دامنهٔ اصلی صنعت، شهرهای هوشمند، سلامت و تندرستی قرار داد.

در جدول ۱۱ خلاصه‌ای از کاربردهای مختلف IoT در دامنه‌های صنعت، شهرهای هوشمند و دامنهٔ سلامت و تندرستی معرفی‌شده است [۳]. در ایران نیز فعالیت‌های مطالعاتی و عملیاتی بسیاری در زمینهٔ کاربردهای اینترنت اشیاء در حال اجرا است. برای مثال می‌توان به [۴۱-۳۶] اشاره کرد. اولین مثالِ مرتبط با کاربردهای IoT در صنعت، تدارکات و مدیریت زنجیرهٔ تأمین[۴۲] است.

42- Supply Chain Management (SCM)

برچسب‌های شناسایی از طریق امواج رادیویی[43] می‌توانند به اشیاء متصل شده و به‌منظور شناسایی اجناس و کالاها، این‌که پوشاک هستند یا تجهیزات، غذا و یا مایعات استفاده شـوند. نمونه‌ای از کاربرد RFID در IoT در [۴۱] ارائه‌شده اسـت. باید توجه داشـت که هریک از دامنه‌هـا از دیگران جدا نیسـت و تا حدی همپوشانی و اشتراک بین برخی از کاربردها دیده می‌شود. به‌عنوان‌مثال، محصولاتی که برای ردیابی در دامنهٔ صنعت به کار می‌روند، در دامنهٔ سـلامت و تندرستی نیز کاربرد دارند به‌طوری‌که می‌توان از آن‌ها هم برای نظارت بر محموله‌ها و غذاها اسـتفاده کرد و هم در نظارت بر تحویل محصولات دارویی بهره گرفت [۳].

یکـی از کاربردهـای مهـم IoT در سـامانهٔ اطلاعات بیمارسـتانی اسـت. یک نمونه از بُن‌سـازه‌های سـامانهٔ اطلاعات بیمارسـتانی در شکل ۱۰ نشـان داده‌شده است. سـامانهٔ مربوطه با کمک IoT قادر به جمع‌آوری داده‌های مربوط به شخص موردنظر، تحلیل این داده‌ها و ارائهٔ انواع خدمات نظارتی، درمانی و مشاوره‌ای است [۴۲].

۵. برخی از چالش‌ها و پژوهش‌های آتی فناوری اینترنت اشیاء

کاربردهای مختلـفِ IoT در بخش‌های مهمی همچون صنعت و سـلامت گسـترده شـده اسـت. این کاربردها به‌گونه‌ای هسـتند کـه در صورت رخداد خطا، اشـتباه یا دخالت‌های خرابکارانه در آن‌ها، هزینه‌های جبران‌ناپذیری را بر فناوری تحمیل می‌کند. سه جنبهٔ اصلی در چالش‌های IoT «بحث‌هـای قانونی»، «امنیـت و حریم خصوصی» و «حسگرها و مدیریت داده‌ها» هستند [۴۳, ۴۴, ۲۳].

درزمینـهٔ بحث‌هـای قانونـی، ازآنجاکـه کاربردهای IoT بسیار گسـترده بوده و همچنین دامنهٔ جغرافیایی آن از مرزهای کشـورها گذر می‌کند، نیازمنـد قانون‌گذاری بین‌المللـی اسـت. همچنیـن در IoT نیاز به‌وجـود نوعی خودتنظیمی اسـت. خودتنظیمی، اشاره به قوانینی دارد که جامعـه را از طریق ارائهٔ راهنمایی‌ها و دسـتورالعمل‌های مناسب، اداره کند. مشـروعیت خودتنظیمی ازآنجا نشئت می‌گیرد که انگیزه‌های خصوصـی می‌تواند به فرایندهای تنظیم قوانین بر مبنای نیازها، منجر شـود. به‌طور سنتی، خودتنظیمی بر پایهٔ این اصل اسـتوار است که دخالت‌های دولتی تنها زمانی باید رخ دهد که افراد یک جامعهٔ مشخص در رسـیدن به راه‌کارهای مفید برای خود، ناتوان باشند. لذا تنظیم مقررات، رگولاتورهای مخابراتی اینترنت اشـیاء یکی از اولویت‌های این فناوری است. چرا که توسعه سریع اتصال تجهیزات، ابزارها و حسگرها به شبکه‌های مخابراتی، در صورت عدم توجه رگولاتورها می‌تواند چالش‌هایی را همچون نشانی‌دهی، استفاده بهینه از طیف فرکانسی، حریم خصوصی و مدیریت داده‌های عظیم به‌وجود آورد.

امنیت و حفظ حریم خصوصی چالش دیگر این فناوری اسـت. فناوری IoT در بخش‌های مختلف زندگی روزمره کاربرد یافته و داده‌های مختلف را از حسـگرها و سـایر منابع جمع‌آوری می‌کنـد. درصورتی‌که افراد غیرمجاز به این داده‌ها دسـت یابند یا قادر بـه ایجاد اختلال در فرایند طبیعی عملکرد IoT باشند، خطرات بسیاری متوجه انسان‌ها خواهـد بود. درنتیجه، امنیت و حریـم خصوصی، یکی از مهم‌ترین چالش‌هـای پیش روی IoT اسـت. چالش‌ها در برقراری پروتکل‌های امن و مشـکلات در لایه‌های کلیدیِ امنیتی در معماری IoT، باید موردتوجه قرار گیرد.

روش‌هـا و فناوری‌هـای مختلفـی وجـود دارند که می‌توانند بـه برقراری امنیت و حفـظ حریم خصوصی کمک کنند. برای مثال، برخی از روش‌های امنیتی، شـامل SMSC[46]، CCM[45]، DSM[44] و ASTM[47] بـرای حفاظـت از اینترنت اشـیاء در لایهٔ کاربردی، در جدول ۱۲ ارائه‌شده اسـت. هر یک از روش‌هـا، مقابله با مسـئلهٔ خاصی را در نظـر گرفته و بـا محدودیت‌هایی مواجه اسـت. برای مثال نظریهٔ بازی‌ها برای مقابله با حمله به سـامانه‌های پیچیده‌ی مختلف طراحی‌شده، امّا ازآنجاکه یک روش نوپا

43- Radio Frequency IDentification (RFID)

44- Domain Specific Metrics (DSM)
45- Comparative and Comprehensive Metric (CCM)
46- Self-Managed Security Cells (SMSC)
47- Adaptive Security and Trust Management (ASTM)

جدول ۱۲: روش‌های امنیتی برای حفاظت از اینترنت اشیاء در لایهٔ کاربردی [۲۳].

روش	مسئله موردتوجه	راه‌کار	محدودیت‌ها
DSM	شاخص‌های سلامت برای سامانه‌های اطلاعات سلامت الکترونیکی	برای توسعه شاخص‌های امنیتی، پنج عنصر که به‌طورکلی با قوانین و تجزیه‌وتحلیل امنیت در ارتباط هستند را معرفی کرده.	ناتوان در پاسخ‌گویی به روش‌های شناسایی، جمع‌آوری و پردازش و یا به کاربری شاخص‌های امنیتی برای پاسخ‌گویی به مسائل امنیتی و اهدافِ تعیین‌شده.
نظریه بازی	حمله به سامانه‌های پیچیده مختلف	روش‌هایی برای سامانه‌ها به‌منظور توسعه بهتر راهبردهای امنیتی	نمونه‌های اولیه، چندان کامل نیستند؛ بنابراین چندان روشن نیست که این روش چگونه می‌تواند سامانه‌های پیچیده‌ی مختلف را اداره کند.
مدل حریم خصوصیِ مبتنی بر اولویت	مسائل مربوط به حریم خصوصی داده‌ها	یک موجودیت شخص ثالث، اولویت‌های امنیت و حریم خصوصی کاربر را ارزیابی کرده و آن‌ها را به فراهم‌کننده خدمات ارائه می‌دهد تا بتواند به کاربر سطوح مناسب امنیت را ارائه دهد.	سطوح و روش‌های امنیتی، از آنجاکه اینترنت اشیاء نسبتاً جدید است، همچنان نیازمند توسعه‌های بیشتر است.
CCM	مدل شاخص‌های امنیتی مبتنی بر رویکرد ارزیابی خطر	امنیت ازلحاظ از دست رفتن دارایی‌ها ارزیابی می‌شود.	دسترس‌پذیری و حصول داده‌ها، چالشی برای اندازه‌گیری معیارهای امنیتی است.
SMSC	مدل امنیتی مقیاس‌پذیر برای زیرساخت‌های اینترنت اشیاء	سیستم ارتقای امنیت مقیاس‌پذیر از مدل SMC برای منابع توزیع‌شده	این مدل عمومی نیاز به اعتبارسنجی برای کاربرهای و اهداف امنیتی خاص دارد.
ASTM	دستگاهی که به‌صورت پویا با محیط در حال تغییر تطابق یافته و خطرات ناشناخته را پیش‌بینی کند.	روش یادگیری تطبیقی با تغییر مؤلفه‌های داخلی و تغییرات پویا با معماری سامانه‌های امنیتی	این مدل انتزاعی نیازمند اعتبارسنجی در مقابل سناریوهای مختلف در دامنهٔ کاربرد و مخاطرات و خرابی‌ها است.

است، هنوز به‌درستی در سامانه‌های پیچیده، به کار گرفته نشده است.

در حوزهٔ حسگرها و داده‌ها دو نکتهٔ مهم وجود دارد. نکتهٔ اول این است که چگونه منابع مختلف سنجش و داده‌های مختلف چند رسانه‌ای مانند سیگنال‌های صدا، تصویر، ویدئو و غیره مورد دستیابی، تجزیه و تحلیل، ذخیره، پردازش و بازیابی قرار گیرد. نکتهٔ دوم نیز ویژگی‌های داده‌ای در اینترنت اشیاء است که چالش‌های داده‌های عظیم را ایجاد می‌کند. سناریوهای مربوط به کاربردهای هوشمند، در بسیاری از مواقع، به تنوع منابع داده‌ای و داده‌هایی که باید ذخیره و پردازش شوند، مرتبط است. یکی دیگر از ویژگی‌های مهم اینترنت اشیاء، مشاهدهٔ رفتار تعداد زیادی از اشیاء است. این عمل می‌تواند دستیابی به بینش‌های مهم، بهینه‌سازی فرایندها و بسیاری موارد دیگر را تسهیل نماید. امّا برای دستیابی به این مهم، چالش‌های مختلفی پیش رو است که عبارت‌اند از [۲۳]: نیاز به ذخیرهٔ تمامی رخدادها و اجرای پرس‌وجوهای تحلیلی روی رخدادهای ذخیره‌شده که چالش‌های سرعت، حجم و تنوع را در بر دارد.

۶- نتیجه‌گیری

اینترنت اشیاء (IoT) به عنوان فناوری قدرتمند در جهت پاسخ‌گویی به برخی از چالش‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات، استفاده بهینه از منابع و مدیریت و نظارت هوشمند اشیاء معرفی شده است. این فناوری دارای یک معماری لایه‌ای، شامل مجموعه‌ای از ابزارها و حسگرهایی مختلف در لایه فیزکی است. انواع داده‌های چند رسانه‌ای جمع‌آوری شده در این لایه توسط لایه شبکه، به شبکه‌های مختلف و با استفاده از لایه میان افزارها در اختیار لایه کاربردی و خدمات قرار می‌گیرد. با توجه به تنوع اشیاء و دستگاه‌ها، داده‌های متفاوتی با توجه به نوع کاربرد اخذ، ذخیره و پردازش می‌گردد و توسط لایه میان افزارهای همچون مبتنی بر رخداد، مبتنی بر عامل، خدمات محور، و مبتنی بر ماشین مجازی و غیره بین لایه‌های کاربردی و خدمات و لایه شبکه رد و بدل می‌گردد. با توجه به تمام مزایا و کاربردهای این فناوری در صنعت، شهرهای هوشمند و بهداشت و سلامت که دارد، چالش‌هایی همچون بحث‌های قانونی در مورد تنظیم مقررات، رگولاتورهای مخابراتی و نحوه پیاده سازی آن،

امنیت و حفظ حریم خصوصی و مدیریت داده‌های عظیم وجود دارد.

مراجع

[1]Techproject, What is فـاوا and why is it important in today's world?, 2 3 2016, http://www.techproject.com.au/what-is-information-and-communications-technology-فاوا-and-why-is-it-important-in-todays-world/. [Accessed 27 2 2017].

[۲] عرب، سـعیدرضا، اشرف زاده، حسـین، علیدادی، امیر، «اینترنت اشیاء: راه حلی جدید در هوشـمند سـازی جهان پیرامون»، کنفرانس بین المللی مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، تهران، ۱۳۹۵.

[3] E. Borgia, "The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues", Computer Communications, vol. 54, no. 1, pp. 1-31, December 2014.

[4] S. Doyle, Essential فاوا A Level: AS Student Book for AQA, Folens Limited, 2008.

[5] G. Sylvester , "E-agriculture Strategy Guide", The Food and Agriculture Organization of the United Nations and International Telecommunication Union, Bangkok, 2016.

[6] P. Brous and M. Janssen, "Advancing e-Government Using the Internet of Things: A Systematic Review of Benefits", in International Conference on Electronic Government, Thessaloniki, 2015.

[7] A. Holzinger, C. Röcker and M. Ziefle, Smart Health Open Problems and Future Challenges, Springer International Publishing, 2015.

[8] PwC, eCommerce in India : Drivers and Challenges The PwC India Proposition, PricewaterhouseCoopers, Mumbai, 2015.

[9] H. Rana, R. and M. Lal, "E-learning: Issues and Challenges", International Journal of Computer Applications, vol. 97, no. 5, pp. 20-24, 2014.

[10] e.-A. Community, Emerging Issues in e-Agriculture, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011.

[11] H. Collignon and J. Vincent, "Internet of Things, a key lever to reduce CO2 emissions", in COP21, Paris, 2015.

[12] ITU, Overview of the Internet of things, ITU Telecommunication Standardization Sector (ITU-T), 12 June 2012. http://handle.itu.int/11.1002/1000/11559. [Accessed 6 December 2017].

[۱۳] مرکز تحقیقات مخابرات ایران، طرح اینترنت اشیاء، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، https://iot.itrc.ac.ir/node/83 [Accessed 20 February 2017].

[۱۴] مرکز تحقیقات مخابرات ایران، نقشـه راه اینترنت اشیاء بخشی از یک اکو سیسـتم اسـت، https://www.itrc.ac.ir/news/۵۰۵۴۳ [Accessed ۲۰ February ۲۰۱۷].

[۱۵] رسـولی دیسـفانی ، م ، صادقـی زاده، ح و زاد توت آغـاج، «خلاصه کارگاه تخصصی اینترنت اشـیا و شـرکت های ایرانی، پروژه تدوین نقشـه راه اینترنت اشیا»، پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات، ۱۳۹۵.

[16] IoT-A, IoT-A 2017, https://iota.org/. [Accessed 6 December 2017].

[17] OpenIoT Consortium, OpenIoT, September 2016, http://www.openiot.eu/#. [Accessed 6 December 2017].

[18] BETaaS Consortium, BETaaS, http://www.betaas.eu/index.html#.Wif_zraWaUk. [Accessed 6 December 2017].

[19] H. Amine M., . H.-P. Huth, . C. Kloukinas, . H. Trsek and D. Rotondi, "Agile manufacturing: General challenges and an IoT@Work perspective", in Proceedings of 2012 IEEE 17th International Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2012), 2012.

[20] I. Bojanova, "What Makes Up the Internet of Things?", IEEE, 31 March 2015, https://www.computer.org/web/sensing-iot/content?g=53926943&type=article&urlTitle=what-are-the-components-of-iot-. [Accessed 3 August 2017].

[21] ZTE, Wireless Multimedia Communications Solution for Smart Cities, http://www.zte.com.cn/global/solutions/service-innovation/gota/Wireless-Multimedia-Communications-Solution-for-Smart-Cities. [Accessed 7 5 2017].

[22] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 2347-2376, 2015.

[23] S. A. Kumar, T. Vealey and H. Srivastava, "Security in Internet of Things: Challenges,Solutions and Future Directions", in System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on, koloa hawaii, 2016.

[24] M. Bani Yassein, M. Q. Shatnawi and D. Al-zoubi, "Application Layer Protocols for the Internet of Things: A survey", in Engineering & MIS (ICEMIS), International Conference on, Agadir, Morocco, 2016.

[25] S. Bandyopadhyay, M. Sengupta, . S. Maiti and S. Dutta , "Role of middleware for internet of things: A study", International Journal of Computer Science & Engineering Survey (IJCSES), vol. 2, no. 3, pp. 94-105, 2011.

[26] M. Abdur Razzaque, . M. Milojevic-Jevric, A. Palade and S. Clarke, "Middleware for Internet of Things: A Survey", IEEE Internet of Things Journal, vol. 3, no. 1, pp. 70-95, February 2016.

[27] P. R. Pietzuch, Hermes: A scalable event-based middleware, University of Cambridge, Cambridge, 2004.

[28] A. V. Uzunov, "A survey of security solutions for distributed publish/subscribe systems", Computers & Security, vol. 61, pp. 94-129, August 2016.

[29] A. L. Murphy, LIME INTRODUCTION, http://lime.sourceforge.net/, 2007.

[30] T. Liu and M. Martonosi, "Impala: a middleware system for managing autonomic, parallel sensor systems", ACM Sigplan Notices, vol. 38, no. 10, pp. 107-118, 2003.

[31] European Commission, The Hydra project on German TV, 4 May 2010, http://www.hydramiddleware.eu/news.php. [Accessed 15 12 2017].

[32] TinyDB/TASK, tinydb, http://telegraph.cs.berkeley.edu/tinydb/. [Accessed 15 12 2017].

[33] Y. Yao and J. Gehrke, "ACM Sigmod record", The cougar approach to in-network query processing in sensor networks,

vol. 31, no. 3, pp. 9-18, 2017.
[34] B. Bhuyan, H. K. Deva Sarma and N. Sarma, "A Survey on Middleware for Wireless Sensor Networks", Journal of Wireless Networking and Communications, vol. 4, no. 1, pp. 7-17, 2014.
[35] H. Alex, M. Kumar and B. Shirazi, "MidFusion: An adaptive middleware for information fusion in sensor network application", Information Fusion, vol. 9, no. 3, pp. 332-343, 2008.
[۳۶] دفتر آمار و فناوری اطلاعات وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی معرفی شمس، [Accessed http://it.behdasht.gov.ir/page/shams ۲۲ ۲ ۲۰۱۷].
[۳۷] ا. میرزا بروجردیان، م. ر. الیاسی و م. م. درگاهی، «مکانیابی استفاده از سامانه توزین در حال حرکت»، فصلنامه علمی- ترویجی راهور ، جلد ۳۰، شماره ۹۴.
[۳۸] پژوهشکده‌ی حمل‌ونقل و سیستم‌های هوشمند دانشگاه صنعتی امیرکبیر، طرح کلان ملی مطالعه و طراحی سیستم‌های حمل ونقل هوشمند درون شهری و برون شهری تهران، تهران، ۱۳۹۵.
[۳۹] پایگاه خبری بانکداری الکترونیک، کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت سامانه هوشمند /ایران بیستمین کشور استفاده کننده از اینترنت اشیا در جهان http://ebinews.com/fa/printpage/165429.aspx. [[Accessed 21 2 2017].
[۴۰] خبرگزاری فارس، ایران بیستمین کشور استفاده کننده از اینترنت اشیا در جهان/ ۶ پروژه اینترنت برای همه‌چیز در ایران، ۱۴ مهر ۱۳۹۵. http://www.farsnews.com/newstext.php?nn=13950714000386. [Accessed 11 October 2017]
[۴۱] ر. رحیمی، ه. طباطبایی ملاذی و م. فضلعلی«معماری توزیع شده مبتنی بر اینترنت اشیاء برای ردیابی وسایل نقلیه با استفاده از فناوری RFID»، مجله‌ی علوم رایانشی، جلد ۵، ۹۶-۸۴، ۱۳۹۶.
[42]Neusoft,Healthcare,http://www.neusoft.com/solutions/1167/. [Accessed 21 2 2017].
[43] U. Pagallo, M. Durante and S. Monteleone, "What Is New with the Internet of Things in Privacy and Data Protection? Four Legal Challenges on Sharing and Control in IoT", in Data Protection and Privacy: (In)visibilities and Infrastructures, 2017 Springer International Publishing AG, pp. 59-78, 2017.
[44] C. M. Medaglia and A. Serbanati, "An Overview of Privacy and Security Issues in the Internet of Things", in The Internet of Things, 2010.

جدیدترین کتاب
از انتشارات انجمن انفورماتیک ایران
منتشر شد!

کار عمیق

برای تهیهٔ کتاب با دفتر انجمن انفورماتیک ایران
تماس بگیرید ۶۶۴۱۲۸۶۱

چاپ سوم