

## امن‌سازی رایانش مرزی از طریق زنجیره بلوکی

سعید کاظم پوریان<sup>۱</sup>  
محمد شهبازی<sup>۱</sup>  
محمد رضا تقوا<sup>۲</sup>

### چکیده

فناوری‌های دفتر کل توزیع شده اخیراً توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و زنجیره بلوکی، به‌منزله فناوری زیربنایی رمزرها، کانون این توجهات است. از زنجیره بلوکی در حوزه‌های گوناگونی استفاده شده است، از جمله رایانش ابری، رایانش مهواره‌ای، رایانش مرزی و اینترنت اشیا (IoT). با این حال، این فناوری با محدودیت‌هایی مواجه است و قابلیت پشتیبانی از تراکشن‌های مکرر را ندارد. از سوی دیگر، پس از رایانش ابری و رایانش مهواره‌ای، رایانش مرزی نیز به‌منزله توانمندساز کلیدی برای بسیاری از فناوری‌های آتی مانند 5G، اینترنت اشیا و ارتباطات و سائط نقلیه با یکدیگر از راه اتصال منابع و همچنین خدمات رایانش ابری به کاربران نهایی ایفای نقش می‌کند و این منابع و خدمات را تا مرز شبکه گسترش می‌دهد. اما این فناوری اکنون با چالش‌هایی در حوزه مدیریت نامتمرکز و امنیت روبه‌روست. ترکیب زنجیره بلوکی و رایانش مرزی در قالب یک سیستم دسترسی و کنترل مطمئن شبکه، ذخیره‌سازی و محاسبات توزیع شده در مرزهای شبکه و در نتیجه، مقیاس بزرگی از سرورهای شبکه، فضای ذخیره‌سازی داده‌ها و محاسبه اعتبار را در نزدیکی مرز شبکه و از راهی امن فراهم می‌آورد. با وجود مزایای سیستم‌های حاصل از یک‌پارچه‌سازی زنجیره بلوکی و رایانش مرزی، پیش از پیاده‌سازی گسترده باید ارتقای مقیاس‌پذیری، خودسازمان‌دهی، مدیریت منابع، یک‌پارچگی کارکردها و مسائل امنیتی آن‌ها مدنظر قرار گیرد. در این مقاله، برخی از پژوهش‌های صورت‌گرفته در حوزه سیستم یک‌پارچه متشکل از زنجیره بلوکی و رایانش مرزی بررسی می‌شود. همچنین، برخی جنبه‌های حیاتی یک‌پارچه‌سازی زنجیره بلوکی و رایانش مرزی شناسایی می‌شود. در نهایت، تأثیرات این یک‌پارچه‌سازی در کسب‌وکار بررسی خواهد شد.

واژگان کلیدی: رایانش مرزی، زنجیره بلوکی، رایانش مهواره‌ای، اینترنت اشیا، امنیت داده‌ها

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳

## مقدمه

واقعیت مجازی، پایش بلادرنگ ترافیک، خانه هوشمند، پایش هوشمند دریا و تحلیل داده‌ها. این کاربردها در شکل ۱ نشان داده شده است.

دستگاه‌های مرزی مانند مسیریاب‌ها، نقاط دسترسی<sup>۱۰</sup> و ایستگاه‌های پایه،<sup>۱۱</sup> میزبانی خدمات گوناگونی مانند QoS<sup>۱۲</sup> و VPN<sup>۱۳</sup> و VoIP<sup>۱۴</sup> را برعهده دارند (Zhang et al., 2019). این دستگاه‌های مرزی به‌منزله پلی عمل می‌کنند که ارتباط میان دستگاه‌های سیار هوشمند را با ابر برقرار می‌کنند. برخی پژوهش‌ها جنبه‌های متعدد رایانش مرزی مانند رایانش مهواره‌ای<sup>۱۵</sup> را بررسی کرده‌اند (Yi et al., 2015; Vaquero and Rodero-Merino, 2014; Stojmenovic and Wen, 2014; Bonomi et al., 2014; Ahmed et al., 2017; 2012)، درحالی‌که پژوهش‌چندانی در حوزه رایانش مرزی انجام نشده است.

اگرچه رایانش مرزی با فراهم‌ساختن مزایای فوق، سیستم‌های رایانش ابری را متحول کرده است، اما این موضوع چالش‌های گوناگونی را نیز به همراه داشته است (Kahn et al., 2019). امنیت و حریم خصوصی در رایانش مرزی چالش‌های مهمی هستند، زیرا گره‌های<sup>۱۶</sup> مرزی متفاوت و ناهمگونی در آن شرکت دارند و مهاجرت خدمات در سرتاسر گره‌های مرزی انجام می‌شود (Yu et al., 2017).

بنابراین یک پارچه‌سازی زنجیره بلوکی و رایانش مرزی در قالب یک سیستم کانون توجهات قرار می‌گیرد. با ترکیب زنجیره بلوکی و شبکه رایانش مرزی، سیستم حاصل شده امکان دسترسی و کنترل مطمئن شبکه و ذخیره‌سازی و محاسبات بر روی تعداد زیادی از گروه‌های مرزی توزیع‌شده را فراهم می‌آورد؛ در نتیجه امنیت شبکه، یک‌پارچگی داده‌ها و اعتبار محاسبات سیستم بهبود چشمگیری می‌یابد. همچنین به‌کارگیری رایانش مرزی منابع محاسباتی و ذخیره‌سازی بسیاری را به‌صورت توزیع‌شده در مرز شبکه فراهم می‌کند و بار ذخیره‌سازی در زنجیره بلوکی و محاسبات کاوشی را در دستگاه‌هایی که قدرت محدود دارند کاهش می‌دهد. افزون بر این، ذخیره‌سازی و محاسبه خارج از زنجیره<sup>۱۷</sup> در دستگاه‌های مرزی ذخیره‌سازی و محاسبه مقیاس‌پذیر بر روی زنجیره بلوکی را ممکن می‌کند (Liu et al., 2017).

تحقیقات متعددی در حوزه ترکیب رایانش مرزی با زنجیره

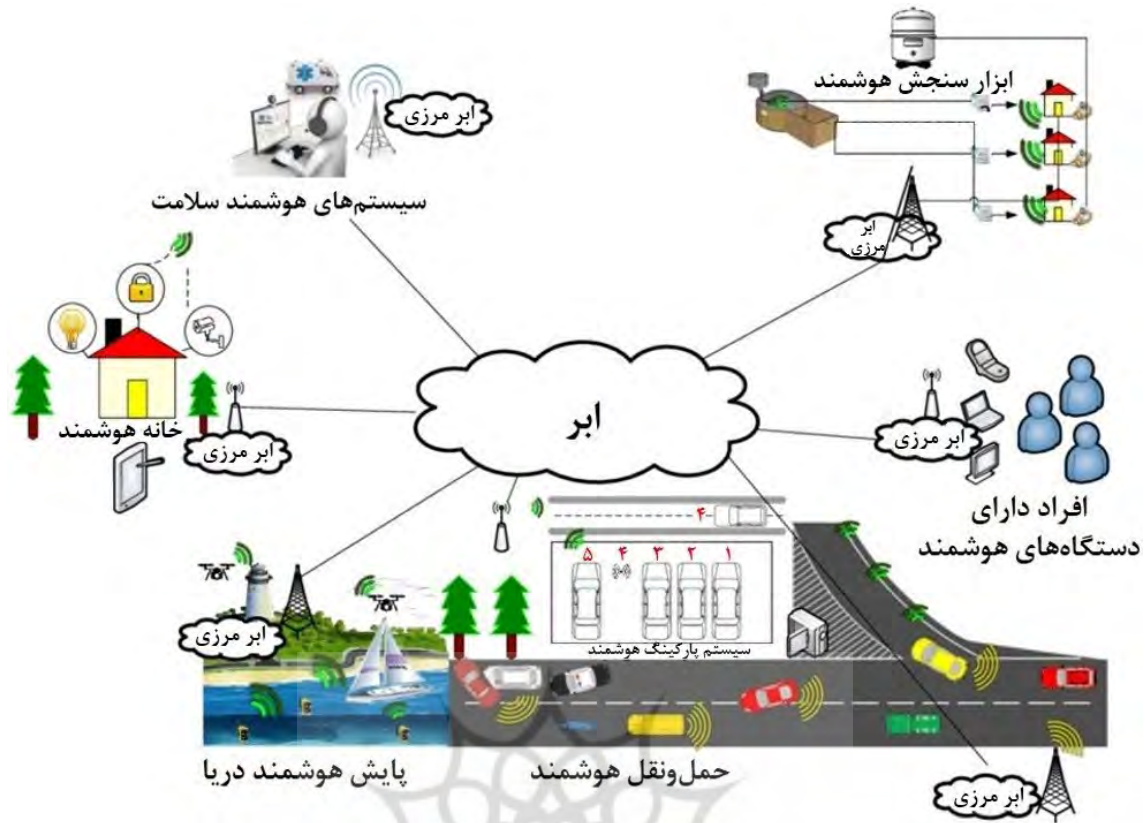
زنجیره بلوکی<sup>۱</sup> که به‌منزله فناوری زیربنایی رمز ارز دیجیتال ظهور کرد، اخیراً توجه بسیاری را به خود جلب کرده است (Tomaso et al., 2017). بنابر گزارش شرکت هوش بازار تراکتیکا<sup>۲</sup> درآمد سالانه استفاده بنگاه‌ها از زنجیره بلوکی تا سال ۲۰۲۵، به ۱۹/۹ میلیارد دلار خواهد رسید و بازار از ۲۹ مورد استفاده کلیدی تشکیل خواهد شد که دست‌کم در ۱۹ بخش صنعتی گوناگون تأثیر خواهند گذاشت (Yang et al., 2019).

زنجیره بلوکی، با رویکردی متفاوت با دفتر کل<sup>۳</sup> دیجیتال متمرکز، از اعتبارسنجی انجمنی جهت همگام‌سازی دفاتر کل توزیع‌شده نزد چندین کاربر بهره می‌گیرد. برخورد با مشکل هزینه‌های دوگانه<sup>۴</sup> اولین بار با بیت‌کوین<sup>۵</sup> مطرح شد (Floriano and Bjorn, 2016). زنجیره بلوکی، فراتر از طراحی و کاربرد اصیل خود، به فناوری بنیادینی تبدیل شده است که باعث تغییر پارادایم از کنترل متمرکز به کنترل نامتمرکز می‌شود. از منظر فناوری اطلاعات و ارتباطات، مالکیت دارایی‌ها و حقوق تکالیف ناشی از توافقنامه‌ها روی یک زنجیره بلوکی (به علت فقدان تمرکز، شفافیت، امنیت، تغییرناپذیری و خودکاربودن آن) ثبت می‌شوند، اما همچنان نقصی اساسی مانع تحقق این کاربردها می‌شود و آن مقیاس‌پذیری است. درحال حاضر، زنجیره بلوکی مقیاس‌پذیری محدودی دارد (Vukolic, 2015).

از سوی دیگر، پیشرفت سریع در فناوری‌های رایانشی، طیف گسترده‌ای از موارد کاربردی را ممکن ساخته است. رایانش مرزی<sup>۶</sup> در حکم فناوری بسط‌یافته از ابر در این حوزه معرفی شده است (Satyanarayanan, 2017). الگوی رایانش مرزی امکان پردازش سریع، تأخیر کمتر در زمان پاسخ برنامه کاربردی، توزیع جغرافیایی، سیاربودن، نزدیکی، ناهمگونی<sup>۸</sup> آگاهی از زمینه<sup>۹</sup> و آگاهی از مکان را فراهم می‌سازد. این الگو نیازهای دیجیتالی کردن صنعت در ارتباط چابک، خدمات بلادرنگ، بهینه‌سازی داده‌ها و هوش کاربردی را نیز برآورده می‌کند (Novo, 2018). این ویژگی‌ها رایانش مرزی را برای کاربردهای گوناگون در آینده مناسب می‌سازند؛ کاربردهایی مانند خودکارسازی صنعتی،

1. Blockchain
2. Cryptocurrency
3. Tractica
4. Ledger
5. Double-spending
6. Bitcoin
7. Edge Computing
8. Heterogeneity
9. Context-Awareness

10. Access Point
11. Base Station
12. Quality of Service
13. Virtual Private Network
14. Voice over IP
15. Fog Computing
16. Node
17. Off-Chain



شکل ۱: کاربردهای رایانش مرزی (Khan et al., 2019)

### ۱-۱. لایه های زنجیره بلوکی

برای داشتن درکی بهتر و شفاف تر از این که در حوزه های فنی و عملکردی چه بهبودهایی حاصل شده است، براساس مطالعات گوناگون (Croman et al., 2016; Yu et al., 2018; 2019)، ساختاری از سیستم زنجیره بلوکی در لایه های جداگانه معرفی شده است که از پایین به بالا، لایه های داده ها، شبکه، اجماع، توپولوژی دفتر کل، مشوق،<sup>۲</sup> قرارداد و کاربرد را دربر می گیرد (شکل ۲).

لایه داده ها، داده هایی را که برنامه های گوناگون تولید کرده اند از راه تراکنش ها و بلوک ها بسته بندی می کند. تراکنش های میان دو طرف بررسی و تأیید می شوند و در قالب یک بسته با سرآیندی<sup>۳</sup> متصل به بلوک قبلی قرار می گیرند که به فهرست مرتبی از بلوک ها منجر می شوند. سرآیند بلوک فراداده ها را مشخص می کند که دربرگیرنده این بخش هاست: هش بلوک قبلی، هش بلوک فعلی، برچسب زمان ساخته شدن بلوک، مقدار تصادفی<sup>۴</sup> مرتبط با رقابت

بلوکی انجام شده و چارچوب های متفاوتی برای این کار ارائه شده است که بسیاری از آن ها در این پژوهش لحاظ شده اند. با وجود این، تاکنون مطالعه ای مروری بر این تحقیقات صورت نگرفته است. در این پژوهش، علاوه بر معرفی و شرح فناوری های زنجیره بلوکی و رایانش مرزی، چارچوب های مطرح شده در این حوزه معرفی می شود و روش ها و مزایا از نظر کاربرد با یکدیگر مقایسه می شوند.

### ۱. زنجیره بلوکی

زنجیره بلوکی دفتر کل دیجیتال و نامتمرکز در شبکه نقطه به نقطه (P2P) است و هر شرکت نسخه ای از دفتر کل صرفاً افزودنی تراکنش های امضا شده و رمز شده دیجیتالی را نگهداری می کند. اگرچه زنجیره بلوکی از فناوری های ابتدایی نشئت گرفته، محبوبیت بسیاری را از راه بیت کوین به دست آورده است. بیت کوین سیستم پرداخت الکترونیکی است که آغاز به کار آن به سال ۲۰۰۸ بازمی گردد (Nakamoto, 2008). همان طور که درک افراد از زنجیره بلوکی به تدریج عمیق تر می شود، قلمرو و کاربردهای این فناوری نیز گسترش می یابد.

1. Consensus

2. Incentive

3. Header

4. Nonce



شکل ۲: لایه‌های زنجیره بلوکی (Yang et al., 2019)

شده است: اثبات کار (PoW) (Nakamoto, 2008)<sup>۳</sup>، اثبات سهم (PoS) (Buterin, 2014; Seijas et al., 2016)<sup>۴</sup> و تحمل خطای بی‌زانس کاربردی (PBFT) (Cachin, 2016)<sup>۵</sup>. در رقابت برای افزودن بلوک‌ها به زنجیره بلوکی بیت‌کوین با هدف کسب جایزه، برای هر رقیب (کاوشگران)<sup>۶</sup> PoW ضروری است. آن‌ها باید توابع هش را مکرر اجرا کنند تا مقداری تصادفی بیابند که تولیدش دشوار، اما اعتبارسنجی‌اش برای دیگران آسان باشد. منابع محاسباتی لازم برای PoW، باعث ممانعت از حملات گره‌های خرابکار می‌شود، زیرا قدرت محاسباتی آن‌ها در مقایسه با قدرت محاسباتی کلی شبکه محدود است (کمتر از ۵۱٪). در PoS

کاوش<sup>۱</sup> در لایه بالاتر و ریشه مرکب<sup>۲</sup> نشئت‌گرفته از درخت هش تمامی تراکنش‌ها در بدنه بلوک (Yang et al., 2019).

لایه شبکه، سازوکار شبکه‌سازی استفاده‌شده در زنجیره بلوکی را تعریف می‌کند. هدف این لایه انتشار داده‌های تولیدشده در لایه داده‌هاست. شبکه به‌صورت کلی در قالب شبکه P2P مدل‌سازی می‌شود که در آن نقطه‌ها شرکت‌کننده‌ها هستند. با استفاده از سازوکار شبکه‌سازی، زمانی که تراکنشی انجام شود در سطح همسایه‌ها توزیع می‌شود، فقط تراکنش‌های معتبر ارسال خواهند شد.

لایه اجماع شامل الگوریتم اجماع به‌منظور رسیدن به اجماعی میان گره‌های نامطمئن در محیط‌های نامتمرکز است. در سیستم‌های موجود، سه سازوکار عمده برای اجماع در نظر گرفته

3. Proof-of-Work

4. Proof-of-Stake

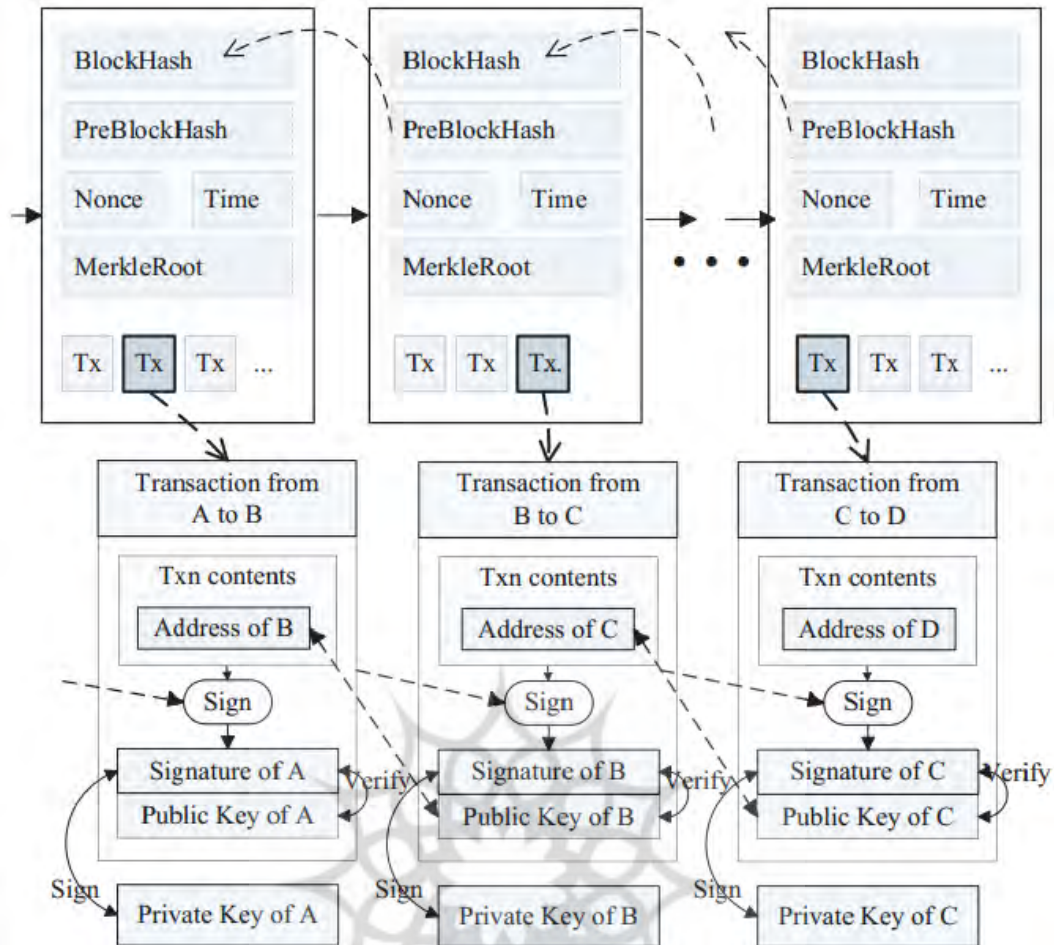
5. Practical Byzantine Fault Tolerance

6. Miners

1. Mining Competition

2. Merkle Root





شکل ۳: مدل زنجیره بلوکی بیت کوین (Yang et al., 2019)

باید توجه شود که به منظور بهبود مقیاس پذیری تولید شدند. برای مثال، زنجیره‌های جانبی، که به منزلهٔ سلسله مراتبی از نمونه‌های اجماع رده پایین ارائه شدند (Back et al., 2014)، ممکن است به نسبت زنجیره سطح بالا به صورت بالقوه درجهٔ پایین تری از فقدان تمرکز داشته باشند و امکان جابه‌جایی وجوه میان زنجیره‌ها را از راه تراکنش‌ها فراهم سازند. تراکنش خارج از زنجیره این امکان را فراهم می‌سازد که فعالیت‌ها روی زنجیره بلوکی حادث نشوند. برای مثال، شبکهٔ صاعقه (Poon and Dryja, 2016)، کانال‌های ریزپرداختی<sup>۲</sup> را با هدف ارسال تراکنش‌ها ارائه می‌کند که انتقال مقدار آن‌ها خارج از زنجیره بلوکی به وقوع می‌پیوندد. زنجیره‌های پلاسما<sup>۳</sup> (Poon and Buterin, 2017)، که در سلسله مراتبی از درخت قرار می‌گیرند، برای تقویت زنجیره‌های فرزند به منظور به حداکثر رساندن کارایی کم هزینه و محاسبه تراکنش‌ها در پایان روز از اثبات مرکلی استفاده می‌کنند.

استفاده شده در اتریوم<sup>۱</sup> (King and Nadal, 2012)، هدف هش به ازای سن هر سکه است که به سادگی به منزلهٔ مقدار ارزی تعریف می‌شود که دوره نگه‌داری را مشخص می‌کند؛ بنابراین زنجیره بلوکی، با داشتن بالاترین سن کلی مصرفی سکه، در حکم زنجیره اصلی در نظر می‌شود. این کار باعث برطرف شدن مصرف بالای انرژی در PoW می‌شود، اما با بالا بردن هزینه کنترل یک سهم درخور ملاحظه از حملات جلوگیری می‌کند. PBFT متفاوت است با PoW و PoS که در زنجیره بلوکی عمومی به کار گرفته می‌شوند و فرض بر این دارد که کمتر از یک سوم گره‌ها خطا دارند و بقیه به درستی عمل می‌کنند (Yang et al., 2019).

لایهٔ توپولوژی دفتر کل، توپولوژی دفتر کل را برای ذخیره داده‌هایی که لایهٔ اجماع احراز هویت و تولید کرده تعریف می‌کند. این لایه شامل زنجیره‌ای از بلوک‌هاست که دفتر کل سیستم و برخی حالت‌های دیگری که لایهٔ اجماع تولید کرده را ذخیره می‌کنند. فراتر از ساختار سنتی زنجیره بلوکی (زنجیره اصلی)، که در شکل ۳ نشان داده شده است، به برخی توپولوژی‌های جدیدی

2. Micropayment

3. Plasma

1. Ethereum

دفتر کل توزیع شده دسترسی داشته باشند. شبکه‌های زنجیره بلوکی عمومی کاملاً باز و توزیع شده‌اند و همه می‌توانند آزادانه به آن‌ها بپیوندند یا آن را ترک کنند. بنابراین، این سیستم تحت تأثیر گره‌های شناخته شده و ناشناس عمل می‌کنند. زنجیره‌های بلوکی مجوزدار ترکیبی از زنجیره‌های بلوکی خصوصی و عمومی‌اند و بخش‌های بسیاری را ترکیب می‌کنند و گره‌های اصلی از آغاز با دقت بالایی انتخاب می‌شوند. زنجیره‌های بلوکی مجوزدار برای سیستم‌های نیمه بسته‌ای مناسب‌اند که از بنگاه‌های کمی تشکیل می‌شوند و اغلب در قالب کنسرسیوم سازمان‌دهی می‌شوند (Viriyasitavata and Hoonsopon, 2018)؛

۲-۲-۱. تمرکز و فقدان تمرکز: در پایگاه داده‌های سنتی، تراکنش‌ها ذاتاً مطمئن‌اند یا اعتبارشان با واسطه‌های مرکزی مطمئن تأیید می‌شود. این کار هنگام استفاده از سرورهای مرکزی، باعث بروز هزینه‌های اضافی شده، عملکرد به مسئله‌ای بزرگ تبدیل می‌شود. فناوری زنجیره بلوکی برای مشکلات مدیریت تراکنش توزیع شده راهکاری امیدوارکننده است (Dinh et al., 2017) که در میان نقاط شبکه P2P برقرار می‌شود. تمامی انواع زنجیره‌های بلوکی (عمومی، خصوصی، مجوزدار) شامل درجات گوناگونی از عدم تمرکزند که باعث کاهش نقطه واحد شکست و همچنین کاهش یک‌پارچگی داده‌ها می‌شود؛

۳-۲-۱. پایداری: تراکنش‌های ثبت شده در دفتر کل زنجیره بلوکی، پایدار در نظر گرفته می‌شوند؛ زیرا در سرتاسر شبکه منتشر می‌شوند و هر گره، سوابق خود را نگهداری و کنترل می‌کند. تازمانی که اکثر گره‌ها خوش‌خیم<sup>۲</sup> باشند، پایداری به صورت مداوم حفظ می‌شود. برخی ویژگی‌ها مانند شفافیت و تغییرناپذیربودن از این مشخصه مشتق می‌شوند. این شفافیت و تغییرناپذیربودن بدین معناست که زنجیره‌های بلوکی قابلیت تمیزی شدن دارند (Hammerschmidt, 2018)؛

۴-۲-۱. اعتبار: برخلاف برخی سیستم‌های توزیع شده، زنجیره‌های بلوکی مستلزم اجرای همه گره‌ها نیستند. تراکنش‌ها یا بلوک‌هایی که در سیستم‌های زنجیره بلوکی منتشر شده‌اند با سایر گره‌ها اعتبارسنجی خواهند شد؛ بنابراین هرگونه تحریف به آسانی تشخیص داده خواهد شد. این سیستم شامل سه نقش اصلی است (Correia et al., 2011)؛

الف) پیشنهاددهندگان که مقداری را پیشنهاد می‌کنند؛

ب) پذیرندگان که اعتبارسنجی می‌کنند و تصمیم می‌گیرند که کدام مقدار اتخاذ شود؛

ج) یادگیرندگان که مقدار انتخاب شده را می‌پذیرند.

۵-۲-۱. گمنامی و هویت: گمنامی مشخصه اصلی زنجیره‌های بلوکی عمومی است. هویت در این سیستم می‌تواند با هویت

لایه مشوق، مشوق‌های اقتصادی را به منظور انگیزش گره‌ها و کمک به تلاش آن‌ها برای بررسی و تصدیق داده‌ها یک‌پارچه می‌سازد. حفظ سیستم نامتمرکز زنجیره بلوکی بدون هویت متمرکزی که در قالب یک کل عمل کند حیاتی است. در بیت‌کوین و اتریوم، بیت‌کوین‌ها و اترها به مثابه جوایز به گره‌هایی اعطا خواهند شد که بلوک‌ها را به زنجیره می‌افزایند (Teutsch and Reitwießner, 2019) و برای امن‌سازی محاسبات برون‌سپاری شده نیز جریمه‌هایی در نظر گرفته می‌شود.

لایه قرارداد ویژگی‌هایی را که قابلیت برنامه‌نویسی دارند برای زنجیره بلوکی به ارمغان می‌آورد. نوشتن قطعه‌کدها در بیت‌کوین، روش‌های متنوعی را برای خرج کردن سکه‌ها فراهم می‌سازد. ورودی‌های هر تراکنش، اساساً به خروجی قبلی متصل می‌شود و این اتصال زمانی معتبر است که قطعه‌کد خروجی با توجه به امضایی که ورودی ارائه کرده، صحیح باشد (Romano and Schmid, 2017). در اتریوم، قرارداد هوشمند در حکم قابلیت برنامه‌نویسی قدرتمند، گروهی از قوانین حالت - پاسخ است که دارایی‌های دیجیتال را به صورت خودکار میان کاربران انتقال می‌دهد.

بالاترین لایه در زنجیره بلوکی لایه کاربرد است و شامل رمز ارز، اینترنت اشیا، شهرهای هوشمند و مواردی است که حوزه‌های بسیاری مانند مالی، مدیریت و کارخانه‌ها را متحول می‌کنند. باین‌حال، زنجیره بلوکی هنوز در مراحل ابتدایی است و محیط‌های دانشگاهی و صنعتی برای تعمق در این فناوری (از منظر فناوری اطلاعات و ارتباطات) با هدف پشتیبانی از این کاربردها تلاش می‌کنند (Dai et al., 2019).

## ۲-۱. ویژگی‌های زنجیره بلوکی

عوامل متعددی سیستم‌های زنجیره بلوکی را متمایز می‌سازند. در این بخش، مشخصات مهم آن‌ها از لحاظ استقرار، پیاده‌سازی و ویژگی‌ها بیان می‌شود:

۱-۲-۱. زنجیره بلوکی خصوصی، عمومی و مجوزدار: تمایز میان این زنجیره‌های بلوکی، در طرح تسهیم دفتر کل و افراد مجاز برای شرکت در یک سیستم است (Buterin, 2014). در زنجیره بلوکی خصوصی، دفاتر کل به صورت داخلی به اشتراک گذاشته می‌شوند و گروهی از گره‌های از پیش تعریف شده آن را اعتبارسنجی می‌کنند. این سیستم مستلزم راه‌اندازی یا اعتبارسنجی گره‌هایی است که می‌خواهند بخشی از سیستم باشند. گره‌های مجاز مسئول نگهداری اجماع‌اند. زنجیره‌های بلوکی خصوصی برای سیستم‌های بسته مناسب است که در آن‌ها تمامی گره‌ها کاملاً مطمئن‌اند. از سوی دیگر، زنجیره‌های بلوکی عمومی مانند بیت‌کوین، اتریوم و سایر موارد مشابه، به همه اجازه می‌دهند که با مجوزهایی برای اعتبارسنجی یک‌پارچگی دفتر کل با اجرای سازوکار اجماع، به

برای تراکنش‌های B2B شامل مزایایی مانند کاهش مخاطره سایبری، کاهش مخاطره طرف مقابل و افزایش شفافیت است (Dimbean-Creta, 2017; Geranio, 2017). در حوزه سلامت، اطلاعات بیماران و داده‌های پژوهش‌های پزشکی باید طوری به اشتراک گذاشته شوند که اطلاعات شخصی حساس نه فقط افشا، بلکه دست‌کاری نیز نشوند (Dubovitskaya et al., 2017). این فناوری می‌تواند در سازمان‌های ثبت احوال، ثبت اسناد و املاک و دفاتر ثبت اسناد رسمی نیز به کار گرفته شود (Lemieux, 2016). برخی از کاربردهای معمول فناوری زنجیره بلوکی عبارت‌اند از است:

۱-۳-۱. رمزارز: یکی از فعال‌ترین حوزه‌های زنجیره بلوکی، بخش مالی و به‌ویژه حوزه رمزارز است. از زمان ظهور اولین بیت‌کوین در زنجیره بلوکی (Nakamoto, 2008)، رمزارزهای متعددی خلق شده‌اند. از آنجا که سازوکارهای گمنامی، قابلیت تأیید، فقدان تمرکز و اجماع بیت‌کوین متمایزند، ارزش بیت‌کوین به ۶۳۰۰ پوند نیز رسید (Guo and Liang, 2016). در همین زمان، برخی رمزارزهای دیگر با ویژگی‌های بهبودیافته ظهور کردند و بازار پررونق فعلی رمزارزها را شکل دادند. در میان آن‌ها، اتریوم (Buterin, 2014) بستر زنجیره بلوکی عمومی را خلق کرد که در آن، قراردادهای هوشمند در سال ۲۰۱۵ استقرار یافتند. با ظهور قراردادهای، فناوری زنجیره بلوکی در طیف وسیع‌تری از سناریوهای کسب‌وکار (مانند پردازش قرارداد، تغییرات مالکیت و اینترنت اشیا) به کار گرفته شد (Huawei, 2018):

۱-۳-۲. انرژی: تجارت انرژی و کالاها (حتی ساده‌ترین تراکنش‌ها) اغلب بازی متعادلی میان چند طرف است (Merz, 2016). از اجرای تراکنش تا نتیجه آن، هر دو طرف باید داده‌های تراکنش را هماهنگ و تأیید کنند. علاوه بر این، ممکن است شرکت‌ها در طول چرخه حیات تراکنش، نیازمند تعامل با سایر طرف‌های مقابل، صرافی‌ها، کارگزاران، ارائه‌کنندگان تدارکات، بانک‌ها و قانون‌گذاران باشند. همچنین فرایند تأیید، نیازمند هماهنگی دقیق نه فقط میان دو طرف تراکنش، بلکه درون شرکت به منظور نگه‌داری از فرایندهای دستی میان بخش‌های گوناگون برای حصول اطمینان از دیدی دقیق به کل فرایند تراکنش است. براساس فناوری زنجیره بلوکی، ساده‌ساختن جریان‌های کاری داخلی و فرایندهای مرتبط با بازارهای خارجی امکان‌پذیر است و این موضوع می‌تواند ترتیبات تراکنش‌های انرژی را کاملاً تغییر دهد. تسهیل فرایندهای فوق باعث صرفه‌جویی شایان توجهی (مانند کاهش کاریدی، کاهش هزینه‌های سرمایه از راه تسریع تلاش‌های فناورانه و کاهش وابستگی به سیستم‌های متعدد) نیز خواهد شد (Chen et al., 2018). در حال حاضر، محدودیت اصلی به‌کارگیری زنجیره بلوکی در حوزه انرژی، مربوط به عملکرد

دنیای واقعی کاربر یکسان باشد. هر کاربر می‌تواند برای اجتناب از قرارگیری هویت خود در معرض مخاطره چندین هویت را کسب کند (Yeow et al., 2018). برای محافظت از اطلاعات خصوصی هیچ نیازی به موجودیت مرکزی نیست. در نتیجه، هویت دنیای واقعی از اطلاعات تراکنش به دست نمی‌آید و بخشی از حریم خصوصی حفظ می‌شود. از سوی دیگر، هویت معمولاً مستلزم سیستم‌هایی است که از راه موجودیت‌های شناخته‌شده (در شرایطی مانند زنجیره‌های بلوکی خصوصی و مجوزدار) عملیاتی و هدایت شوند؛

۱-۲-۶. قابلیت ممیزی: برچسب زمان سوابق و اطلاعات پایدار، این امکان را فراهم می‌سازد که سوابق قبلی را با گره‌های موجود در شبکه‌های زنجیره بلوکی به آسانی تأیید و ردیابی کند. میزان قابلیت ممیزی به نوع سیستم‌های زنجیره بلوکی و پیاده‌سازی آن‌ها وابسته است. زنجیره‌های بلوکی خصوصی پایین‌ترین قابلیت ممیزی را دارند؛ زیرا یک موجودیت گره‌های آن را مدیریت می‌کند. زنجیره‌های بلوکی مجوزدار در رده دوم قرار می‌گیرند؛ زیرا ممکن است برخی توافقنامه‌ها (مانند داده‌های رمز شده) در آن‌ها، مانع بهره‌مندی کامل اطلاعات از قابلیت ممیزی شوند. زنجیره‌های بلوکی عمومی بالاترین درجه قابلیت ممیزی را به خود اختصاص می‌دهند و گره‌های آن کاملاً نامتمرکزند (Viriyasitavata and Hoonsopon, 2018).

۱-۲-۷. بسته بودن و بازبودن: زنجیره‌های بلوکی باز به منظور نگه‌داری از سوابق تراکنش‌ها بر گره‌های عمومی متکی هستند؛ بنابراین هرکسی می‌تواند یک تراکنش را منتشر کند، با تبعیت از مجموعه‌ای از قوانین به سیستم پیوندد؛ اطلاعات داخل این زنجیره بلوکی نیز عمومی است. زنجیره‌های بلوکی مجوزدار، نیمه‌باز در نظر گرفته می‌شوند؛ زیرا گره‌ها از قبل مشخص شده یا پیش از الحاق، اعتبارسنجی می‌شوند. این زنجیره‌ها در میان زنجیره‌های بلوکی عمومی و خصوصی قرار می‌گیرند و سیاست‌های کنسرسیوم اطلاعات داخل آن‌ها را کنترل می‌کنند. این کنسرسیوم می‌تواند تصمیم بگیرد که اطلاعات کاملاً باز، نیمه‌باز یا بسته باشند. زنجیره‌های بلوکی خصوصی، مانند زنجیره‌های بلوکی مجوزدار، چگونگی انتخاب گره‌ها و میزان بازبودن داده‌ها را براساس سیاست‌ها کنترل می‌کنند؛ با این حال، آن‌ها نیز به یک موجودیت یا مالک واحد متکی‌اند (ibid).

### ۱-۳-۳. کاربردهای زنجیره بلوکی

فناوری زنجیره بلوکی در دنیای اقتصاد کاربردهای گوناگونی دارد. شرکت‌های فناوری مالی<sup>۱</sup> در حال کاوش در حوزه رمزارزها و بازارهای تبادل ارزند. همچنین کاوش در فناوری زنجیره بلوکی

می‌شود؛ بنابراین استانداردهای رایانش مرزی و استقرار بسترهای آن، به‌منظور جریان‌های درآمدی جدید برای فروشندگان و پیمانکاران به توانمندسازی کلیدی تبدیل شده‌اند.

بر اساس گزارش سیسکو<sup>۵</sup>، رایانش مهواره‌ای بستر مجازی و بسط‌یافته پارادایم رایانش ابری است که منابع ذخیره‌سازی و محاسباتی و خدمات را از شبکه اصلی به مرز شبکه می‌آورد (Cisco, 2015). ابرک<sup>۶</sup> و رایانش مرزی سیار<sup>۷</sup> مفاهیمی را شکل می‌دهند که با پارادایم رایانش مهواره‌ای مشابه‌اند. این دو مفهوم به‌منظور فراهم‌ساختن خدمات برای کاربران سیار (با انعطاف در استفاده از منابع دسترس‌پذیر محلی) طراحی شده‌اند (Satyanarayanan et al., 2009; Patel et al., 2010). با وجود این، مهواره به سخت‌افزارهایی وابسته است که سیسکو طراحی کرده و در بردارنده قابلیت‌های محاسباتی به همراه کارکردهای عادی مانند مسیریاب‌هاست. رایانش مرزی مدل محاسباتی خودمختاری است که دستگاه‌های ناهمگون، متعدد و توزیع‌شده‌ای را شامل می‌شود که با شبکه در ارتباط‌اند و وظایف محاسباتی مانند ذخیره‌سازی و پردازش را انجام می‌دهند (Vaquero and Rodero-Merino, 2014).

رسالت رایانش مرزی حل مسئله تأخیر بالا در خدمات و برنامه‌های کاربردی حساس به تأخیر است که در پارادایم رایانش ابری به‌خوبی اداره نمی‌شوند. این برنامه‌های کاربردی شامل الزامات زیرند: تأخیر بسیار کم و پیش‌بینی‌پذیر، آگاهی از موقعیت مکانی و پشتیبانی از حرکت و جابه‌جایی<sup>۸</sup> (Khan et al., 2019).

## ۲-۱. معماری رایانش مرزی

فرض رایانش مرزی بر این است که محاسبه باید همیشه در نزدیکی منبع داده‌ها روی دهد. شکل ۴ مسیر دوطرفه محاسبات را در رایانش مرزی نشان می‌دهد. ویژگی‌های رایانش مرزی انتقال، ذخیره‌سازی، انباشت و اداره داده‌ها و همچنین انتشار درخواست و تحویل تسهیلات از ابر به کاربر است. دستگاه مرزی خود مستلزم برنامه‌ریزی مناسب به‌منظور همگرا ساختن نیازهایی است که می‌توانند از لحاظ قابلیت اعتماد، امنیت و تفکیک وظایف در شبکه تأثیرگذار باشند (Shi et al., 2016).

این پارادایم دو مزیت دارد؛ تأخیر ارتباط میان دستگاه‌ها و ابر را کاهش می‌دهد و از منابع ابر و دستگاه‌های شبکه محلی به‌شکلی کارا بهره می‌گیرد؛ زیرا دستگاه‌ها در رایانش مرزی در قالب مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان داده‌ها عمل می‌کنند (Hadžić et al., 2017). این بدین معناست که درخواست‌های میان دستگاه‌ها و ابر (همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود) دوطرفه‌اند. همچنین در کار جمع‌آوری داده‌ها از پایگاه داده‌های موجود در ابر و ارسال آن‌ها به کاربر، گره‌های

است (Dütsch and Steinecke, 2017). برای استفاده از زنجیره بلوکی در حکم زیرساختی صنعتی، درباره برخی استانداردها باید در آن صنعت توافق شود و این موضوع به چالشی عظیم تبدیل شود و طرف‌های متعددی باید با آن موافقت کنند.

۳-۳-۱. خودرو/ تلفن هوشمند: برای مثال سیستم دزدگیر خودروها فقط زمانی فعال می‌شود که دکمه مربوطه روی کلید را فشار دهید. تلفن هوشمند فقط زمانی کار خواهد کرد که کلمه عبور صحیح را وارد کنید. آن‌ها همگی در بردارنده فناوری‌های رمزنگاری برای محافظت از مالکیت‌اند. مشکل اصلی ویژگی هوشمندی این است که کلید در محفظه‌ای فیزیکی نگهداری می‌شود و نمی‌تواند به‌آسانی منتقل یا تکثیر شود. دفتر کل زنجیره بلوکی با فراهم‌ساختن امکان جایگزینی و تکثیر پروتکل‌های ازدست‌رفته برای کاوشگران، این مشکل را زنجیره بلوکی حل می‌کند (Chen et al., 2018).

۴-۳-۱. دولت زنجیره بلوکی: دموکرات‌ها و جمهوری‌خواهان امنیت سیستم رأی‌گیری را در انتخابات سال ۲۰۱۶ آمریکا زیر سؤال بردند. با استفاده از زنجیره بلوکی و قراردادهای هوشمند، هر فرد می‌تواند رأی خود و فرایند آماری کلی را مشاهده کند. همچنین نسبت درخور توجهی از بودجه سالانه دولت برای تأیید جریان سرمایه‌ها استفاده می‌شود و بهره‌گیری از فناوری زنجیره بلوکی می‌تواند این فرایند را تا حد زیادی تسهیل کند (ibid).

## ۲. رایانش مرزی

رایانش مرزی داده‌های محاسباتی، برنامه‌های کاربردی و خدمات را از سرورهای ابری دور و به سمت مرز شبکه هدایت می‌کند. تولیدکنندگان محتوا و توسعه‌دهندگان برنامه‌های کاربردی می‌توانند با ارائه خدمات نزدیک‌تر به کاربران، از سیستم‌های رایانش مرزی استفاده کنند. ویژگی‌های خاص رایانش مرزی شامل پهنای باند بالا، تأخیر بسیار کم و دسترسی بلادرنگ به اطلاعاتی در شبکه است که چندین برنامه کاربردی می‌توانند از آن استفاده کنند (Wang et al., 2019; Sahni et al., 2019; Ren et al., 2019).

ارائه‌کنندگان خدمات می‌توانند با گشودن دسترسی به برنامه‌های کاربردی و خدمات جدید، شبکه دسترسی رادیویی (RAN) را برای کاربران فراهم سازند. رایانش مرزی خدمات جدیدی را برای بنگاه‌ها و مصرف‌کنندگان به ارمغان می‌آورد (Ning et al., 2019). موارد استفاده از رایانش مرزی شامل خدمات مکانی<sup>۱</sup>، واقعیت افزوده<sup>۲</sup>، تحلیل ویدئو<sup>۳</sup> و ذخیره‌سازی پنهانی داده‌ها<sup>۴</sup>

5. Cisco

6. Cloudlet

7. Mobile-Edge Computing

8. Mobility

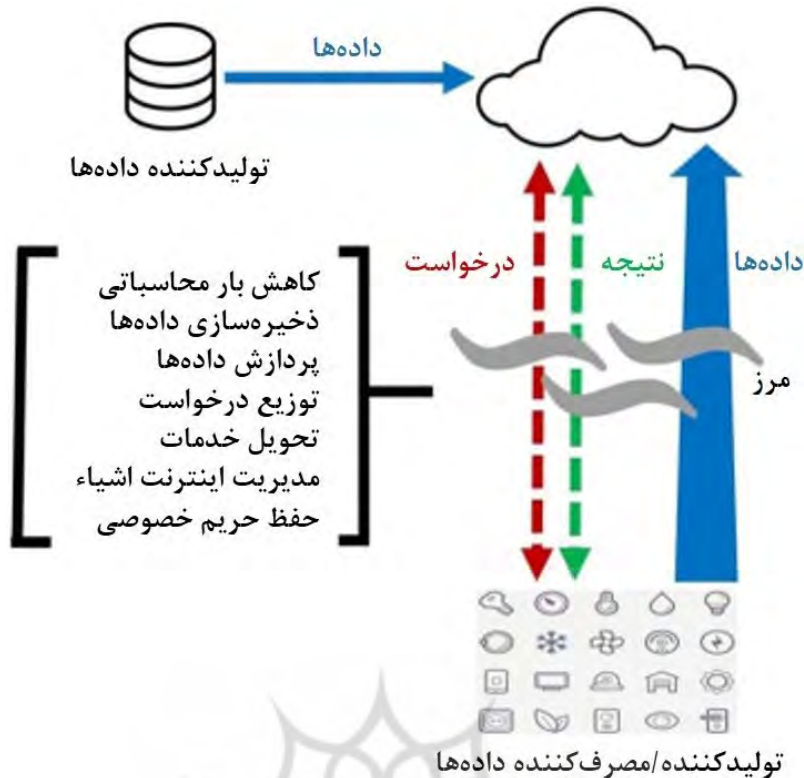
1. Location Services

2. Augmented Reality

3. Video Analytics

4. Data Caching





شکل ۴: معماری رایانش مرزی (Shi et al., 2016)

در حال پشتیبانی از حرکت و جابه‌جایی (مانند پروتکل تفکیک شناسه از موقعیت) با هدف ارتباط مستقیم با دستگاه‌های سیار است. پروتکل LISP شناسه میزبان را از شناسه موقعیت جدا می‌کند و سیستم دایرکتوری توزیع شده‌ای پیاده‌سازی می‌کند. تفکیک شناسه میزبان از شناسه موقعیت، منشأ شکل‌گیری امکان پشتیبانی از حرکت و جابه‌جایی در رایانش مرزی است (Khan et al., 2019).

۲-۲-۳ آگاهی از موقعیت: ویژگی آگاهی از موقعیت در رایانش مرزی، این اجازه را به کاربران سیار می‌دهد که از نزدیک‌ترین سرور به موقعیت فیزیکی خود، به خدمات دسترسی یابند. کاربران می‌توانند از فناوری‌های گوناگونی مانند زیرساخت تلفن همراه، GPS یا دسترسی بی‌سیم برای یافتن موقعیت دستگاه‌های الکترونیکی استفاده کنند. این ویژگی در کاربردهای متعددی در رایانش مرزی استفاده می‌شود؛ از جمله ایمنی حمل‌ونقل مبتنی بر موبایل و مدیریت سانحه بر مبنای رایانش مرزی (Al-Qamash et al., 2018).

۲-۲-۴ نزدیکی: منابع و خدمات محاسباتی در رایانش مرزی، در نزدیکی کاربران در دسترس‌اند و می‌توانند تجربه آن‌ها را بهبود بخشند. دسترسی پذیری منابع و خدمات محاسباتی به صورت

مرز شبکه نیز وظایف محاسباتی بسیاری دارند؛ از جمله مدیریت اینترنت اشیا و محافظت از حریم خصوصی.

## ۲-۲ ویژگی‌های رایانش مرزی

رایانش مرزی با رایانش ابری چندین مشخصه مشابه دارد. با این حال، ویژگی‌های متمایزکننده رایانش ابری، که آن را منحصر به فرد می‌کند، شامل موارد زیر است:

۲-۲-۱ توزیع جغرافیایی متراکم: رایانش مرزی با استقرار بسترهای محاسباتی متعدد در شبکه مرزی، خدمات ابری را به کاربر نزدیک می‌کند (Satyanarayanan, 2019). توزیع جغرافیایی متراکم زیرساخت در موارد زیر یاری‌رسان است:

الف. مدیران شبکه خدمات سیار مبتنی بر مکان را بدون پیامودن کل شبکه WAN تسهیل می‌کند.

ب. کلان‌داده‌ها با سرعت و دقت بالاتری تحلیل می‌شوند (Ahmed et al., 2017b; Khelifi et al., 2019).

ج. سیستم‌های مرزی امکان تحلیل بلادرنگ در مقیاس بزرگ را فراهم می‌سازند (Jo'Ajilo and DAjn, 2019; Fer-dowsi et al., 2019) که نمونه‌های آن شامل شبکه‌های حسگر برای پایش محیط و پایش خط تولید است.

۲-۲-۲ پشتیبانی از حرکت و جابه‌جایی: همان‌طور که تعداد خدمات سیار به سرعت در حال رشد است، رایانش مرزی نیز

صنعتی چهارم و تحول دیجیتال، که اکنون در سازمان‌ها ظهور یافته، منجر شده است. با این حال، این تغییرات باعث بروز چالش‌هایی در ارتباط با مدیریت حجم بزرگ داده‌هایی که دستگاه‌های مرزی تولید کرده‌اند، چگونگی پردازش این داده‌ها، ذخیره آن‌ها و تبدیل آن‌ها به اطلاعات ارزشمند برای تصمیم‌گیری اثربخش و کارا نیز شده است (Sittón and Rodríguez, 2017).

در شهرهای هوشمند، کاربران نهایی برای فراهم‌سازی خدمات منعطف باید در برنامه‌های درخواست - پاسخ جداول توزیع هوشمند نقشی فعال داشته باشند. علاوه بر این، وسائط نقلیه الکتریکی (از جمله دستگاه‌های مرزی یا حس‌گرها)، که وظیفه اصلی‌شان فراهم‌سازی حمل‌ونقل سبز است، در فراهم‌سازی انرژی توزیع شده در شهرهای هوشمند نقش مهمی دارند (Gaza-froudi et al., 2019).

سلامت الکترونیک باید با خدمات و دستگاه‌های مطمئن و تأخیر کم فراهم شود. رایانش مرزی می‌تواند برای این نیازمندی حیاتی باشد؛ زیرا به کاهش دفعات تعامل میان بیمار و زیرساخت سلامت کمک می‌کند. ابرکها در پژوهشی (Ha et al., 2014) برای کاهش وظایف محاسباتی دستگاه‌های پوشیدنی استفاده شدند و پیشرفت زمان واکنش در آن بین ۸۰ تا ۲۰۰ میلی ثانیه تا نمایش نتایج بود. علاوه بر این، با استفاده از ابرکها کاهش مصرف انرژی نیز می‌تواند بین ۳۰ تا ۴۰ درصد باشد.

در پژوهشی دیگر، برای پیکربندی خودکار تجهیزات شبکه‌های بی‌سیم روستایی سیستمی ارائه شد (Fuentes et al., 2013). هدف این سیستم، خودکارسازی نصب سریع تجهیزات مشتری در زیرساخت مستقل و پایدار ساختن آن و همچنین تبدیل این شبکه به شبکه‌ای برای افرادی است که سواد کامپیوتری کمتری دارند. مزایایی که این سیستم برای شبکه‌های بی‌سیم روستایی به همراه دارد کاهش هزینه‌ها از لحاظ نصب و نگهداری، خودکارسازی شبکه و سهولت یک‌پارچگی خدمات ارائه شده به مشتریان است. این موضوع باعث همراهی افرادی می‌شود که با وجود تمامی مزایای استفاده گسترده از فناوری‌های نوین، هیچ‌گاه از آن‌ها استفاده نمی‌کردند (Fuentes et al., 2013).

### ۳. امن‌سازی رایانش مرزی با زنجیره بلوکی

#### ۱-۳. مزایا

در حال حاضر، زیست‌بوم اینترنت اشیا و رایانش مرزی از معماری مشتری/سرور با واسطه‌های متمرکز به منظور اعتماد و پروتکل‌های امن مانند SSL و TLS بهره می‌گیرد. این مدل برای چندین سال به خوبی عمل کرده است. با این حال، رویکرد متمرکز ممکن است به علت رشد مداوم دستگاه‌های اینترنت اشیا از لحاظ تعداد و کاربرد به گلوگاهی تبدیل شود. این موضوع تأخیر و خرابی ناشی از تراکم بیش از حد شبکه را در پی خواهد داشت (Pahl et al., 2018).

محلی، این امکان را به کاربران می‌دهد تا از اطلاعات زمینه‌ای شبکه به منظور اتخاذ تصمیمات کاهش بار محاسباتی و تصمیمات استفاده از خدمات حداکثر بهره را ببرند. ارائه‌کننده خدمات نیز می‌تواند با استخراج اطلاعات دستگاه و تحلیل رفتار کاربر، از اطلاعات کاربر سیار به منظور بهبود خدمات و تخصیص منابع به آن‌ها حداکثر استفاده را ببرد (Yousefpour et al., 2019).

۲-۲-۵. تأخیر کم: پارادایم رایانش مرزی، منابع و خدمات محاسباتی را به کاربران نزدیک‌تر می‌سازد و باعث کاهش تأخیر در دسترسی به خدمات می‌شود. تأخیر کم رایانش مرزی به کاربرانی که نیازمند منابع زیاد و حساس به تأخیرند امکان اجرای برنامه‌های کاربردی را روی دستگاه‌های مرزی قدرتمند (مانند مسیریاب یا سرور اختصاصی) می‌دهد (Shi et al., 2016).

۲-۲-۶. آگاهی از زمینه: آگاهی از زمینه، مشخصه دستگاه‌های سیار است و با توجه به آگاهی از موقعیت تعریف می‌شود. اطلاعات زمینه‌ای دستگاه سیار در رایانش مرزی با هدف اتخاذ تصمیمات کاهش بار محاسباتی و دسترسی به خدمات مرزی استفاده می‌شوند (Han et al., 2019). اطلاعات بلادرنگ شبکه مانند بار شبکه و موقعیت کاربر می‌توانند برای ارائه خدمات آگاه از زمینه به کاربران مرزی استفاده شوند. همچنین ارائه‌کننده خدمات می‌تواند از اطلاعات زمینه‌ای برای بهبود رضایت کاربران و کیفیت تجربه آن‌ها استفاده کند.

۲-۲-۷. ناهمگونی: ناهمگونی در رایانش مرزی به وجود بسترها، معماری‌ها، زیرساخت‌ها و فناوری‌های محاسباتی و ارتباطی متنوعی اشاره دارد که عناصر رایانش مرزی (مانند دستگاه‌ها، سرورهای مرزی و شبکه‌ها) از آن‌ها استفاده می‌کنند. تنوع سخت‌افزارها، نرم‌افزارها و فناوری‌ها عوامل اصلی ناهمگونی این دستگاه‌ها را شکل می‌دهند. ناهمگونی در سرور مرزی عمدتاً از رابط برنامه‌نویسی برنامه کاربردی (API)، سیاست‌های سفارشی و بسترها ناشی می‌شود. چنین تفاوت‌هایی به بروز مسائلی پیرامون قابلیت همکاری منجر می‌شود و این موضوع را به چالش اصلی در استقرار موفقیت‌آمیز رایانش مرزی تبدیل می‌کند. ناهمگونی شبکه به تنوع فناوری‌های ارتباطی اشاره دارد که بر تحویل خدمات مرزی اثر می‌گذارد (Al-Qamash et al., 2018).

#### ۲-۳. کاربردهای رایانش مرزی

برخی حوزه‌ها می‌توانند از منافع رایانش مرزی بهره ببرند. برخی سناریوهایی که پیاده‌سازی رایانش مرزی در آن‌ها مزایای شایان توجهی در پی خواهد داشت، شامل انقلاب صنعتی چهارم، تولید هوشمند، انرژی هوشمند، شهرهای هوشمند، سلامت و کشاورزی است. در این بخش، نمونه‌هایی از کاربرد رایانش مرزی به اختصار ارائه خواهد شد.

رشد سریع اینترنت اشیا به بنیان‌گذاری پارادایم نوین انقلاب

در مورد دستگاه‌هایی که به درستی عمل نمی‌کنند یا حملات به شبکه‌های اینترنت اشیا، این شبکه باید مقاوم باشد تا از رخنه‌های امنیتی یا قطعی شبکه جلوگیری کند. ماهیت P2P فناوری زنجیره بلوکی، مقاومت در برابر خطا و دسترس پذیری سیستم را افزایش می‌دهد؛ زیرا قطعی برخی از گره‌ها، کل شبکه را از کار نخواهد انداخت (Asharaf and Adarsh, 2017). همچنین معماری نامتمرکز زنجیره بلوکی امکان ارتباط سبک‌تر، سریع‌تر، مطمئن‌تر و امن‌تر میان گره‌ها را فراهم می‌سازد.

#### ۴. چارچوب‌ها

در پژوهشی، معماری ابر توزیع شده زنجیره بلوکی به همراه رایانش مرزی با محوریت شبکه نرم افزار محور<sup>۱</sup> ارائه شد (گره‌های مهواره در مرز شبکه بودند). این معماری ابر در سه لایه دسته بندی شد: دستگاه، مهواره و ابر. داده‌های خام و پالایش شده از لایه دستگاه به لایه مهواره با محوریت SDN منتقل می‌شوند که این لایه، مسئول تحلیل بلادرنگ داده‌ها و ارائه خدمات به مجموعه‌ای از دستگاه‌های محلی است (Sharma et al., 2017). تمامی کنترل کننده‌های SDN به روشی توزیع شده با استفاده از زنجیره بلوکی به هم متصل اند و هر کنترل کننده، به تابع تحلیل قانون جریان و تابع مهاجرت بسته‌ها به منظور امن ساختن شبکه در طول حملات و نیز به رابط برنامه نویسی برای مدیریت شبکه مجهز است. گره مهواره، نتایج داده‌های پردازش شده را به ابر توزیع شده و در صورت لزوم به لایه‌های دستگاه انتقال می‌دهد، برای استقرار خدمات برنامه کاربردی به ابر دسترسی پیدا می‌کند و هنگامی که منابع محاسباتی کافی وجود نداشته باشد، بار محاسباتی را به سمت ابر منتقل می‌کند. برای تأیید بهبود در عملکرد محاسباتی و انتقال و ذخیره سازی داده‌ها در زنجیره بلوکی، پروتکل اجماع اثبات خدمات<sup>۲</sup> ارائه شد. این پروتکل به منظور ترکیب سازوکارهای PoS و PoW از تکنیک دوبرشی<sup>۳</sup> استفاده می‌کند (Sharma et al., 2017).

در پژوهشی دیگر، مدل چندلایه مبتنی بر زنجیره بلوکی برای شبکه اینترنت اشیا ارائه شد (Li and Zhang, 2017). این مدل، کل اینترنت اشیا را به دو بخش تقسیم می‌کند؛ لایه‌های مرزی و لایه‌های سطح بالا. لایه مرزی در قالب شبکه‌ای محلی (LAN) متشکل از تعدادی شی به همراه گره‌ای مرکزی (که آن‌ها را مدیریت می‌کند) تعریف می‌شود. با وجود این، این گره مرکزی می‌تواند به منزله گره‌ای از لایه بالاتر نیز در نظر گرفته شود. در اینجا به نظر می‌رسد که لایه مرزی، ترکیبی از دستگاه‌ها و مهواره

زنجیره‌های بلوکی در حوزه‌های متعدد (فراتر از حوزه مالی)، پتانسیل بالایی از خود نشان داده‌اند و اعتقاد بر این است که دامنه اینترنت اشیا نیز می‌تواند از فناوری زنجیره بلوکی برای برطرف کردن برخی چالش‌های خاص خود بهره گیرد. امروز چالش‌های شایان توجهی در حوزه اینترنت اشیا شناسایی شده‌اند (Gubbi et al., 2013). برخی از این چالش‌ها مانند محرمانگی و یک پارچگی، رفتار مستقل و تاب‌آوری در برابر خطا با به کارگیری فناوری زنجیره بلوکی حل می‌شود.

دستگاه‌های اینترنت اشیا با دنیای فیزیکی و زندگی روزانه ما ارتباط زیادی دارند (مثلاً در قالب دستگاه‌های پوشیدنی و خانه‌ها و خودروهای هوشمند). علاوه بر نگرانی‌ها در مورد تسهیم داده‌های حساس با افراد دیگر، این فناوری باعث افزودن سطح کاملاً جدیدی از نگرانی‌های امنیتی می‌شود؛ زیرا حمله موفقیت آمیز به این دستگاه‌ها می‌تواند به آسیب بدنی کاربران آن‌ها منجر شود. فقدان استاندارد و هجوم برای تولید سریع پوشیدنی‌های نوآورانه به منظور به دست آوردن سهم بازار جزو دلایلی است که در حال حاضر به این نگرانی‌ها به اندازه کافی توجه نمی‌شود. به کارگیری فناوری زنجیره بلوکی برای دستگاه‌های اینترنت اشیا خرابی دستگاه‌ها را به طرق زیر دشوارتر می‌سازد (Pahl et al., 2018):

الف) استفاده از داده‌هایی که از لحاظ رمزنگاری و تغییرناپذیری تصدیق شدنی هستند و تمامی شرکت کنندگان در شبکه آن‌ها را به اشتراک می‌گذارند؛

ب) اعتبارسنجی یک پارچگی تراکنش‌های شبکه پیش از پذیرش آن‌ها.

با نگاه به چگونگی توسعه دستگاه‌های اینترنت اشیا، مشخص می‌شود که این دستگاه‌ها در حال هوشمندتر و مستقل تر شدن هستند. با افزایش تعداد دستگاه‌های استقرار یافته و پیچیدگی تعاملات آن‌ها، شکلی از هوش باید در هر دستگاه اینترنت اشیا تعبیه شود تا آن را مستقل تر سازد. زنجیره‌های بلوکی کارکردی ارائه می‌کنند که مدیریت زیرساخت را برای عوامل مستقل در قالب قراردادهای هوشمند ممکن می‌سازد. این قراردادها، برنامه‌هایی با اجرای خودکارند که در خود زنجیره بلوکی قرار می‌گیرند. قراردادهای هوشمند حاوی منطق و شرایط کسب و کارند و زمان اجرای قراردادها را تعیین می‌کنند (Bartoletti and Pompianu, 2017)؛ بنابراین مجموعه‌ای از قراردادهای هوشمند می‌توانند رفتار دستگاه‌های اینترنت اشیا را مشخص کنند، دستگاه‌هایی که تعامل با بقیه شبکه (مثلاً انتشار برخی اطلاعات پس از دریافت پرداخت) را ممکن می‌سازند. قراردادهای هوشمند را پروتکل‌های رمزنگاری محافظت می‌کنند و مانند سایر داده‌های موجود در زنجیره بلوکی به سادگی دستکاری نمی‌شوند.

1. Software-Defined Networking (SDN)

2. Proof-of-Service

3. 2-Hop

را نگه می‌دارند و حداقل تسهیم فایل را به انجام می‌رسانند. نقاط استاندارد بخشی از زنجیره بلوکی را نگه می‌دارند و از نقاط سبک پشتیبانی می‌کنند. تبادلات نقاط، مخازن بالقوه‌ای برای نگه‌داری نسخه کاملی از زنجیره بلوکی هستند و خدمات تحلیلی زنجیره بلوکی را فراهم می‌سازند.

برخی مطالعات نیز به بررسی فناوری زنجیره بلوکی به‌منزله بستری برای رایانش مرزی در کاربردهای خاص پرداخته‌اند. یک سیستم کنترل توزیع‌شده مبتنی بر زنجیره بلوکی برای رایانش ابری ارائه شد (Stanciu, 2017). محفظه‌های داکر<sup>۲</sup> با مدل سه‌لایه رایانش ابری (دستگاه‌ها، ترکیب گره‌های مرزی و خدمات ابری) روی گره‌های مرزی استقرار می‌یابند و قراردادهای هوشمند به‌منظور حصول اطمینان از امنیت و اعتبار تراکنش‌ها به اجرا درمی‌آیند. در پژوهشی در حوزه خانه‌های هوشمند (Dorri et al., 2017)، زنجیره بلوکی خصوصی محلی با کاوشگرانی در خانه ارائه کردند که مشابه پیکربندی شبکه مرزی محلی (Samaniego and Deters, 2017) است.

در حوزه سیستم‌های ارتباط و سائط نقلیه، چارچوبی برای مدیریت امن کلید مبتنی بر زنجیره بلوکی در شبکه ناهمگون ارائه شد (Lei et al., 2017) که در آن، مدیران امنیت در لایه دوم و به شکلی پراکنده (از نظر جغرافیایی) قرار می‌گیرند (معادل سرورهای مرزی). مدیر امنیت در هر دامنه امنیتی، مواد رمزنگاری را مدیریت می‌کند و بلوک‌های کاوش‌شده میان مدیران امنیت به اشتراک گذاشته می‌شوند تا دفتر کل عمومی از انتقال و مدیریت کلید خلق شود. در پژوهشی دیگر، ترکیبی از هوش مصنوعی و شبکه یادگیری مرزی مبتنی بر اتریوم با نام نئورون<sup>۳</sup> برای یادگیری پزشکی شخصی ارائه شد (Brouwer and Bor-da, 2017). برای سازمان‌دهی مهواره‌های محاسباتی، قرارداد هوشمند مجهز به زنجیره بلوکی و فناوری‌های ارتباطی چندعامله استفاده شدند تا مانند سیستم عاملی عمومی و توزیع‌شده رفتار کنند که قابلیت حل مشکلاتی را داشته باشند که حلشان برای عوامل منفرد دشوار است.

همچنین در پژوهشی، چارچوبی با نام فاگ‌باس<sup>۴</sup> ارائه شد که یک پارچه‌سازی سرتاسری اینترنت اشیا، مهواره و ابر را تسهیل ساخت (Tuli et al., 2019). فاگ‌باس رابط‌هایی مستقل از بستر برای برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا و نمونه‌های محاسباتی برای اجرا و تعامل پیشنهاد می‌کند. این چارچوب نه‌فقط به توسعه‌دهندگان کمک می‌کند تا برنامه‌های کاربردی را تولید کنند، بلکه به کاربران نیز کمک می‌کند تا چندین برنامه

موجود در مطالعه باشد (Sharma et al., 2017)؛ درحالی‌که لایه‌های سطح بالایی، مشابه ترکیبات گره‌های مهواره، گره‌های تجمیع مهواره و ابر توزیع‌شده هستند (ibid). برخلاف تعریف انعطاف‌پذیر لایه‌های مرزی، برای انتقال دوطرفه داده‌ها و مشارکت در فعالیت‌های لایه سطح بالا، لازم است رابط‌هایی با لایه بالاتر در حکم گره فراهم شوند. همچنین هر شی در یک لایه مرزی نمی‌تواند مستقیماً با سایر لایه‌های مرزی یا لایه‌های بالاتر ارتباط برقرار کند. در لایه‌های بالاتر به‌جز برای رابط‌های مشابه و الزام به استقلال لایه‌های مرزی، اجماع توزیع‌شده زنجیره بلوکی ضروری است. غیر از مدیریت گره‌های مرکزی در لایه‌های مرزی، گره‌های لایه‌های سطح بالا مستقل از داده‌ها هستند و نسخه کاملی از تبادلات با یکدیگر از راه زنجیره بلوکی را در خود دارند (Yang et al., 2019).

معماری دیگری از منابع مجازی اینترنت اشیا مبتنی بر زنجیره بلوکی در میزبان مرزی ارائه شده است که مهواره را به‌صورت بسط‌یافته‌ای از ابر فراهم می‌سازد (Samaniego and Deters, 2016). این معماری بیشتر به چگونگی پیکربندی دستگاه‌هایی می‌پردازد که دربردارنده ارتباط P2P از راه شبکه مرزی محلی هستند. مجازی‌سازی مؤلفه‌های (منابع مجازی) اینترنت اشیا SDN برای مدیریت پیکربندی مجموعه‌ای بزرگ و ناهمگون از دستگاه‌ها استفاده می‌شوند و پیکربندی منابع مجازی در قالب بلوک‌های رمزشده ذخیره می‌شود. درعین‌حال، ظرفیت تعریف و استقرار سیستم‌های مجازی و خواندن و نوشتن در بلوک‌ها، به چندین مستأجر ثبت‌شده در زنجیره بلوکی مجوزدار داده می‌شود؛ بنابراین زنجیره بلوکی مجوزدار تخصیص منابع مجازی و دسترسی چندمستأجری را به روشی امن مدیریت می‌کند (Samaniego and Deters, 2017).

شرکت IBM با شرکت سامسونگ، به‌صورت مشترک، سیستم دورسنجی نقطه‌به‌نقطه نامتمرکز مستقل<sup>۱</sup> را توسعه داد که با استقرار تکنیک‌های زنجیره بلوکی در لایه‌های مشخص شبکه رایانش مرزی متفاوت بود (Panikkar et al., 2015; IBM, 2015) و مبنایی را برای خلق اینترنت اشیا به‌صورت نامتمرکز از دیدگاه کسب‌وکار تشکیل داد. این سیستم از تغییر قدرت در شبکه از مرکز به سمت مرزها پشتیبانی می‌کند؛ به‌گونه‌ای که دستگاه‌ها استقلال بیشتری به‌دست می‌آورند و به نقاط تراکنش در زنجیره بلوکی تبدیل می‌شوند. همچنین نسخه آلفای پروتکل اتریوم برای آن انتخاب شد که سه نوع نقطه در آن وجود دارد (نقاط سبک، نقاط استاندارد و تبادلات نقاط) و توان پردازشی آن‌ها به تدریج افزایش می‌یابد. نقاط سبک (مانند حس‌گرها) عمل پیام‌رسانی را انجام می‌دهند، یک کیف پول سبک به همراه آدرس‌ها و تعادل زنجیره بلوکی خود

2. Docker Container

3. NeuRoNto

4. FogBus

1. Autonomous Decentralized Peer-to-Peer Telemetry (ADEPT)



جمع آوری انرژی، تبادل برق و شبکه‌های V2G<sup>۳</sup> صورت می‌گیرد. در پژوهشی، زنجیره بلوکی کنسرسیوم به منظور امن سازی تبادل توزیع شده انرژی در اینترنت اشیا صنعتی (IIoT) ارائه شد (Li et al., 2017). آن‌ها برای رسیدگی به تأخیرهای تصدیق تراکنش‌ها، طرح پرداختی مبتنی بر اعتبار طراحی کردند که از تبادل سریع پشتیبانی می‌کند و در نتیجه، امکان تبادل مکرر انرژی را به شکل P2P و از راه وام‌های انرژی - سکه<sup>۴</sup> فراهم می‌سازد. با وجود این، تأخیر زمانی هنوز مانعی بزرگ است؛ زیرا این طرح برای عنوان اجماع، وابسته به PoW است. در مطالعه‌ای دیگر، راهکاری ارائه شد که زنجیره بلوکی مختص تبادل برق شود. فناوری زنجیره بلوکی تعاملات M2M را به منظور تبادل خودکار اطلاعات برقی و هزینه ارائه خدمات تسهیل می‌کند (Sikorski et al., 2017).

دستگاه‌های اینترنت اشیا در سطح بی‌سابقه‌ای از ریزداندگی، قادر به جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها هستند. این داده‌ها ارزشمندند و برای پرداخت پاداش استفاده می‌شوند. امروزه تبادل اطلاعات پرداختی نمی‌تواند به دور از دخالت اشخاص ثالث باشد. این موضوع به هزینه اضافی، مشکلات امنیتی و حریم خصوصی و فقدان کارایی و مانع گسترش کاربردهای اینترنت اشیا منجر می‌شود. بر همین اساس، چین‌انچر<sup>۵</sup> معماری‌ای است مبتنی بر زنجیره بلوکی به منظور راه‌اندازی دستگاه‌های اینترنت اشیا در زیست‌بوم‌های ابری. این معماری از اینکه مالکان دستگاه‌ها در ازای فروش داده‌های حس‌گر دستگاه به ارائه‌کنندگان خدمات (با حفظ گمنامی مالک) پاداش دریافت کنند پشتیبانی می‌کند. باین‌حال، عملی کردن این رویکرد دشوار است؛ زیرا بخش‌های این پروتکل مستلزم مدیریت پیچیده کلید نامتقارن است که برای اکثر دستگاه‌های مرزی، که منابع محدودی دارند، مناسب نیست. همچنین اعتماد داده‌های دستگاه‌های مرزی به واسطه‌هایی وابسته است که مسائل مرتبط با تمرکز در آن‌ها رفع نمی‌شود. در مطالعه‌ای دیگر، قلمرو کار با توسعه معماری‌ای برای مدل کسب‌وکار الکترونیکی مبتنی بر اینترنت اشیا، با استفاده از بیت‌کوین و IoT-کوین گسترش یافت (Zhang and Wen, 2017). IoT-کوین زنجیره بلوکی مخصوصی است که امکان تبادل کالا (داده‌های اینترنت اشیا و هرگونه دارایی هوشمندی که می‌تواند دیجیتال شود) را فراهم می‌کند. باین‌حال، جزئیات ارتباطات امن صحت و تراکنش‌های میان این دو سیستم به‌خوبی فراهم نمی‌شود. برای جادادن نرم‌افزارهای اجتناب‌ناپذیر، رابط برنامه‌نویسی به‌منزله کانالی ارتباطی و شخص ثالث استفاده می‌شوند.

کاربردی را به‌صورت هم‌زمان اجرا کنند و ارائه‌کنندگان خدمات نیز می‌توانند منابع خود را مدیریت کنند. علاوه‌براین، فاگ‌باس از تکنیک‌های زنجیره بلوکی، احراز هویت و رمزنگاری برای امن‌سازی عملیات روی داده‌های حساس بهره می‌گیرد. با توجه به سادگی و چندبستری بودن این سیستم، استقرار آن آسان و از مقیاس‌پذیری و مقرون‌به‌صرفه بودن نیز بهره‌مند است (Dorri et al., 2017).

در پژوهشی دیگر، زنجیره بلوکی جدیدی برای محافظت از حریم خصوصی با نام زنجیره اعتماد<sup>۶</sup> پیشنهاد شد. این زنجیره توان زنجیره‌های بلوکی را با مفاهیم اعتماد ترکیب می‌کند تا مسائل مرتبط با معماری‌های سنتی زنجیره بلوکی را برطرف سازد (Jayasinghe et al., 2019). آن‌ها امکان استقرار زنجیره اعتماد در محیط رایانش مرزی را در سطوح گوناگون بررسی می‌کنند تا نگرانی‌های تأخیر و حریم خصوصی مرتبط با پردازش متمرکز را از بین ببرند و از منابع موجود در شبکه‌های اینترنت اشیا محافظت کنند. در مطالعه‌ای دیگر، به مرور معماری‌های رایانش مرزی سیار پرداخته شد و چارچوبی برای زنجیره بلوکی سیار ارائه شد که می‌تواند با رایانش مرزی سیار ترکیب شود و کاوش را تسهیل کند (Bhattacharya et al., 2019). این چارچوب نیز کاهش بار محاسباتی سیستم‌های مرزی و مدیریت اعتماد را به ارمغان می‌آورد. خلاصه‌ای از ویژگی‌های چارچوب‌های فوق به همراه مقایسه آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

## ۵. تأثیرات امن سازی رایانش مرزی از طریق زنجیره بلوکی بر کسب‌وکارها

فناوری زنجیره بلوکی و رایانش مرزی امکان توسعه فرصت‌های نوین کسب‌وکار را فراهم می‌سازد و یکی از مهم‌ترین ابعاد آن، امنیت داده‌ها<sup>۷</sup> و فرایندهایی با محوریت فناوری زنجیره بلوکی و داده‌های جمع‌آوری شده با ریزداندگی بالاتر است که بر رشد بازار امروز تأثیر خواهند گذاشت. در ادامه، خلاصه برخی پیشنهادها در مورد چگونگی فراهم‌ساختن این فرصت‌ها با فناوری‌های نوآورانه ارائه می‌شوند. مباحثی در مورد استفاده از سناریوهای اینترنت اشیا و فناوری زنجیره بلوکی در کاربردهای توزیع شده نیز مطرح شده‌اند (Huckle et al., 2016).

تبادل انرژی اولین حوزه کاربردی است؛ زیرا می‌تواند به‌صورت الکترونیکی و خودکار منتقل شود و اینترنت اشیا امکان تبادل مستقل و ماشین به ماشین (M2M) میان ماشین‌های صنعتی را فراهم می‌سازد. این تبادل به شکل‌های گوناگونی از جمله شبکه‌های

3. Vehicle-to-Grid  
4. Energy-Coin Loan  
5. ChainAnchor

1. TrustChain  
2. Data Security

جدول ۱: مقایسه چارچوب‌های یکپارچه‌سازی رایانش مرزی و زنجیره بلوکی

مزایا	روش امن سازی	زمینه	سال	نویسنده
(۱) شبکه امن در طول حملات (۲) رابط برنامه‌نویسی برای مدیریت شبکه (۳) پروتکل اجماع اثبات خدمات (ترکیبی از PoW و PoS) (۴) بهبود عملکرد محاسباتی و انتقال و ذخیره داده‌ها در زنجیره بلوکی	اتصال کنترل‌کننده‌های SDN با استفاده از تکنیک زنجیره بلوکی	رایانش مرزی با محوریت SDN	2017	Sharma et al.
گره‌های لایه‌های سطح بالا، مستقل از داده‌ها هستند و نسخه کاملی از تبادلات با یکدیگر از راه زنجیره بلوکی دارند.	(۱) فقدان امکان ارتباط مستقیم اشیا در لایه مرزی با سایر لایه‌های مرزی یا لایه‌های سطح بالا (۲) اجماع توزیع‌شده زنجیره بلوکی در لایه‌های سطح بالا	شبکه چند لایه اینترنت اشیا	2017	Li and Zhang
(۱) مجازی‌سازی مؤلفه‌های اینترنت اشیا برای مدیریت پیکربندی مجموعه بزرگ و ناهمگونی از دستگاه‌ها (۲) مدیریت تخصیص منابع مجازی و دسترسی چندمستأجری به روشی امن	زنجیره بلوکی مجوزدار برای تعریف و استقرار منابع مجازی	منابع مجازی اینترنت اشیا	2017	Samaniego and Deters
انتقال قدرت شبکه از مرکز به مرزها، به‌گونه‌ای که دستگاه استقلال بیشتری دارند و به نقاط تراکنش‌ها روی زنجیره بلوکی تبدیل می‌شوند	نسخه آلفای پروتکل اتریوم	اینترنت اشیا به‌صورت نامتمرکز از دیدگاه کسب‌وکار	2015	IBM
تراکنش‌ها امن و معتبر خواهند بود	محفظه‌های داکر مستقر در گره‌های مرزی در کنار گره‌های اعتبارسنجی که قراردادها را هوشمند را اجرا می‌کنند	سیستم کنترل توزیع‌شده	2017	Stanciu
-	زنجیره بلوکی خصوصی محلی	خانه هوشمند	2017	Dorri et al.
مدیریت کلید امن و مبتنی بر زنجیره بلوکی	مدیران امنیت در لایه دوم برای خلق دفتر کل عمومی از انتقال و مدیریت کلید	سیستم‌های ارتباطی و سائط نقلیه	2017	Lei et al.
زنجیره بلوکی مجهز به قرارداد هوشمند و فناوری ارتباطی چندعاملی به‌منظور سازمان‌دهی مهاره‌های محاسباتی استفاده می‌شوند تا مانند سیستم عاملی عمومی عمل کنند و مشکلات دشوار را هموار سازند.	نئورون مبتنی بر اتریوم در کنار هوش مصنوعی	پزشکی شخصی	2017	Brouwer and Borda
(۱) کمک به توسعه‌دهندگان در ساخت برنامه‌ها (۲) کمک به کاربران در اجرای همزمان چند برنامه (۳) کمک به ارائه‌کنندگان خدمات در مدیریت منابع خود (۴) سیستم‌های نرم‌افزاری ساده و چندبستری (۵) استقرار آسان (۶) مقیاس پذیری (۷) مقرون‌به‌صرفه	تکنیک‌های زنجیره بلوکی، احراز هویت و رمزنگاری	یکپارچه‌سازی سراسری اینترنت اشیا، مهاره و ابر	2019	Tuli et al.

مزایا	روش امن سازی	زمینه	سال	نویسنده
<p>(۱) برطرف کردن مسائل مرتبط با معماری های سنتی زنجیره بلوکی</p> <p>(۲) بررسی امکان استقرار زنجیره اعتماد در رایانش مرزی و برطرف کردن نگرانی های تأخیر و حریم خصوصی مرتبط با پردازش متمرکز و محافظت از منابع در شبکه اینترنت اشیا</p>	ترکیب توان زنجیره های بلوکی با مفاهیم اعتماد و خلق زنجیره اعتماد	محافظت از حریم خصوصی	2019	Jayasinghe
<p>(۱) کاهش بار محاسباتی سیستم های مرزی</p> <p>(۲) طراحی کارای سازوکارهای قیمت گذاری</p> <p>(۳) مصرف کمتر انرژی</p> <p>(۴) مدیریت اعتماد در رایانش مرزی</p>	ترکیب رایانش مرزی سیار و زنجیره بلوکی با مفاهیم مدیریت اعتماد	کاوش در حکم خدمت <sup>۱</sup>	2019	Bhattacharya et al

### نتیجه گیری

خصوصی در ماهیت زنجیره بلوکی (Conti et al., 2018)، برون سپاری خدمات در مرزهای سیستم های مرکب از زنجیره بلوکی و رایانش مرزی، چالش های امنیتی و حریم خصوصی جدیدی به همراه خواهد داشت. راهکارهای خارج از زنجیره، که اغلب در روش های کنونی استفاده می شوند، به علت از دست دادن تراکنش ها (ناشی از تصادم گره ها) روی یک کانال، هنوز جای بحث دارند (Eyal et al., 2016)؛ البته برای حل این چالش راهبردهایی مانند بازی تأیید<sup>۲</sup> در ترو بیت<sup>۳</sup> و PoC در iEx.ec در دست توسعه است.

۲. خودسازمان دهی: با افزایش گره های رایانش مرزی، مدیریت شبکه و برنامه ها به چالشی عظیم تبدیل خواهد شد. برای تسهیل در استقرار رایانش مرزی، مفهوم خودسازمان دهی مطرح می شود تا سازوکارهای خودمختاری را اضافه کند و پیچیدگی فناوری را از اپراتورها و کاربران دور کند. خودسازمان دهی طرح ریزی، پیکربندی، مدیریت، بهینه سازی و بهبود شبکه های رادیویی را در شبکه خودسازمان ده (SON) تعریف می کند. در محیط اینترنت اشیا، مهواره اشیا (FoT)، که دارای خودسازمان دهی است، شامل پایش خودسازمان ده، خدمات بازیابی خرابی و مدیریت و متعادل سازی پرو فایل می شود (Prazeres and Serrano, 2016). همچنین ویژگی های خودسازمان دهی دیگری مانند خودنگه داری (Fernandez-Carames and Fraga-Lamas, 2018) و خودآگاهی (Preden et al., 2015) در مطالعات دیگر معرفی شده اند. در حال حاضر به نظر می رسد که یک پارچه سازی زنجیره بلوکی و رایانش مرزی بهترین روش برای تحقق سازوکار خودسازمان دهی با بهره گیری از قراردادهای هوشمند است. با این حال و فارغ از مشکلات امنیتی کلی، خودسازمان دهی ممکن است باعث حمله همکارانه<sup>۴</sup> شود. برای مثال، برخی

تمرکز این پژوهش بر یک پارچه سازی زنجیره بلوکی و رایانش ابری است. این موضوع در حال تبدیل شدن به مفهوم مهمی است که حداکثر استفاده را از مدیریت نامتمرکز و زیرساخت توزیع شده خود برای برآورده ساختن الزامات امنیتی، مقیاس پذیری و عملکردی در شبکه ها و سیستم های آتی به عمل می آورد. بحث ما با خلاصه ای از زنجیره بلوکی و رایانش مرزی آغاز و معماری، خصوصیات و کاربردهای هریک بیان شد. سپس چارچوب ها و مزایای یک پارچه سازی زنجیره بلوکی و رایانش ابری به بحث گذاشته شد. در نهایت نیز تأثیرات یک پارچه سازی این دو فناوری بررسی شد. بحث و پژوهش در مورد یک پارچه سازی و ترکیب زنجیره بلوکی و رایانش مرزی بسیار گسترده است و برخی چالش ها باقی می ماند. پرداختن به این چالش ها مدنظر جامعه متخصصان شبکه است. هدف از این پژوهش بررسی چارچوب های مرتبط با یک پارچه سازی زنجیره بلوکی و رایانش ابری و تأثیرات آن در کسب و کار به صورت کلی است و مسیر جدیدی را برای توسعه سیستم های یک پارچه می گشاید.

چالش ها و جهت گیری پژوهش های آتی: فناوری زنجیره بلوکی در کنار رایانش مرزی، خودکار شدن کامل خدمات مشترک (مهم ترین ویژگی روابط خدماتی میان افراد، سازمان ها و برنامه های کاربردی) را ممکن می سازد. کارایی و مقرون به صرفه بودن از راه ایجاد اعتماد بدون اشخاص ثالث معتمد توجه بسیاری را در حوزه پژوهشی و صنعتی برای توسعه مدل های نوین کسب و کار به خود جلب کرده است. هنوز کسب و کارها باید برخی چالش ها و فرصت های این کار را واکاوی کنند:

۱. امنیت و حریم خصوصی: برخلاف فراهم سازی امنیت و حریم

1. Mining as a Service (Maas)

3. Truebit

2. Verification Game

4. Cooperative Attack

سوء تغذیه توزیع کند و زنجیره غذایی را از تولید تا مصرف به شکلی اثربخش مدیریت کند. این کار نه تنها مسئله سوء تغذیه و گرسنگی جهانی را حل می‌کند، بلکه صنعت نوینی برای کارآفرینان خلق خواهد کرد.

### منابع

- Ahmed, E., Ahmed, A., Yaqoob, I., Shuja, J., Gani, A., Imran, M., and Shoaib, M. (2017a). "Bringing computation closer toward the user network: Is edge computing the solution?". *IEEE Communications Magazine*, 55(11), pp. 138–144.
- Ahmed, E., Yaqoob, I., Hashem, I. A. T., Khan, I., Ahmed, A. I. A., Imran, M. and Vasilakos, A. V. (2017b). "The role of big data analytics in internet of things". *Computer Networks*, 129(2), pp. 459–471.
- Al-Qamash, A., Soliman, I., Abulibdeh, R. and Saleh, M. (2018). "Cloud, Fog, and edge Computing: A Software Engineering Perspective". International Conference on Computer and Applications (ICCA).
- Asharaf, S. and Adarsh, S. (2017). *Decentralized Computing Using Blockchain Technologies and Smart Contracts: Emerging Research and Opportunities*. IGI Global.
- Back, A., Corallo, M., Dashjr, L., Friedenbach M. and Maxwell, G. (2014). "Enabling blockchain innovations with pegged sidechains". Available: <https://blockstream.com/sidechains.pdf>.
- Bartoletti, M. and Pompianu, L. (2017). "An empirical analysis of smart contracts: platforms, applications, and design patterns". Brenner M. et al. (eds) *Financial Cryptography and Data Security, Lecture Notes in Computer Science*, 10323, PP. 494-509, Springer, Cham.
- Bhattacharya, P., Tanwar, S., Shah, R. and Ladha, A. (2019). "Mobile edge computing-enabled blockchain framework-A survey". In *Proceedings of ICRIC 2019, Springer International Publishing*, Cham, 2020, pp. 797–809.
- Bonomi, F., Milito, R., Zhu, J. and Addepalli, S. (2012). "Fog computing and its role in the internet of things". The first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing, *ACM*, pp. 13–16.

مهاجمان می‌توانند عملکرد سیستم را کند کنند و تعداد اتصالات شبکه و سرعت انتقال داده‌ها را کاهش دهند یا مدعی حجم بالایی از داده‌ها شوند، درحالی‌که داده‌ها کوچک‌ترند.

۳. مدیریت منابع: مدیریت منابع، درحکم روشی مؤثر، به‌صورت گسترده در شبکه‌ها استفاده شده است. مجموعه‌ای از مسائل، چالش‌ها و جهت‌گیری‌های پژوهشی در حوزه مدیریت منابع رایانش مرزی مطرح بوده‌اند، اما این موارد با یک پارچه‌سازی زنجیره بلوکی و رایانش مرزی جدی‌تر می‌شوند؛ زیرا مشارکت سروورها در روش مبتنی بر زنجیره بلوکی بسیار بیشتر است و مستلزم ملاحظات بیشتری است (Yang et al., 2019). به‌منظور توزیع صحیح وظایف و اداره مجموعه‌ای از منابع محاسباتی، زمان‌بندی‌ای چندمعیاری لازم است که منابع محاسباتی را تجمیع و وظایف را زمان‌بندی کند. چالش مطرح در این حوزه طراحی چنین زمان‌بندی چندمعیاری روی زنجیره بلوکی با هدف بهینه‌سازی محاسبات، ذخیره‌سازی و شبکه است. البته مدیریت منابع رایانش مرزی برای PoW در برخی مطالعات بررسی شده است (Loung et al., 2017; Jiao et al., 2017)، اما تحلیل منابع لازم برای سایر پروتکل‌های اجماع نیز در آینده توصیه می‌شود.

همچنین، انجام محاسبات در مرز شبکه امکان توزیع محاسبات در سرتاسر شبکه را فراهم می‌سازد. در آینده ممکن است وابستگی بیشتری به رایانش مرزی وجود داشته باشد و از ابر صرفاً برای پیچیده‌ترین تحلیل‌ها استفاده شود. انتظار می‌رود که همگرایی بیشتری میان رایانش مرزی و سایر فناوری‌ها از جمله زنجیره بلوکی و هوش مصنوعی برقرار شود. رایانش مرزی و هوش مصنوعی در مواردی مانند پیش‌بینی‌های بلادرنگ باید به‌صورت هماهنگ کار کنند، درحالی‌که یک پارچگی با زنجیره بلوکی در لایه‌های داده‌های هوش مصنوعی ضروری خواهد بود (به‌ویژه در جایی که قابلیت اطمینان و پیگیری داده‌هایی که هوش مصنوعی را تغذیه می‌کنند حائز اهمیت است).

ترکیب رایانش مرزی، زنجیره بلوکی و هوش مصنوعی در حوزه سلامت بسیار سودمند است. دستگاه‌های مرزی داده‌های مرتبط با بیمار را جمع‌آوری و آن‌ها را به بیمارستان ارسال می‌کنند. چالش اصلی در این مسیر، امنیت و حریم خصوصی داده‌ها در طول انتقال آن‌هاست. از زنجیره بلوکی برای امن‌سازی داده‌ها و محافظت از آن‌ها در برابر دسترسی غیرمجاز استفاده می‌شود. به‌علاوه، می‌توان از هوش مصنوعی برای پاسخ به داده‌های دریافتی، تجویز نسخه برای بیماران و خرید و ارسال داروها به بیماران (در صورت لزوم) بهره‌گرفت.

ایده مناسب دیگر در حوزه کشاورزی نیز به‌کارگیری جدیدترین فناوری‌ها در حوزه هوش مصنوعی، زنجیره بلوکی و رایانش مرزی برای خلق زیست‌بومی است که مازاد غذا را در مناطق دچار



- Brouwer, W. D. and Borda, M. (2017). "NeuRoN: Decentralized artificial intelligence, distributing deep learning to the edge of the network". Available: <https://s3-us-west-1.amazonaws.com/ai.doc.static/pdf/whitepaper.pdf>.
- Buterin, V. (2014). "A next generation smart contract and decentralized application platform". Available: <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>.
- Cachin, C. (2016). "Architecture of the hyperledger blockchain fabric". Available: [pdfs.semanticscholar.org](https://arxiv.org/pdf/1601.01369v1.pdf).
- Chen, W., Xu, Z., Shi, S., Zhao, Y. and Zhao, J. (2018). "A Survey of Blockchain Applications in Different Domains". *International Conference on Blockchain technology and Applications (ICBTA) 2018*, December 10–12, Xi'an, China.
- Cisco. (2015). "Cisco fog computing solutions: Unleash the power of the internet of things". Available at: [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/solutions/trends/iot/docs/computing-solutions.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/trends/iot/docs/computing-solutions.pdf) (Accessed on 23 July 2018).
- Conti, M., Kumar, S., Lal, C. and Ruj, S. (2018). "A survey on security and privacy issues of bitcoin". *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 20(4), pp. 3416-3452.
- Correia, M., Veronese, G. S., Neves, N. F. and Verissimo, P. (2011). "Byzantine consensus in asynchronous message-passing systems: a survey". *International Journal of Critical Computer-Based Systems*, 2(2), pp. 141–161.
- Croman, K., Decker, C., Eyal, I., Gencer, A. E., and Juels E. A. A., (2016). "On scaling decentralized blockchains". ICFDCS'16, *Christ Church, Barbados*, pp. 106–125.
- Dai, H., Zheng, Z. and Zhang, Y. (2019). "Blockchain for Internet of Things: A Survey". *IEEE Internet of Things Journal*, 6(5), pp. 8076–8094.
- Dimbean-Creta, O. (2017). "Fintech - already new fashion in finance, but what about the future?". *Qual. Access Success*, 18(S3), pp. 25–29.
- Dinh, T. T. A., Wang, J., Chen, G., Liu, R., Ooi, B. C. and Tan, K.-L. (2017). "Blockbench: A framework for analyzing private blockchains". In Proc. of the ACM International Conf. on *Management of Data*, pp. 1085–1100.
- Dorri, A., Kanhere, S. S., Jurdak, R. and Gauravaram, P. (2017). "Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home". In 2017 IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops (PerCom workshops) (pp. 618-623). IEEE.
- Dubovitskaya, A., Xu, Z., Ryu, S., Schumacher, M. and Wang, F. (2017). "How blockchain could empower ehealth: an application for radiation oncology: (Extended abstract)". *Lecture Notes in Computer Science (including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10494, pp. 3–6.
- Dütsch, G. and Steinecke, N. (2017). "Use cases for blockchain technology in energy and commodity trading". *Snapshot of current developments of blockchain in the energy and commodity sector*, pwc.
- Eyal, I., Gencer, A. E., Sirer, E. G. and Renesse, R. V. (2016). "Bitcoin-NG: A scalable blockchain protocol". in Proc. Usenix Conference on NSDI'16, Santa Clara, CA, Mar. 2016, pp. 45–59.
- Ferdowsi, A., Challita, U. and Saad, W. (2019). "Deep learning for reliable mobile edge analytics in intelligent transportation systems: An overview". *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 14(1), pp. 62–70.
- Fernandez-Carames, T. M. and Fraga-Lamas, P. (2018). "A review on the use of blockchain for the internet of things". *IEEE Access*, 6, pp. 32979-33001.
- Florian, T. and Bjorn, S. (2016). "Bitcoin and beyond: a technical survey on decentralized digital currencies". *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 18(3), pp. 2084–2123.
- Fuentes, D., Laza, R. and Pereira, A. (2013). "Intelligent devices in rural wireless networks". *Advanced Distributed Computing Artificial Intelligence Journal*, 2(4), pp. 23–30.
- Gazafroudi, A. S., Rodríguez, J. M. C., Keane, A. and Soroudi, A. (2019). "Decentralised flexibility management for EVs". *IET Renewable Power Generation*, 13(6), p. 952.
- Geranio, M. (2017). "Fintech in the exchange industry: potential for disruption?" Masaryk Univ.

- J. Law Technol., 11(2), pp. 245–266.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S. and Palaniswami, M. (2013). “Internet of things (iot): A vision, architectural elements, and future directions”. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), pp. 1645–1660.
- Guo, Y. and Liang, C. (2016). “Blockchain application and outlook in the banking industry”. *Financial Innovation*, 2(1), p. 24.
- Ha, K., Chen, Z., Hu, W., Richter, W., Pillai, P. and Satyanarayanan, M. (2014). “Towards wearable cognitive assistance”. In Proc. 12th Annual. International Conference Mobile System Application Services, Bretton Woods, NH, USA, pp. 68-81.
- Hadžic, I., Abe, Y. and Woithe, H. (2017). “Edge computing in the ePC”. Proceedings of the Second ACM/IEEE Symposium on edge computing - SEC '17, 13, pp. 1-10.
- Hammerschmidt, C. (2018). “Consensus in Blockchain Systems”. Available on: <https://medium.com/@chrshmmmr/consensus-in-blockchain-systems-in-short-691fc7d1fefe> (Accessed on 5th of February, 2018).
- Han, B., Wong, S., Mannweiler, C., Crippa, M. R. and Schotten, H.D. (2019). “Context-awareness enhances 5g multi-access edge computing reliability”. In press, *IEEE Access*, 7, pp. 21290-21299.
- Huckle, S., Bhattacharya, R., White, M. and Beloff, N. (2016). “Internet of things, blockchain and shared economy applications”. *Procedia Computer Science*, 98(c), pp. 461–466.
- Huawei. (2018). “Huawei’s Blockchain Whitepaper”. [https://static.huaweicloud.com/upload/files/pdf/20180411/20180411144924\\_27164.pdf](https://static.huaweicloud.com/upload/files/pdf/20180411/20180411144924_27164.pdf) (Accessed on 28 December 2019).
- IBM. (2015). “Empowering the edge: Practical insights on a decentralized Internet of Things”. Available: <https://www01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=GBE03662USEN>.
- Jayasinghe, U., Lee, G. M., MacDermott, Á. and Rhee, W. S. (2019). “TrustChain: A Privacy Preserving Blockchain with Edge”. *Wireless Communications and Mobile Computing*.
- Jiao, Y., Wang, P., Niyato, D. and Xiong, Z. (2017). “Social welfare maximization auction in edge computing resource allocation for mobile blockchain”. Available on: <https://arxiv.org/abs/1711.02844>.
- Jo°Ajilo, S. and DAjn, G. (2019). “Selfish decentralized computation offloading for mobile cloud computing in dense wireless networks”. *IEEE Transactions on Mobile computing*, 18(1), pp. 207–220.
- Khan, W. Z., Ahmed, E., Hakak, S., Yaqoob, I. and Ahmed, A. (2019). “Edge Computing: A Survey”. *Future Generation Computer Systems*, 97, pp. 219-235.
- Khelifi, H., Luo, S., Nour, B., Sellami, A., Moun gla, H., Ahmed, S. H. and Guizani, M. (2019). “Bringing deep learning at the edge of information-centric internet of things”. *IEEE Communications Letters*, 23(1), pp. 52–55.
- King, S., and Nadal, S. (2012). “Ppcoin: peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake”. Available: <http://peercoin.net/assets/paper/peercoin-paper.pdf>.
- Lei, A., Cruickshank, H., Cao, Y., Asuquo, P., Ogah, C. P. A. and Sun, Z. (2017). “Blockchain-based dynamic key management for heterogeneous intelligent transportation systems”. *IEEE Internet of Things Journal*, 4(6), pp. 1832–1843.
- Lemieux, V. L., (2016). “Trusting records: is Blockchain technology the answer?”. *Account. Audit. Account. Journal*, 2(2), pp. 72–92.
- Li, C. and Zhang, L. (2017). “A blockchain based new secure multi-layer network model for Internet of Things”. Proc. *IEEE ICIOT'17*, pp. 33–41, Honolulu, USA.
- Li, Z., Kang, J., Yu, R., Ye, D., Deng, Q. and Zhang, Y. (2017). “Consortium blockchain for secure energy trading in industrial internet of things”. *IEEE Trans. Ind. Informatics*, 14(8), pp. 3690-3700.
- Liu, B., Yu, X., Chen, S., Xu, X., and Zhu, L. (2017). “Blockchain based data integrity service framework for IoT data”. *IEEE ICWS'17*, Honolulu, USA.
- Luong, N. C., Xiong, Z., Wang, P., and Niyato, D. (2017). “Optimal auction for edge computing

- resource management in mobile blockchain networks: A deep learning approach". Available on: <https://arxiv.org/abs/1711.02844>.
- Merz, M. (2016). "Potential of the blockchain technology in energy trading. Burgwinkel, Daniel, Blockchain technology Introduction for Business and IT Managers". de Gruyter.
- Nakamoto, S. (2008). "Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system". Available: <https://bitcoin.org>.
- Ning, Z., Kong, X., Xia, F., Hou, W., and Wang, X. (2019). "Green and sustainable cloud of things: Enabling collaborative edge computing". *IEEE Communications Magazine*, 57(1), pp. 72–78.
- Novo, O. (2018). "Blockchain meets IoT: An architecture for scalable access management in IoT". *IEEE Internet of Things Journal*, 5, pp. 1184–1195.
- Pahl, C., EL Ioini, N. and Helmer S. (2018). "A Decision Framework for Blockchain Platforms for IoT and Edge Computing". Proceedings of the 3rd International Conference on Internet of Things, Big Data and Security, 1: IoTBDS, pp. 105-113.
- Panikkar, S., Nair, S., Brody, P. and Pureswaran, V. (2015). IBM Adept: An IoT practitioner perspective. Draft copy for *Advance Review*.
- Patel, M., Hu, Y. and Hédé, P. (2010). "Mobile edge computing". Available at: [https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/MEC/Docs/Mobile-edge\\_Computing\\_-\\_Introductory\\_Technical\\_White\\_Paper\\_V1%2018-09-14.pdf](https://portal.etsi.org/Portals/0/TBpages/MEC/Docs/Mobile-edge_Computing_-_Introductory_Technical_White_Paper_V1%2018-09-14.pdf) (Accessed on 23 July 2018).
- Poon, J. and Buterin, V. (2017). "Plasma: Scalable autonomous smart contracts". Available: <https://plasma.io/plasma.pdf>.
- Poon, J. and Dryja, T. (2016). "The bitcoin lightning network: Scalable off-chain instant payments". Available: <https://lightning.network/lightning-network-paper.pdf>.
- Prazeres, C. and Serrano, M. (2016). "SOFT-IoT: Self-organizing fog of things". In Proc. WAINA' 16, Crans-Montana, Switzerland, pp. 803–808.
- Preden, J. S., Tammema, K., Jantsch, A., Leier, M., Riid, A. and Calis, E. (2015). "The benefits of self-awareness and attention in fog and mist computing". *Computer*, 48(7), pp. 37–45.
- Ren, J., He, Y., Huang, G., Yu, G., Cai, Y. and Zhang, Z. (2019). "An edge-computing based architecture for mobile augmented reality". press, *IEEE Network*, 33(4), pp. 162-169.
- Romano, D. and Schmid, G. (2017). "Beyond Bitcoin: A Critical Look at blockchain-Based Systems". *Cryptography*, 1(2), pp. 15.
- Sahni, Y., Cao, J. and Yang, L. (2019). "Data-aware task allocation for achieving low latency in collaborative edge computing". press, *IEEE Internet of Things Journal*. 6(2), pp. 3512-3524.
- Samaniego, M., and Deters, R. (2017). "Virtual resources and blockchain for configuration management in IoT". *Journal of Ubiquitous Systems and Pervasive Networks*, 9(2), pp. 1–13.
- Samaniego, M. and Deters, R. (2016). "Hosting virtual IoT resources on edge hosts with blockchain". In 2016 IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT) (pp. 116-119). IEEE.
- Satyanarayanan, M. (2017). "The emergence of edge computing". *Computer*, 50(1), pp. 30–39.
- Satyanarayanan, M. (2019). "How we created edge computing". *Nature Electronics*, 2(1), p. 42.
- Satyanarayanan, M., Bahl, P., Caceres R. and Davies, N. (2009). "The case for VM-based cloudlets in mobile computing". *IEEE Pervasive computing*, 8(4), pp. 14–23. Doi: 10.1109/mprv.2009.82.
- Seijas, P. L., Thompson, S. and McAdams, D. (2016). "Scripting smart contracts for distributed ledger technology". Available: <http://eprint.iacr.org/2016/1156>.
- Sharma, P. K., Chen, M.-Y. and Park, J. H. (2017). "A software defined fog node based distributed blockchain cloud architecture for IoT". *IEEE Access*, (99), pp. 2169–3536.
- Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y. and Xu, L. (2016). "Edge Computing: Vision and Challenges". *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), pp. 637-646.
- Sikorski, J. J., Haughton, J. and Kraft, M. (2017). "Blockchain technology in the chemical industry: machine-to-machine electricity market". *Applied Energy*, 195, pp. 234–246.
- Sittón, I., and Rodríguez, S. (2017). "Pattern

- Extraction for the Design of Predictive Models in Industry 4.0". International Conference on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems (PAAMS) (pp. 258–261). Springer, Cham.
- Stanciu, A. (2017). "Blockchain based distributed control system for edge computing". Proc. *IEEE CSCS'17*, Bucharest, Romania, pp. 29–31.
- Stojmenovic, I. and Wen, S. (2014). "The fog computing paradigm: Scenarios and security issues". *Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*, 2014 Federated Conference on IEEE, 2, pp. 1–8.
- Teutsch, J. and Reitwießner, C. (2019). "A scalable verification solution for blockchains". ArXiv: 1908.04756v1.
- Tomaso, A., Paolo, T. and Matteo, T. D. (2017). "Blockchain technologies: the foreseeable impact on society and industry". *Computer*, 50(9), pp. 18–28.
- Tuli, S., Mahmud, R., Tuli, S. and Buyya, R. (2019). "FogBus: A Blockchain-based Lightweight Framework for Edge and Fog Computing". *The Journal of Systems and Software*, 154, pp. 22–36.
- Vaquero, L. M. and Rodero-Merino, L. (2014). "Finding your way in the fog: Towards a comprehensive definition of fog computing". *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44(5), pp. 27–32.
- Viriyasitavata, W. and Hoonsopon, D. (2018). "Blockchain Characteristics and Consensus in Modern Business Processes". *Journal of Industrial Information Integration*, 13, pp. 32–39.
- Vukolic, M. (2015). "The quest for scalable blockchain fabric: Proof-of-work vs. BFT replication". International Workshop on Open Problems in Network Security, Zurich, Switzerland.
- Wang, P., Yao, C., Zheng, Z., Sun, G. and Song, L. (2019). "Joint task assignment, transmission and computing resource allocation in multi-layer mobile edge computing systems". *press, IEEE Internet of Things Journal*.
- Yang, R., Yu, F. R., Si, P., Yang, Z. and Zhang, Y. (2019). "Integrated blockchain and edge computing Systems: A Survey, Some Research Issues and Challenges". *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 21(2), pp. 1508–1532.
- Yeow, K., Gani, A., Ahmad, R. W., Rodrigues, J. J. P. C. and Ko, K. (2018). "Decentralized Consensus for Edge-Centric Internet of Things: A Review, Taxonomy, and Research Issues". *IEEE Access*, 6, pp. 1513–1524.
- Yi, S., Li, C. and Li, Q. (2015). "A survey of fog computing: concepts, applications and issues". 2015 workshop on mobile big data, *ACM*, pp. 37–42.
- Yousefpour, A., Fung, C., Nguyen, T., Kadiyala, K., Jalali, F., Niakanlahiji, A., Kong, J. and Jue, J. P. (2019). "All One Needs to Know about Fog computing and related edge computing Paradigms". *Journal of Systems Architecture*, 98, pp. 289–330.
- Yu, F. R. (2019). "A service-oriented blockchain system with virtualization". *Transactions on blockchain technology and Applications*, 1(1), pp. 1–10.
- Yu, F. R., Liu, J., He, Y., Si, P. and Zhang, Y. (2018). "Virtualization for distributed ledger technology (vdlr)". *IEEE Access*, 6, pp. 25019–25028.
- Yu, W., Liang, F., He, X., Hatcher, G. W., Lu, C., Lin, J. and Yang, X. (2017). "A survey on the edge computing for the Internet of Things". *IEEE Access*, 99, pp. 1–18.
- Zhang, Y. and Wen, J. (2017). "The IoT electric business model: using blockchain technology for the internet of things". *Peer-to-Peer Network Applications*, 10(4), pp. 983–994.
- Zhang, Z., Zhang, W. and Tseng, F. (2019). "Satellite mobile edge computing: Improving qos of high-speed satellite-terrestrial networks using edge computing techniques". *IEEE Network*, 33(1), pp. 70–76.



# Securing Edge Computing via Blockchain

Saeed Kazem Pourian<sup>1</sup>  
Mohammad Shahbazi<sup>2</sup>  
Mohammad Reza Taghva<sup>3</sup>

## Abstract

Distributed ledger technologies have attracted significant attention recently and blockchain, as the underlying technology of cryptocurrencies, is the focal point of this attention. Blockchain has been used in various domains, such as cloud, fog, and edge computing and Internet of Things (IoT). However, it faces some limitations and lacks the capability to support frequent transactions. On the other side, after cloud and fog computing, edge computing serves as a key enabler for many future technologies like 5G, IoT, and vehicle-to-vehicle communications by connecting cloud computing resources and services to the end users and extends them at the edge of the network, but it currently confronts with challenges in decentralized management and security. Incorporating of blockchain and edge computing in one system can provide reliable access and control of the network, storage and computation distributed at the edges, thus providing a large scale of network servers, data storage and validity computation near the end in a secure manner. Notwithstanding the benefits of integrated blockchain and edge computing systems, their scalability enhancement, self-organization, resource management, functions integration and security issues need to be addressed before widespread implementation. This paper reviews some of the studies about enabling the integrated blockchain and edge computing system. Several critical aspects of the integration of blockchain and edge computing are identified. Finally, some of the effects of this integration on the business are discussed.

**Keywords:** Edge Computing, Blockchain, Fog computing, Internet of Things, Data security

---

1. Ph.D. Candidate in IT Management, Faculty of Management & Accounting, Allameh Tabataba'i University; saeed.kazem.313@gmail.com.

2. Ph.D. Candidate in IT Management, Faculty of Management & Accounting, Allameh Tabataba'i University.

3. Associate Professor, Faculty of Management & Accounting, Allameh Tabataba'i University.