



## پرداخت آینده؛ ارائه معماری پرداخت اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال

امیر عباس زاده سوری<sup>۱</sup>

محمد سعید احمدی پویا<sup>۲</sup>

### چکیده

در دسترس بودن دستگاه‌ها و داده‌های اینترنت اشیا (IoT) باعث توسعه خدمات پرداخت پیشرفته شده است. ظهور بسترهای ارتباطی پرسرعت همچون 5G و توانایی این بستر ارتباطی برای اتصال میلیاردها دستگاه اینترنت اشیا، کاربران را به سمت ارتباطات بیشتر، همچون اینترنت همه چیز (IoE) سوق خواهد داد که منجر به ظهور محصولات و خدمات نوآورانه می‌شود. یکی از مهم‌ترین کاربردهای ارزهای رایج کشورها پرداخت در بستر شبکه به هدف دریافت کالا یا خدمات است که این نیاز برای اینترنت اشیا بسیار کاربردی است؛ ولی حوزه پرداخت اینترنت اشیا باید ویژگی‌های منحصر به خود را داشته باشد. تراکنش نقطه به نقطه (P2P) و بدون کارمزد اکثر ارز دیجیتال بانک‌های مرکزی (CBDC) برخی از چالش‌های پرداخت اینترنت اشیا را پوشش خواهد داد. همچنین وجود ماهواره هدهد برای اولین بار بستر بین‌المللی اینترنت اشیا را برای جمهوری اسلامی ایران فراهم خواهد کرد که می‌توان برای نمونه‌های اولیه پرداخت اینترنت اشیا از آن بهره برد. در این مقاله به بررسی ابعاد، کاربردها، چالش‌ها و مزایای اینترنت اشیا در پرداخت اینترنت اشیا پرداخته خواهد شد. همچنین ضمن بیان نیازمندی‌ها، معماری و جریان داده‌ای پیشنهاد شده است تا پرداخت اینترنت اشیا در بستر ارز دیجیتال بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (ریال دیجیتال) امکان‌پذیر شود.

واژه‌های کلیدی: اینترنت اشیا، ارز دیجیتال بانک مرکزی، ریال دیجیتال، پرداخت الکترونیک

طبقه‌بندی JEL: J33, L86, E42, E58, O33

<sup>۱</sup> مشاور دارایی دیجیتال شرکت شبکه الکترونیکی پرداخت کارت (شاپرک)؛ a.abbaszadeh@shaparak.com

<sup>۲</sup> معاون نظارت شرکت شبکه الکترونیکی پرداخت کارت (شاپرک)؛ s.ahmadipouya@shaparak.com



## ۱ مقدمه

پیش‌بینی می‌شود که تعداد دستگاه‌های متصل به اینترنت اشیا<sup>۱</sup> تا سال ۲۰۲۵ به بیش از ۷۵ میلیارد افزایش یابد [۵]. بر اساس مطالعه‌ای که توسط جونپیر ریسرچ<sup>۲</sup> انجام شده، ارزش بازار جهانی پرداخت‌های اینترنت اشیا در سال ۲۰۲۴ به ۹۳۵ میلیارد دلار می‌رسد که ۴۲ درصد آن در منطقه آسیا و اقیانوسیه خواهد بود [۶]. دستگاه‌های متصل به اینترنت که با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند، در ابتدا به عنوان شبکه‌های دستگاه ارتباطی مبتنی بر ماشین به ماشین<sup>۳</sup> نامیده می‌شدند [۷]. شبکه‌های ماشین به ماشین به سمت اتصال دستگاه‌های ناهمگن اینترنت اشیا تکامل یافته‌اند که با استفاده از پروتکل‌های مختلف از طریق اینترنت برای تبادل طیف گسترده‌ای از اطلاعات با یکدیگر ارتباط برقرار کنند [۸]، [۹]، [۱۰]، [۱۱]. بهره‌گیری از اینترنت اشیا همراه با به عرصه آمدن اینترنت همه چیز<sup>۴</sup>، که تسهیل‌کننده تعاملات بین افراد، دستگاه‌ها و داده‌ها است، بیشتر خواهد شد [۱۲]، [۱۳]، [۱۴].

قابل ذکر است که «ماهواره هدهد» در آبان ماه ۱۴۰۳ خورشیدی با مأموریت ایجاد بستر اختصاصی ارائه خدمات اینترنت اشیا بین‌المللی باند باریک به فضا پرتاب شد. مزیت استفاده از ماهواره در زمینه ارائه خدمات اینترنت اشیا، یکپارچگی و عدم وابستگی به مرزها و پوشش‌دهی بین‌المللی است و توانایی ارائه این خدمات به مناطق دورافتاده، جنگلی و کوهستانی را دارد. بیشترین کاربرد خدمات ماهواره هدهد در بخش‌های کشاورزی، حمل‌ونقل و تدارکات و محیط‌زیست خواهد بود [۶۵].

طبق بیان منابع [۱۵] و [۱۶]، چهارمین انقلاب صنعتی همراه با پیشرفت‌های اینترنت اشیا و فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات<sup>۵</sup> تجربه می‌شود. اینترنت اشیا و به طور خاص، اینترنت اشیا صنعتی<sup>۶</sup>، آنقدر برای انقلاب صنعتی چهارم<sup>۷</sup> اهمیت دارد که این دو اصطلاح اغلب به جای یکدیگر استفاده می‌شوند. اکثر اشیای فیزیکی در انقلاب صنعتی چهارم مانند دستگاه‌ها، ربات‌ها، ماشین‌آلات، تجهیزات و محصولات، از حسگرها و برچسب‌های RFID برای ارائه داده‌ها درباره وضعیت، عملکرد یا مکان خود استفاده می‌کنند [۱۷]. شکل ۱ انقلاب‌های صنعتی اول تا چهارم را شرح داده است.

<sup>1</sup> Internet of Things (IoT)

<sup>2</sup> Juniper Research

<sup>3</sup> Machine to Machine (M2M)

<sup>4</sup> Internet of Everything (IoE)

<sup>5</sup> Information and Communication Technologies (ICT)

<sup>6</sup> Industrial Internet of Things (IIoT)

<sup>7</sup> Industry 4.0

## انقلاب‌های صنعتی



شکل ۱. انقلاب‌های صنعتی اول تا چهارم [۱۷]

در کنار موارد فوق‌الذکر، پیشرفت‌های اخیر در ارتباطات تلفن همراه G5 موجب تسهیل در توسعه اینترنت اشیا از طریق ارتباطات قابل اعتماد و کم تأخیر<sup>۱</sup> شده است [۱۱]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]. بنابراین، انتظار می‌رود صنایع هوشمند مجهز به اینترنت اشیا رشد تصاعدی را نشان دهند [۲۲]، [۲۳].

انتظار می‌رود حوزه‌های کاربرد اینترنت اشیا مانند کشاورزی، آب و برق، مراقبت‌های بهداشتی و حمل‌ونقل به برنامه‌های کاربردی هوشمند اینترنت اشیا تبدیل شوند [۲۴]. شبکه‌های حسگر کارایی روش‌های کشاورزی را خودکار کرده و بهبود بخشیده‌اند [۲۵]. شهر هوشمند توسط معیارهایی مدیریت می‌شود که در سراسر جهان به عنوان سیستم‌های هوشمند اینترنت اشیا معرفی خواهند شد. سیستم‌های مراقبت بهداشتی هوشمند از آخرین پیشرفت‌های فناوری برای انجام جراحی‌های حیاتی از راه دور نیز استفاده می‌کنند و خودروهای متصل انقلاب بعدی در بخش حمل‌ونقل خواهد بود. موارد بیان شده، اعم از کشاورزی هوشمند، شهر هوشمند، مراقبت بهداشتی هوشمند و خودروهای متصل در ادامه مقاله شرح داده خواهد شد.

داده‌های تولید شده توسط اینترنت اشیا دارایی‌های قابل معامله هستند که حتی می‌توانند به خریداران شخص ثالث نیز فروخته شوند. به بیان برخی منابع، ارزش بازار جهانی داده اینترنت اشیا تا سال ۲۰۲۶ به بیش از ۱ تریلیون دلار خواهد رسید [۲۶]. داده‌های تولید شده توسط اینترنت اشیا حائز اهمیت است ولی در این مقاله به این موضوع به صورت جدی پرداخته نشده است و بیشتر به کاربردها و چالش‌های اینترنت اشیا تمرکز دارد.

پرداخت هزینه خدمات در تعاملات امروزی یک بخش جداناپذیر است. اشیا نیز برای تعاملات مستقل و همیاری به انسان‌ها نیاز به دسترسی به پرداخت هزینه‌های خدمات دریافت دارند. روش‌های متمرکز و غیرمتمرکز متعددی برای پرداخت در اینترنت اشیا معرفی شده است که در این مقاله برخی از آن‌ها مختصر بیان می‌شود.

<sup>1</sup> Ultra-Reliable Low Latency Communication (uRLLC)

یکی از بسترهای فناوریانه پرداخت در جغرافیای جمهوری اسلامی ایران «ریال دیجیتال» است. ریال دیجیتال به صورت رسمی توسط بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران به عنوان یک توکن معرفی شده است که تناظر یک به یک با ریال رسمی جمهوری اسلامی ایران دارد. در این مقاله معماری و مدلی برای پرداخت اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال پیشنهاد شده است که با استخراج معیارها و ویژگی‌های ریال دیجیتال از پیش نویس سند ریال دیجیتال بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و نیز مستندات فنی زیرساخت زنجیره بلوکی برنا بهره برده است. مدل ارائه شده بر اساس ویژگی‌های مطرح شده فعلی ریال دیجیتال معرفی شده است و با توجه به انعطاف پذیری ساختار ریال دیجیتال، این معماری نیز قابلیت تغییر و به روزرسانی دارد.

## ۲ روش تحقیق

این مقاله با روش توصیفی اقدام به جمع‌آوری اطلاعات بنیادی در زمینه اینترنت اشیا و بلاک چین کرده است و همچنین با انطباق پژوهش‌های پرداخت اینترنت اشیا و کاربرد غیرمتمرکزسازی به یافته‌های مثبتی دست پیدا کرده است. بعد از اتمام پیمایش توصیفی، در این مقاله به صورت کاربردی با بررسی اسناد عملیاتی ارز دیجیتال بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و زیرساخت‌های آن، اقدام به جمع‌آوری نیازمندی‌های لازم و ارائه پیشنهاد کاربردی/عملیاتی کرده است. پیشنهاد ارائه شده با تغییر حداقلی، قابلیت عملیاتی دارد و نزدیک به زیرساخت‌های موجود ارز دیجیتال بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران به هدف ایجاد پرداخت اینترنت اشیا ارائه شده است.

## ۳ مفاهیم بنیادی

### ۱.۳ بلاک چین

بلاک چین<sup>۱</sup> یک دفتر کل توزیع شده<sup>۲</sup> پرکاربرد است که ماهیت غیرمتمرکز دارد و به طور مداوم همراه با تراکنش‌های اجرا شده رشد می‌کند. هنگامی که یک تراکنش اجرا می‌شود، درخواست ایجاد بلوک جدید آغاز شده و سپس، تمام گره‌ها در شبکه بلاک چین، فرایند اعتبارسنجی بلوک را آغاز می‌کنند، یک بلوک معتبر با اشاره معکوس به بلوک والد (قبلی)، به انتهای زنجیره بلوک اضافه می‌شود. این فرایند اعتبارسنجی بلوک از هرگونه تغییر در بلوک‌های موجود در بلاک چین جلوگیری می‌کند؛ زیرا مهاجم باید بلوک مربوط به هر گره را در شبکه تغییر دهد. ویژگی‌های کلیدی بلاک چین مانند تمرکززدایی، تغییرناپذیری، قابل اعتماد بودن و عدم انکار، آن را به کاندید ایده آل برای برنامه‌هایی تبدیل کرده است که به تراکنش‌های امن اما ناشناس و تغییرناپذیر نیاز دارند [۲۷]. با توجه به این ویژگی‌ها، بلاک چین‌ها این پتانسیل را دارند که مشکلات موجود را کاهش داده و پرداخت‌های اینترنت اشیا و مفهوم بازار اینترنت اشیا را متحول کنند.

<sup>1</sup> Blockchain

<sup>2</sup> Distributed Ledger Technology (DLT)

### ۲.۳ قرارداد هوشمند

قراردادهای هوشمند برنامه‌هایی هستند که در یک بلاک‌چین ذخیره می‌شوند و زمانی اجرا می‌شوند که یک شرط از پیش تعریف شده برآورده شود [۲۸]. آنها شرایط یک قرارداد را با استفاده از پروتکل‌های تراکنش کامپیوتری اجرا می‌کنند [۲۹]. قابل ذکر است که طیف گسترده‌ای از قراردادهای هوشمند بر روی بلاک‌چین اتریوم<sup>۱</sup> توسعه داده شده است [۳۰]. شرایط قراردادی در قراردادهای هوشمند زمانی که شرایط داده شده برآورده شود به طور خودکار اجرا می‌شود. هنگامی که یک قرارداد هوشمند اجرا و در یک بلاک‌چین ذخیره می‌شود، تغییرناپذیر است [۲۷]. راه‌حل‌های قرارداد هوشمند در برنامه‌های مختلف اینترنت اشیا مانند مراقبت‌های بهداشتی، تولید و مالی استفاده می‌شود [۳۱].

### ۳.۳ ارز دیجیتال بانک مرکزی

از زمانی که رمزارزها به حوزه پرداخت و مبادلات مالی وارد شدند موجب به صدا در آمدن زنگ هشدار برای بانک‌های مرکزی و دولت‌ها شد. از این رو بانک‌های مرکزی سعی در بومی‌سازی این فناوری به نفع اهداف و سیاست‌گذاری‌های خود داشتند که در چند سال اخیر پژوهش‌های متعددی در مورد ارزهای دیجیتال بانک مرکزی و چگونگی ساختار آن انجام شد. ارز دیجیتال بانک مرکزی<sup>۲</sup> در اکثر اسناد بین‌المللی، یک ابزار پرداخت دیجیتالی در تراز ارز ملی و همراه با تعهد مستقیم بانک مرکزی آن کشور، تعریف شده است.

### ۴.۳ هایپرلجر فبریک

هایپرلجر فبریک<sup>۳</sup> یک تلاش موفق جامعه منبع باز<sup>۴</sup> برای توسعه مجموعه‌ای از چارچوب‌ها برای استقرار بلاک‌چین در صنعت است [۳۲]. هایپرلجر فبریک بستر دفتر کل توزیع شده در درجه سازمانی است که به هدف استفاده در صنعت توسعه یافته است که به مقیاس‌پذیری و امنیت بالا نیاز دارند [۳۳]. قابل ذکر است که بستر ارز دیجیتال بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران (ریال دیجیتال) نیز از هایپرلجر فبریک بهره برده و دارای ویژگی‌های بلاک‌چین و قرارداد هوشمند است [۱].

### ۴ اینترنت اشیا و چالش‌های مرتبط

سیستم‌های اینترنت اشیا، اشیای هوشمند مختلفی را که با محرک‌های حسگر و سیستم‌های نرم‌افزاری نصب شده‌اند، به هم متصل می‌کنند. یک سیستم اینترنت اشیا متداول از سه لایه اصلی زیر تشکیل شده است؛

- لایه درک با دستگاه‌های مختلف اینترنت اشیا شامل حسگرها و محرک‌ها برای سنجش داده‌ها
- لایه ارتباطی با ماژول‌های مختلف سیمی و بی‌سیم برای انتقال داده‌های حسگر
- لایه کاربردی صنعتی برای اتصال به صنایع مختلف هوشمند

<sup>1</sup> Ethereum (ETH)

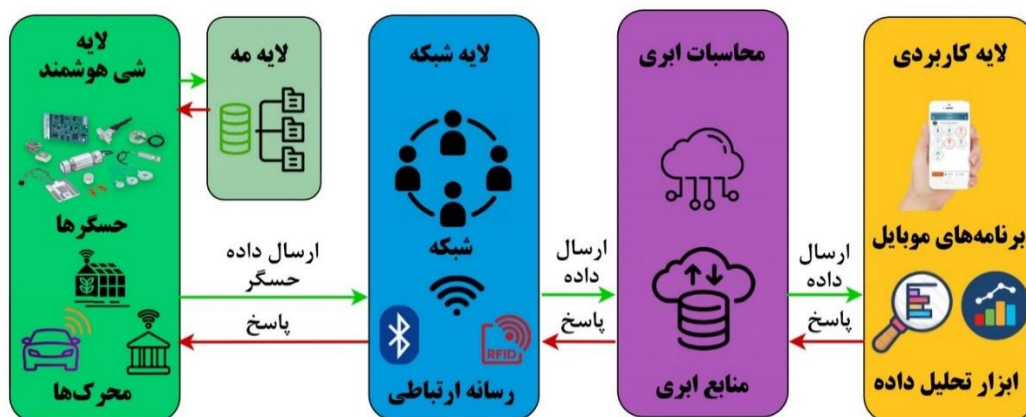
<sup>2</sup> Central Bank Digital Currency (CBDC)

<sup>3</sup> Hyperledger Fabric

<sup>4</sup> Open Source



همچنین طبق بیان منبع [۳۴]، محاسبات ابری و لایه‌های مه<sup>۱</sup> اضافات اصلی به معماری اولیه اینترنت اشیا حساب می‌شوند. در شکل ۲ معماری کلی اینترنت اشیا که برای توصیف جدیدترین سیستم‌های اینترنت اشیا مناسب است شامل یک «لایه کاربردی»<sup>۲</sup>، «لایه محاسبات ابری»<sup>۳</sup>، «لایه شبکه»<sup>۴</sup>، «لایه مه»<sup>۵</sup> و «لایه شی هوشمند»<sup>۶</sup> نشان داده شده است.



شکل ۲. لایه‌های پیشرفته اینترنت اشیا [۳۴]

باتوجه به تعداد تراکنش‌هایی که با میلیاردها دستگاه اینترنت اشیا رخ می‌دهد و مسائل مربوط به اعتمادپذیری، سیستم‌های پرداخت متمرکز قادر به مدیریت پیش‌بینی‌های صنعت هوشمند نخواهند بود. همچنین، در زیست‌بوم اینترنت اشیا، دستگاه‌ها برای تبادل اطلاعات نیاز به ارتباط منظم از طریق اینترنت دارند و حملات مخرب از منابع داخلی یا خارجی در طول فرایند متداول است. در اولین قدم در اتصال به شبکه، مکانیزم احراز هویتی که بتواند هویت دستگاه‌های اینترنت اشیا در شبکه را ایمن کند، ضروری است [۳۵].

#### ۱.۴ ویژگی‌های اینترنت اشیا

- ناهمگونی داده‌های اینترنت اشیا: سیستم‌های اینترنت اشیا از دستگاه‌های اینترنت اشیا ناهمگن، پروتکل‌های ارتباطی مختلف و انواع داده‌های اینترنت اشیا تشکیل شده‌اند [۳۶].
- تمرکززدایی سیستم‌های اینترنت اشیا: سیستم‌های اینترنت اشیا باید قابلیت تبادل، استفاده از اطلاعات و همکاری با یکدیگر را داشته باشند.

<sup>1</sup> Fog Layers

<sup>2</sup> Application Layer

<sup>3</sup> Cloud Computing Layer

<sup>4</sup> Network Layer

<sup>5</sup> Fog Layer

<sup>6</sup> Smart Object Layer

- تنوع زیست‌بوم‌های اینترنت اشیا: حسگرها، محرک‌ها و سیستم‌های نرم‌افزاری مورد استفاده در یک سیستم اینترنت اشیا با دیگر سیستم اینترنت اشیا متفاوت است.

#### ۲.۴ چالش‌های اینترنت اشیا

- ناهمگونی سیستم اینترنت اشیا: تنوع دستگاه‌ها، پروتکل‌های ارتباطی، شبکه‌های پیچیده‌ای را ایجاد کرده و راه را برای بسیاری از چالش‌های دیگر هموار کرده است [۳۶].
- قابلیت همکاری ضعیف: به دلیل ماهیت غیرمتمرکز و ناهمگون سیستم‌های اینترنت اشیا، تبادل اطلاعات بین سیستم‌های مختلف اینترنت اشیا چالش برانگیز است [۳۷].
- محدودیت‌های منابع دستگاه‌های اینترنت اشیا: دستگاه‌های اینترنت اشیا از منابع محاسبات، ذخیره‌سازی و توان محدود تشکیل شده‌اند که موجب انجام پروژه‌های زیرساخت ابری در مقیاس بزرگ شده است [۳۸].
- آسیب‌پذیری‌های حریم خصوصی و امنیتی: تبادل داده‌های اینترنت اشیا با پلتفرم‌های اینترنت اشیا مبتنی بر ابر و احراز هویت دستگاه‌های غیرمتمرکز اینترنت اشیا با استفاده از منابع محدود در دستگاه‌های اینترنت اشیا، نگرانی‌هایی را در مورد حفظ حریم خصوصی و امنیتی ایجاد کرده است [۳۹].

#### ۳.۴ جریان داده اینترنت اشیا

در حوزه اینترنت اشیا، نرخ رشد داده با دستگاه‌های جدید، حسگرها و فناوری‌های نوظهور افزایش یافته است و حجم عظیمی از داده‌های تولید شده توسط برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا، شرکت‌ها را مجبور به استقرار راه‌حل‌های ذخیره‌سازی ابری در مقیاس بزرگ کرده است. صنایع هوشمند نوظهور نیاز به پیش‌بینی و تطبیق راه‌حل‌های خود بر اساس بینش‌های دریافتی از داده‌ها دارند. در نتیجه، یک بستر به اشتراک‌گذاری داده بی‌طرف و قابل اعتماد برای تجارت تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان داده‌ها مورد نیاز است [۴۰]. این جریان‌های داده‌ای که توسط دستگاه‌های اینترنت اشیا تولید می‌شوند، ارزش فروش مجدد به خریداران شخص ثالث نیز دارند. در دسترس نبودن یک چارچوب تعریف شده برای بخش تجاری زیست‌بوم اینترنت اشیا، تأثیر منفی بر رشد آن دارد. در نتیجه، یک چارچوب مدل کسب‌وکار واضح باید برای تجارت داده‌های اینترنت اشیا تعریف شود.

#### ۵ پرداخت اینترنت اشیا

دستگاه‌های اینترنت اشیا دائماً از دستگاه‌های دیگر به عنوان یک سرویس‌گیرنده، اطلاعات درخواست می‌کنند. زیست‌بوم اینترنت اشیا نیازمند انجام تراکنش‌های پولی توسط حسگرها و دستگاه‌ها به ازای خدمات داده است. این تراکنش‌ها و مبادلات عمدتاً از طریق یک شبکه مبتنی بر اینترنت انجام می‌شود و مدل‌های پرداخت متعارف در طول تراکنش‌ها به شخص ثالث قابل اعتمادی مانند بانک متکی است.

در یک زیست‌بوم اینترنت اشیا بر اساس برنامه کاربردی، دستگاه‌ها از فناوری‌های مختلفی برای تولید، ارتباط و تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده می‌کنند. امروزه تعامل بین مردم، دستگاه‌ها و داده‌ها را اینترنت همه چیز [۴۱] می‌نامند.

اینترنت همه چیز برای انجام تراکنش‌های پولی در ازای خدمات از طریق اینترنت به زیست‌بوم نیاز دارد و انتظار می‌رود که معرفی فناوری G5 استفاده اینترنت همه چیز را افزایش دهد.

الزامات پرداخت اینترنت اشیا توسط نهادهای تخصصی مختلف اینترنت اشیا ایجاد می‌شود. برخی از نمونه‌های پرداخت عبارت‌اند از: یک خودروی هوشمند که پرداخت هزینه سوخت‌گیری را در جایگاه سوخت انجام می‌دهد، یک تجهیز بهداشتی هوشمند که نسخه الکترونیکی پزشک را با یک داروخانه هوشمند به اشتراک می‌گذارد و خرید دارو را انجام می‌دهد و یک برنامه کاربردی کشاورزی هوشمند که سفارش و پرداخت هزینه کود موردنیاز را می‌دهد.

## ۱.۵ کاربردها و محیط‌های عملیاتی پرداخت اینترنت اشیا

### ۱.۱.۵ بازار اینترنت اشیا<sup>۱</sup>

بازارهای اینترنت اشیا همیشه از طرف‌های مورداستناد تشکیل نمی‌شوند و قراردادهای هوشمند می‌توانند به‌عنوان یک واسطه قابل اعتماد برای ایجاد تراکنش‌های قابل اعتماد مورداستفاده قرار گیرند. اعتماد متقابل یک جزء کلیدی در بازار اینترنت اشیا خواهد بود و قراردادهای تجاری پویا بین طرفین موردنیاز است. داتوم<sup>۲</sup> [۴۲] یک بلاک‌چین مبتنی بر قرارداد هوشمند است که گزینه‌ای برای ذخیره ایمن داده‌های ساختاریافته در ذخیره‌سازی غیرمتمرکز فراهم می‌کند. اما این نیاز به داده‌های بلادرنگ برنامه‌های اینترنت اشیا را برطرف نمی‌کند. هر تولیدکننده داده اینترنت اشیا باید بتواند داده‌های تولید شده را در یک بازار اینترنت اشیا معامله کند [۴۳].

### ۲.۱.۵ شهرهای هوشمند<sup>۳</sup>

شهر هوشمند زیست‌بومی از کاربردهای مختلف اینترنت اشیا مانند حمل و نقل، مراقبت‌های بهداشتی، انرژی، تولید، آموزش، مدیریت و تدارکات است. شهرهای هوشمند ترکیبی از شبکه‌های هوشمند کوچک‌تر و به‌عنوان راه‌حلی برای چالش روبه‌رشد شهرنشینی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار هستند. این خدمات مبتنی بر داده بر اساس فناوری اطلاعات و ارتباطات توسعه داده شده‌اند و داده‌ها از طریق ابزارهایی مانند حسگرها، دوربین‌ها، ورودی‌های انسانی، داده‌های جمع‌آوری شده از تلفن‌های همراه و وسایل نقلیه به دست می‌آیند. منابع داده‌ای ممکن است کاملاً متعلق به مقامات محلی، یک سازمان واحد یا هر گروه ناهمگنی از افراد و سازمان‌ها باشد. صاحبان داده از مصرف‌کنندگان داده در یک شهر هوشمند برای به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها هزینه دریافت می‌کنند [۴۴].

مفهوم شهرهای بدون پول فیزیکی می‌تواند هر شی را به شبکه شهر هوشمند متصل کند و مشکلات متداول پرداخت را از بین ببرد. تحقیقات انجام شده توسط ویزا<sup>۴</sup> در ۱۰۰ شهر نشان می‌دهد که مکانیسم‌های پرداخت هوشمند می‌توانند سالانه ۴۷۰ میلیارد دلار سود خالص ارائه دهند [۴۵]. یک شهر هوشمند متشکل از موجودیت‌های مختلفی است که برای کارکرد برنامه‌های خود نیاز به فروش، یافتن و خرید داده دارند. تأمین‌کنندگان داده باید برای

<sup>۱</sup> IoT Marketplace

<sup>۲</sup> Datum

<sup>۳</sup> Smart Cities

<sup>۴</sup> Visa



به‌اشتراک‌گذاری اطلاعات هزینه دریافت کنند؛ بنابراین، بسترهای بازار داده اینترنت اشیا در شهرهای هوشمند ضروری هستند. در [۴۶] چگونگی کاربرد فناوری بلاک‌چین در حوزه‌های مختلف شهرهای هوشمند ازجمله شهروندان هوشمند، مراقبت‌های بهداشتی هوشمند، شبکه هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند و مدیریت زنجیره تأمین را بررسی شده است.

### ۳.۱.۵ خانه هوشمند<sup>۱</sup>

خانه‌های امروزی حاوی دستگاه‌هایی با قابلیت‌های مالی تعبیه شده در خود هستند. پرداخت‌های خودکار و سفارش تأمین خودکار نمونه‌هایی هستند که اینترنت اشیا مدل‌های تجاری و ارائه خدمات پرداخت به ازای استفاده را ارائه کرده است.

### ۴.۱.۵ حمل‌ونقل هوشمند<sup>۲</sup>

جدیدترین خودروهای متصل دارای قابلیت پرداخت داخلی از انرژی گرفته تا پارکینگ و سیستم اطلاعات سرگرمی<sup>۳</sup> هستند و همچنین دارای عملکردهای متفاوت در کل زیست‌بوم حمل‌ونقل هوشمند هستند. به عنوان نمونه، هوندا<sup>۴</sup> و ویزا با مشارکت یکدیگر سیستم اطلاعات سرگرمی‌ای را معرفی کرده‌اند که به کاربران امکان پرداخت بنزین، پارکینگ، غذا و غیره را می‌دهد [۴۵].

اینترنت وسایل نقلیه<sup>۵</sup> به‌عنوان یک مفهوم نوظهور در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند<sup>۶</sup> در نظر گرفته می‌شود که شبکه ادهاک وسایل نقلیه<sup>۷</sup> را با اینترنت اشیا ادغام کرده است [۴۷]. زیست‌بوم کلی اینترنت وسایل نقلیه که از وسایل نقلیه هوشمند تشکیل شده است به شبکه‌های ارتباطی و محیط‌های خارجی از جمله جاده‌ها، چراغ‌های راهنمایی، علائم جاده‌ای، عابران پیاده و همه حوزه‌های مرتبط با حمل‌ونقل وابسته است. اینترنت وسایل نقلیه یک جزء اصلی در مفهوم شهر هوشمند است [۴۸]. اینترنت وسایل نقلیه، وسایل نقلیه هوشمند را با اینترنت یکپارچه کرده است. زیست‌بوم کلی اینترنت وسایل نقلیه شامل وسایل نقلیه هوشمند با حسگرها، شبکه جاده‌ای، عابران پیاده، وسایل نقلیه دیگر و زیرساخت‌های دیگر است. در نتیجه، به منظور تضمین ایمنی جاده، یک بستر تبادل اطلاعات مشترک در میان زیست‌بوم اینترنت وسایل نقلیه مورد نیاز است که برای دستیابی به اهداف مورد نظر به این بستر امن، قابل اعتماد و تغییرناپذیر باشد نیاز دارد [۴۷].

<sup>1</sup> Smart Home

<sup>2</sup> Smart Transport

<sup>3</sup> Infotainment System

<sup>4</sup> Honda

<sup>5</sup> Internet of Vehicles (IoV)

<sup>6</sup> Intelligent Transportation Systems (ITS)

<sup>7</sup> Vehicular Adhoc Network (VANETs)

### ۵.۱.۵ خرده‌فروشی هوشمند<sup>۱</sup>

پرداخت‌های اینترنت اشیا بخشی از فعالیت‌های تجاری را ایجاد کرده است که در آن خرده‌فروشی‌های بدون متصدی رایج‌تر می‌شوند. فروشگاه‌های جدید آمازون<sup>۲</sup> بدون پول نقد<sup>۳</sup> و بدون صندوق‌دار که به مشتریان اجازه می‌دهد اقلام را از قفسه‌ها جمع‌آوری کنند و به طور خودکار پس از خروج از فروشگاه هزینه دریافت می‌شود. طبق برآوردهای جدید، این امر به طور متوسط بیش از ۵۰ درصد بیشتر از فروشگاه‌های متداول درآمد ایجاد کرده است [۴۹].

### ۶.۱.۵ شبکه‌های هوشمند<sup>۴</sup>

شبکه‌های هوشمند، هسته اصلی راه‌حل‌های انرژی هوشمند هستند. به این معنا که منابع تولید برق به مصرف‌کنندگان برق اجازه می‌دهد تا انرژی را در یک شبکه خودکار و توزیع شده انتقال و تحویل دهند. ریزشبکه‌ها<sup>۵</sup> در جامعه کوچک با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های ذخیره انرژی<sup>۶</sup> مستقر می‌شوند و به عنوان بستری برای تجارت انرژی تولید شده محلی با یکدیگر در تعامل انرژی هستند [۵۰]. مفهوم انرژی هوشمند باهدف ادغام فناوری‌های انرژی سبز و تجدیدپذیر در شبکه‌های برق متعارف به نحو کارآمد است. تولید، انتقال و توزیع برق دارای نظارت و کنترل است و مفاهیم هوشمندی مانند اندازه‌گیری هوشمند و تجارت انرژی هم‌تا به هم‌تا همراه با شبکه هوشمند معرفی می‌شوند [۵۱]. بازارهای معاملات برق مبتنی بر بلاکچین متشکل از تولیدکنندگان برق و مصرف‌کنندگان برق هستند که قادر به تولید انرژی تجدیدپذیر هستند. فناوری‌های بلاکچین و قراردادهای هوشمند مورد استفاده در تجارت انرژی به پیاده‌سازی یک شبکه توزیع شده با شفافیت و تغییرناپذیری کمک می‌کند. در [۵۲] یک سیستم قرارداد هوشمند انرژی مبتنی بر بلاکچین برای بازار تجارت انرژی تجدیدپذیر طراحی کرد که متشکل از تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان برق است.

### ۷.۱.۵ کشاورزی هوشمند<sup>۷</sup>

کشاورزی هوشمند یک مفهوم انقلابی است که به کشاورزان این امکان را می‌دهد تا به راحتی به داده‌های محصول در زمان واقعی دسترسی داشته باشند و بر اساس آن اقدام کنند. در حوزه کشاورزی، روابط خریدار و فروشنده در بسیاری از زمینه‌ها از جمله خرید بذر، به اشتراک‌گذاری داده‌های آب‌وهوایی، فروش محصولات کشاورزی، نظارت بر مزرعه کشاورزی و غیره سروکار دارد. کشاورزان می‌توانند داده‌ها را تجزیه و تحلیل کنند و تصمیمات آگاهانه بگیرند نه اینکه بر احساس درونی و بینایی خود تکیه کنند. بهره‌وری در تمام جنبه‌های کشاورزی برای به دست آوردن حداکثر عملکرد و پاسخگویی به تقاضای فزاینده حیاتی است. کشاورزی هوشمند انتظار دارد با حذف واسطه و استقرار یک سیستم

<sup>1</sup> Smart Retail

<sup>2</sup> Amazon

<sup>3</sup> Cashless

<sup>4</sup> Smart Grids

<sup>5</sup> Micro-grids

<sup>6</sup> Energy Storage Systems (ESS)

<sup>7</sup> Smart Agriculture

شفاف و کارآمد، تمام عناصر زنجیره تأمین مواد غذایی را بهبود بخشد. الزامات کاربردی زنجیره تأمین کشاورزی شامل کارایی پرس‌وجو، امنیت و حریم خصوصی، صحت و قابلیت اطمینان داده‌ها است [۵۳].

در [۵۴] یک سیستم اشتراک‌گذاری داده توزیع شده برای کشاورزی هوشمند پیشنهاد شده است که از چهار جزء اصلی یعنی کشاورزی هوشمند، قرارداد هوشمند، سیستم فایل بین سیاره‌ای<sup>۱</sup> و ذینفعان کشاورزی<sup>۲</sup> تشکیل شده است. برنامه‌های کاربردی کشاورزی هوشمند به سیستم‌هایی نیاز دارند که بتوانند کارایی، امنیت و حریم خصوصی، اصالت و قابلیت اطمینان داده‌ها را تضمین کنند. بسترهای کشاورزی هوشمند قادر به استقرار یک زیست‌بوم شفاف و قابل اعتماد هستند که در آن کشاورزان می‌توانند به داده‌های فوری مرتبط با کشاورزی مانند کیفیت بذر، داده‌های مربوط به محیط آب‌وهوا، پرداخت‌ها، شرایط خاک و وضعیت بازار محصول دسترسی داشته باشند.

### ۸.۱.۵. مراقبت‌های بهداشتی هوشمند<sup>۳</sup>

سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی هوشمند با اطلاعات حساس بیمار سروکار دارند و با الزامات پرداخت‌های مختلف با بیماران، بیمارستان‌ها، کارکنان مراقبت‌های بهداشتی، صنایع دارویی و غیره تعامل مالی دارد [۵۵]. برنامه‌های هوشمند مراقبت‌های بهداشتی، شامل عناصر مختلفی مانند دستگاه‌های نظارت بر سلامت، مؤسسات تحقیقاتی، بیماران و بخش‌های مختلف دیگر هستند که نیاز به اشتراک‌گذاری اطلاعات مرتبط با سلامت با یکدیگر دارند. با توجه به ماهیت حساس داده‌های بهداشتی، به اشتراک‌گذاری داده‌های سلامت باید بر اساس رضایت فردی باشد. اما محدودیت منابع یک گلوگاه بزرگ است و رشد سریع در استفاده از حسگرهای زیستی پوشیدنی و موارد استفاده هوشمند مرتبط با مراقبت‌های بهداشتی مشاهده می‌شود. حجم عظیمی از داده‌های تولید شده توسط زیست‌بوم مراقبت‌های بهداشتی باید بین طرف‌های مرتبط به اشتراک گذاشته شود. این زیست‌بوم در نهایت با استفاده از داده‌های خود، وضعیت سلامتی افراد را بهبود می‌بخشد، زیرا با وجود حسگرها، به‌جای تکیه بر پرونده‌های الکترونیک سلامت<sup>۴</sup> درک کلی بهتری از بیمار ارائه می‌شود.

نیاز اصلی یک بازار سلامت<sup>۵</sup>، ایجاد یک زیست‌بوم غیرمتمرکز داده‌محور و استفاده از برنامه‌های کاربردی هوش مصنوعی برای بهبود بیشتر راه‌حل‌ها است. بازارهای غیرمتمرکز بر اساس قراردادهای هوشمند ایمن و دفاتر کل توزیع شده اجرا می‌شوند. این امر تولیدکنندگان داده را قادر می‌سازد تا با حفظ ناشناس بودن با مصرف‌کنندگان داده معامله کنند. در [۵۶] یک شبکه بلاکچین مبتنی بر هایبر لجر فبریک در میان بیماران و مؤسسات پزشکی ایجاد کرد تا داده‌های بیماران را به صورت ایمن و قابل اعتماد به اشتراک بگذارد.

<sup>1</sup> Interplanetary File System (IPFS)

<sup>2</sup> Agriculture Stakeholders

<sup>3</sup> Smart Healthcare

<sup>4</sup> Electronic Health Records (EHR)

<sup>5</sup> Health Marketplace

## ۹.۱.۵ زنجیره تأمین<sup>۱</sup>

تراکنش‌های مرتبط با زنجیره تأمین با راه‌حل‌های پرداخت اینترنت اشیا می‌تواند ضمن کاهش تقلب، کارایی زنجیره را بهبود دهد [۵۷].

## ۱۰.۱.۵ تجارت محتوا<sup>۲</sup>

داده و محتوا یک ماهیت جدایی‌ناپذیر اینترنت اشیا است. برنامه‌های کاربردی تجارت محتوا به راه‌حل‌هایی برای مشکلات موجود مانند نقض حق چاپ، جعل و جعل آنی در محیط‌های تجارت محتوای دیجیتال نیاز دارند. حتی اگر بلاکچین یک راه‌حل ایده‌آل برای مسائل حوزه تجارت محتوا باشد، به دلیل نگرانی‌های مقیاس‌پذیری، انتشار محتوای دیجیتال در شبکه بلاکچین دشوار است. فناوری BitTorrent گزینه‌ای برای به اشتراک‌گذاری داده‌های محتوا است [۵۸]. بازار هنر سالانه ۲۰۰ میلیارد دلار مبادلات تجاری انجام می‌دهد، این بازار یکی از بزرگترین بازارهای غیرقانونی در جهان است که مسئول یک سوم جنایات ارتكابی است [۵۹].

بلاکچین نامزد ایده‌آل برای رسیدگی به بسیاری از چالش‌های منحصربه‌فرد مشاهده شده در حوزه اینترنت اشیا است [۶۰]. اما موانعی وجود دارد که زنجیره‌های بلوکی در پیاده‌سازی اینترنت اشیا باید بر آن‌ها غلبه کنند تا تغییر ساختار در حوزه اینترنت اشیا صورت پذیرد. مفهوم کارمزد تراکنش مبتنی بر بازار که در ارزهای دیجیتال متداول استفاده می‌شود گران است و برای تراکنش‌های اینترنت اشیا مناسب نیست. زمان تراکنش بلاکچین‌ها یکی دیگر از مسائل مشکل‌ساز است. سیستم‌های پرداخت اینترنت اشیا نیاز به انجام بسیاری از ریزتراکنش‌ها در عرض چند ثانیه دارند. بلاکچین‌های عمومی مانند بیت‌کوین<sup>۳</sup>، اتریوم و ریپل<sup>۴</sup> نیاز دارند که هر بلوک توسط بلاکچین جهانی تایید شود [۴۱]. شبکه لایتینگ بیت‌کوین<sup>۵</sup>، دفترکل‌های توزیع شده مجازی<sup>۶</sup> و فناوری‌های متفاوت پیاده‌سازی دفترکل توزیع شده مانند گراف‌های غیر مدور جهت‌دار<sup>۷</sup> نمونه‌هایی برای تلاش‌های تحقیقاتی برای بهبود فناوری بلاکچین به منظور مناسب ساختن آن برای کاربردهای اینترنت اشیا هستند. بلاکچین برای تبدیل شدن به یک پلتفرم بازار و پرداخت اینترنت اشیا نیاز به بهینه‌سازی‌های بیشتری دارد.

## ۲.۵ چالش‌های کلیدی در سیستم‌های پرداخت اینترنت اشیا

برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا، زیست‌بوم اینترنت اشیا خود را با حسگرها و محرک‌هایی با اتصال شبکه و بستر اینترنت اشیا برای اجرای الگوریتم‌های کنترل مربوطه برای اجرای برنامه به کار می‌گیرند. در نتیجه، هزینه استقرار برنامه‌های اینترنت اشیا کم نیست و استفاده گسترده از راه‌حل‌های اینترنت اشیا نیز آسان نیست.

<sup>1</sup> Supply Chain

<sup>2</sup> Content Trading

<sup>3</sup> Bitcoin (BTC)

<sup>4</sup> Ripple (XRP)

<sup>5</sup> Bitcoin Lightning Network (BLN)

<sup>6</sup> virtualized DLT (vDLT)

<sup>7</sup> Directed Acyclic Graph (DAG)

- سازوکار تصمیم‌گیری و برقراری اعتماد: مدل‌های کسب‌وکار سنتی اینترنت اشیا برای انجام تراکنش‌های مالی به شخص ثالث قابل اعتماد متکی هستند. در طول این فرایند از واسطه‌ای مانند بانک استفاده می‌شود و به همین دلیل اجازه به دست آوردن مزایای واقعی تراکنش‌های نقطه به نقطه<sup>۱</sup> داده نمی‌شود.
- عدم ناشناس ماندن کاربران: کاربران برنامه‌های اینترنت اشیا تمایلی به اشتراک‌گذاری اطلاعات پرداخت خود ندارند و اجازه نمی‌دهند تاریخچه تراکنش‌ها منتشر شود و ترجیح می‌دهند اطلاعات در برنامه‌های اینترنت اشیا حفظ شود.
- نیاز به پرداخت‌های خرد: اینترنت اشیا با تراکنش‌های خرد سروکار دارد و برای انجام یک تراکنش، واحد اینترنت اشیا، ممکن است چندین تراکنش فرعی انجام دهد. مکانیسم‌های پرداخت متعارف برای رسیدگی به چنین پرداخت‌های خرد طراحی نشده‌اند و استفاده از شخص ثالث قابل اعتماد کارمزد تراکنش‌ها را نیز افزایش داده است.
- ارزش فیات و ناکارآمدی مقیاس بزرگ سیستم پرداخت: امروزه، ارزش مبتنی بر کاغذ برای ۸۵٪ از کل معاملات جهانی استفاده می‌شود. این امر در اقتصادهای توسعه یافته نیز رایج است. با این حال ناکارآمدی سیستم‌های پرداخت فعلی برای مدیریت حجم بالای تراکنش‌های اینترنت اشیا یکی از گلوگاه‌های پرداخت اینترنت اشیا است. میزان استفاده از ارزش فیات در بریتانیا، ایالات متحده و آلمان به ترتیب ۴۸٪، ۵۵٪ و ۶۷٪ است [۶۱]. استفاده از ارزش‌های فیزیکی یک نقطه مسدودکننده اصلی برای پیشرفت بخش اینترنت اشیا است. برخی از نگرانی‌های اصلی ارزش‌های فیزیکی شامل هزینه تولید، چاپ و تأمین امنیت ارزش‌های فیات، ناکارآمدی پرداخت‌ها، عدم تناسب با نیازهای اقتصاد دیجیتال است.
- قراردادهای ثابت در مورد نرخ‌های پرداخت: اینترنت اشیا به انجام تراکنش‌های خرد پویا نیاز دارد [۶۲]. با توجه به مدل‌های کسب‌وکار سنتی که در صنعت رواج دارند، بسترهای اینترنت اشیا باید با تأمین‌کنندگان داده‌های اینترنت اشیا قراردادهای ثابتی را امضا کنند. اما داده‌های مورد نیاز بسترهای اینترنت اشیا ماهیت پویا دارند. بنابراین، جدیدترین گرایش‌های اینترنت اشیا به دنبال راه‌حلی است که توانایی رسیدگی به شرایط پرداخت پویا را داشته باشد.

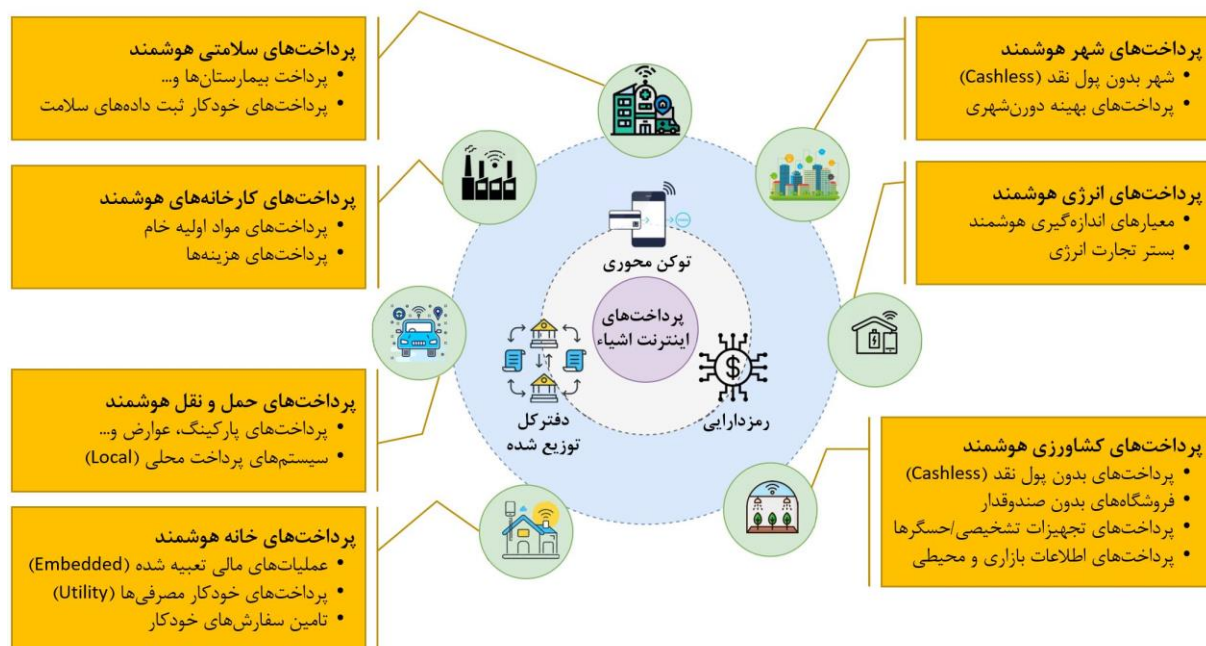
### ۳.۵ بلاک‌چین در پرداخت‌های اینترنت اشیا

ویژگی‌های کلیدی بلاک‌چین شامل تمرکززدایی، تغییرناپذیری و افزایش امنیت است که این ویژگی‌ها، بلاک‌چین را برای پرداخت‌های اینترنت اشیا ایده‌آل می‌کند. از آنجایی که بلاک‌چین توزیع شده است و تراکنش‌های مستقیم نقطه به نقطه را می‌توان بدون نیاز به شخص ثالث قابل اعتماد انجام داد. پرداخت‌های اینترنت اشیا در بلاک‌چین به دلیل تغییرناپذیری ارائه شده توسط مکانیسم اجماع و قراردادهای هوشمند مورد استفاده توسط زنجیره‌های بلوکی، می‌توانند غیرقابل تغییر باشند که یکی از چالش‌های مطرح شده در پرداخت اینترنت اشیا بود.

<sup>1</sup> Peer to Peer (P2P)



عموم مردم در سراسر جهان پرداخت‌های الکترونیکی را پذیرفته‌اند و تلاش برای سرقت هویت مصرف‌کننده رایج است. زیست‌بوم‌های فعلی پرداخت؛ مانند کارت‌های پرداخت در برابر چنین مواردی آسیب‌پذیر هستند. سیستم‌های پرداخت توزیع‌شده مبتنی بر بلاک‌چین می‌توانند از کاربران در برابر سرقت هویت محافظت کنند؛ زیرا توکن‌های پرداخت می‌توانند به راحتی در زیست‌بوم پرداخت بلاک‌چین استفاده شوند [۶۳]. در شکل ۳ زیست‌بوم پرداخت‌های اینترنت اشیا مبتنی بر بلاک‌چین نشان داده شده است که به صورت تطبیقی و تکمیلی به دست آمده است.



شکل ۳. زیست‌بوم پرداخت‌های اینترنت اشیا مبتنی بر بلاک‌چین

## ۱.۳.۵ مزایای بلاک‌چین در پرداخت‌های اینترنت اشیا

طرح‌های پرداخت غیرمتمرکز اینترنت اشیا مبتنی بر بلاک‌چین، مزایای مختلفی را برای حوزه پرداخت اینترنت اشیا ارائه می‌کنند:

- **عدم وابستگی به بسترهای پرداخت شخص ثالث:** مدل‌های تجاری سنتی برای ادامه تراکنش‌های پرداخت به شخص ثالث قابل اعتماد متکی هستند که پرکاربردترین مکانیسم، استفاده از شخص ثالث مانند بانک برای انجام معاملات است. گزینه‌های پرداخت اینترنت اشیا مبتنی بر بلاک‌چین، تراکنش‌های واقعی نقطه‌به‌نقطه را بدون وابستگی به شخص ثالث امکان‌پذیر کرده‌اند.
- **تراکنش‌های ناشناس:** هنگامی که شخص ثالثی مانند بانک درگیر فرایند تراکنش است، کاربران باید اطلاعات حساسی مانند اطلاعات کارت اعتباری را برای ادامه پرداخت ارائه دهند و اگر داده‌های اینترنت اشیا از چندین بستر باشد آنگاه کاربران باید چندین بار اطلاعات حساس پرداخت خود را در معرض خطر قرار دهند. باتوجه به خطرات امنیتی موجود در عصر دیجیتال، مصرف‌کنندگان داده‌های اینترنت اشیا این مشکلات را تاب نمی‌آورند؛ بنابراین، با استفاده از بلاک‌چین، می‌توان مقدار مشخصی از ناشناس بودن را حفظ کرد.

– کارمزد تراکنش کمتر: در مدل‌های کسب‌وکار الکترونیکی سنتی، کارمزد تراکنش یک مسئله اصلی است؛ زیرا تراکنش‌های خرد ویژگی منحصر به فرد اینترنت اشیا هستند. راه‌حل‌های مبتنی بر بلاک‌چین بهبود یافته و تحقیقات لازم برای به حداقل رساندن کارمزد تراکنش در حال انجام است. همچنین رویکرد پرداخت مبتنی بر IOTA، پرداخت بدون کارمزد را برای تراکنش‌ها معرفی کرده است [۶۴].

## ۶ ارزش دیجیتال بانک مرکزی

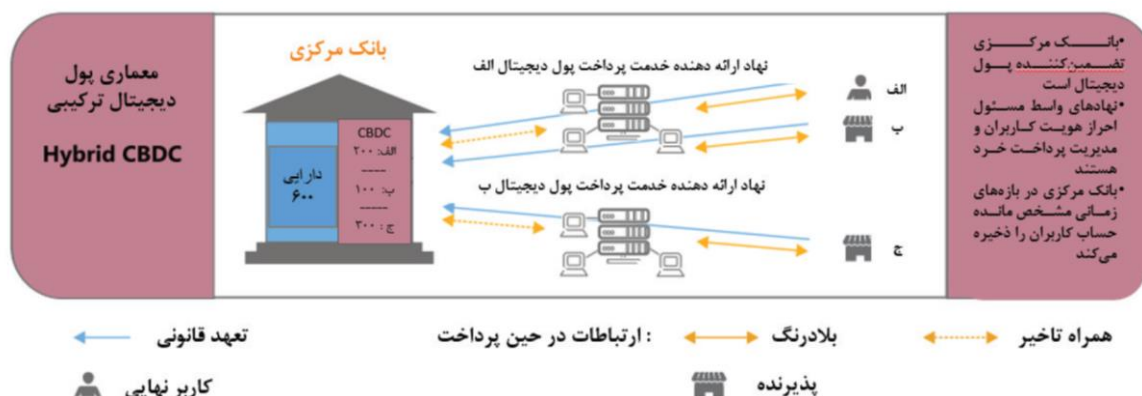
بانک‌های مرکزی کشورهای مختلف در تلاش بر پیاده‌سازی ارزش دیجیتال واحد ارزش فیات خود هستند تا از مزایای فناوری بلاک‌چین و دفترکل توزیع شده بهره ببرند. ارزش دیجیتال بانک مرکزی به صورت یک به یک با واحد ارزی هر کشور و فقط به صورت الکترونیکی توسعه داده شده است. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های ارزش دیجیتال بانک مرکزی، تعهد مستقیم و بدون واسطه بانک‌های تجاری به مانده کیف پول مشتریان است [۴].

### ۱.۶ ریال دیجیتال

ارزش دیجیتال بانک مرکزی (CBDC) یک ابزار پرداخت دیجیتالی است که در واحد ارزش ملی تعیین می‌شود و بدهی مستقیم بانک مرکزی است. ریال دیجیتال بانک مرکزی ج.ا.ایران، شکل سوم پول بانک مرکزی است که منحصراً توسط بانک مرکزی به صورت دیجیتال منتشر شده و بدهی مستقیم بانک مرکزی محسوب می‌شود [۲]. ریال دیجیتال بانک مرکزی پس از انتشار و عرضه به عنوان جزئی از پول محدود و همتای اسکناس و مسکوک خواهد بود؛ لذا کلیه قوانین مربوط به انتشار اسکناس در ج.ا.ایران، بر ریال دیجیتال بانک مرکزی نیز مترتب است. هر واحد ریال دیجیتال همواره ارزشی معادل یک ریال رسمی بانک مرکزی دارد. به طور کلی طبق نسخه دوم پیش‌نویس سند ریال دیجیتال سه ویژگی بارز آن شامل «انتقال هم‌تا به هم‌تا، استقلال از بانک‌های تجاری و پول برنامه پذیر» است. به طور خلاصه مشخصه‌های کلیدی ریال دیجیتال به شرح ذیل قابل تعریف است:

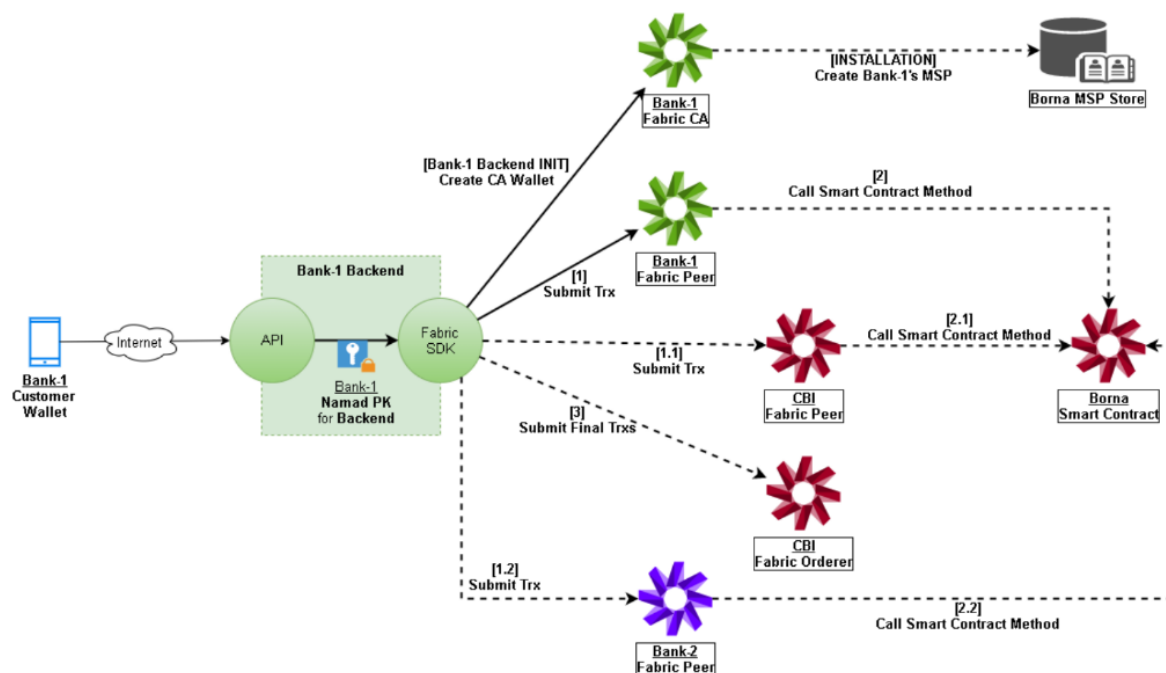
- ریال دیجیتال بانک مرکزی همانند اسکناس و مسکوک، کاربری عمومی دارد، به صورت دیجیتال در کیف ریال دیجیتال مشتریان قرار می‌گیرد و به صورت هم‌تا به هم‌تا قابل انتقال است.
- ریال دیجیتال مشتریان بانک‌ها در حساب بانکی نگهداری نمی‌شود، بلکه در مشابهت با اسکناس، بدون نیاز به حساب بانکی در کیف ریال دیجیتال خود مشتریان نگهداری می‌گردد.
- ریال دیجیتال مبتنی بر توکن بوده و در آن از فن‌آوری رمزنگاری استفاده شده است.
- امکان تبدیل یک به یک ریال دیجیتال به سایر انواع پول رایج کشور از جمله اسکناس وجود دارد.
- ریال دیجیتال قابلیت اعمال سقف تراکنش و مقدار قابل نگهداری در کیف ریال دیجیتال را دارد.
- هیچ‌گونه سود یا بهره‌ای بر ریال دیجیتال پرداخت نمی‌شود.
- ریال دیجیتال به منظور تسویه مبادلات خرد استفاده می‌شود و در هدف‌گذاری اولیه جهت اجرای آزمایشی برای تسویه میان بانک‌ها و اجرای سیاست‌های پولی کاربردی نخواهد داشت.
- ریال دیجیتال بانک مرکزی در عین دارا بودن قابلیت تبدیل دوسویه از/به اسکناس و یا سپرده بانکی، قابلیت سپرده‌گذاری در قالب حساب ریال دیجیتال را ندارد.

- زیرساخت ریال دیجیتال، پلتفرم بلاکچینی برنا است که توسط شرکت خدمات انفورماتیک توسعه داده شده است. در شکل ۴ معماری ریال دیجیتال نشان داده می‌شود.



شکل ۴. معماری ریال دیجیتال بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران [۲]

نسخه اول پیش‌نویس سند ریال دیجیتال عدم کارمزدی محور بودن انتقال هم‌تا به هم‌تا را مطرح کرد؛ ولی در نسخه دوم مبحث کارمزد از پیش‌نویس سند ریال دیجیتال حذف شد. با توجه به اهمیت ویژه مبانی کارمزدی باید چارچوب‌های کارمزدی ریال دیجیتال را در پرداخت اینترنت اشیا در نظر گرفت. در شکل ۵ معماری منطقی اتصال به بلاکچین برنا نشان داده شده است [۳].



شکل ۵. معماری منطقی اتصال به بلاکچین برنا [۳]

## ۲.۶ تناسب ارز دیجیتال بانک‌های مرکزی در پرداخت اینترنت اشیا

در مطالب بیان شده در این مقاله ذکر شده است که هزینه کارمزد تراکنش، ناشناسی، عدم وجود شخص ثالث و تغییرناپذیری جز پرچالش‌ترین ویژگی‌ها در پرداخت اینترنت اشیا است. زیرساخت ارزهای دیجیتال بانک مرکزی همانند زیرساخت‌های رمزارزهای متداول نیست و بازوهای فنی بانک‌های مرکزی در مورد ویژگی‌های اعطایی به ارزهای دیجیتال خود منعطف و پایبند چارچوب متفاوتی هستند. در نتیجه امکان فراهم کردن بستر پرداخت اینترنت اشیا برای ارزهای دیجیتال بانک مرکزی در زیرساخت‌های مربوطه مناسب‌تر است.

رویکرد کارمزدی اکثر ارز دیجیتال بانک‌های مرکزی کشورهای مختلف با یکدیگر همسو هستند و در حال حاضر، نگرش عمومی بانک‌های مرکزی بر بدون کارمزد بودن این تراکنش‌ها است که این خود یکی از مزایای مهم انطباق پرداخت اینترنت اشیا با حوزه ارز دیجیتال بانک مرکزی است. در جدول ۱ رویکرد کارمزدی و کاربردی ارز دیجیتال بانک مرکزی آورده شده است.

جدول ۱

رویکرد کارمزدی و کاربردی ارز دیجیتال بانک‌های مرکزی

| ردیف | نماد/CBDC             | جغرافیا   | نظریه کارمزدی  | حوزه کاربردی                                                                                                                                                                            |
|------|-----------------------|-----------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | IRDC                  | ج.ا.ایران | بدون کارمزد*   | - انتقال محدود کیف به کیف<br>- خرید فروشگاه‌ها                                                                                                                                          |
| ۲    | Digital Rupee         | هند       | بدون کارمزد    | - انتقال محدود کیف به کیف<br>- کاربرد عمده: تسویه معاملات دولتی بازار ثانویه                                                                                                            |
| ۳    | Digital Ruble         | روسیه     | بدون کارمزد**  | برنامه عرضه عمومی دارد و هنوز ارائه نشده است                                                                                                                                            |
| ۴    | Digital Euro          | اروپا     | بدون کارمزد*** | برنامه عرضه عمومی دارد و هنوز ارائه نشده است                                                                                                                                            |
| ۵    | Digital Yuan<br>e-CNY | چین       | بدون کارمزد    | - ۱۷ استان و ۲۶ شهر<br>- کیف به کیف<br>- پرداخت حمل و نقل عمومی<br>- پرداخت عوارض جاده‌ای<br>- پرداخت حقوق بخش عمومی<br>- پرداخت آنلاین در فین‌تک‌ها****<br>- پیش‌پرداخت قراردادها***** |

\* در حال حاضر در مرحله پایلوت ریال دیجیتال، تراکنش‌ها بدون کارمزد پردازش می‌شوند.

\*\* برای پرداخت و نقل و انتقالات عمومی بدون کارمزد است ولی برای کسب و کارها کارمزد در نظر گرفته است.

\*\*\* برای استفاده شخصی و پایه بدون کارمزد است؛ ولی با نوآوری در خدمات، بانک‌ها اجازه تعریف کارمزد دارند.

\*\*\*\* فین‌تک‌ها و برنامه‌های کاربردی پرداخت همچون Alipay و WeChat Pay که در چین متداول است.

\*\*\*\*\* پیش‌پرداخت برخی از قراردادها با توسعه قرارداد هوشمند برای نمونه پرداخت پیش‌خرید خودرو.

## ۷ نیازمندی پرداخت اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال

ریال دیجیتال دارای بستر فنی غیرمتمرکز هایپرلجر فبریک است که به نام بلاکچین برنا معرفی شده است [۱]. در این مقاله مزایا و محدودیت‌های بستر فنی ریال دیجیتال بررسی نمی‌شود و تنها به ارائه جزئیاتی برای انطباق زیرساخت



و بستر فعلی ریال دیجیتال به اینترنت اشیا پرداخته می‌شود. در مطالب بیان شده در این مقاله چالش‌های اینترنت اشیا و مزایای غیرمتمرکزی پرداخت اینترنت اشیا ذکر شده است که در این بخش سعی می‌شود مباحث انطباقی مورد نیاز پیشنهاد شود. در جدول ۲ نیازمندی‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال با ذکر اولویت اجرایی آن‌ها بیان شده است.

## جدول ۲

### نیازمندی‌های پیاده‌سازی اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال

| ردیف | نیازمندی                  | اولویت | توضیحات                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------|---------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | کیف پول شی<br>محور        | بالا   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کاربران در ریال دیجیتال امکان تعریف کیف پول متعدد دارند.</li> <li>- کاربران ریال دیجیتال امکان ایجاد کیف پول شی محور داشته باشد.</li> <li>- کیف پول شی محور کاربر باید قابلیت شارژ از و برداشت به کیف پول اصلی داشته باشد.</li> <li>- امکان استفاده از پارامتر WalletType در تعریف کیف پول شی محور کاربر در ریال دیجیتال وجود دارد [۱].</li> <li>- به‌صورت ایده‌آل توصیه می‌شود کیف پول شی محور قابلیت زیر کیف پول داشته باشد و به کاربر اختیار اختصاص کیف پول مجزا به هر دستگاه متصل داده شود.</li> </ul> |
| ۲    | دسترسی اشیا به<br>کیف پول | بالا   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- باید استاندارد دسترسی به کیف اشیا توسط دستگاه‌های متصل تعریف شود.</li> <li>- دستگاه‌های متصل، امضای مختص کیف پول شی محور را در اختیار داشته باشند.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| ۳    | سقف و تعداد<br>تراکنش     | متوسط  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کاربر به‌صورت برخط امکان مدیریت و تنظیم میزان و حجم تراکنش مجاز کیف پول شی محور دستگاه‌های متصل را داشته باشد.</li> <li>- مدیریت ریسک دارایی موجود در کیف پول شی محور باید برای کاربر تبیین شود.</li> <li>- تعریف پنل مدیریت کیف پول شی محور برای کنترل دارایی‌ها توسط کاربر</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                    |
| ۴    | کارمزد تراکنش             | بالا   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- سیاست کارمزدی ریال دیجیتال تا به این لحظه نامشخص است؛ ولی در حال حاضر کارمزدی دریافت نمی‌شود.</li> <li>- تدوین میزان کارمزد کیف پول شی محور باید به‌صورت بهینه و متفاوت از کیف پول اصلی کاربر باشد.</li> <li>- باتوجه به مطالب بیان شده در این مقاله باید میزان کارمزد تراکنش دستگاه‌های متصل به‌صورت حداقلی باشد.</li> </ul>                                                                                                                                                                              |
| ۵    | محدودیت عملیاتی           | متوسط  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نوع عملیات که از مبدأ کیف پول شی محور امکان‌پذیر است باید محدود باشد.</li> <li>- کیف پول شی محور امکان ایجاد تراکنش خرید در سقف و حجم مجاز تعریفی مالک کیف پول را دارد.</li> <li>- کیف پول شی محور فقط امکان ایجاد تراکنش برداشت به مقصد کیف پول اصلی کاربر را دارد.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                            |
| ۶    | مدیریت متمرکز             | پایین  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- برای تاب‌آوری بهتر زیرساخت ریال دیجیتال می‌توان شبکه و تراکنش‌های کیف پول‌های شی محور را به‌صورت متمرکز و بروز رسانی دوره‌ای طراحی کرد.</li> <li>- پیاده‌سازی متمرکز تراکنش‌های کیف پول شی محور امکان ایجاد تراکنش‌های دسته‌ای با هزینه کارمزد حداقلی را نیز فراهم خواهد کرد.</li> <li>- لزومی به تسویه آنی در پرداخت اینترنت اشیا وجود ندارد.</li> <li>- نیاز به پیاده‌سازی سیستم مدیریت کیف پول اینترنت اشیا در زیرساخت برنا است.</li> </ul>                                                             |
| ۷    | پرداخت آفلاین             | پایین  | تعریف سازوکار پرداخت آفلاین یک مزیت ممتاز در پرداخت اینترنت اشیا است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

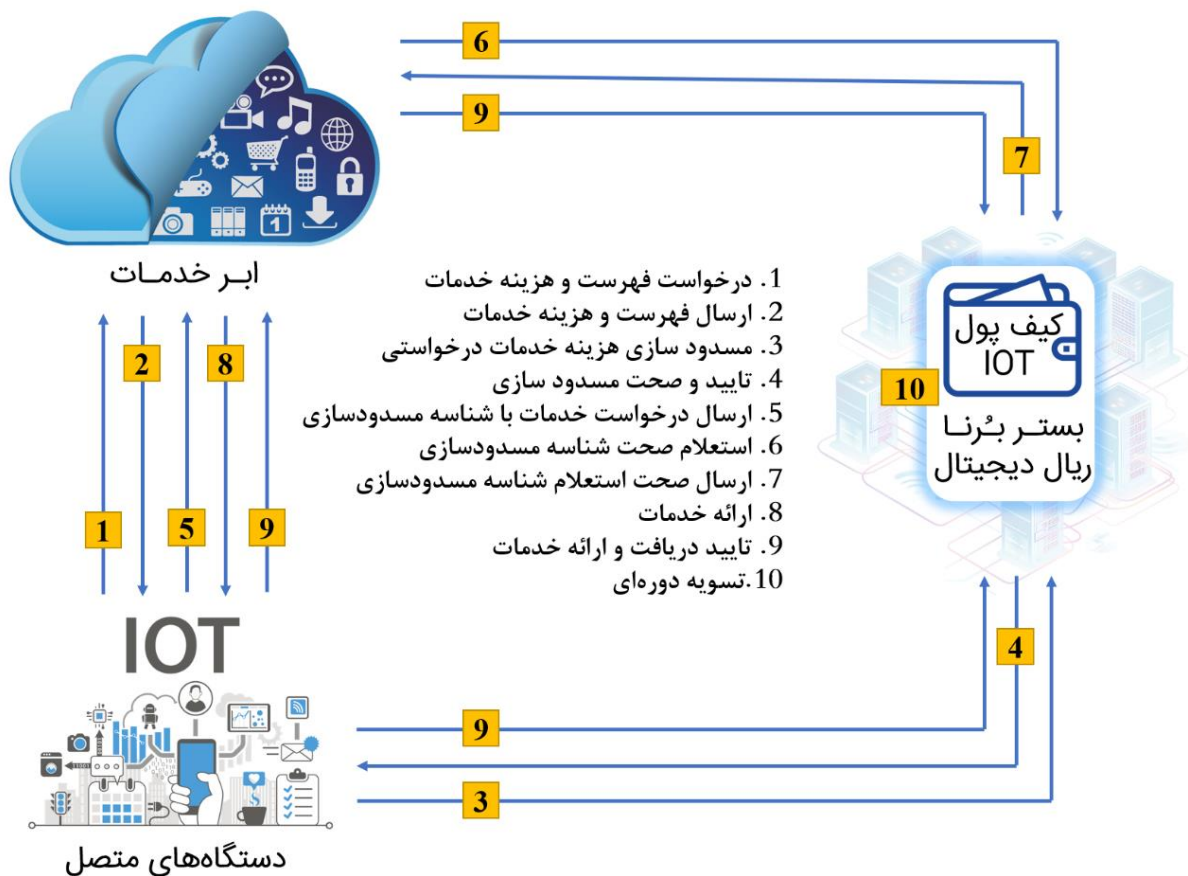
یادداشت. ستون «اولویت» میزان اهمیت نیازمندی را بیان می‌کند.



## ۸ معماری و جریان داده پیشنهادی پرداخت اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال

در شکل ۶ معماری و جریان پیشنهادی پرداخت اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال نشان داده شده است. جدیدترین گرایش‌های اینترنت اشیا به دنبال راه‌حلی است که توانایی رسیدگی به شرایط پرداخت پویا را داشته باشد که در معماری و جریان پیشنهادی در بستر ریال دیجیتال، پویایی پرداخت‌ها رعایت می‌شود. موجودیت‌های شکل ۶ به شرح زیر است:

- **دستگاه‌های متصل:** به هر شی‌ای که قابلیت برقراری ارتباط و انجام عملیات تعریف شده داشته باشد.
- **ابَر خدمات:** مجموعه‌ای از خدمات قابل ارائه توسط ارائه‌دهندگان مختلف که دریافت‌کنندگان به‌صورت جزئی یا کلی به آن نیاز دارند.
- **کیف پول IoT بستر برنا:** با توجه به قابلیت‌های متمایز پرداخت اینترنت اشیا، جریان داده‌ای معماری این مقاله، استقرار «کیف پول اشیا قابل برنامه‌ریزی» را در زیرساخت ریال دیجیتال پیشنهاد داده است.



شکل ۶. جریان معماری پیشنهادی پرداخت اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال

## ۱.۸ جریان داده معماری پیشنهادی

(۱) درخواست فهرست و هزینه خدمات

در جریان پیشنهادی، ابتدا دستگاه متصل ارائه‌کننده خدمت را شناسایی می‌کند. این شناسایی می‌تواند در بستر شبکه محلی، برچسب‌های RFID و یا اسکن محیطی کد QR با کمک پردازش تصویر باشد که در چارچوب این مقاله نیست. دستگاه متصل بعد از شناسایی خدمات‌دهنده درخواست ارسال مشخصات و هزینه‌های خدمات را از خدمات‌دهنده می‌کند.

#### (۲) ارسال فهرست و هزینه خدمات

ارائه‌کننده خدمات فهرست دقیق خدمات و هزینه را همراه با زمان انقضای آن به خدمات‌گیرنده ارسال می‌کند. ارائه‌دهنده خدمات نسبت به فهرست ارسالی و هزینه آن در بازه زمانی قبل از انقضا متعهد به ارائه آن خدمات با هزینه اعلامی است.

#### (۳) مسدودسازی هزینه خدمات درخواستی

دریافت‌کننده خدمات بعد از بررسی فهرست دریافتی، اقدام به انتخاب خدمات و میزان و حجم آن با هزینه مشخص می‌کند. سپس درخواست مسدودسازی هزینه خدمت را پیش از دریافت خدمت به زیرساخت اینترنت اشیا ریال دیجیتال ارسال می‌کند.

#### (۴) تأیید و صحت مسدودسازی

زیرساخت اینترنت اشیا ریال دیجیتال در صورت صحت تراکنش، تأیید مسدودسازی و شناسه آن را به دریافت‌کننده خدمات ارسال می‌کند.

#### (۵) ارسال درخواست خدمات با شناسه مسدودسازی

دریافت‌کننده خدمات، مشخصات خدمات موردنیاز را به همراه شناسه مسدودسازی هزینه خدمات به ارائه‌کننده خدمات ارسال می‌کند.

#### (۶) استعلام صحت شناسه مسدودسازی

ارائه‌کننده خدمات بعد از دریافت درخواست ارائه خدمات و تا زمان انقضای شناسه فهرست خدمات اقدام به استعلام شناسه مسدودسازی هزینه خدمت از زیرساخت اینترنت اشیا ریال دیجیتال می‌کند.

#### (۷) ارسال صحت استعلام شناسه مسدودسازی

زیرساخت اینترنت اشیا ریال دیجیتال با دریافت اطلاعات شناسه و توکن ارائه‌دهنده خدمات، اقدام به بررسی صحت و ارتباط طرفین خدمات می‌کند و در صورت صحت اطلاعات، تأیید صحت شناسه را به ارائه‌دهنده خدمت ارسال می‌کند.

#### (۸) ارائه خدمات

خدمات موردنیاز طبق درخواست‌های گام پنجم به خدمات‌گیرنده ارائه می‌شود.

#### (۹) تأیید دریافت و ارائه خدمات

خدمات‌گیرنده بعد از دریافت صحیح خدمات درخواستی، تأیید خدمات دریافتی را به زیرساخت اینترنت اشیا ریال دیجیتال و ارائه‌کننده خدمات ارسال می‌کند. ارائه‌کننده خدمات نیز تأیید ارائه خدمات را زیرساخت اینترنت اشیا ریال دیجیتال ارسال می‌کند.

## ۱۰) تسویه دوره‌ای

باتوجه به وجود زیرساخت کیف پول اینترنت اشیا در بستر ریال دیجیتال امکان تسویه معاملات ۲۴ ساعت گذشته یا هر بازه زمانی مجاز دیگر فراهم است. بعد از هر دوره از تسویه تراکنش‌ها در بلاکچین اصلی زیرساخت ریال دیجیتال ثبت می‌شوند.

## ۲.۸ مزایا و ملاحظات جریان معماری پیشنهادی

### ۱.۲.۸ مزایای بستر و جریان پیشنهادی برای پرداخت اینترنت اشیا

- بدون کارمزد بودن بستر ریال دیجیتال که یکی از نیازمندی‌های مهم پرداخت اینترنت اشیا است.
- پویا بودن قرارداد ارائه‌دهندگان خدمات در جریان معماری پیشنهادی که یکی از چالش‌های بیان شده در حوزه پرداخت اینترنت اشیا در بخش است.
- بستر ریال دیجیتال، به‌عنوان نخستین ارز دیجیتال بانک مرکزی با قابلیت پرداخت اینترنت اشیا در حوزه کاربردی پویا با حجم تراکنش بالا تعریف شده است.
- امکان ایجاد بستر پرداخت اینترنت اشیا بین‌المللی با همراهی ماهواره همد که به هدف ایجاد بستر بین‌المللی اینترنت اشیا در آبان ماه ۱۴۰۳ خورشیدی به فضا پرتاب شد.

### ۲.۲.۸ ملاحظات و محدودیت‌های جریان معماری پیشنهادی

- با مسدودسازی هزینه خدمت به‌صورت پس هزینه، مشکل عدم پرداخت هزینه خدمات بعد از دریافت خدمات برطرف می‌شود.
- اگر اعلام و تأیید شناسه مسدودسازی توسط ارائه‌کننده خدمات صورت نگیرد، بعد از بازه زمانی انقضای فهرست خدمات ارسالی در گام دوم، هزینه مسدود شده به‌صورت خودکار آزاد می‌شود.
- اگر اختلافی بین دریافت هزینه و خدمات وجود داشته باشد کمیته‌های تخصصی هر نوع خدمت به موضوع رسیدگی کرده و محدودیت‌هایی برای متخلفین در نظر گرفته خواهد شد.

## ۹ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

امروزه باوجود دستگاه‌های هوشمند متعدد و بسترهای ارتباطی پرسرعت امکان انکار کاربرد اینترنت اشیا دشوار است. همچنین باتوجه به تأثیرگذاری اینترنت اشیا در انقلاب صنعتی چهارم و جدایی‌ناپذیری مبحث پرداخت در این حوزه، باید بسترهای مناسب و بهینه اینترنت اشیا بررسی شود. در این مقاله ابتدا به ویژگی‌ها و چالش‌های اینترنت اشیا پرداخته شد که ناهمگونی داده‌ای و ابزاری جز مهم‌ترین آن‌ها بوده است. سپس مبحث پرداخت و نیازمندی‌های اینترنت اشیا و همچنین کاربردهای مقیاس کوچک و بزرگ اینترنت اشیا اعم از خانه هوشمند، شهرهای هوشمند، مراقبت بهداشتی هوشمند، کشاورزی هوشمند و غیره با بیان نمونه‌هایی از تحقیقات علمی بررسی شد. در بخش‌هایی از این مقاله در مورد کاربردها، مزایا و چالش‌های غیرمتمرکزسازی، بخصوص بلاک‌چین برای حوزه اینترنت اشیا بحث شد. بعد از تبیین موضوع اینترنت اشیا و غیرمتمرکزسازی به موضوع ارزهای دیجیتال بانک مرکزی پرداخته



شد که برخی از مشکلات حوزه پرداخت اینترنت اشیا را پوشش خواهد داد. با بیان رویکرد کارمزدی و کاربردی ارز دیجیتال بانک‌های مرکزی پیشرو، به بیان ریال دیجیتال به‌عنوان ارز دیجیتال بانک مرکزی ج.ا.ایران و معرفی ویژگی‌ها و معماری آن پرداخته شد. نتیجه مطالعات نشان داد که اکثر ارزهای دیجیتال بانک‌های مرکزی پیشرو در این حوزه در حال حاضر تصمیم به دریافت کارمزد برای تراکنش‌های این نوع جدید ارز دولتی ندارند که ویژگی متمایز برای پرداخت در اینترنت اشیا است. در بخش پایانی این مقاله نیازمندی‌ها، معماری و جریان داده‌ای پرداخت اینترنت اشیا برای ریال دیجیتال پیشنهاد شد که در ضمن استفاده از بستر بدون کارمزد ریال دیجیتال، جریان داده‌ای آن به نحوی است که پویایی قراردادها در ارائه خدمات به دستگاه‌های متصل به اینترنت اشیا رعایت شده است. همچنین حضور ماهواره همد در فضا به هدف ایجاد بستر بین‌المللی اینترنت اشیا می‌توان بستر پرداخت ریال دیجیتال را به هدف تعاملات بین‌المللی فراهم کرد. در آخر نیز ملاحظات مطرح شد که نیازمند بررسی بیشتر و باز شدن موضوعات مختلف در تحقیقات آینده است.

### فهرست منابع

- [۱] شرکت خدمات انفورماتیک، راهنمای فنی توسعه زیرساخت (backend) جهت اتصال به برنا (سرویس ریال دیجیتال)، نسخه ۱/۷، ۱۴ آبان ۱۴۰۲.
- [۲] بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، پیش‌نویس سند ریال دیجیتال، نسخه اول و دوم، ۱۴۰۱.
- [۳] شرکت خدمات انفورماتیک، راهنمای فنی عضویت بانک در زیرساخت بلاکچین برنا، نسخه خرداد ۱۴۰۲.
- [۴] پژوهشکده پولی و بانکی پول دیجیتال بانک مرکزی: مبانی نظری و تجارب، گزارش سیاستی، ۱۴۰۰.
- [5] Statista. Internet of Things (IoT) Connected Devices Installed Base Worldwide from 2015 to 2025. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/471264/iotnumber-of-connected-devices-worldwide/>
- [6] Juniper Research Ltd. (November 2019) DIGITAL COMMERCE Key Trends, Sectors & Forecasts 2019-2024, [Online]. Available: <https://www.juniperresearch.com/researchstore/fintech-payments/digital-commerce-platform-market-researchreport/subscription/key-trends-sectors-forecasts>
- [7] Y. Cao, T. Jiang, and Z. Han, A survey of emerging M2M systems: Context, task, and objective, IEEE Internet Things J., vol. 3, no. 6, pp. 1246-1258, Dec. 2016.
- [8] H. Hejazi, H. Rajab, T. Cinkler, and L. Lengyel, Survey of platforms for massive IoT, in Proc. IEEE Int. Conf. Future IoT Technol. (Future IoT), Jan. 2018, pp. 1-8.
- [9] K. Routh and T. Pal, A survey on technological, business and societal aspects of Internet of Things by Q3, 2017, in Proc. 3rd Int. Conf. Internet Things, Smart Innov. Usages (IoT-SIU), Feb. 2018, pp. 1-4.
- [10] S. Chaudhary, R. Johari, R. Bhatia, K. Gupta, and A. Bhatnagar, CRAIoT: Concept, review and application(s) of IoT, in Proc. 4th Int. Conf. Internet Things, Smart Innov. Usages (IoT-SIU), Apr. 2019, pp. 1-4.



- [11] J. M. Khurpade, D. Rao, and P. D. Sanghavi, A survey on IoT and 5G network, in Proc. Int. Conf. Smart City Emerg. Technol. (ICSCET), Jan. 2018, pp. 1–3.
- [12] A. Raj and S. Prakash, Internet of everything: A survey based on architecture, issues and challenges, in Proc. 5th IEEE Uttar Pradesh Sect. Int. Conf. Electr., Electron. Comput. Eng. (UPCON), Nov. 2018, pp. 1–6.
- [13] Z. Nezami and K. Zamanifar, Internet of Things/internet of everything: Structure and ingredients, IEEE Potentials, vol. 38, no. 2, pp. 12–17, Mar. 2019.
- [14] S. Higginbotham and M. Pesce, Internet of everything: Macro & micro, IEEE Spectr., vol. 58, no. 2, pp. 20–21, Dec. 2021.
- [15] E. S. Jung, 4th industrial revolution and boundry: Challenges and opportunities, in IEDM Tech. Dig., Dec. 2018, p. 1.
- [16] H. Jung, Practical approach and applications to the 4th industrial revolution, in Proc. Int. Conf. Knowl. Smart Technol., 2020, p.12.
- [17] System Group, 1401, [Online]. Available: <https://www.systemgroup.net/knowledge-network/what-is-industry-four/>
- [18] G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, A survey on 5G networks for the Internet of Things: Communication technologies and challenges, IEEE Access, vol. 6, pp. 3619–3647, 2018.
- [19] L. Chettri and R. Bera, A comprehensive survey on Internet of Things (IoT) toward 5G wireless systems, IEEE Internet Things J., vol. 7, no. 1, pp. 16–32, Jan. 2020.
- [20] F. Guo, F. R. Yu, H. Zhang, X. Li, H. Ji, and V. C. M. Leung, Enabling massive IoT toward 6G: A comprehensive survey, IEEE Internet Things J., vol. 8, no. 15, pp. 11891–11915, Aug. 2021.
- [21] T. M. Hewa, A. Kalla, A. Nag, M. E. Ylianttila, and M. Liyanage, Blockchain for 5G and IoT: Opportunities and challenges, in Proc. IEEE 8th Int. Conf. Commun. Netw. (ComNet), Oct. 2020, pp. 1–8.
- [22] Worldometer. World Population. Available: <https://www.worldometers.info/world-population/>
- [23] Statista. Internet of Things (IoT) and Non-IoT Active Device Connections Worldwide From 2010 to 2025. Available: <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-ofconnected-devices-worldwide/>
- [24] S. A. Goswami, B. P. Padhya, and K. D. Patel, Internet of Things: Applications, challenges and research issues, in Proc. 3rd Int. Conf. I-SMAC (IoT Social, Mobile, Anal. Cloud) (I-SMAC), Dec. 2019, pp. 47–50.
- [25] M. R. M. Kassim, IoT applications in smart agriculture: Issues and challenges, in Proc. IEEE Conf. Open Syst. (ICOS), Nov. 2020, pp. 19–24.
- [26] CISION. Internet of Things (IoT) Market Worth USD 1319.08 Billion, Globally, by 2026 at 25.68 Percent CAGR. Available: <https://cutt.ly/cbyrEvu>

- [27] H.-N. Dai, Z. Zheng, and Y. Zhang, Blockchain for Internet of Things: A survey, *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 5, pp. 8076–8094, Oct. 2019.
- [28] ETSI Executive Briefing—Mobile Edge Computing (MEC) Initiative, Eur. Telecommun. Standards Inst. (ETSI), 2014. [Online]. Available: <https://portal.etsi.org/portals/0/tbpages/mec/docs/mec%20executive%20brief%20v1%2028-09-14.pdf>
- [29] S. Wang, L. Ouyang, Y. Yuan, X. Ni, X. Han, and F.-Y. Wang, Blockchain-enabled smart contracts: Architecture, applications, and future trends, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. Syst.*, vol. 49, no. 11, pp. 2266–2277, Nov. 2019.
- [30] V. Y. Kemmoe, W. Stone, J. Kim, D. Kim, and J. Son, Recent advances in smart contracts: A technical overview and state of the art, *IEEE Access*, vol. 8, pp. 117782–117801, 2020.
- [31] F. A. Abadi, J. Ellul, and G. Azzopardi, The blockchain of things, beyond bitcoin: A systematic review, in *Proc. IEEE Int. Conf. Internet Things (iThings), IEEE Green Comput. Commun. (GreenCom), IEEE Cyber, Phys. Social Comput. (CPSCom), IEEE Smart Data (SmartData)*, Jul. 2018, pp. 1666–1672.
- [32] Hyperledger.org. What is Hyperledger? Available: <https://www.hyperledger.org/>
- [33] Hyperledger.org. Hyperledger Fabric. [Online]. Available: [https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2020/03/hyperledger\\_fabric\\_whitepaper.pdf](https://www.hyperledger.org/wp-content/uploads/2020/03/hyperledger_fabric_whitepaper.pdf)
- [34] S. S. Sabry, N. A. Qarabash, and H. S. Obaid, The road to the Internet of Things: A survey, in *Proc. 9th Annu. Inf. Technol., Electromechanical Eng. Microelectron. Conf. (IEMECON)*, Mar. 2019, pp. 290–296.
- [35] P. Urien, Blockchain IoT (BIoT): A new direction for solving Internet of Things security and trust issues, in *Proc. 3rd Cloudification Internet Things (CIoT)*, Jul. 2018, pp. 1–4.
- [36] D. Choudhary, Security challenges and countermeasures for the heterogeneity of IoT applications, *J. Auton. Intell.*, vol. 1, no. 2, pp. 16–22, 2019.
- [37] H. Rahman and M. I. Hussain, A comprehensive survey on semantic interoperability for Internet of Things: State-of-the-art and research challenges, *Trans. Emerg. Telecommun. Technol.*, vol. 31, no. 12, 2020, Art. no. e3902.
- [38] U. Khalil, A. Ahmad, A.-H. Abdel-Aty, M. Elhoseny, M. W. A. El-Soud, and F. Zeshan, Identification of trusted IoT devices for secure delegation, *Comput. Electr. Eng.*, vol. 90, Mar. 2021, Art. no. 106988.
- [39] L. Tawalbeh, F. Muheidat, M. Tawalbeh, and M. Quwaider, IoT privacy and security: Challenges and solutions, *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 12, p. 4102, Jun. 2020.
- [40] K. R. Ozyilmaz, M. Dogan, and A. Yurdakul, IDMoB: IoT data marketplace on blockchain, in *Proc. Crypto Valley Conf. Blockchain Technol. (CVCBT)*, Jun. 2018, pp. 11–19.
- [41] A. Ensor, S. Schefer-Wenzl, and I. Miladinovic, Blockchains for IoT payments: A survey, in *Proc. IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, Dec. 2018, pp. 1–6.
- [42] Datum.org. Blockchain Data Storage and Monetization. [Online]. Available: <https://datum.org/>

- [43] D. Georgakopoulos, P. P. Jayaraman, and A. Dawod, SenShaMart: A trusted IoT marketplace for sensor sharing, in Proc. IEEE 6th Int. Conf. Collaboration Internet Comput. (CIC), Dec. 2020, pp. 8–17.
- [44] G. S. Ramachandran, R. Radhakrishnan, and B. Krishnamachari, Towards a decentralized data marketplace for smart cities, in Proc. IEEE Int. Smart Cities Conf. (ISC), Sep. 2018, pp. 1–8.
- [45] Visa. Cashless Cities. [Online]. Available: <https://usa.visa.com/dam/VCOM/global/visa-everywhere/documents/visa-cashless-cities-report.pdf>
- [46] J. Xie, F. R. Yu, T. Huang, R. Xie, J. Liu, and Y. Liu, A survey on the scalability of blockchain systems, IEEE Netw., vol. 33, no. 5, pp. 166–173, Sep. 2019.
- [47] M. B. Mollah, J. Zhao, D. Niyato, Y. L. Guan, C. Yuen, S. Sun, K.-Y. Lam, and L. H. Koh, Blockchain for the internet of vehicles towards intelligent transportation systems: A survey, IEEE Internet Things J., vol. 8, no. 6, pp. 4157–4185, Mar. 2021.
- [48] P. K. Lahiri, D. Das, W. Mansoor, S. Banerjee, and P. Chatterjee, A trustworthy blockchain based framework for impregnable IoV in edge computing, in Proc. IEEE 17th Int. Conf. Mobile Ad Hoc Sensor Syst. (MASS), Dec. 2020, pp. 26–31.
- [49] Vox. Amazon's Cashierless Go Stores Could be a USD 4 Billion Business by 2021, New Research Suggests. [Online]. Available: <https://www.vox.com/2019/1/4/18166934/amazon-go-storesrevenue-estimates-cashierless>
- [50] E. S. Kang, S. J. Pee, J. G. Song, and J. W. Jang, A blockchain-based energy trading platform for smart Homes in a microgrid, in Proc. 3rd Int. Conf. Comput. Commun. Syst. (ICCCS), Apr. 2018, pp. 472–476.
- [51] I. Colak, R. Bayindir, and S. Sagioglu, The effects of the smart grid system on the national grids, in Proc. 8th Int. Conf. Smart Grid (icSmartGrid), Jun. 2020, pp. 122–126.
- [52] T. Ha, D. Lee, C. Lee, and S. Cho, VCG auction mechanism based on block chain in smart grid, in Proc. Int. Conf. Inf. Netw. (ICOIN), Jan. 2021, pp. 465–468.
- [53] X. Yang, M. Li, H. Yu, M. Wang, D. Xu, and C. Sun, A trusted blockchain-based traceability system for fruit and vegetable agricultural products, IEEE Access, vol. 9, pp. 36282–36293, 2021.
- [54] M. Ur Rahman, F. Baiardi, and L. Ricci, Blockchain smart contract for scalable data sharing in IoT: A case study of smart agriculture, in Proc. IEEE Global Conf. Artif. Intell. Internet Things (GCAIoT), Dec. 2020, pp. 1–7.
- [55] A. Kumar, R. Krishnamurthi, A. Nayyar, K. Sharma, V. Grover, and E. Hossain, A novel smart healthcare design, simulation, and implementation using healthcare 4.0 processes, IEEE Access, vol. 8, pp. 118433–118471, 2020.
- [56] N. Kumar S. and M. Dakshayini, Secure sharing of health data using hyperledger fabric based on blockchain technology, in Proc. Int. Conf. Mainstreaming Block Chain Implement. (ICOMBI), Feb. 2020, pp. 1–5.

- [57] A. S. Sangeetha, S. Shunmugan, and G. Murugan, Blockchain for IoT enabled supply chain management—A systematic review, in Proc. 4th Int. Conf. I-SMAC (IoT Social, Mobile, Anal. Cloud) (I-SMAC), Oct. 2020, pp. 48–52.
- [58] J. Li, A. Grintsvayg, J. Kauffman, and C. Fleming, LBRY: A blockchainbased decentralized digital content marketplace, in Proc. IEEE Int. Conf. Decentralized Appl. Infrastructures (DAPPS), Aug. 2020, pp. 42–51.
- [59] M. Zeilinger, Digital art as ‘Monetised graphics’: Enforcing intellectual property on the blockchain, *Philosophy Technol.*, vol. 31, no. 1, pp. 15–41, Mar. 2018.
- [60] R. M. Haris and S. Al-Maadeed, Integrating blockchain technology in 5G enabled IoT: A review, in Proc. IEEE Int. Conf. Informat., IoT, Enabling Technol. (ICIOT), Feb. 2020, pp. 367–371.
- [61] A. Said, The economic impact of digital fiat currency (DFC): Opportunities and challenges, in Proc. 2nd Eur. Middle East, North African Regional Conf. Int. Telecommun. Soc. (ITS), 2019, pp. 1–12. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10419/201744>
- [62] S. El-Hage and G. Holst, Micropayments between IoT devices: A qualitative study analyzing the usability of DLT: s in an IoT environment, KTH Roy. Inst. Technol., Stockholm, Sweden, Tech. Rep., 2018. [Online]. Available: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1272048/FULLTEXT01.pdf>
- [63] M. Zouina and B. Outtai, Towards a distributed token based payment system using blockchain technology, in Proc. Int. Conf. Adv. Commun. Technol. Netw. (CommNet), Apr. 2019, pp. 1–10.
- [64] Iota.org. IOTA Foundation. [Online]. Available: <https://www.iota.org/get-started/what-is-iota>
- [65] Spaceomid co. [Online]. Available: <https://www.spaceomid.com/hodhod>