نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۵۸ – ۲۳

کاربردهای فناوری بلاکچین در کسب‌وکارهای صنعت انرژی: فرصت‌ها و چالش‌ها

[۱] داود منظور، [۲] احمد نوروزی*

چکیده

اخیراً فناوری‌های نرم‌افزاری که برای پلتفرم پرداخت‌های همتا به همتا مورد استفاده قرار می‌گیرند، اهمیت فزاینده‌ای در بخش‌های مختلف اقتصادی پیدا کرده‌اند. در این میان، محققان و فعالان بخش انرژی به‌عنوان یک بخش پیشگام در اقتصاد کشورها نیز به امکان‌سنجی استفاده از این قبیل فناوری‌ها همچون فناوری بلاکچین در بدنه خدمات مرتبط با بخش انرژی پرداخته‌اند تا تقویت زیرساخت‌های خود با حرکت به سمت یک بستر امن، شفاف، قابل اعتماد، کارا و قدرتمند را محقق سازند. با توجه به این نکته که در حال حاضر، کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی در فازهای مطالعاتی خود قرار دارد. بر این اساس، نوشتار حاضر به انجام مطالعات اولیه کاربردهای این فناوری در بخش انرژی کشور با هدف استفاده‌های آتی در مطالعات و پروژه‌های اجرایی، پرداخته است. نتایج تحقیق حاکی از آن است که استقرار سازوکارهای حاکم بر بازار انرژی بر بستر فناوری دفاتر کل توزیع شده، بر چابکی و کارایی بازارهای انرژی در کشور خواهد افزود و موجبات رفع برخی نارسایی‌های ساختاری را فراهم خواهد آورد.

تاریخ دریافت:
۱۳۹۸ / ۱۰ / ۱۰

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۸ / ۶ / ۱۰

کلمات کلیدی:
بلاکچین
دفاتر کل توزیع شده
امنیت انرژی
تمرکززدایی انرژی
مبادله همتا به همتا

۱. دانشیار دانشکده معارف اسلامی و اقتصاد دانشگاه امام صادق (ع) manzoor@isu.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری مدیریت قراردادهای بین‌المللی نفت و گاز دانشگاه امام صادق (ع) (نویسنده مسئول)
norouzi.ahm@gmail.com

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

۱. مقدمه

داشتن اطلاعات راجع به قیمت کالاها، نوع کالا و کیفیت آن از اهمیت به‌سزایی در مبادلات اقتصادی برخوردار است. همچنین برای مبادله یک خدمت در پهنه اقتصادی، برخورداری طرفین از کیفیت و تعداد آن در تعیین سود و زیان طرفین مبادله اهمیت زیادی دارد. یکی از ویژگی‌های محیطی که باید برای عملکرد درست و صحیح علم اقتصاد و تئوری‌های آن وجود داشته باشد، در اختیار داشتن اطلاعات کامل و دقیق از قیمت و مقدار کالا در بازارهای مختلف است. آنچه حائز اهمیت است این است که اطلاعات مورد نظر می‌بایست در اختیار همه باشد و به‌عبارتی دیگر، دسترسی به اطلاعات بازار میان عوامل می‌بایست یکسان باشد. اطلاعات نامتقارن ممکن است موجب ناپدید شدن یا ناقص شدن بازارها شود یعنی یا بازار وجود نخواهد داشت یا حیطه فعالیت عوامل اقتصادی محدود خواهد بود [۳].

در دسترس نبودن یا عدم تقارن اطلاعات در دنیای پیچیده مبادلات باعث بروز هزینه مبادله خواهد بود. منشأ بروز نااطمینانی، عدم امکان پیش‌بینی کامل وضعیت آینده و پیچیدگی‌ای است که عقلانیت کران‌دار مارا از فهم آن باز می‌دارد. زمانی که قادر به پیش‌بینی آینده و از بین بردن فرصت‌طلبی نیستیم، نیاز به یک پروسه تصمیم‌گیری متناوب تعدیلی داریم تا بتوانیم موقعیت‌های جدیدی که پیش می‌آیند را اداره کنیم. پیچیدگی ایجاب می‌کند که برای پاسخ کارا به محرک‌ها انعطاف داشته باشیم. افزایش نااطمینانی، هزینه‌های چانه‌زنی یا عدم پذیرش را افزایش داده و باعث می‌شود، طرف‌های فرصت‌طلب برای منافع خود رفتارهای راهبردی پیش گیرند. هزینه‌های مبادله را به‌طور معمول در ۶ گروه هزینه‌های جستجو، هزینه‌های اطلاعات، هزینه‌های چانه‌زنی، هزینه‌های تصمیم‌گیری، هزینه‌های سیاستگذاری و هزینه‌های اجرا طبقه‌بندی می‌کنند [۱۴] که سازوکارهای نهادی حاکم بر این مبادلات، ساختار حاکمیت را شکل می‌دهند. اقتصاد هزینه مبادله با مفروض گرفتن دو جنبه فرصت‌طلبی عوامل اقتصادی و عقلانیت کران‌دار در حیطه رفتار اقتصادی بر روی سه عامل نهادی نااطمینانی، خاص بودن دارایی و بسامد مبادله، چهار مدل برای حاکمیت بر مبادلات در نظر می‌گیرد: [۱۶]

- تجارت در بازار نقدی یا لحظه‌ای (حاکمیت نظام بازار)؛
- تجارت با استفاده از قراردادهای بلندمدت (حاکمیت دوجانبه)؛

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

- تجارت با استفاده از قراردادهای بلندمدت با حق مداخله شخص ثالث جهت تسهیل مبادلات (حاکمیت سه جانبه)؛
- ادغام عمودی (حاکمیت یکپارچه شده) که تمامی مبادلات در آن به صورت درون بنگاهی انجام می‌شود.

الگوی چهارم (ادغام عمودی و حاکمیت یکپارچه شده) را به‌دلیل فاصله با شرایط بازار و تقویت قدرت انحصار نمی‌توان شیوه‌ای کارآمد تلقی کرد. همچنین تجارت با استفاده از قراردادهای بلند مدت (حاکمیت دوجانبه)، در بردارنده چالش‌های حقوقی و اقتصادی می‌باشد که این چالش‌ها ثبات کارایی و تناسب قراردادهای حوزه انرژی متناسب با اهداف کلی ترسیم شده برای کشورها را تحت‌تأثیر خود قرارمی‌دهند [۱]. مسائل ناظر به پیش از عقد قرارداد از قبیل جستجو، گردآوری اطلاعات، چانه‌زنی، تصمیم‌گیری، سیاستگذاری و اجرا به‌منظور کاهش هزینه‌های مبادلاتی و مسائل پسینی قراردادها از قبیل راهکارها و مکانیزم‌های حل و فصل اختلافات، فرآیندهای داوری، ضمانت اجرای عدم انجام تعهدات، شیوه پرداخت‌ها، تعارضات منجر شده به‌واسطه نابرابری جایگاه طرفین قرارداد و غیره، از جمله چالش‌های پیش روی به‌کارگیری این شیوه حاکمیت در جهت مدیریت هزینه‌های مبادله می‌باشد.

بروز اختلافات و دشواری‌های حوزه حکمرانی دو جانبه (معاملات مبتنی بر قرارداد)، ضرورت متمرکز نمودن بحث نظارت در حوزه معاملات محصولات انرژی از مجرای تشکیل یک بازار منسجم و متشکل را بیش از پیش نمایان ساخت که با به‌وجود آوردن سازوکار معامله این محصولات در یک چهارچوب تعریف شده و مشخص، شرایط نظارتی را تسهیل نماید [۲]. بر این اساس، کشورها اقدام به بهره‌گیری از الگوی سوم حاکمیت در خصوص مدیریت هزینه‌های مبادله یعنی تجارت با استفاده از قراردادهای بلندمدت با حق مداخله شخص ثالث جهت تسهیل مبادلات (حاکمیت سه جانبه) نمودند. اما این راهکار به نوعی بهینه ثانوی[1] می‌باشد؛ چرا که با توجه به خاص بودن محصولات انرژی و شرایط حاکم بر چهارچوب عرضه و تقاضای آن، تحقق شرایط شکل‌گیری بازار نقدی یا لحظه‌ای چون سایر کالاهای معمولی مورد

1. Second best

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

مبادله در بازار، با شرایط اخیر حاکم بر بازار محصولات انرژی با فاصله خواهد بود و کاهش این فاصله مستلزم به‌کارگیری ابزارهای متناسب با این هدف می‌باشد.

در دهه اخیر گسترش مفاهیم مرتبط با فناوری بلاکچین[1]، شرایط را دستخوش تغییراتی نمود و زمینه را برای ظهور انقلابی شگرف در بخش صنعت در جهان مساعد ساخت. فناوری بلاکچین در سال۲۰۰۸ توسط یک فرد یا گروهی ناشناس موسوم به ساتوشی ناکاموتو[2] به‌طور عمومی معرفی شد. بلاکچین در حقیقت یک دفتر کل عمومی توزیع شده می‌باشد که اطلاعات را به‌طور یکسان در اختیار تمام اعضاء شبکه قرار می‌دهد و یکی از مهمترین مشخصه‌های آن رفع ضرورت وجود نهاد ثالث مرکزی قابل اعتماد جهت کاهش هزینه‌های مبادله است. این فرآیند دسترسی اعضاء شبکه به اطلاعات و بهره‌مندی ایشان را تسهیل می‌نماید که می‌تواند گام مهمی در خصوص هدایت بازارهای انرژی به سمت تجارت در بازار نقدی و حاکمیت نظام بازار در بخش انرژی در جهان را عینیت بخشد.

بر این اساس در این پژوهش، پس از معرفی بلاکچین و بیان مفاهیم کلی مرتبط با این فناوری، به کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی پرداخته شده است و ضمن بیان ایده‌های کاربردی مرتبط با موضوع، نمونه‌های عملی اجرا شده در دنیا مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در بخش پایانی نیز به بیان چالش‌های کلیدی استفاده از فناوری بلاکچین در بخش انرژی پرداخته شده است.

۲. پیشینه پژوهش

اندونیا و همکاران[3] (۲۰۱۹) در مقاله‌ای تحت عنوان "تکنولوژی بلاکچین در بخش انرژی: مروری نظام‌مند بر فرصت‌ها و چالش‌ها" ادعا نموده‌اند که نخستین مطالعه نظام‌مند در خصوص کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی را شکل داده‌اند [۸]. نتایج این تحقیق حاکی از این است که بیشتر پروژه-هایی که در حال اجرای کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی هستند، در گام‌های مطالعاتی و توسعه‌ای خود قرار دارند. مبتنی بر نتایج این پژوهش، تکنولوژی بلاکچین در وضعیت فعلی که در مراحل نخستین مطالعاتی خود قرار دارد، برای بنگاه‌های فعال در بخش انرژی که چالش‌های متعددی از قبیل

1. Blockchain
2. Satoshi Nakamoto
3. Andoni et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

مسائل ناظر به حوزه تنظیم‌گری، چالش‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری و... در سیستم‌های سنتی خود در خصوص نفوذ به بازارها دارند، اثرات مخربی بر کسب‌وکار ایشان بر جای خواهد گذاشت. از طرفی دیگر چنان‌چه این سیستم به بلوغ خود از لحاظ مبانی نظری رسیده و توفیق ورود به مرحله تجاری-سازی را پیدا کند، می‌تواند در مسیر اصلی حرکت بخش انرژی قرار گیرد و به این بخش در تعالی اهداف ملی کشورها کمک نماید.

دونرر و لاکاسانی[1] (۲۰۱۸) در گزارش خود تحت عنوان "بلاکچین و گذار انرژی" فرصت‌ها و تهدیدات بلاکچین را برای مسئولان محلی مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق یافته‌های این گزارش، توصیف دقیق تمامی جنبه‌ها و چالش‌های ملموس بلاکچین کمی دشوار به‌نظر می‌رسد. همچنین کاربردهای آن در بخش انرژی در مراحل اولیه و آزمایشی خود قرار دارد. همچنین در برخی از موارد و مطالعات که بر جنبه‌های فنی بلاکچین تمرکز بیشتری دارند، فراموش کرده‌اند که بلاکچین یک هدف نیست، بلکه ابزاری در راستای تحقق اهداف می‌باشد. [۲۰]

دانگ و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله‌ای تحت عنوان "بلاکچین: یک ساختار امن، غیرمتمرکز و قابل اعتماد برای سیستم‌های آینده انرژی" به جنبه‌های مختلف کاربردهای فناوری بلاکچین به‌عنوان یک ساختار امن، توزیع شده و قابل اعتماد برای شبکه‌های آینده انرژی پرداخته است. این مقاله در گام نخست به معرفی کلیات مرتبط با فناوری بلاکچین پرداخته است. در گام بعدی مدل‌های شبکه‌های هوشمند برق مبتنی بر فناوری بلاکچین معرفی شده است. به‌دنبال آن چالش‌های احتمالی این طرح نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

میلریا[2] (۲۰۱۷) در مقاله‌ای تحت عنوان "سازمان توزیع شده مستقل انرژی: نسل بعدی کاربردهای بلاکچین برای زیرساخت‌های انرژی" ظرفیت‌های بالقوه بلاکچین برای شبکه‌های هوشمند ایالات متحده را مورد بررسی قرار داده است. نتایج این تحقیق حاکی از این است که فناوری بلاکچین پیش از مرحله اجرایی‌سازی با چالش‌های بنیادین سیاستگذاری و تنظیم‌گری و عدم تکافوی مبانی نظری لازم مواجه است. [۳۸]

1. David Donnerer and Sylvie Lacassagne
2. Mylrea

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

کوهلمن و همکاران (۲۰۱۷) در گزارشی تحت عنوان "بلاکچین در بخش انرژی: مطالعه‌ای مبتنی بر نظریات تصمیم‌گیران و سیاستگذاران بخش انرژی در آلمان" تحقیقی با این موضوع از میان ۷۰ تن از صاحبنظران حوزه انرژی به‌عمل آورده‌اند. طبق نتایج این تحقیق، بیش از ۵۰درصد شرکت‌کنندگان در این تحقیق، یا ایده و برنامه‌هایی در خصوص عملیاتی‌سازی بلاکچین در بخش انرژی دارند و یا این‌که در حال اجرای نسخه‌های آزمایشی پروژه‌های مرتبط با این موضوع می‌باشند. تولیدکنندگان متعددی نیز علاقه‌مند به انجام پروژه‌های تحقیقاتی بر روی کاربردهای فناوری دفتر کل توزیع شده در بخش انرژی می‌باشند.

مؤسسه پی دبلیو سی[1] (۲۰۱۷) در گزارش خود تحت عنوان "بلاکچین: یک فرصت جدید برای عرضه کنندگان و مصرف‌کنندگان انرژی" کاربردهای مختلف بلاکچین در بخش انرژی را مورد مطالعه قرار داده است. نتایج این گزارش، حاکی از آن است که بلاکچین قادر است برخی چالش‌های پیش روی شرکت‌های فعال در حوزه انرژی را مرتفع نماید. بر این اساس تغییر ساختار در صنعت انرژی آینده مستلزم تحقق سه مؤلفه اساسی کربن‌زدایی، تمرکز زدایی و دیجیتال‌سازی می‌باشد که فناوری بلاکچین ظرفیت این را به‌خوبی دارا می‌باشد. [۳۹]

مؤسسه بی تی ال (۲۰۱۷) در گزارشی تحت عنوان "تجدید حیات مدیریت اطلاعات در صنایع انرژی" کاربردهای بلاکچین در صنعت انرژی را مورد مطالعه قرار داده است. مطابق یافته‌های این پژوهش، شرکت‌های فعال در بخش انرژی در حال حاضر، در حال اجرای نسخه آزمایشی پروژه‌های خود در خصوص تجدید ساختارهای مدیریت داده، مدیریت زنجیره عرضه و نکات امنیتی می‌باشند. حذف کامل کارگزاران و واسطه‌ها و این چنین ساختارهای هزینه‌بر گذشته را نمی‌توان هدف غایی این قبیل پروژه‌ها به‌شمار آورد، چرا که این قبیل تغییرات در دسته تغییرات سطحی دسته‌بندی می‌شوند. هدف نهایی این طرح‌ها، شفافیت اطلاعات، افزایش ارتباطات مبتنی بر ماشین و ارتقاء سطح امنیت، خودکارسازی فرآیندها و قابلیت اعتماد می‌باشد.

1. PWC global power & utilities

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

دفتر مطالعات ارتباطات و فناوری‌های نوین معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹۷) در گزارشی تحت عنوان " فناوری دفاتر کل توزیع شده فراتر از فناوری زنجیره بلوکی" عناصر اصلی سامانه‌های دفاتر کل توزیع شده و اهداف این سامانه‌ها را مورد بررسی قرار داده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که معماری دفاتر کل توزیع شده در پایداری سامانه و حفظ سرعت سامانه زیر بار تقاضا نقش مهمی دارد. زنجیره بلوکی تنها یک گونه از معماری داده‌ها در طراحی دفاتر کل توزیع شده به‌شمار می‌رود. همچنین سایر معماری‌ها قابلیت‌های جدیدتری نسبت به زنجیره بلوکی فراهم می‌آورند و در برخی کاربردها مفید تر می‌باشند. [۴]

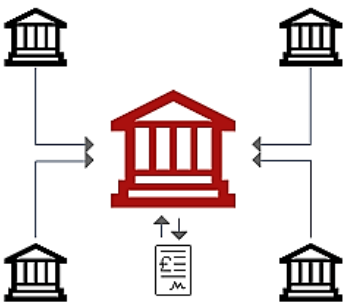
یعقوبی (۱۳۹۶) در مقاله خود تحت عنوان "بلاکچین و کاربردهای آن در بانک و پرداخت" به کاربردهای بلاکچین در زمینه‌های بانکی پرداخته است. این پژوهش ضمن بیان بخشی از چالش‌های موجود در شبکه بانکی از جمله ضرورت وجود نهاد ثالث مرکزی قابل اعتماد در جریان تراکنش‌ها که منجر به کاهش کارایی مبادلات روزمره می‌شود، بلاکچین را مکانیزم بهینه ایجاد اعتماد در غیاب نهاد ثالث معرفی می‌نماید. از مهمترین چالش‌های به‌کار گیری این فناوری، نوظهر بودن و نیاز به انجام مطالعات تحقیقاتی گسترده در این خصوص در مقاله یاد شده عنوان شده است. [۷]

۳. معرفی بلاکچین

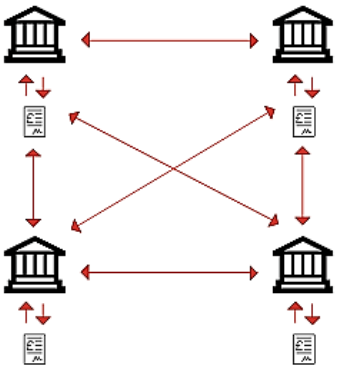
قدرت محاسبات و توسعه رمزنگاری، همراه با کشف و استفاده از الگوریتم‌های جدید، موجب پدید آمدن مفهومی به نام «دفتر کل توزیع شده[1]» گردید. دفاتر کل توزیع شده، زیرساخت‌هایی راهبردی هستند که نهادهای کلان مانند نظام بانکی، بورس و اوراق بهادار، دفاتر اسناد رسمی، زیرساخت‌های ارتباطی و ساختارهای صنایع مختلف را با توجه به اهداف، کارکردها و راهبردهای ایشان دگرگون خواهد کرد. دفتر کل توزیع شده، پایگاه داده‌ای است که براساس الگوریتم‌های تفاهم و معماری داده مورد قبول مشارکت‌کنندگان شبکه، نگهداری و به‌روزرسانی می‌شود.

1. Distributed Ledger

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]



شکل ۱. دفتر کل متمرکز. پایگاه داده توسط یک نهاد مرکزی ثالث مورد اعتماد نگهداری می‌شود.



شکل ۲. دفتر کل توزیع شده. هر عضو در شبکه یک کپی از پایگاه داده را دارا می‌باشد.

دفاتر کل توزیع شده، سامانه‌هایی هستند که در آن مشارکت‌کنندگانی که از لحاظ جغرافیایی، زمانی و مکانی پراکنده هستند، با کمک سازوکارهایی در مورد وضعیت درست سامانه به تفاهم می‌رسند. این بدان معناست که پرونده‌ها به‌طور مستقل، توسط هر گره[1] به‌روزرسانی و نگهداری می‌شوند که این امر، تغییر و یا حذف اطلاعات توسط یک فرد را تقریباً محال جلوه داده و امنیت اطلاعات را بسیار ارتقاء می‌بخشد که به این سازوکارها، سازوکارهای تفاهم می‌گویند. بلاکچین تنها یک گونه از معماری داده‌ها در طراحی دفاتر کل توزیع شده به‌شمار می‌رود. معماری داده نیز در حالت کلی به مدل‌ها، سیاست‌ها، قوانین و یا استانداردهایی اطلاق می‌شود که نوع و چگونگی داده‌های گردآوری، ذخیره و تنظیم شده را تعیین می‌کند (لغت‌نامه تجارت[2]، ۲۰۱۷)

دفاتر کل توزیع شده مبتنی بر ساختار داده بلاکچین، شناخته‌ترین نوع دفاتر کل توزیع شده هستند (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۷) [۴]. بلاکچین، یک دفتر ثبت[3] از تمام تراکنش‌هایی است که یک ارزش[4] را انتقال می‌دهند. نسخه‌ای از این دفتر کل، در اختیار هریک از اعضاء شبکه قرارخواهد گرفت

1. Node
2. Business Dictionary
3. Ledger
4. Value

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

[۷]. با استفاده از رمزنگاری در این فرآیند، امکان حذف و دستکاری اطلاعات ثبت شده نزدیک به محال می‌باشد. این پایگاه داده همچنین، ضرورت وجود یک نهاد مرکزی برای تأیید تراکنش را برطرف می‌سازد.

نخستین و ملموس‌ترین کاربرد تکنولوژی بلاکچین را می‌توان در تکنولوژی بیت‌کوین مشاهده کرد، ولی باید توجه داشت که کاربردهای عمده بلاکچین تنها در این موضوع خلاصه نمی‌شود (اولروز و ژگو[1]، ۲۰۱۶). فن‌آوری بلاکچین را می‌توان یکی از شناخته شده‌ترین مصادیق تحقق مدل‌های غیرمتمرکز به‌شمار آورد. از مهمترین کاربردهای بلاکچین می‌توان به مدیریت زنجیره ارزش، نسل نوین پول‌ها، تسویه بین بانکی، پرداخت‌های همتا به همتا، انتقال مالکیت سهام، الگوهای نوین تأمین مالی، تأمین انرژی، حسابداری، حفاظت از مالکیت معنوی، اینترنت اشیاء و... اشاره کرد.

۴. مفهوم و اصول بنیادین بلاکچین

بلاکچین، یک ساختار دیجیتالی از داده‌هاست. این پایگاه داده سابقه‌ای از تراکنش‌ها را به‌صورت کاملاً توزیع شده در خود نگهداری می‌کند. تمامی تراکنش‌ها در در قالب یک لجر[2] که طی یک الگوی زمانی و با بهره‌گیری از اصول رمزنگاری به بلاک‌های پیشین پیوند داده شده و زنجیره‌ای پیوسته از تراکنش‌ها را به‌وجود می‌آورند ذخیره می‌شوند که این زنجیره به هم پیوسته «بلاکچین» نام دارد. [۳۳]

بلاکچین روی یک شبکه دیجیتالی اجرا می‌شود. انتقال دیتا در این شبکه به معنی کپی اطلاعات از یک عضو[3] شبکه برای عضو دیگر می‌باشد، به‌عنوان مثال در کریپتوکارنسی‌ها، واحد پولی دیجیتالی از کیف پول[4] یک فرد، به کیف پول فرد دیگری منتقل می‌شود. مسئله حائز اهمیت در این خصوص طراحی شبکه به‌نحوی است که از پرداخت مجدد[5] پیشگیری نماید. راهکارهای سنتی در خصوص مدیریت موضوع پیشگیری از پرداخت مجدد نهاد ناظر مرکزی مانند بانک‌های مرکزی کشورها می‌باشد که در مقام یک نهاد واسط قابل اعتماد، متولی ذخیره‌سازی، حفظ امنیت و به‌روزرسانی دفاتر کل می‌باشد.

1. Olleros and Zhegu
2. Ledger
3. Node
4. Wallet
5. Double-spending

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

همچنین چنانچه که نهادهای موازی نیازمند ثبت و به‌روز رسانی دفـاتر کـل یکسـانی باشـند، یـک نهـاد مرکزی واسط، عهده‌دار یکسان‌سازی و نظارت بر نحوه به‌روز رسانی این دفـاتر کـل مـی‌باشـد. در برخـی حالات و موقعیت‌ها، ممکن است مدیریت مرکزی به‌دلیل وجود هزینـه‌هـای واسـطه‌ای و نیـاز بـه شـبکه ارتباطی و اعتماد به نهاد ثالث امکان‌پذیر نبوده و یا الگوی مطلوبی نباشد. [۳۳]

هدف اولیه فناوری بلاکچین، رفع نیاز به این چنین نهادهای واسـطه‌ای بـوده و پیشـنهاد جـایگزین آن، شبکه توزیع شده‌ای از کاربران می‌باشد که جهت اعتبارسنجی داده‌ها و تأیید تراکنش‌ها جهت ثبت در لجر بـا یکدیگر در تعامل می‌باشند. در این ساختار، بر خلاف سیستم‌های متمرکز، هر کاربر در شبکه بلاکچـین یـک نسخه از تمامی اطلاعات موجود را در یک فضای ذخیره‌سازی عمومی[1] قابل دسترس نگهداری می‌کند.

شکل ۳. ساختار غیرمتمرکز

شکل ۴. ساختارتوزیع شده

شکل ۵. ساختار متمرکز

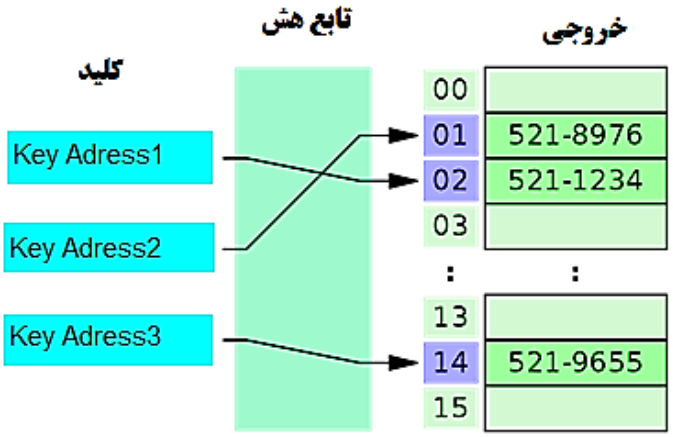
چنان‌چه نهاد قابل اعتماد واسطه‌ای حذف شود، مسئله یکسان‌سازی و به‌روزرسانی دفـاتر کـل در اختیار اعضاء مختلف شبکه مطرح می‌شود. فرآیندهای اعتبارسنجی و تأیید اطلاعات جهت به‌روزرسانی دفاتر کل، در انواع مختلف بلاکچین متفاوت است. [۳۳] در این ساختار، سـازوکار تفـاهم میـان اعضـاء مختلف شبکه در جهت تأیید اطلاعات و تراکنش‌ها تحت عنوان الگوریتم‌های تفاهم[2] شناخته می‌شوند.

1. Open cloud
2. Distributed consensus algorithms

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

رفتار صادقانه اعضاء از طریق یک انگیزه مالی یا پاداش[1] مبتنی بر حل مجموعه معادلات ریاضی تضمین می‌شود. [۹]

مؤلفه دیگری که امنیت شبکه را ارتقاء می‌بخشد، توابع درهم‌ساز[2] و الگوهای رمزنگاری کلید عمومی[3] می‌باشد. توابع درهم‌ساز (هش)، الگوریتم‌های ریاضی و یا توابع یک به یکی هستند که یک رشته ورودی را به رشته خروجی با طول معین ۲۵۶ بیتی تبدیل می‌کنند. امنیت یاد شده از این حیث بالا می‌باشد که تبدیل خروجی تابع هش به داده‌های ورودی، نزدیک به محال است. [۱۹]



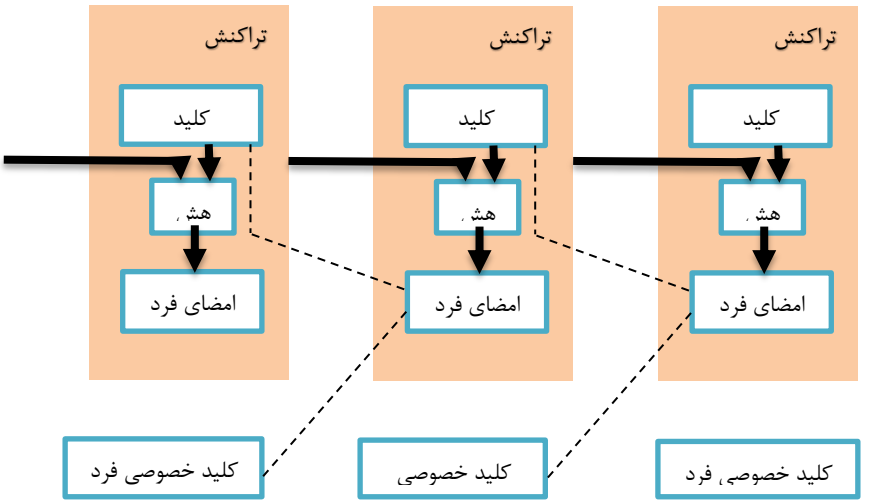
شکل ۶. نحوه درهم سازی کلیدها

همان‌طور که گفته شد، بلاکچین از الگوی رمزنگاری نامتقارن کلید عمومی نیز استفاده می‌کند. با استفاده از این روش، هر کاربر شبکه دو کلید مشتمل بر رشته‌ای از اعداد یا حروف را نزد خود نگهداری می‌کند: نخست کلید خصوصی است که به‌صورت شخصی و محرمانه نزد فرد نگهداری می‌شود و دیگر، کلید عمومی است که می‌توان آن را با سایر اعضای شبکه در میان گذاشت. کلیدها دارای الگوی

1. Reward
2. Hash functions
3. Public-key cryptography

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

خاصی از ارتباط ریاضی می‌باشند که تنها بخشی که آن را رمزنگاری کرده است قادر به رمزگشایی متقابل آن نیز می‌باشد. بهره‌گیری از کلیدهای عمومی و خصوصی در شبکه، متضمن تأیید هویت کاربران می‌باشد. به‌عنوان نمونه، شبکه می‌تواند هویت آغازگر یک تراکنش را تأیید نماید چراکه تنها کلید عمومی آغازگر تراکنش است که می‌تواند پیام اصلی که رمزنگاری شده و امضای دیجیتال کلید خصوصی آغازگر تراکنش، مؤید آن است را رمزگشایی نماید[۱]. در این مکانیزم، پیامی که توسط یک عضو با کلید عمومی مشخص ایجاد شده باشد، تنها از طریق کلید خصوصی فرد مد نظر قابل رمزگشایی می‌باشد. بدیهی است که تمامی استانداردهای معرفی شده در سیستم بلاکچین با بهره‌گیری از تعاملات همتا به همتا[۲] و تکنیک‌های ویژه و منحصر به‌فرد رمزنگاری قابل عملیاتی سازی هستند.



شکل ۷. ایجاد دفتر کل از مجموعه تراکنش‌ها

۱. امضای دیجیتال فرآیندی است که در آن صحت و اعتبار یک پیام دیجیتالی تایید می‌گردد. یک امضای دیجیتال معتبر، به گیرنده اطمینان می‌دهد که پیام توسط فرستنده اصلی ارسال شده و فرستنده نیز نمی‌تواند پیامی که ارسال کرده را انکار نماید. علاوه بر این، خود پیام نیز از تغییر و دستکاری مصون می‌ماند.

2. peer to peer یا P 2 P

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

۵. طبقه‌بندی روش‌های معماری سیستم بلاکچین

شبکه یا سیستم بلاکچین متناسب با انتظار از نحوه کارکرد آن می‌تواند معماری متفاوتی داشته باشد. سیستم‌های بلاکچین، متشکل از دو گروه کاربران شبکه و کاربران اعتبارسنج[1] می‌باشد. نودهای کاربر می‌توانند تراکنش‌هایی را ایجاد کرده و یا دریافت نمایند. ایشان همچنین قادر خواهند بود یک کپی از دفتر کل را در اختیار داشته باشند. کاربران اعتبارسنج نیز مسئولیت توافق بر سر تغییرات دفتر کل را بر عهده دارند. با توجه به نحوه پیکربندی[2] سیستم، دسترسی‌ها و امکان تأیید اعتبار به‌صورت مقطعی و یا جهان‌شمول تعیین می‌شود. کلیه کاربران اینترنت امکان دسترسی به بلاکچین عمومی[3] را پیدا می‌کنند. در نقطه مقابل، در بلاکچین خصوصی تنها کاربران مشخصی امکان دسترسی به شبکه هدف را پیدا می‌کنند.

دفاتر کل غیرانحصاری[4]، کاملاً توزیع شده و غیرقابل سانسور[5] هستند به‌نحوی‌که هر عضو شبکه، می‌تواند در شبکه مشارکت داشته باشد و به اعتبارسنجی تراکنش‌ها بپردازد. از طرفی دیگر، در دفاتر کل انحصاری[6] تنها نودهای اعتبارسنجی مشخصی امکان دسترسی به شبکه را دارا می‌باشند.

در دفاتر کل غیرانحصاری عمومی، کاربران و تأیید اعتبارکنندگان برای یکدیگر شناخته شده هستند و بر این اساس، مدیریت دفاتر کل، مبتنی بر اعطاء پاداش از طریق حل الگوریتم‌های ریاضیاتی صورت می‌پذیرد. [۳۴] در دفاتر کل انحصاری خصوصی، هویت کاربران از طریق تبعیت از اصول شناسایی هویت مشتری[7] احراز می‌شود. نودهای تأیید اعتبارکننده، شناخته شده و قابل اعتماد هستند، بنابراین نیازی به طراحی ساختارهای مجدد و ثانویه جهت تضمین عملکرد بهینه سیستم نمی‌باشد. در حالت کلی، دفاتر کل انحصاری خصوصی سرعت بیشتری داشته و از کارایی و انعطاف بالاتری نیز برخوردار می‌باشد و دلیل آن نیز عدم تغییرپذیری و غیرقابل سانسور بودن آن می‌باشد. [۳۴] در حالت

1. Validators
2. Configuration
3. Public blockchain
4. Permissionless Ledgers
5. Censorship-resistant
6. Permissioned ledgers
7. Know-your-customer

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

کلی، برخی معماران سیستم بلاکچین، نوع جدیدی از آن را تحت عنوان بلاکچین دوگانه[1] معرفی می‌کنند که می‌تواند ویژگی‌هایی از هر دو نوع آن را داشته باشد. (ژنگ و همکاران[2]، ۲۰۱۸) [۴۱]

بلاکچین را می‌توان طبق اهداف توسعه‌ای آن نیز تقسیم‌بندی کرد. با این رویکرد، بلاکچین به دو بخش بلاکچین با کاربری‌های عمومی و کاربری‌های خصوصی دسته‌بندی می‌شوند. به‌عنوان مثال، اتریوم[3] برای گستره‌ای از خدمات مختلف ولی بیت‌کوین[4] به‌طور خاص به‌منظور نقل و انتقالات پولی با استفاده از ابزار کریپتوکارنسی[5] طراحی شده است.

بلاکچین را همچنین می‌توان در دو گروه متن باز[6] و منبع بسته[7] تقسیم‌بندی کرد. معماری متن باز، در اختیار عموم قرار خواهد گرفت و شبکه را از حیث مطالعات و پیشنهادات توسعه‌ای آتی منتفع خواهد کرد و هر گونه تغییری را در اختیار عموم خواهد گذاشت. معماری منبع بسته، همچون کسب‌وکارهای خصوصی عمل می‌کند و هرگونه تغییری در یک جریان خصوصی اتفاق می‌افتد.

توجه به این نکته حائز اهمیت است که راه‌حل‌های عمومی معماری سیستم بلاکچین را نمی‌توان در تمامی کاربردها اثربخش دانست. بر این اساس، دقت در نوع معماری سیستم و انتخاب الگوریتم‌های تفاهم، منجر به تعیین ویژگی‌های اساسی سیستم اعم از سرعت، مقیاس‌پذیری، کارایی و... می‌شود.

۶. مروری بر الگوریتم‌های اجماع

دفاتر کل توزیع شده، سامانه‌هایی هستند که در آن مشارکت کنندگانی که از لحاظ جغرافیایی، زمانی و مکانی پراکنده هستند، با کمک سازوکارهایی در مورد وضعیت درست سامانه به تفاهم می‌رسند. به این سازوکارهای حصول تفاهم، مدل تفاهم نیز گفته می‌شود [۴]. روش‌شناسی موجود در خصوص تحقق بهترین تفاهم در شبکه، مؤلفه‌های کلیدی از جمله مقیاس‌پذیری، سرعت تراکنش‌ها، امنیت داده‌ها و... را تعیین می‌کند. روش‌های مختلفی در خصوص تحقق این تفاهم وجود دارد که هر

1. Hybrids
2. Zheng et al.
3. Ethereum
4. Bitcoin
5. Cryptocurrency
6. Open-source
7. Closed-source

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

یک از آن‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارا می‌باشند. در این بخش به بررسی اجمالی الگوهای موجود در این خصوص پرداخته شده است.

جدول ۱. الگوریتم‌های تفاهم در شبکه بلاکچین

ردیف	عنوان	نماد	توضیحات
۱	گواه اثبات کار	PoW	در این روش، اعضاء اعتبارسنج جهت افزودن یک بلاک جدید به شبکه با یکدیگر به رقابت در خصوص حل یک پازل که در حقیقت خروجی‌های تابع هش می‌باشند، می‌پردازد. [۹] روش یاد شده را می‌توان به نوعی یافتن ورودی با دانستن خروجی دانست. روش مورد استفاده قرار گرفته، به تولید یک نانس[1] (یک شماره تصادفی یکبارمصرف) منجر خواهد شد که خروجی هش را از سر صفحه بلوک[2] دریافت می‌کند. در این فرآیند چنان‌چه برخی اعضاء بتوانند بیش از ۵۱ درصد قدرت پردازشی شبکه را در اختیار بگیرند، امکان حمله به شبکه را پیدا خواهند کرد که از آن تحت عنوان حمله ۵۱ درصد یاد می‌کنند. در جریان حمله ۵۱ درصد، نودهای مخرب[3] امکان تغییر و بازنویسی تاریخچه تراکنش‌ها را پیدا خواهند کرد. (موفتیک[4]، ۲۰۱۷) [۳۶] یکی دیگر از مسائل گواه اثبات کار، اتلاف زیاد منابع واقعی همچون برق می‌باشد. به‌عنوان مثال، ادعا شده است که شبکه بیت‌کوین و اتریوم، بیش از ۱ میلیون دلار منابع برقی و سخت‌افزاری استفاده کرده‌اند. (ادروم[5]، ۲۰۱۷) [۲۳]

1. Nnonce
2. Block header
3. Malicious nodes
4. Muftic
5. Ethereum wiki

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

ردیف	عنوان	نماد	توضیحات
۲	گواه اثبات سهام	POS	گواه اثبات سهام، فعالیت‌های محاسباتی را با یک فرآیند گزینشی تصادفی جایگزین نموده است که شانس حل پازل را با یک نسبت مشخصی از میزان ثروت تأیید اعتبارکننده بالا می‌برد. بر این اساس، احتمال ایجاد بلوک بستگی به میزان سرمایه‌ای داشته که یک نود خاص، در شبکه سرمایه‌گذاری کرده است. (کستر[1]، ۲۰۱۷) [۱۳] این روش، می‌تواند بلاکچین با سرعت بیشتری را ارائه دهد (پیلینگتون[2]، ۲۰۱۷) که مصرف انرژی به مراتب کمتری نیاز داشته و احتمال وقوع حمله ۵۱ درصد را کاهش دهد. در این جریان با بهره‌گیری از مبانی نظریه بازی از احتمال وقوع سازش و یا حملات مخرب پیشگیری می‌نماید.
۳	تحمل خطای بیزانس عملی	PBFT	این الگوریتم ریشه در مطالعه خطای بیزانس که توسط لامپورت و همکاران در یک مقاله‌ای در زمینه علوم رایانه منتشر شده است، دارد (لمپورت و همکاران[3]، ۲۰۱۷) [۳۲] هایپرلجر[4]، استلار[5] و ریپل[6] نمونه بلاکچین‌هایی هستند که با این الگوریتم کار می‌کنند. مدل تحمل خطای بیزانس عملی شکل نوینی از ایجاد بلوک جدید در سیستم‌های بلاکچینی است که مبتنی بر تفاهمات براساس الگوهای رأی‌گیری می‌باشند. تحمل خطای بیزانس عملی می‌تواند کارایی بیشتری را نسبت به بلاکچین‌های عمومی غیرانحصاری فراهم آورد. این الگوریتم مستلزم اجماع بیش از دو سوم نودهای درستکار شبکه می‌باشد. (بالیگا[7]، ۲۰۱۷) [۱۰]

1. Castor
2. Pilikington
3. lamport et al
4. Hyperledger
5. Stellar
6. Ripple
7. Baliga

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

ردیف	عنوان	نماد	توضیحات
۴	اثبات سهام نمایندگی شده	DPoS	در این الگو، اعضاء شبکه نمایندگانی را برمی‌گزینند تا عهده‌دار امور اعتبارسنجی بلاک‌ها باشند. این سیستم بر اعتبار بنا شده و نودهای مخرب و غیر قابل اطمینان از این گزینش خارج می‌شوند. این فرآیند گزینشی ایجادکنندگان بلاک جدید، باعث افزایش سرعت تأیید تراکنش‌ها می‌شود. (بیتشرز[1]، ۲۰۱۷) [۱۱] مشابه گزینش انجام شده در خصوص ایجادکنندگان بلاک، سهامداران در شبکه، نمایندگانی را تعیین می‌کنند تا مسئولیت تنظیم قوانینی در خصوص پروتکل‌ها، کارمزد تراکنش‌ها، اندازه بلاک، تعداد تراکنش به ازای هر بلاک و... را عهده‌دار شوند.
۵	تفاهم بیزانس متعهد شده	FBA	فعالیت اعضاء شبکه متکی به مجموعه کوچکی از تأیید اعتبارکنندگانی است که مورد اعتماد شبکه می‌باشند. (کریپتوریالز[2]، ۲۰۱۷) [۱۵] در این فرآیند، اعضاء تراکنش‌هایی را می‌پذیرند که قبلاً توسط تأیید اعتبارکنندگان مورد اعتماد ایشان مورد پذیرش واقع شده است. ریپل و استلار دو پروتکلی هستند که از مدل‌های مختلف تفاهم بیزانس متعهد شده استفاده می‌کنند. در شبکه ریپل، اجماع طی چند مرحله اتفاق می‌افتد. ابتدا کاربران یک مجموعه‌ای از نامزدها[3] ایجاد کرده و آن را در شبکه قرار می‌دهند. سایر نودها به تراکنش‌ها رأی می‌دهند و مجموعه نامزدهای مورد نظر را مبتنی بر رأی اکثریت انتخاب می‌کنند. این فرآیند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که مجموعه نامزدها نهایی شده و بیش از ۸۰٪ آراء را کسب نماید. استلار نیز الگوی مشابهی را طی می‌نماید. یک بلاک زمانی مورد پذیرش واقع می‌شود که اکثریت تأیید اعتبارکنندگان یعنی تعداد نودهای کافی، به تفاهم دست یابند.

1. Bitshares
2. Cryptorials
3. Candidate set

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

ردیف	عنوان	نماد	توضیحات
۶	گواه اثبات اعتبار[۱]	PoAu	بلاکچین با گواه اثبات اعتبار، مجوز خاصی را در اختیار یک یا چند عضو جهت تغییر در بلاکچین قرار می‌دهد. اعضاء شبکه به نودهای معتبر خود اعتماد می‌کنند و بلاک جدید توسط این نودها ایجاد می‌گردد. هر نود نیز می‌تواند با مکانیسم رأی گیری به این مجموعه اضافه شود. (یوروالکتریک[۲]، ۲۰۱۷) [۲۴] این روش یک الگوی متمرکز در اختیار نهادهای تنظیم‌گر قرار می‌دهد. از جمله موارد استفاده این الگوریتم، در زمینه‌هایی است که امنیت داده‌ها و همگرایی فرآیندها قابلیت ریسک را ندارند. [۱۳]
۷	گواه اثبات زمان گذشت	PoET	این الگوریتم به‌دنبال توسعه یک الگوریتم اجماع عادلانه می‌باشد که بتواند هزاران نود را شامل شده و در عین حال از لحاظ مصرف انرژی نیز به صرفه باشد. این الگوریتم از یک فرآیند ایجاد بلاک جدید، مبتنی بر فرآیندهای تصادفی تبعیت می‌کند که این مهم با بهره‌گیری از نسل خاصی از CPUها امکان-پذیر است (بانتینکس[۳]، ۲۰۱۷) [۱۲] نودهای تأیید اعتبارکننده یک درخواست مبنی بر زمان وقفه[۴] از یک پردازشگر مرکزی دریافت می‌کنند. نودهایی که کوتاهترین زمان وقفه را پیشنهاد دهند، بلاک جدید را ایجاد خواهند کرد. (هرتینگ[۵]، ۲۰۱۷) [۲۸]

۱. این روش با توجه به متمرکز بودن ساختار آن برای بنگاه‌های فعال در بخش انرژی مطلوب می‌باشد. یکی از مصادیق این موضوع را می‌توان بلاکچین انرژی وب به‌شمار آورد که زمان تأیید آن در حدود ۳ تا ۴ ثانیه بوده و در هر ثانیه قابلیت انجام هزاران تراکنش را دارا می‌باشد.

2. Eurelectric
3. Buntinx
4. Waiting time
5. Herting

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

ردیف	عنوان	نماد	توضیحات
۸	گواه اثبات انجام فعالیت	PoAc	گواه اثبات فعالیت یک پروتکل ترکیبی است که به‌نوعی آمیزه‌ای از گواه اثبات کار و گواه اثبات سهام است. الگوی بلاک که خالی از تراکنش است، توسط استخراج‌کنندگان همانند گواه اثبات کار ایجاد می‌شود. سپس بلاک توسط گروهی از تأیید اعتبارکنندگان که به‌صورت تصادفی مبتنی بر میزان سهام ایشان در شبکه انتخاب می‌شوند، تأیید می‌شود و تأیید اعتبار بلاک با تأیید این گروه، نهایی می‌شود. چنانچه نودها در دسترس نباشند، گروه جدیدی انتخاب می‌شود. گواه اثبات انجام فعالیت، مزایا و معایب گواه اثبات کار و گواه اثبات سهام از قبیل مسئله اتلاف انرژی و احتمال تأیید اعتبار مجدد[1] را در خود دارد. (ایال[2]، ۲۰۱۶) [۲۵]

مأخذ: نتایج تحقیق

۷. تطبیق فناوری بلاکچین

بلاکچین و الگوریتم‌های اجماع غیرمتمرکز که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد، دارای منافع و کاربردهای گسترده‌ای می‌باشد. با توجه به این که توسعه فناوری بلاکچین در دوره آغازین خود می‌باشد، کاربردی ساختن آن در حوزه‌های مختلف ممکن است با چالش‌هایی همراه باشد.

نخستین مسأله تطبیق این فناوری، قابلیت مدیریت و انتقال دارایی‌های دیجیتال در یک پایگاه داده منسجم و قابل اعتماد است. مسأله بعدی، به اشتراک‌گذاری این پایگاه داده میان اعضاء مختلف شبکه است که هر گونه ویرایش یا تغییر در اطلاعات آن می‌بایست ضمن اتفاق نظر این اعضاء صورت پذیرد. در نهایت سؤال کلیدی این است که چرا می‌بایست از ساختارهای غیرمتمرکز برای کاربردهای گوناگون در حوزه‌های اقتصادی بهره برد. دلایل بالقوه این مسئله را می‌توان مواردی چون حذف

1. Double-signing
2. Eyal

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

هزینه‌های ناشی از وجود واسطه‌های قابل اعتماد، تراکنش‌های امن‌تر و سریع‌تر، الگوهای تسویه خودکار، کاهش آسیب‌پذیری سیستم‌ها و شفافیت اطلاعات برشمرد.

یکی از زمینه‌های کاربردی فناوری بلاکچین را می‌توان بخش انرژی به‌شمار آورد. بر این اساس، در بخش‌های آتی به کاربردهای فناوری بلاکچین در بخش انرژی پرداخته شده است.

۸. کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی

نهادهای تنظیم‌گر و بنگاه‌های تولیدکننده بر این باور هستند که بلاکچین می‌تواند راه‌حل‌هایی را برای رفع چالش‌های پیش روی صنعت انرژی، ارائه کند. آژانس انرژی آلمان معتقد است که فناوری بلاکچین قادر به ارتقاء کارایی فرآیندهای اخیر حاکم بر بخش انرژی بوده و همچنین می‌تواند توسعه پلتفرم‌های اینترنت اشیاء[1] را شتاب بخشیده و نوآوری‌هایی در تبادلات همتا به همتای[2] انرژی و تمرکززدایی از تبادلات انرژی ایجاد نماید. علاوه بر آن، ایشان در گزارش اخیر خود به این نکته اشاره نموده‌اند که تکنولوژی بلاکچین ظرفیت بهبود و ارتقاء قابل توجه شیوه‌های فعلی کسب‌وکارهای نوپا و فناورانه، بنگاه‌های تولیدکننده و هزینه‌ها و خدمات مشتریان این بخش را دارا می‌باشد [۲۱]. در این میان، سیستم‌های انرژی، تحت‌تأثیر تحولات بزرگی همراستا با تحولات حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات قرار می‌گیرند.

یکی از چالش‌های عمده در خصوص پیشرفت تمرکززدایی و دیجیتال‌سازی سیستم‌های انرژی، این است که این فرآیند، مستلزم تحقیق و بومی‌سازی شرایط موجود با ادبیات نظری پیشرفته طرح شده در این خصوص می‌باشد. تحقیقات انجام شده در این خصوص، حاکی از آن است که بلاکچین راه‌حل‌های کاربردی را در جهت کنترل و مدیریت سیستم‌های انرژی و ریزشبکه‌ها ارائه می‌دهد [۳۱]. همگرایی تولیدکنندگان انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس کوچک، فرآیندهای توزیع، خدمات متنوع و مشارکت واقعی مصرف‌کنندگان نهایی در بازار انرژی از مهمترین مسائلی است که در حال حاضر در بخش انرژی در دست مطالعه و اقدام قرار دارد.

1. IoT
2. P2P

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

برخی محققین [۳۸] معتقدند بلاکچین، می‌تواند پلتفرمی نوآورانه جهت مبادله فراهم نماید که عرضه‌کنندگان و متقاضیان در یک بستر P2P به مبادله بپردازند [۳۵]. بلاکچین همچنین می‌تواند بازارهای محلی انرژی را تقویت نماید (پانسون و همکاران[1]، ۲۰۱۸). از مهمترین مزایای این روش می‌توان به کاهش هزینه‌های واسطه‌ای و همچنین هزینه‌های مربوط به ارتقاء شبکه‌های موجود پرداخت. از طرفی دیگر، انرژی هنوز از طریق شبکه‌های فیزیکی تحویل می‌شود و عرضه و تقاضای انرژی نیاز به مدیریت دقیقی در خصوص محدودیت‌های تکنولوژیکی می‌باشد. براساس گزارشی که از جانب یوروالکتریک [۲۴] منتشر شده است، بلاکچین می‌تواند بیشینه شفافی از عرضه و تقاضای منطقه‌ای انرژی در اختیار قرار دهد. چنان‌چه بهره‌گیری از کاربردهای IoT و بازارهای منعطف موضوع بحث این پژوهش، شتاب بیشتری به خود بگیرد، بلاکچین می‌تواند تاب‌آوری شبکه و همچنین امنیت عرضه را بهبود بخشد. [۳۸]

بنابر آن‌چه گفته شد، بلاکچین می‌تواند راه‌حل‌های مفیدی را برای چالش‌های بخش انرژی ارائه نماید. بلاکچین می‌تواند از طریق بهبود و بهینه‌سازی فرآیندهای مربوط به بخش انرژی، ارتقاء امنیت شبکه و... امنیت عرضه را بالا برده و به ثبات و تعادل مطلوب‌تر در بخش انرژی کمک نماید.

در بخش‌های آتی، به مهمترین کاربردهایی که در مطالعات و در بعد نظری در خصوص کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی مورد بررسی قرارداده‌اند، اشاره شده است.

۹. ظرفیت‌های بلاکچین در فرآیندهای اجرایی شرکت‌های فعال در بخش انرژی

تکنولوژی بلاکچین، قابلیت کاربردی‌سازی در حوزه‌های کاری مختلفی از مجموعه فعالیت‌های بنگاه‌های فعال در بخش انرژی را دارا می‌باشد که خلاصه‌ای از آن را می‌توان در موارد ذیل اشاره نمود:

- صدور صورتحساب‌ها: بلاکچین می‌تواند در زمینه صدور صورتحساب‌ها به‌صورت خودکار مؤثر باشد [۲۹] و بنگاه‌های فعال در بخش انرژی می‌توانند از قابلیت‌های بلاکچین در زمینه پرداخت-های خرد و پلتفرم‌های نوین پرداخت منتفع گردند. [۱۷]

1. Ponson et al.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

- فروش و بازاریابی: الگوهای فروش می‌تواند با توجه به الگوی مصرف انرژی مصرف‌کنندگان، تمایلات شخصی و مسائل زیست‌محیطی، متنوع باشد (برگر و همکاران، ۲۰۱۸). ترکیب بلاکچین و تکنیک‌های هوش مصنوعی[1] همچون یادگیری ماشین[2]، می‌تواند الگوهای مصرف انرژی مصرف‌کنندگان را آشکار نموده و در برنامه‌ریزی‌های آتی انرژی اثربخش بود.
- مبادله و بازار: حاکمیت تکنولوژی بلاکچین بر فرآیندهای فروش، می‌تواند ساختار بازارهای عمده‌فروشی انرژی (برگر و همکاران، ۲۰۱۸)، تبادلات حوزه انرژی [۳۷] و پوشش ریسک در حوزه انرژی [۲۷] را تحت‌الشعاع قرار دهد. در حال حاضر سیستم بلاکچین به‌عنوان بستری قابل قبول در جهت مبادله انرژی‌های پاک [۱۷] در جوامع جهانی مورد قبول واقع شده است.
- خودکارسازی: بلاکچین می‌تواند کنترل و مدیریت سیستم‌های غیرمتمرکز انرژی و همچنین ریزشبکه‌ها را بهبود بخشد. (برگر و همکاران، ۲۰۱۸) تطابق بازارهای محلی انرژی که از مبادلات P2P انرژی در سطوح محلی حاصل شده‌اند و یا پلتفرم‌های توزیع شده، الگوهای مدیریتی عرضه و تقاضای انرژی را دچار تحولات شگرفی خواهد نمود [۲۹].
- کاربردهای ریزشبکه‌ها و انتقال داده: بلاکچین می‌تواند در برقراری ارتباط میان تجهیزات هوشمند، انتقال داده و ذخیره‌سازی به ایفای نقش بپردازد (برگر و همکاران، ۲۰۱۸). تجهیزات هوشمند در ریزشبکه‌ها شامل حسگرهای پیشرفته، تجهیزات مدیریت شبکه و سیستم‌های مدیریت انرژی، پایشگرهای انرژی خانه‌های هوشمند و... می‌باشد.
- امنیت و مدیریت هویت: محافظت از تراکنش‌ها در این فرآیند با تکنیک‌های رمزنگاری تضمین می‌شوند. بلاکچین می‌تواند یک بستر امن و قابل اعتماد جهت مدیریت هویت فراهم آورد. [۸]

1. Artificial intelligence
2. Machine learning

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

- اشتراک منابع: بلاکچین در عوض تمرکز داده‌ها در یک سرور مرکزی، ظرفیت‌های خود را از طریق به اشتراک‌گذاری منابع میان کاربرهای متنوع فعال در شبکه فراهم می‌آورد. [۱۷]
- شفافیت: سابقه تراکنش‌ها و فرآیندها در این ساختار، غیر قابل تغییر بوده و شفافیت را به همراه دارد که از این طریق، مسئله اعتماد را در بازار بهبود می‌بخشد و از بروز شکایات حقوقی پیش‌گیری به عمل می‌آورد. [۸]

بر این اساس، اهم کاربردهای فناوری بلاکچین در بخش انرژی را می‌توان به شرح موارد ذیل دانست:

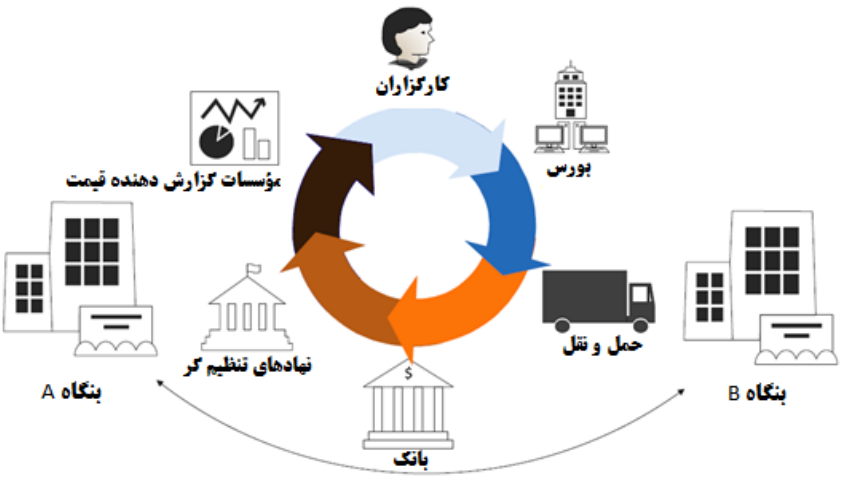
۱. مبادلات عمده فروشی انرژی و بخش عرضه

پیش‌بینی‌های انجام شده از دورنمای جهانی انرژی در افق‌های زمانی مختلف حاکی از آن است که تقاضای انرژی اولیه افزایش خواهد یافت و سوخت‌های فسیلی شامل نفت، گاز طبیعی و زغال‌سنگ، علیرغم کاهش سهمشان در ترکیب جهانی انرژی همچنان سهم غالب را در تقاضای انرژی اولیه خواهند داشت [۶]. بر این اساس به‌منظور ساماندهی بازارهای انرژی در سطوح بین‌المللی و همچنین بازارهای داخلی، می‌توان از فناوری‌های نوین بهره گرفت.

یکی از کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی می‌تواند روش‌های تجاری خودگردان[1] عمده‌فروشی باشد. بازارهای عمده‌فروشی انرژی، متشکل از روابط پیچیده‌ای است که حضور نهاد واسط را مانند کارگزاری‌ها، تاجران واسطه‌ای، بورس‌ها، گزارش دهندگان قیمت، فراهم کنندگان لجستیک، بانک‌ها و تنظیم‌گران هستند.

1. Autonomous

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]



شکل ۸. فرآیند و لزوم وجود نهاد ثالث واسطه‌ای در جریان سنتی تجارت

شکل شماره ۸ موجودیت‌های کلیدی و فعالیت‌هایی که در جریان یک تجارت بین دو بنگاه مشارکت دارند را نشان می‌دهد. بدیهی است که این فرآیند، آهسته و زمان‌بر می‌باشد، چراکه تمامی تراکنش‌ها می‌بایست چندین مرتبه تأیید اعتبار شوند تا به مرحله تأیید نهایی جهت تسویه برسند [۲۲]. سرعت پایین انجام تراکنش‌ها، باعث ایجاد هزینه‌های اصطکاکی[1] برای مشارکت‌کنندگان در مقیاس کوچک و توزیع شده که در بازار مشارکت دارند، خواهد شد. تکنولوژی دفاتر کل توزیع شده به عمومی‌سازی فرآیندهایی منجر خواهد شد که متقاضیان و عرضه‌کنندگان خرد را در یک سیستم تجاری خودکار و با حذف واسطه‌ها به یکدیگر پیوند می‌دهد. [۲۷] همچنین بخش حمل‌ونقل نیازمند توجه ویژه‌ای می‌باشد چرا که رشد اقتصاد جهانی و رشد جمعیت دو عامل اصلی تقاضای انرژی به‌طور کلی و به‌ویژه در بخش حمل و نقل هستند. [۶]

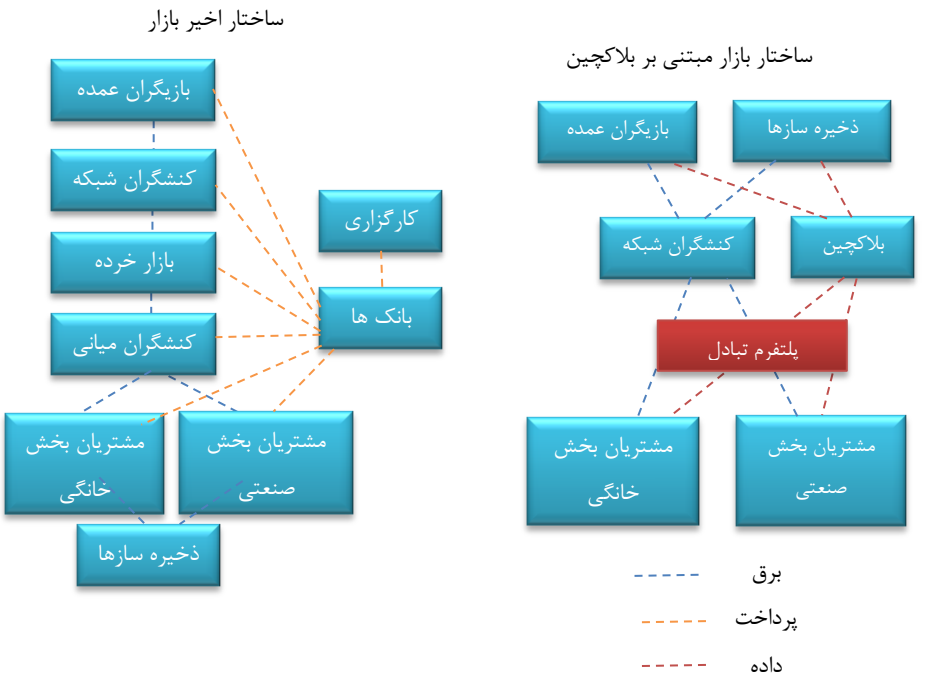
هر عامل اقتصادی به یافتن بهترین قیمت‌های ارائه شده در شرایط بازار که مبتنی بر پیش‌بینی مصرف‌کنندگان از سطح تقاضای خود در یک مقطع زمانی می‌باشد، خواهد پرداخت. توافق میان خریدار و فروشنده در بلاکچین ثبت می‌شود و زمان تحویل نیز مقرر می‌گردد. پرداخت‌ها به‌طور خودکار در

1. Frictional costs

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

صورت تحویل کالا صورت خواهد پذیرفت. تمامی داده‌ها و اطلاعات مربوط به این تراکنش‌ها نیز در اختیار تمام کاربران قرا می‌گیرد. در این صورت تنظیم‌گری روابط میان اعضاء مختلف بازار از جمله کارگزاران، بورس‌ها و شرکت‌های مبادلاتی مستلزم بازبینی‌های بنیادین می‌باشد.

گذار از ساختارهای سنتی به ساختارهای نوین در مبادلات عمده‌فروشی، موانع و چالش‌هایی را پیش رو دارد که تفاوت‌های کلیدی آن‌ها در شکل شماره ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹. تحول ساختار بازار انرژی با بهره‌گیری از فناوری بلاکچین

تحول ساختار به شرح یاد شده دارای چالش‌هایی می‌باشد. یکی از مهمترین این چالش‌ها این است که در ساختار بلاکچین، تراکنش‌های کمتری در لحظه نسبت به ساختارهای سنتی الکترونیکی قابلیت انجام دارند. این موضوع در شبکه‌هایی که از الگوریتم اثبات کار جهت رسیدن به تفاهم در شبکه استفاده می‌کنند پررنگ‌تر می‌باشد. به‌عنوان مثال، شبکه بیت‌کوین که بزرگترین کریپتوکارنسی اجرایی شده مبتنی بر بلاکچین می‌باشد قادر است در هر ثانیه تنها ۱۰ تراکنش را به انجام برساند [۸]. این در حالی‌است که در شبکه بانکی هزاران تراکنش در ثانیه از طریق سیستم‌های الکترونیکی سنتی

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

در حال انجام می‌باشد. گواهی اثبات سهام و سیستم تحمل خطای بیزانس که در شبکه‌هایی مانند اتریوم[1] جاری است می‌تواند راه‌حل‌هایی را برای رفع این چالش پیشنهاد دهد که اجرایی‌سازی آن نیازمند انجام مطالعات و همچنین آزمایشات بسیار دقیقی در این خصوص می‌باشد.

دومین چالش نیز در این خصوص ناظر به تغییر ساختارهای یاد شده در افق زمانی کوتاه‌مدت می‌باشد. از جمله شواهدی که برای این ادعا می‌توان اقامه کرد این است که در حال حاضر، پروژه‌هایی که در خصوص بلاکچین در بخش انرژی در حال آزمایش هستند، تنها یک مصداق جزیی از کل بازار انرژی را هدف گرفته‌اند ولی انتقال کل این ساختار، دارای پیچیدگی‌های به مراتب بیشتری می‌باشد.

۲. دیجیتال‌سازی و پلتفرم‌های IoT

برخی دیگر از کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی می‌تواند ناظر به زمینه‌های نوظهور همچون پلتفرم‌های اینترنت اشیاء و توسعه فناوری اطلاعات همچون خانه‌های هوشمند باشد. [۴۰] بلاکچین می‌تواند تراکنش‌های همتا به همتای دیجیتالی را تسهیل نماید. بر این اساس نیز خواهد توانست ارتباطات ماشین به ماشین[2] و تبادل اطلاعات میان تجهیزات را راه‌اندازی نماید. پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که تجهیزات هوشمند که تعداد آن‌ها در حال افزایش می‌باشد تا سال ۲۰۲۰ خواهند توانست از طریق اینترنت به یکدیگر متصل شوند. (برگر و همکاران، ۲۰۱۸) در بخش انرژی، اغلب این فناوری‌های نوین مانند تجهیزات اندازه‌گیری هوشمند[3] در صنعت برق در حال ظهور می‌باشند. [۳۰] که مطالعه پیرامون آن را بیش از پیش ضروری‌تر می‌نماید.

گذار به سمت بسترهای دیجیتالی پیشرفته، هزینه‌های مدیریتی در بخش انرژی را از طریق همگرایی هوشمند سخت‌افزارها، نرم‌افزارها و داده‌ها کاهش می‌دهد. [۳۳] تصمیم‌گیری‌های محلی و کنترل و نظارت‌های توزیع‌شده می‌تواند منابع و هزینه‌های مورد نیاز عملکرد کارای سیستم‌های آینده انرژی را بهینه نماید [۳۳].

1. Ethereum
2. Machine-to-machine
3. Smart meter

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

۳. مبادلا همتا به همتا و غیرمتمرکز انرژی

نظر به دیدگاه‌های سهامداران در بخش‌های انرژی (برگر و همکاران، ۲۰۱۸)، بلاکچین می‌تواند راه‌حل‌هایی را در خصوص مدیریت خدمات مربوط به بخش تقاضای انرژی، مدیریت سیستم‌های ذخیره‌ساز انرژی و کنترل سیستم‌های غیرمتمرکز انرژی ارائه نماید. مبادلات همتا به همتا را می‌توان شکل صحیحی از بازارهای غیرمتمرکز انرژی قلمداد کرد. این موضوع را می‌توان یکی از کاربردهایی از صنعت بلاکچین به شمار آورد که به‌طور طبیعی تبادلات مستقیم میان طرف‌های مبادله در بازارهای انرژی اعم از مصرف‌کنندگان نهایی، مصرف‌کنندگان میانی، تولیدکنندگان انرژی و... را برقرار می‌سازد.

۱۰. نمونه‌های عملی اجرا شده در دنیا

در این بخش از مقاله نمونه‌ای از مجموعه پروژه‌های معرفی شده، اجرا شده و آزمایش شده در خصوص کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی معرفی شده است. فهرست اجمالی مجموعه فعالیت‌های انجام شده در این خصوص را می‌توان در جدول ۲ مشاهده نمود.

در مطالعه‌ای که در خصوص نمونه‌های عملی آزمایش و اجرا شده کاربردهای فناوری بلاکچین در بخش انرژی صورت گرفته است [۸]، کاربردهای بلاکچین در ۱۴۰ عنوان پروژه در بخش انرژی در ۸گروه به شرح: امنیت داده، کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری، مبادله غیرمتمرکز انرژی، تجارت کربن، مدیریت شبکه، اینترنت اشیا و مدیریت دارایی، محرکه‌های برقی و فناوری‌های نوین عنوان شده‌اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

جدول۲. مقاله نمونه‌ای از مجموعه پروژه‌های معرفی شده،
اجرا شده و آزمایش شده در خصوص کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی

ردیف	محدوده جغرافیایی	تعداد پروژه‌ها	حوزه‌های فعالیت
۱	آمریکا	۲۵	مدیریت شبکه/ مبادله غیرمتمرکز انرژی/ اینترنت اشیاء و مدیریت دارایی/کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری/ امنیت داده
۲	آلمان	۱۶	مدیریت شبکه/ مبادله غیرمتمرکز انرژی/ اینترنت اشیاء و مدیریت دارایی/کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری/ امنیت داده
۳	هلند	۱۴	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ مدیریت شبکه/ کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری/ امنیت داده/ فناوری‌های نوین
۴	سوئیس	۱۰	مدیریت شبکه/ مبادله غیرمتمرکز انرژی/ اینترنت اشیاء و مدیریت دارایی/کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری/ امنیت داده
۵	انگلستان	۱۰	مدیریت شبکه/ مبادله غیرمتمرکز انرژی/ اینترنت اشیاء و مدیریت دارایی/کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری/ امنیت داده
۶	استرالیا	۸	تجارت کربن/ محرکه‌های برقی/ اینترنت اشیا و مدیریت دارایی/ مبادله غیرمتمرکز انرژی
۷	سنگاپور	۶	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ مدیرت شبکه/ کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری
۸	فرانسه	۵	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ اینترنت اشیا/ امنیت داده/ کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری
۹	اسپانیا	۴	امنیت داده/ مبادله غیرمتمرکز انرژی/ فناوری‌های نوین
۱۰	ژاپن	۴	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ امنیت داده/ کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری
۱۱	بلژیک	۴	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ اینترنت اشیاء و مدیریت دارایی
۱۲	چین	۴	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ اینترنت اشیاء و مدیریت دارایی
۱۳	اتریش	۴	اینترنت اشیا و مدیریت دارایی/ مبادله غیرمتمرکز انرژی/ تجارت کربن
۱۴	کانادا	۳	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ تجارت کربن

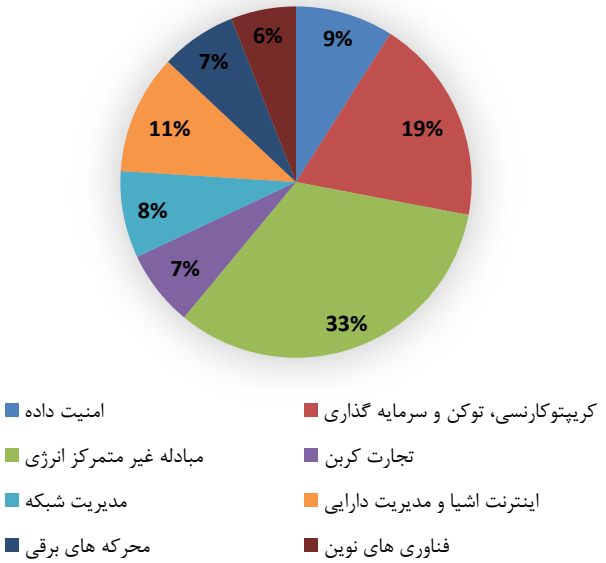
[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

ردیف	محدوده جغرافیایی	تعداد پروژه‌ها	حوزه‌های فعالیت
۱۵	آفریقای جنوبی	۲	کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری/ محرکه‌های برقی
۱۶	رومانی	۲	مبادله غیرمتمرکز انرژی
۱۷	دانمارک	۲	امنیت داده/ مبادله غیرمتمرکز انرژی
۱۸	برزیل	۲	مبادله غیرمتمرکز انرژی/ کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری
۱۹	روسیه	۲	اینترنت اشیا و مدیریت دارایی/ تجارت کربن
۲۰	آندورا	۲	اینترنت اشیا و مدیریت دارایی/ مبادله غیرمتمرکز انرژی
۲۱	اتحادیه اروپا	۲	فناوری‌های نوین
۲۲	فنلاند	۲	اینترنت اشیا و مدیریت دارایی
۲۳	تایلند	۱	مبادله غیرمتمرکز انرژی
۲۴	هند	۱	مبادله غیرمتمرکز انرژی
۲۵	امارات متحده عربی	۱	کریپتوکارنسی، توکن و سرمایه‌گذاری
۲۶	اسلونی	۱	مبادله غیرمتمرکز انرژی
۲۷	کره جنوبی	۱	اینترنت اشیاء و مدیریت دارایی
۲۸	نیوزلند	۱	مبادله غیرمتمرکز انرژی
۲۹	هنگ کنگ	۱	تجارت کربن

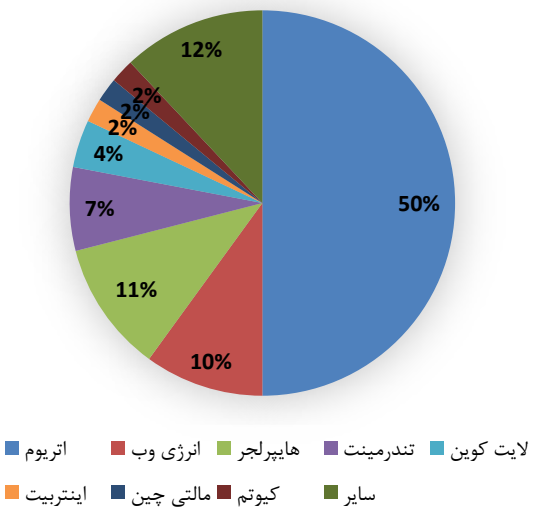
مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

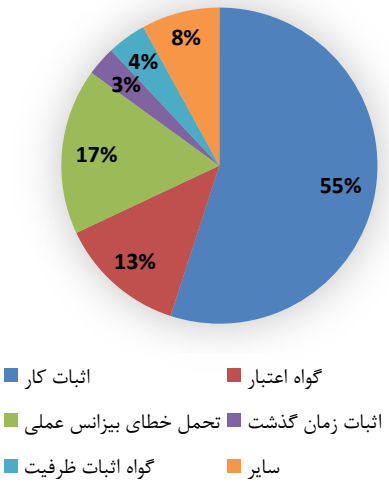
در نمودار (۱)، مبادلات عمده‌فروشی، خرده فروشی و مبادلات همتا بـه همتـای انـرژی در گـروه مبادله غیرمتمرکز انرژی جای داده شده‌اند که بیشترین سهم را در این نمودار دارا می‌باشند.



نمودار ۱. سهم کاربردهای مختلف از پروژه‌های مطالعه شده در خصوص عملیاتی سازی بلاکچین در بخش انرژی



[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]



نمودار۲. سهم الگوریتم‌های تفاهم و پلتفرم‌های مختلف در پروژه‌های اجرا شده که مورد مطالعه قرار گرفته‌اند

در نمودار (۲)، فعالیت‌های بلاکچین براساس پلتفرم و الگوریتم‌های تفاهم نیز به شرح دو نمودار بالا تقسیم‌بندی شده‌اند.

۱۱. چالش‌های کلیدی استفاده از فناوری بلاکچین در بخش انرژی

همان‌گونه که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد، فناوری بلاکچین دارای کاربردهای گسترده‌ای در بخش انرژی می‌باشد و شمار نسبتاً زیاد پروژه‌های در حال مطالعه و اجرا در خصوص کاربردهای فناوری دفاتر کل توزیع شده در بخش انرژی توسط شرکت‌های مختلف نفتی، گواهی بر این مدعا می‌باشد. بیشتر این پروژه‌ها نیز پروژه‌هایی هستند که در حال مطالعات و آزمایشات اولیه به‌نحوی می‌باشند که مقدمات را برای ورود به عرصه‌های عملیاتی فراهم نمایند؛ چرا که پرسش‌های فراوانی در این زمینه وجود دارد که می‌بایست به آن‌ها پاسخ داده شود.

در وهله نخست، از فناوری بلاکچین انتظار می‌رود که مؤلفه‌هایی چون مقیاس‌پذیری، سرعت و امنیت را در خصوص کاربردهای پیش گفته برای صنایع فعال در بخش انرژی به ارمغان بیاورد. تحقیقات در زمینه الگوهای اجماع، همچنان در جریان بوده ولی آن‌چه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، در نظرگیری هزینه فرصت هر یک از این الگوها در عرصه‌های عملیاتی می‌باشد. الگوریتم‌های

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

گواه اثبات کار، بسیار مناسب و امن هستند ولی از سویی دیگر، سرعت پایینی داشته و انرژی‌بر هستند. بر این اساس، توسعه‌دهندگان، به سمت الگوهای گواه اثبات سهام حرکت کردند و دلیل آن را نیز می‌توان مقیاس‌پذیری، سرعت و کارایی انرژی بیشتر عنوان کرد. می‌توان به راستی ادعا کرد که تمامی پیشرفت‌های حاصله در این مجال با هدف ارتقاء سطوح امنیت و استانداردهای تمرکز زدایی صورت می‌پذیرد. توسعه‌دهندگان اخیر کاربردهای بلاکچین در بخش انرژی با چالش گزینش بهترین الگوریتم تفاهم و معماری سیستم مواجه هستند و این در حالی است که دید روشن و درستی از نمای کلی و چشم‌انداز آینده صنایع مربوطه و همچنین بخش‌های مرتبط با آن داشته باشند.

بر این اساس، واضح است که کاربردهای تکنولوژی بلاکچین در بخش انرژی، فازهای مقدماتی مطالعاتی خود را پشت سر گذاشته و در حال گذار به مراحل اجرا و عملیات می‌باشد که این مهم، مستلزم اهتمام جدی‌تری در خصوص جنبه‌های عملیاتی آن می‌باشد. برخی بسترهای توسعه یافته اخیر همچون بلاکچین انرژی وب می‌تواند هزاران تراکنش در لحظه را به ثبت برساند. [۲۴] توسعه‌های آتی این بسترها باعث تطابق بیشتر این تکنولوژی با بخش انرژی خواهد شد که با تأیید سریع تراکنش‌ها و همچنین ثبت تعداد بیشتری از تراکنش‌ها در لحظه، امکان مانور بیشتری را برای فعالان فراهم خواهد آورد.

یکی دیگر از چالش‌های محتمل در این خصوص، مقاوم‌سازی این بستر در برابر خطرات احتمالی عدم طراحی بهترین معماری یا حمله‌های سایبری می‌باشد. بلاکچین همچنین با خطر عملکرد نادرست طرح‌ها در مراحل ابتدایی مطالعه و آزمایش جهت اجرایی‌سازی در مقیاس‌های بزرگ‌تر را دارا می‌باشد. اکوسیستم بلاکچین نیازمند الگوهای جدید برنامه‌نویسی است که بروز خطاهایی خاص در این جریان محتمل است.

در خصوص احتمال وقوع حملات سایبری، شبکه بیت‌کوین به‌عنوان قدیمی‌ترین نسخه عملیاتی شده روی شبکه بلاکچین، از مقاومت نسبتاً بالایی برخوردار است ولی سایر پلتفرم‌ها همچون اتریوم در گذشته، حملاتی را تجربه کرده‌اند. بر این اساس، مقاومت این ساختار از اهمیت بسیار بالایی به‌خصوص در زیرساخت‌های حساس همچون انرژی برخوردار است.

از دیگر چالش‌های مهم حوزه بلاکچین می‌توان به هزینه‌های بالای توسعه آن اشاره کرد. صحیح است که بلاکچین با حذف حلقه‌های واسط می‌تواند در هزینه‌ها صرفه‌جویی کند ولی ممکن است در

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

برخی زمینه‌ها، راهکارهای پیشنهادی آن در حال حاضر از مزیت رقابتی برخوردار نبوده و فاقد توجیه اقتصادی باشد.

در شرایط جاری با استفاده از فناوری بلاکچین، اطلاعات با هزینه‌های پایینی تبادل می‌شوند ولی اعتبارسنجی و تأیید اطلاعات، در بر دارنده هزینه‌های بالای سخت‌افزاری و انرژی است [۳۹] گواهی اثبات سهام و گواهی اثبات اعتبار می‌توانند این مسئله را در آینده حل کنند.

۱۲. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بلاکچین در حقیقت یک ساختار دیجیتالی از داده‌هاست که سابقه‌ای از تراکنش‌ها را در قالبی توزیع‌شده در خود نگهداری می‌کند. هدف اولیه بلاکچین، به نوعی رفع نیاز به نهادهای واسطه‌ای می‌باشد که باعث کاهش کارایی سیستم در برخی موقعیت‌ها و افزایش هزینه‌های مبادلاتی می‌گردند. فناوری بلاکچین در بخش انرژی با پر رنگ‌تر نمودن مسأله اعتماد در تبادلات، ضمن حذف ضرورت وجود نهاد ثالث مرکزی قابل اعتماد و کاهش هزینه‌های مبادلات، ظرفیت‌های قابل توجهی را در خصوص هدایت بازار محصولات انرژی به سمت حاکمیت نظام بازار، دارا می‌باشد.

از اهم کاربردهای فناوری بلاکچین در بخش انرژی می‌توان به صدور صورتحساب‌ها، فروش و بازاریابی، مبادله و بازار، خودکارسازی فرآیندها، امنیت و مدیریت داده‌ها، حفظ محرمانگی‌های هویتی طرفین تراکنش و اشتراک منابع در زمینه‌های مبادلات عمده فروشی انرژی و بخش عرضه، دیجیتال‌سازی و پلتفرم‌های اینترنت اشیاء و مبادلات همتا به همتا و غیرمتمرکز انرژی اشاره کرد. بهره‌گیری از این فناوری در بخش انرژی، در بر دارنده چالش‌هایی نیز می‌باشد که از جمله این چالش‌ها می‌توان به مقیاس‌پذیری، سرعت و امنیت که ناظر به معماری سیستم و بهره‌گیری از الگوریتم‌های تفاهم مناسب می‌باشد اشاره کرد. هزینه‌های بالای عملیاتی‌سازی این فناوری در بخش‌های حقیقی نیز از دیگر مسائلی است که می‌بایست در این مسیر مورد توجه قرار گیرد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

منابع

[۱] امین‌زاده، الهام (۱۳۹۲). "حقوق انرژی"، *نخستین همایش ملی*. انتشارات دادگستر.

[۲] طیّب، علیرضا (۱۳۹۰). *کتاب مرجع امنیت انرژی*. مؤسسه فرهنگی مطالعات و تحقیقات بین‌المللی ابرار معاصر ایران.

[۳] عبادی، جعفر (۱۳۹۲). *اقتصاد اطلاعات*. انتشارات دانشگاه تهران.

[۴] مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، فناوری دفاتر کل توزیع شده فراتر از فناوری زنجیره بلوکی (۱۳۹۷). دفتر مطالعات ارتباطات و فناوری‌های نوین معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، شماره مسلسل ۱۵۹۲۰.

[۵] منظور، داود و روح‌اله کهن‌هوش‌نژاد (۱۳۹۶). "چشم‌انداز مصارف جهانی انرژی در بخش حمل‌ونقل". *فصلنامه علمی – ترویجی نشریه انرژی ایران*، دوره ۲۰، شماره۲، صص۶۵-۵۱.

[۶] منظور، داود و روح‌اله کهن‌هوش‌نژاد (۱۳۹۶). "دورنمای جهانی انرژی: بررسی تطبیقی از پیش‌بینی‌ها". *فصلنامه علمی – ترویجی نشریه انرژی ایران*، دوره ۲۰، شماره ۴، صص۱۵۲-۱۳۳.

[۷] یعقوبی، حسین (۱۳۹۶)"بلاکچین و کاربردهای آن در بانک و پرداخت"، *هفتمین همایش سالانه بانکداری الکترونیک و نظام‌های پرداخت*.

[8] Andoni M., Robu V., Flynn D., Abram S., Geach D., Jenkins D., McCallum P. and A. Peacock (2019) "Blockchain Technology in the Energy Sector: A Systematic Review of Challenges and Opportunities", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 100, pp.143–174.

[9] Back A., Corallo M., Dashjr L., Friedenbach M., Maxwell G., Miller A. et al. (2017) *Enabling Blockchain Innovations with Pegged Sidechains*. Avalaible at: http://www. opensciencereview. com/papers/123/enablingblockchain-innovations-with-pegged-sidechains 72.

[10] Baliga A. (2017). Understanding blockchain consensus models, Persistent 4, pp. 1-14.

[11] Bitshares (2017). Delegated proof of stake, URL: https://github.com/BitShares/bitshares_toolkit/wiki/Delegated-Proof-of-Stake.

[12] Buntinx JP (2017). What is Proof of Elapsed Time, URL: https://themerkle.com/what-is-proof-of-elapsed-time/.

[13] Castor A. (2017). A (short) guide to blockchain consensus protocols, URL: https://www.coindesk.com/short-guide-blockchain-consensus-protocols.

[14] Coase (1937). The nature of the firm. Economica, Volume 4, Issue 16 .

[15] Cryptorials (2017). Delegated proof of stake, URL: https://avc.com/2016/11/proof-of-stake/.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

[16] Dahl, Carol (2015). International Energy Market Understanding pricing, policies and profits, PennWell Corp, 978-0878147991.
[17] Dal Canto D. Enel (2017). Blockchain: which use cases in the energy industry, CIRED, Glasgow, Round table discussion.
[18] Deloitte (2017). Deloitte blockchain survey: Blockchain reaching beyond financial services. URL: https://www2.deloitte.com/us/en/pages/about-deloitte/articles/press-releases/deloitte-survey-blockchain-reaches-beyond-financial-services-with-some-industries-moving-faster.html.
[19] Diffie W. and M. Hellman (2016). New Directions in Cryptography. IEEE Trans Inf Theory. 22(6), pp. 644–54.
[20] Donnerer, David; Lacassagne, Sylvie (2018). Blockchains and Energy Transition. *Energy Cities*, URL: https://energy-cities.eu/wp-content/uploads/2019/01/energy-cities-blockchain-study_2018_en.pdf
[21] Ernst and Young (2017). Overview of Blockchain for Energy and Commodity trading, URL: https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-overview-of-blockchain-for-energy-and-commodity-trading/%24FILE/ey-overview-of-blockchain-for-energy-and-commodity-trading.pdf
[22] Ethereum Wiki (2017). Proof of stake FAQ, URL: https://eth.wiki/proof-of-stake-faqs
[23] Eurelectric (2017). Eurelectric launches Expert Discussion Platform on Blockchain, URL: https://www.eurelectric.org/news/eurelectric-launches-expert-discussion-platform-on-blockchain#:~:text=EURELECTRIC%20has%20launched%20an%20expert,game%20changer%20for%20the%20industry.
[24] Eyal I, Sirer EG (2016). Majority is not enough: Bitcoin mining is vulnerable, Communications of the ACM Vol. 61, No. 7.
[25] Engerati (2017). Blockchain Europe: Utilities pilot peer-to-peer energy trading, " URL: https://www.engerati.com/smart-infrastructure/blockchain-europe-utilities-pilot-peer-to-peer-energy-trading/
[26] Fred R. David (2017). Strategic Management: Concepts and Cases, 11th edition, Prentice Hall, New York,
[27] Grewal-Carr V, Marshall S (2017). Blockchain enigma paradox opportunity, URL: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/Innovation/deloitte-uk-blockchain-full-report.pdf
[28] Hertig A. (2017). Intel is winning over blockchain critics by reimagining Bitcoins DNA, " URL: https://www.coindesk.com/intel-winning-blockchain-critics-reimagining-bitcoins-dna
[29] Indigo Advisory Group (2017). Blockchain in energy and utilities use cases, vendor activity, market analysis, " URL: https://www.indigoadvisorygroup.com/blockchain
[30] Jaradat M., Jarrah M., Bousselham A., Jararweh Y. and M. Al-Ayyoub (2015). The internet of energy: smart sensor networks and big data management for smart grid. Procedia Comput Sci, No. 56, pp. 592–7.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]

[31] Konashevych O. (2017). Advantages and Current Issues of blockchain use in microgrids, Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering of NAS of Ukraine 93-103.
[32] Lamport L., Shostak R. and M. Pease (2017). The Byzantine Generals problem. ACM T Progr Lang Sys (TOPLAS), 4(3), pp. 382–401.
[33] Mattila J. (2017). The Blockchain Phenomenon-the disruptive potential of distributed consensus architectures, No. 38. ETLA working papers
[34] Mattila J., Seppala T., Naucler C., Stahl R., Tikkanen M. and A. Badenlid (2017). Industrial Blockchain Platforms: An exercise in use case development in the energy industry, ETLA Working Papers 43, The Research Institute of the Finnish Economy.
[35] Mengelkamp E., Garttner J., Rock K., Kessler S., Orsini L. and C. Weinhardt (2018). Designing Microgrid Energy Markets A case study: the Brooklyn Microgrid. Appl Energy, No. 210, pp. 870–80.
[36] Mustafa MA., Cleemput S. and A. Abidin (2016). A local Electricity Trading market: Security analysis. In: Proceedings of the IEEE PES Innov Smart Grid Technol Conference Europe, IEEE, 1–6.
[37] Muftic S. (2017). Overview and Analysis of the Concept and Applications of virtual currencies, " URL: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC105207/lbna28386enn.pdf
[38] Mylrea M. Gourisetti SNG (2017). Blockchain for Smart grid Resilience: Exchanging distributed energy at speed, scale and security. In: Proceedings of the Resilience Week (RWS), IEEE, pp. 18–23.
[39] PwC global power & utilities (2017). Blockchain - an opportunity for Energy Producers and Consumers.
[40] Stojkoska BLR, Trivodaliev KV (2017). A review of Internet of Things for smart home: challenges and solutions. J Clean Prod, 140:1454–64.
[41] Zheng Z., Xie S., H.-Dai N. and H. Wang (2018). Blockchain Challenges and Opportunities: A survey, ETLA Working Papers 43.

[Downloaded from necjournals.ir on 2025-08-02]