



دانشگاه صنعتی شریف

(دانشکده مهندسی انرژی)

## گزارش بررسی شرکت‌های فعال در زمینه بلاک چین در حوزه انرژی

گردآورنده:

علیرضا قادر توتونچی

استاد راهنما:

دکتر معین معینی اقطاعی

زمستان ۱۳۹۹

## چکیده

فناوری بلاک‌چین یکی از مورد توجه‌ترین فناوری‌هایی است که در طی سال‌های اخیر عرضه شده است و کاربردهای آن به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. این فناوری با رمزارزها و ارزهای دیجیتال شناخته می‌شود ولی کاربردهای گسترده دیگری نیز دارد که از جمله آن، امکان ذخیره اطلاعات در یک سرور غیرمتمرکز جهانی است که امکان هک و ایجاد تغییر در آن وجود ندارد. در حوزه ارزهای دیجیتال نیز، بلاک‌چین با حذف واسطه‌ها و کاهش چشمگیر کارمزد تراکنش‌های مالی، کاربرد بسیاری دارد.

از توانایی‌های این فناوری جدید می‌توان در حوزه‌های مختلفی استفاده کرد؛ حوزه انرژی یکی از شاخه‌هایی است که می‌تواند از مزایای استفاده از بلاک‌چین بهره‌مند شود. از آنجاییکه امروزه در بسیاری از کشورهای جهان سیستم برق‌رسانی در حال گذار از حالت عمودی<sup>۱</sup> به حالت بازاری است، نیاز به استفاده از سیستم پرداختی یا تسویه حسابی<sup>۲</sup> که بتواند مبادلات را بدون محدودیت در حجم و با کارمزد پایین، همچنین به صورت آنی انجام دهد بسیار احساس می‌شود.

هرچند سیستم پولی کنونی و نظام بانکی در زمینه انتقال پول به پیشرفت‌های خوبی دست یافته است، با این وجود تراکنش‌های با حجم کوچک (به طور مثال برای انتقال ۱۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی) و در تعداد بالا می‌تواند برای این سیستم چالش برانگیز باشد. از سوی دیگر فروشنده و خریدار درگیر در مبادله حجم پایین برق، باید درصد بالایی از هزینه مبادله را به عنوان کارمزد به بانک بدهند که این خود می‌تواند منجر به عدم علاقه آنها به شرکت در بازار باشد.

این گزارش به بررسی فعالیت‌هایی که تاکنون با استفاده از فناوری بلاک‌چین در حوزه تبادل انرژی و بازارهای مبادله انرژی خواهد پرداخت. هدف از بررسی این شرکت‌ها، بدست آوردن مدل‌های تجاری آنان و در نظر گرفتن اهداف و چشم‌انداز آنان در استفاده از این فناوری در حوزه تبادلات انرژی بوده است.

---

<sup>1</sup> Vertical electricity system

<sup>2</sup> Settlement function

## فهرست

۱	مقدمه
۲	۲-دسته‌بندی شرکت‌های فعال در حوزه انرژی و بلاک‌چین
۵	۲-۱-اندازه‌گیری، تسویه حساب و امنیت شبکه
۵	۲-۲-رمزارز، توکن و سرمایه‌گذاری
۶	۲-۳-مبادله غیرمتمرکز انرژی
۶	۲-۳-۱-مبادلات عمده
۷	۲-۳-۲-مبادلات انرژی تولیدکننده‌های کوچک و مصرف‌کنندگان نهایی
۷	۲-۳-۳-مبادلات برپایه بلاک‌چین برای نیروگاه‌ها و بازیگران بزرگ حوزه انرژی
۷	۲-۳-۴-معاملات هم‌تا به هم‌تا در ریزشبکه‌ها
۸	۲-۴-گواهی‌های سبز و مبادلات کربن
۹	۲-۵-مدیریت شبکه
۹	۲-۶-اینترنت اشیا و اتوماسیون
۹	۲-۷-خودروهای الکتریکی
۱۰	۲-۸-سایر کاربردها
۱۱	۳-بحث و جمع‌بندی
۱۲	۴-نتیجه‌گیری
۱۳	منابع

## فهرست شکل‌ها

۲	نمودار ۱ خط زمانی بازار NordPool
۳	نمودار ۲ سیستم مبادلات در بازار انرژی بدون بلاک‌چین (چپ) و با بلاک‌چین (راست)
۴	نمودار ۳ درصد شرکت‌های فعال در هر حوزه مرتبط با کاربرد بلاک‌چین در انرژی
۴	نمودار ۴ سهم هر بستر بلاک‌چین در فعالیت‌های انجام گرفته برای کاربرد بلاک‌چین در حوزه انرژی

شکل ۵ محل قرارگیری رئوس ذخیره‌کننده اطلاعات بلاک‌چین در یک شبکه برق.....۸

شکل ۶ تعداد تراکنش در شبکه بلاک‌چین رمزارزهای مختلف.....۱۲

### فهرست جدول‌ها

جدول ۱ شرکت‌های شاخص فعال در حوزه بلاک‌چین و انرژی.....۱۰

## مقدمه

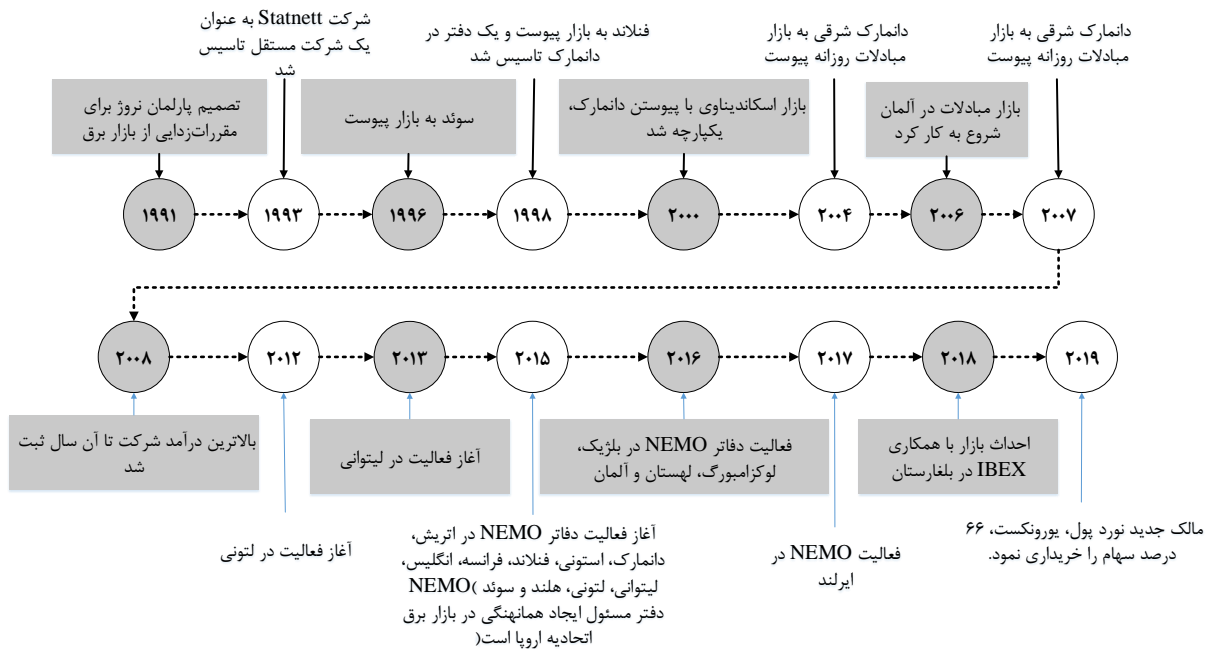
یکی از جالب توجه‌ترین کاربردهای فناوری بلاک‌چین حذف واسطه‌ها و ایجاد رابطه مستقیم بین دو طرف عرضه و تقاضا در یک بازار است. در سیستم مالی سنتی همواره بین دو طرف عرضه و تقاضا، یک واسطه وجود داشته است، در بسیار از موارد نام این واسطه بانک است. امروزه تقریباً تمام خرید و فروش و فعالیت‌های تجاری در بستر درون یا بین بانکی انجام می‌شود. در این سیستم انتقال پول از کشوری به کشور دیگر ممکن است چندین روز به طول بیانجامد و بانک نیز بخشی از پول را، به عنوان کارمزد، کسر خواهد کرد.

در واقع نقش اصلی بانک در این میان، ایجادکننده اعتماد بین دو طرف مبادله است. سیستم بلاک‌چین به کمک الگوریتم‌های اجماع مختلف مشکل اعتماد بین طرفین را حل کرده است. به همین دلیل استفاده از این فناوری نه تنها در بازارهای عمده، که در بازارهای خرد نیز کاربردی است. به طور مثال در بازار انرژی الکتریکی بدون استفاده بلاک‌چین، تنها بازارهای عمده فروشی قابل تصور است ولی با در نظر گرفتن این فناوری می‌توان حجم مبادلات را کاهش داد که به دلیل نزدیکتر کردن بازار به شرایط رقابت کامل منجر به افزایش بازدهی می‌شود.

البته در حال حاضر نمونه‌های زیادی از بازارهای محلی انرژی فعال نیستند ولی با در نظر گرفتن روند افزایشی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، که خاصیت پراکنده و غیرمتمرکز دارند و به جهت کاهش اتلافات ناشی از انتقال، سیستم‌های برق‌رسانی حرکت به سمت بازار را آغاز کرده‌اند. نمونه‌ای موفق از این مورد را می‌توان در بازار برق کشورهای اسکاندیناوی جستجو کرد. بازار برق NordPool در ۱۹۹۱ با موافقت پارلمان نروژ برای مقررات‌زدایی از بازار برق، شروع به کار کرد [1]. تاریخچه این بازار در شکل ۱ آمده است.

---

<sup>3</sup> Consensus algorithm



نمودار ۱ خط زمانی بازار NordPool (ماخذ: [1])

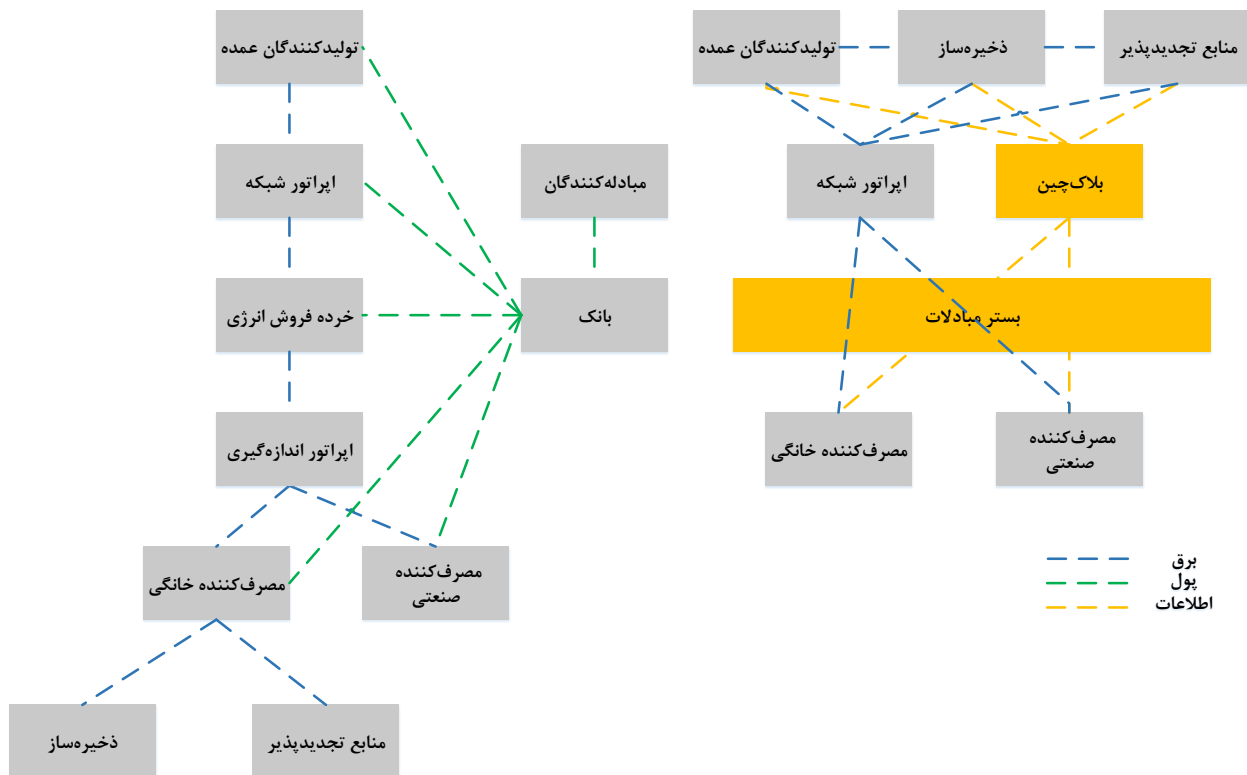
نکته‌ای که در اینجا باید مدنظر قرار گیرد این است که سیستم سنتی مبادلات مالی در مواجهه با تراکنش‌های کم‌حجم و پرتعداد عملکرد خوبی ندارد و ممکن است درصد بالایی از هزینه انتقال یافته را به عنوان کارمزد کسر کند که توجیه‌پذیر نیست. بنابراین استفاده از سیستم سنتی بانکی در حجم عمده خرید و فروش برق، ممکن است ولی در حجم‌های خرد چند کیلووات ساعتی منطقی به نظر نمی‌رسد. فناوری بلاک‌چین می‌تواند این مشکل را حل کند.

بلاک‌چین یک دفتر کل غیرمتمرکز است که اطلاعات هر تراکنش را با جزئیات ذخیره می‌کند و هزینه تراکنش را در لحظه منتقل می‌کند و بخش بسیار کمی از آنرا به عنوان کارمزد کسر می‌نماید (در برخی از سیستم‌ها هیچ کارمزدی وجود ندارد [5]). با توجه به این سه ویژگی، استفاده از این فناوری به عنوان روش تسویه حساب مطلوب به نظر می‌رسد. مزیت بزرگ دیگری که در استفاده از فناوری بلاک‌چین برای انجام مبادلات وجود دارد این است که می‌توان از قراردادهای هوشمند<sup>۴</sup> استفاده نمود. قراردادهای هوشمند می‌توانند به صورت خودکار به گونه‌ای عمل کنند که به محض منتقل شدن برق از عرضه‌کننده به مصرف‌کننده، پول از مصرف‌کننده به عرضه‌کننده منتقل شود. در بسیار از برنامه‌های تجاری<sup>۵</sup> شرکت‌هایی که در این گزارش مورد بررسی قرار می‌گیرند، چنین راهبردی در نظر گرفته شده است. البته تفاوت‌هایی در این بین وجود دارد که می‌تواند در نحوه پرداخت و حوزه

<sup>4</sup> Smart contracts

<sup>5</sup> Business plan

فعالیت باشد که به تفصیل در نظر گرفته خواهد شد. نمودار ۲، نحوه مبادلات در سیستم انرژی بدون در نظر گرفتن بلاک چین (سیستم سنتی) و با در نظر گرفتن این فناوری را نشان می‌دهد.



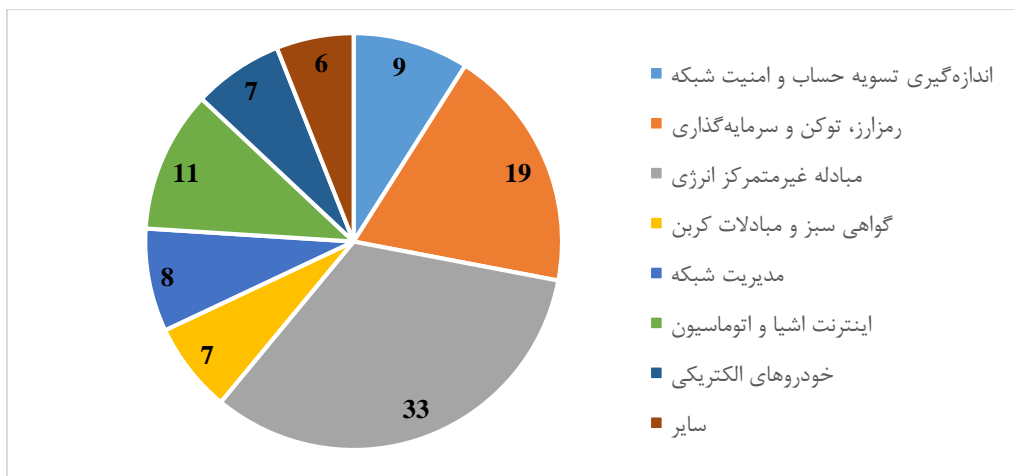
نمودار ۲ سیستم مبادلات در بازار انرژی بدون بلاک چین (چپ) و با بلاک چین (راست) (ماخذ: [6])

همانطور که از این شکل مشخص است، تعداد جریان‌ها کاهش قابل توجهی داشته است و مقابل سیستم پرداخت مانند قبل به خوبی کار می‌کند. در این حالت یک بستر به عنوان بستر مبادله معرفی می‌شود که طرف عرضه و تقاضا با مشارکت در آن به خرید و فروش انرژی می‌پردازند. یک بررسی جامع از وضعیت کنونی تبادلات الکترونیسیته در مرجع [9] آورده شده است. نتیجه گرفته شده بیان می‌کند که استفاده از روش همتا به همتا در مبادلات انرژی می‌تواند چالش‌هایی مثل ایجاد اعتماد در طرفین و نحوه انتقال پول داشته باشد؛ با اینکه بلاک چین یک فناوری مناسب برای تسویه حساب است اما در زمینه ایجاد اعتماد باید فعالیت‌های بیشتری انجام شود. در ادامه نتایج بررسی شرکت‌های فعالی در حوزه کاربرد بلاک چین در انرژی آورده شده خواهند شد و درباره هر یک توضیحی گزیده داده خواهد شد [6].

## ۲- دسته‌بندی شرکت‌های فعال در حوزه انرژی و بلاک چین

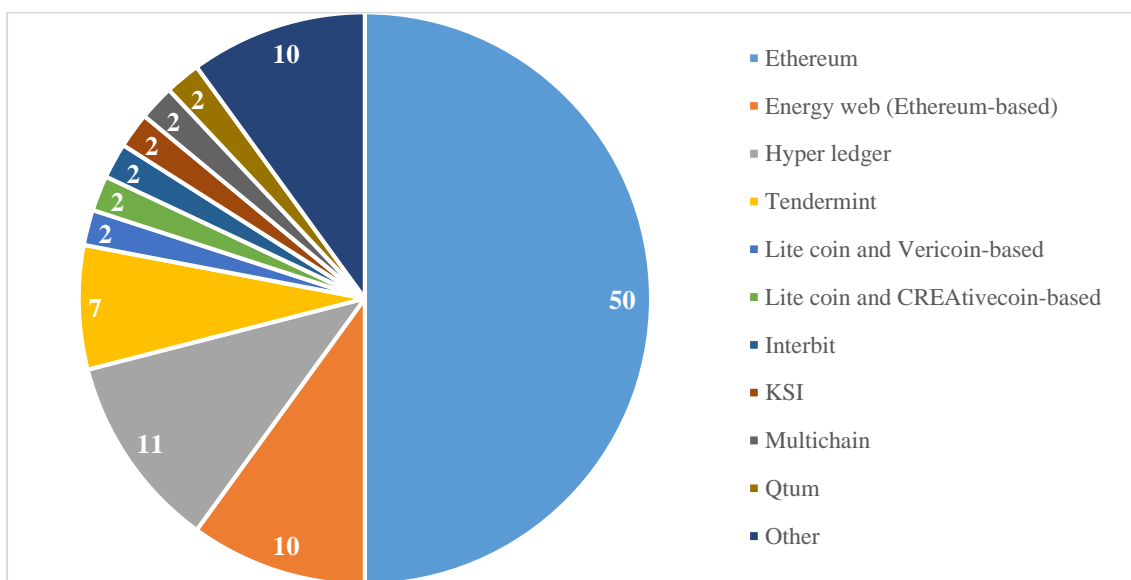
شرکت‌های فعال در این حوزه را می‌توان در ۸ گروه بزرگ دسته‌بندی کرد که عبارت از: (۱) تسویه قبض و امنیت شبکه، (۲) رمزارزها، توکن‌ها و سرمایه‌گذاری، (۳) مبادله انرژی پراکنده، (۴) گواهی‌های سبز و مبادلات کربن،

۵) مدیریت شبکه، ۶) اینترنت اشیا و اتوماسیون، ۷) خودروهای هوشمند و ۸) سایر فعالیت‌ها، هستند. در حدود یک سوم از شرکت‌های فعال در این زمینه، در حوزه مبادلات انرژی در سطح کلان، خرد یا هم‌تا به هم‌تا فعالیت می‌نمایند. در حدود نیمی از این شرکت‌ها از بستر اتریوم برای انجام مبادلات استفاده می‌نمایند. شکل ۳ نشان‌دهنده درصد شرکت‌های فعال در هر حوزه است.



نمودار ۳ درصد شرکت‌های فعال در هر حوزه مرتبط با کاربرد بلاک‌چین در انرژی (ماخذ: [6])

از آنجاییکه بسترهای مختلفی برای پیاده‌سازی راهکارهای بلاک‌چین وجود دارد، بررسی این مورد که شرکت‌ها و استارت‌آپ‌های فعال در این زمینه کدام بستر را ترجیح داده‌اند می‌تواند به سایر فعالین دیدگاه خوبی نسبت به کاربردی بودن این بسترها بدهد. شکل ۴ بیانگر سهم هر بستر بلاک‌چین در فعالیت شرکت‌های این حوزه است.



نمودار ۴ سهم هر بستر بلاک‌چین در فعالیت‌های انجام گرفته برای کاربرد بلاک‌چین در حوزه انرژی (ماخذ: [6])



مطابق شکل ۳، نیمی از فعالیت‌های انجام گرفته در این زمینه به کمک بستر اتریوم انجام شده است. علت این امر این است که اتریوم نخستین بستری است که امکان استفاده از قراردادهای هوشمند به کمک نوشتن کد را فراهم کرد. همچنین زبان برنامه‌نویسی اتریوم با آنکه با برخی پیچیدگی‌ها همراه است، اما قابلیت‌های فراهم کرده است که بتوان به راحتی با شبکه اتریوم رابطه برقرار کرد و شروط موجود در قرارداد را به صورت کد تنظیم نمود. این امر در کنار اینکه اتریوم جزو شناخته‌شده‌ترین بسترهای بلاک‌چین است، باعث شده است که استفاده از آن برای انواع پروژه‌ها، و نه تنها پروژه‌های حوزه انرژی، مطلوبیت داشته باشد.

## ۲-۱- اندازه‌گیری، تسویه حساب و امنیت شبکه

یکی از نخستین استفاده‌ها از بلاک‌چین در حوزه انرژی در زمینه پرداخت هزینه انرژی مصرف شده بوده است. نخستین شرکتی که بیت‌کوین را به عنوان روشی برای پرداخت هزینه‌های انرژی به رسمیت شناخت، BAS در هلند بود. پس از این مورد شرکت‌های Enercity (آلمان) و Elegant (هند) نیز این روش را در پیش گرفتند و بیت‌کوین را به رسمیت شناختند. Marubeni، واقع در ژاپن، یکی دیگر از این شرکت‌ها است. مصرف‌کنندگان توانی که در مبادلات خود با این شرکت به جای پول سنتی از بیت‌کوین استفاده نمایند می‌توانند ۴ تا ۶ درصد هزینه‌های خود را کاهش دهند.

در آفریقای جنوبی نیز استارت‌آپ بان‌کی‌مون با هدف استفاده از کنتورهای هوشمند و پرداخت به صورت بیت‌کوین، ایجاد شده است. در کشورهای در حال توسعه آفریقایی می‌توان از بلاک‌چین به عنوان روشی برای تسویه حساب گاز، برق و آب استفاده کرد. این مورد بخصوص از آنجایی مهم است که در بسیاری از این کشورها ساکنین دارای حساب بانکی نیستند. شرکت‌های TECSOL، PROSUME و M-PAYG در همین حوزه فعالیت دارد.

شرکت‌های Guardtime و Electron واقع در آمریکا و انگلستان نیز به دنبال ایجاد کردن راهکارهای امن برای انجام مبادلات بر پایه بلاک‌چین هستند. این شرکت‌ها به بررسی مشکلات ناشی از عدم امنیت در سیستم‌های دیجیتال می‌پردازند. ایندو شرکت توانسته‌اند روش‌هایی را برای اندازه‌گیری هوشمند توسعه دهند که امکان ایجاد دستکاری و تغییر داده را کاهش می‌دهد و آنرا سخت می‌نماید. به طور کلی آنچه در این بخش بدیهی است آن است که استفاده از بلاک‌چین در حوزه تسویه حساب حامل‌های انرژی به شدت به وجود کنتورهای هوشمند وابسته است. زیرا اتوماسیون در این بخش نقش ویژه‌ای دارد.

## ۲-۲- رمزارز، توکن و سرمایه‌گذاری

یکی از کاربردها در این زمینه مبتنی بر توکن کردن انرژی است. این امر به این صورت انجام می‌گیرد که حجم معینی از انرژی به عنوان یک توکن در نظر گرفته شده و این توکن می‌تواند در بازار به فروش برسد. از جمله مزایای این امر در این است که انواع مختلف انرژی می‌توانند قیمت‌های متفاوتی داشته باشند. به طور مثال،

تولیدکننده‌ای که از تکنولوژی‌های کم‌کربن برای تولید الکتریسیته استفاده می‌نمایند مجاز خواهد بود توکن مخصوص خود را با قیمت بالاتری در بازار عرضه کند. این توکن سپس می‌تواند توسط شرکت‌هایی که ملزم به کاهش انتشارات کربن خود هستند خریداری شود [11].

از جمله شرکت‌هایی که با هدف آسان کردن سرمایه‌گذاری در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر از بلاک‌چین استفاده می‌نماید، Sun Exchange است. از آنجاییکه در سرمایه‌گذاری معمولاً سرمایه‌های خرد درگیر نمی‌شود (و اضافه کردن سرمایه‌گذاران کوچک از طریق اوراق یا بورس سازوکارهای زمان‌بری دارد)، این شرکت تصمیم به جمع‌آوری سرمایه از طریق بلاک‌چین گرفته است. به این صورت که به ازای سرمایه‌گذاری مشخص در پروژه‌های انرژی خورشیدی، که در شبکه بلاک‌چین ثبت می‌شود، و متناسب با حجم سرمایه‌گذاری، درآمد پروژه به عنوان رمزارز یا توکن در اختیار سرمایه‌گذاران قرار می‌گیرد، این رمزارز SolarCoin نام دارد که ما به ازای یک مگاوات ساعت انرژی خورشیدی تولیدی است. این شرکت که در آفریقای جنوبی مستقر است تا کنون توانسته است سرمایه لازم برای احداث بیش از ۶۰۰ کیلووات ظرفیت خورشیدی را جمع‌آوری نماید و آنها را احداث کرده است. نکته مهم درباره این رمزارز این است که توسط آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر<sup>۶</sup> به رسمیت شناخته شده است و می‌تواند در بازار رمزارز با سایر رمزارزها و یا پول سنتی مبادله شود. اطلاعات بیشتر درباره این رمزارز در مرجع [12] موجود است.

## ۲-۳- مبادله غیرمتمرکز انرژی

یکی از مهمترین و جذاب‌ترین کاربردهای بلاک‌چین در حوزه مبادلات غیرمتمرکز انرژی است. در مبادلات متمرکز و در سطح عمده نیز می‌توان از بلاک‌چین برای تسویه حساب استفاده کرد که در این صورت می‌توان هزینه‌ها را به دلیل حذف نهادهای واسطه کاهش داد. همچنین به کمک این فناوری می‌توان حجم مبادله را بسیار کاهش داد و امکان مبادلات خرد را نیز فراهم آورد. با این حال باید دقت کرد که افزایش تعداد مبادلات کوچک خود باعث مشکل‌تر شدن مدیریت پایداری شبکه نیز می‌شود. این مشکلی است که بلاک‌چین قادر به حل آن نیست و در این صورت باید از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی برای مدیریت شبکه استفاده نمود.

## ۲-۳-۱- مبادلات عمده

در زمینه مبادلات عمده انرژی، PONTON، که در آلمان واقع شده است، از فناوری بلاک‌چین برای تسویه حساب در بازارهای محلی استفاده می‌نماید. این شرکت با همکاری بیش از ۴۰ شرکت درگیر در مبادلات انرژی، یک بازار هم‌تا به هم‌تا عمده انرژی ایجاد کرده است و با راه‌اندازی Enerchain از پیشگامان استفاده از بلاک‌چین در حوزه انرژی است که نه تنها از تبادلات انرژی الکتریکی بلکه از گاز نیز پشتیبانی می‌نماید.

<sup>6</sup> International renewable energy agency (IRENA)

شرکت‌های BP، Shell و Statoil نیز در این زمینه فعالیت‌هایی را با همکاری VAKT آغاز کرده‌اند تا با حذف قراردادهای سنتی کاغذی، بازدهی مبادلات انرژی را افزایش دهند. در سنگاپور Platinum Energy Recovery Corporation به دنبال توسعه راهکارهای مبتنی بر بلاک‌چین برای مبادلات انرژی است، در کانادا نیز PetroBloq با هدف استفاده از ظرفیت بلاک‌چین در حوزه نفت و گاز فعالیت می‌نماید. مثال‌هایی از کاربرد بلاک‌چین در حوزه نفت و گاز در مرجع [13] آورده شده است.

### ۲-۳-۲- مبادلات انرژی تولیدکننده‌های کوچک و مصرف‌کنندگان نهایی

شرکت‌های فعال در این حوزه با هدف ایجاد یک ارتباط مستقیم و حذف واسطه‌ها در نتیجه رقابتی کردن بازار و افزایش بازدهی، فعالیت می‌کنند. Grid+ یکی از این شرکت‌ها است که در اروپا فعالیت دارد. دیگر استارت‌آپ فعال، Drift نام دارد که هم‌اکنون در نیویورک فعال است. Drift دارای دو طرح برای مصرف‌کنندگان است؛ طرح سبز و طرح کاهش قیمت که به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصد از هزینه‌های انرژی مصرف‌کنندگان را کاهش می‌دهند. این شرکت از ترکیبی از فناوری‌های بلاک‌چین و هوش مصنوعی برای مدیریت بازار استفاده می‌نماید. Restart energy نیز یک شرکت رومانیایی است که مانند Drift فعالیت می‌کند. مشارکت در خرید انرژی از Restart Energy، می‌تواند هزینه‌ها را تا ۳۰ درصد کاهش دهد.

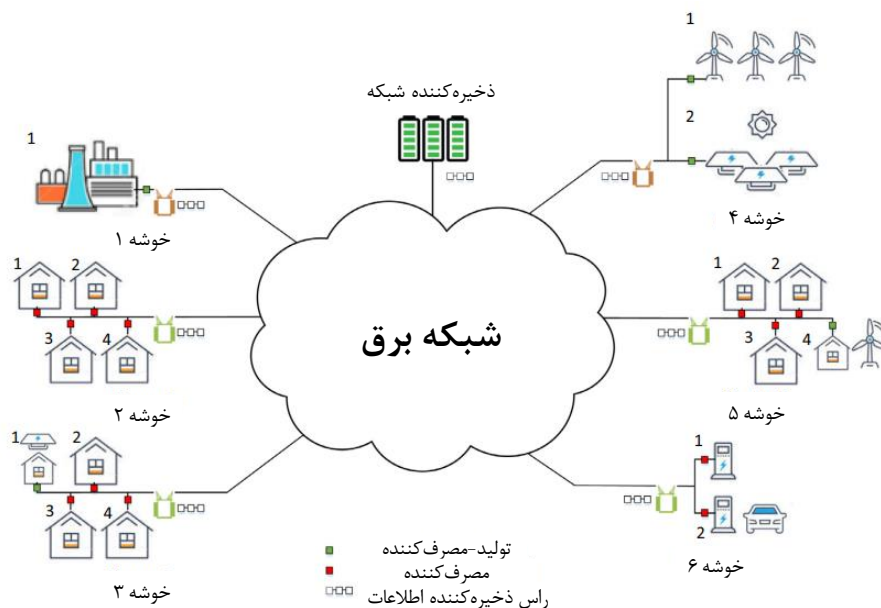
### ۲-۳-۲- مبادلات برپایه بلاک‌چین برای نیروگاه‌ها و بازیگران بزرگ حوزه انرژی

شرکت‌هایی همچون Bittwatt و Clearwatts در این زمینه فعالیت دارند. عملکرد این شرکت‌ها تنها در بازارهای محلی، هم‌تا به هم‌تا و کوچک نیست. همچنین تنها یک گروه از تولیدکنندگان یا مصرف‌کنندگان، مثل تولیدکنندگان خورشیدی، را هدف قرار نمی‌دهد و حوزه فعالیت خود را به تولیدکنندگان تجدیدپذیر، نیروگاه‌ها، مدیریت کنندگان شبکه و نهادهای ناظر بر شبکه گسترش می‌دهد. از دیگر شرکت‌های فعال می‌توان به Green Running، Vlux و OMEGAGrid اشاره کرد.

### ۲-۳-۴- معاملات هم‌تا به هم‌تا در ریزشبکه‌ها

در بسیاری از مبادلاتی که از بلاک‌چین به عنوان سیستم تسویه استفاده می‌شود، بازار محلی است. این بازار محلی مبتنی بر یک ریزشبکه است که تبادلات انرژی بر بستر آن صورت می‌پذیرد. همانطور که در بخش مطالعه موردی اشاره شد، یکی از مثال‌ها در این زمینه عملکرد Transactive Energy با همکاری LO3 در بروکلین نیویورک است. LO3 برای ایجاد یک بازار انرژی مختص بخش تجاری و صنعتی در تگزاس نیز برنامه‌ریز کرده است. در استرالیا با همکاری Yates Energy Services به دنبال توسعه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و ذخیره‌سازها است. در انگلیس نیز در کنار Centrica در حال توسعه یک بازار هم‌تا به هم‌تای انرژی است.

دیگر شرکتی که در استرالیا با هدف استفاده از بلاک‌چین در سیستم‌های انرژی فعالیت می‌کند، Power Ledger است [14]. هدف این شرکت نیز ایجاد یک بستر برای معاملات هم‌تا به هم‌تا بین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان محلی است. این کار فرصت بسیار مناسبی برای تولیدکنندگان است زیرا قیمت فروش برق تولید شده به شبکه اصلی در حدود ۷ سنت دلار استرالیا بر کیلووات ساعت است در حالیکه اگر مبادلات بر بستر Power Ledger انجام شود، میانگین قیمت هر کیلووات ساعت به ۲۰ سنت می‌رسد که ۷۵ درصد آن به تولیدکننده و ۲۵ درصد آن به شرکت می‌رسد. شکل ۵ ایده استفاده از بلاک‌چین در حوزه انرژی و محل قرارگیری راس‌های ذخیره‌کننده اطلاعات را نشان می‌دهد.



شکل ۵. محل قرارگیری رئوس ذخیره‌کننده اطلاعات بلاک‌چین در یک شبکه برق (ماخذ: [15])

## ۲-۴- گواهی‌های سبز و مبادلات کربن

مبادلات کربن امروزه در بسیار از کشورها انجام می‌شود. به طور مثال بازار کربنی بین کشورهای نروژ و سوئد وجود دارد [16]. با این حال مبادلات کربن میان صنایع بزرگ و عمده مانند نیروگاه‌ها، صنایع فولاد، پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها انجام می‌شود و بازیگران کوچک مانند تولیدکنندگان کوچک مقیاس انرژی خورشیدی توجه کافی برای شرکت در این بازار را ندارند. با این وجود، با تجمیع این تولیدهای کوچک مقیاس می‌توان منابع تولید شده از کاهش انتشارات کربن دی‌اکسید را به بازیگران عمده نیز منتقل کرد. در این میان نخستین مشکل نحوه مشارکت دادن تولیدکنندگان خرد انرژی‌های تجدیدپذیر در بازار است که به کمک بلاک‌چین می‌تواند انجام شود.

DAO IPCA یک استارت‌آپ مستقر در روسیه است که با هدف ایجاد یک سرویس یکپارچه برای کالاهای مرتبط با کربن و محیط زیست، فعالیت می‌کند. CarbonX نیز استارت‌آپ دیگری است که با در نظر گرفتن ردپای کربن

کالاهای منتخب، خریداران را تشویق به خرید کالاهای پایدارتر می‌نماید. هرچه کالای خریداری شده ردپای کربن کمتری داشته باشد، خریدار GoodCoin (رمزارز CarbonX) بیشتری دریافت می‌کند.

## ۲-۵- مدیریت شبکه

همانطور که اشاره شد، استفاده از بلاک‌چین الزاما منجر به پایداری شبکه نمی‌شود و ممکن است به سبب افزایش حجم مبادلات ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا را مشکل‌تر کند. شرکت‌های PONTON و Grid Singularity بر روی این موضوع فعالیت می‌کنند. همانطور که اشاره شد PONTON دارای یک بلاک‌چین به اسم EnerChain است که همه اطلاعات سیستم روی آن ذخیره می‌شود؛ سپس PONTON با آنالیز تراکنش‌های انرژی انجام شده روی EnerChain به پیش‌بینی رفتار شبکه در بازه‌های زمانی بعدی می‌پردازد و سعی می‌کند تا تعادل را در شبکه برقرار کند.

در هلند، Tennet و در آلمان Sonnen به دنبال ایجاد مشوق‌هایی برای دارندگان سیستم‌های ذخیره‌ساز بوده‌اند تا بتوانند انعطاف‌پذیری شبکه را بالاتر ببرند. این دو یک پروژه پایلوت در آلمان اجرا کردند که در طی آن مازاد تولید سیستم‌ها، که تقاضایی برای آن وجود نداشت، در ذخیره‌سازها برای استفاده‌های بعدی ذخیره شد. سیستم بلاک‌چین در اینجا می‌تواند برای جایزه دادن به مشارکت‌کنندگان در این زمینه و کسانی که ظرفیت ذخیره‌ساز خود را در اختیار اپراتور شبکه قرار داده‌اند، مورد استفاده قرار گیرد. Tennet همچنین با همکاری Vandeborn به دنبال ایجاد یک سیستم V2G<sup>7</sup> برای مدیریت شبکه است.

## ۲-۶- اینترنت اشیا و اتوماسیون

در این زمینه شرکت‌ها به دنبال توسعه راهکارهایی برای ایجاد اتصال بین دستگاه‌های هوشمند و شبکه اتریوم هستند؛ در صورت ایجاد این اتصال هر ماشین می‌تواند با توجه به قرارداد هوشمندی آنرا اداره می‌کند فعالیت کند و یک ارتباط بین‌ماشینی<sup>8</sup> شکل می‌گیرد که باعث افزایش بازدهی و سرعت فعالیت‌ها می‌شود. شرکت‌های Filament و Slock.it در این زمینه فعالیت دارند. همین شرکت Dajie نیز به کمک ایجاد اتصال بین دستگاه‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا و بلاک‌چین، به مبادله انرژی می‌پردازد. ElectriCChain نیز از جمله شرکت‌های فعال در این حوزه است که به ازای مبادلات انرژی، SolarCoin به تولیدکننده می‌پردازد.

## ۲-۷- خودروهای الکتریکی

در این زمینه نیز هدف این است که دارندگان مازاد انرژی الکتریکی، به طور مثال تولیدکنندگان انرژی خورشیدی، بخشی یا همه انرژی مازاد خود را از طریق سازوکارهایی در اختیار دارندگان خودروهای الکتریکی قرار دهند. پروژه

<sup>7</sup> Vehicle to grid

<sup>8</sup> Machine to machine (M2M)

Share and charge که توسط Innogy MotionWerk و Slock.it انجام شده است از نمونه این پروژه‌ها است. هدف ایجاد ارتباط هم‌تا به هم‌تا بین دارندگان خودروهای الکتریکی و صاحبان ایستگاه‌های شارژ خصوصی است. تعرفه برق فروخته شده می‌تواند ثابت، مبتنی بر زمان و یا به ازای هر کیلووات ساعت باشد. eMotorwerks نیز استارت‌آپی است که پروژه Share and charge را در کالیفرنیا انجام داده است درحالی‌که این پروژه در هلند توسط Alliander دنبال می‌شود.

## ۲-۸- سایر کاربردها

یکی از شرکت‌هایی که روی کاربردهای عمومی بلاک‌چین در حوزه انرژی فعالیت کرده است، Eurelectric است. این شرکت بستری مبتنی بر بلاک‌چین برای ایجاد ارتباط بین ۲۴ شرکت فعال در حوزه انرژی در اتحادیه اروپا ایجاد نموده است. یکی دیگر از سازمان‌های غیرانتفاعی جهانی که به دنبال افزایش ضریب نفوذ بلاک‌چین در حوزه انرژی است Energy web foundation نام دارد. این سازمان تشکیل شده از انواع شرکت‌ها و بسترهایی است که با هدف استفاده از فناوری بلاک‌چین در حوزه انرژی فعالیت می‌کنند. این سازمان در ۲۰۱۸ شبکه آزمایشی منبع باز را برای کاربرد بلاک‌چین در حوزه انرژی راه‌اندازی کرده است.

در پایان این بخش و پس از معرفی انواع شرکت‌های فعال در حوزه استفاده از پتانسیل فناوری بلاک‌چین در خدمات انرژی، به شرکت‌های شاخص این زمینه که در گزارش Euroelectric به آنها اشاره شده است [17]، در جدول ۱ اشاره می‌شود.

جدول ۱ شرکت‌های شاخص فعال در حوزه بلاک‌چین و انرژی (ماخذ: [17])

پروژه‌های نمونه	مزیت احتمالی	زمینه
Enerchain (PONTON) Interbit (BTL)	-کاهش هزینه‌های انتقال پول در بازار عمده فروشی انرژی	مبادلات عمده انرژی
Drift Grid+	-کاهش هزینه مبادلات خرد -افزایش شفافیت مبادلات -امکان ورود و خروج آسان‌تر به بازار -افزایش تعداد انتخاب‌های مصرف‌کنندگان انرژی	مبادلات خرد انرژی
Brooklyn microgrid project (LO3 Energy) Jouliette (Alliander and Spectral) Verbund and Salzburg AG	-کاهش فشار بر سیستم انتقال -افزایش منفعت اقتصادی -افزایش تعداد انتخاب‌های مصرف‌کنندگان انرژی	مبادلات هم‌تا به هم‌تا
Tennet Electron	-افزایش توانایی اپراتور انتقال انرژی در ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا	خدمات افزایش انعطاف‌پذیری شبکه
Share & Charge (Motionwerk) eMotorWerks	-افزایش توانایی اپراتور توزیع انرژی در مدیریت شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی	خودروهای الکتریکی

Keyless Signature Infrastructure (Gaurdtime)	-افزایش توانایی اپراتورهای مستقل انتقال و توزیع شبکه در مدیریت آن	مدیریت و امنیت شبکه
SolarCoin Idea Colab	-افزایش بازدهی و شفافیت بازارهای مبادلات زیست محیطی	بازار مبادلات زیست محیطی

### ۳- بحث و جمع بندی

از جمله چالش‌های استفاده از بلاک‌چین در سیستم انرژی و مبادلات این است که نیاز به یک زیرساخت مانند شبکه‌ای از دستگاه‌های دیجیتال و سنسورها و کنتورهای هوشمند دارد. همچنین در زمان‌هایی که شرکت ایجادکننده بازار از توکن استفاده می‌نماید، نااطمینانی نسبت به ارزش بلندمدت توکن در میان مصرف‌کنندگان ایجاد می‌شود که این مورد باید در نظر گرفته شود. با اینحال اگر عملکرد بازار مناسب باشد و طرفین بازار بر ارزش توکن به توافق برسند، این مشکل حل می‌شود؛ البته مکانیزم ایجاد اطمینان در بلند مدت خواهد بود.

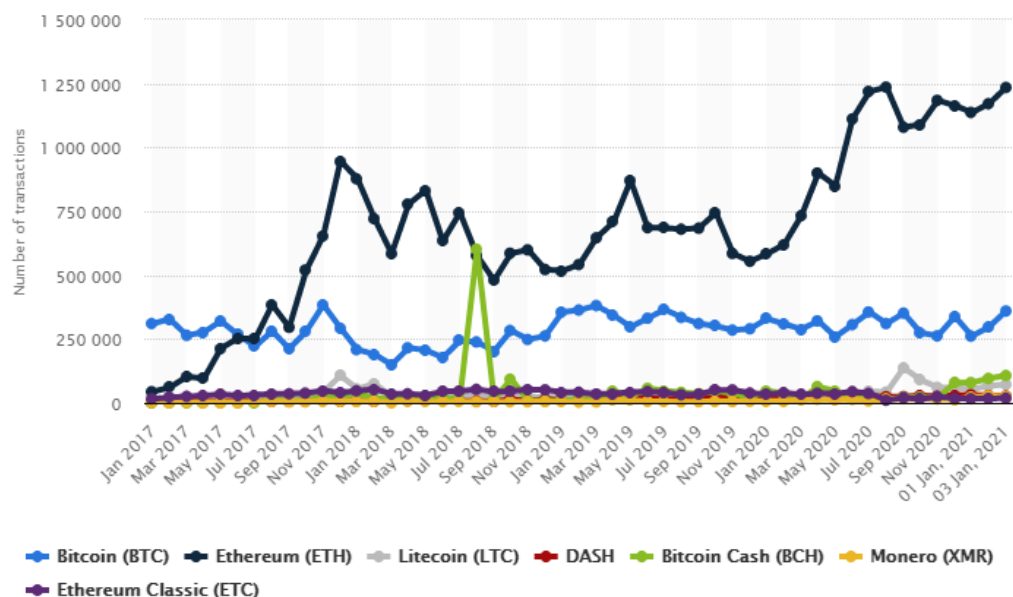
نکته دیگر که باید در این بخش مورد توجه قرار گیرد، الگوریتم اجماع استفاده شده و شبکه‌ای است که برای مبادلات در نظر گرفته شده است. این مهم می‌تواند در گزارشی دیگر مورد بررسی قرار گیرد ولی برای روشن شدن موضوع باید اشاره کرد که در بسترهای مختلف (بیت‌کوین، اتریوم،...) نحوه ایجاد اعتماد بین طرفین مبادله متفاوت می‌باشد. برخی از این مکانیزم‌های ایجاد اعتماد می‌توانند خود به شدت انرژی‌بر باشند (مانند<sup>۹</sup> PoW که برای بیت‌کوین استفاده می‌شود)؛ برخی دیگر مانند<sup>۱۰</sup> PoS یا<sup>۱۱</sup> PoA، مصرف انرژی پایین‌تری دارند، بررسی انواع مختلف الگوریتم‌های اجماع در مرجع [18] آورده شده است. بنابراین باید دقت شود از الگوریتم اجماعی که خود یک مصرف‌کننده عمده انرژی است برای مبادلات انرژی استفاده نشود زیرا در این حالت چه بسا انرژی مصرف شده برای تبادل از انرژی مبادله شده بیشتر باشد. به طور مثال برای انتقال ۱ کیلووات ساعت بر بستر شبکه بیش از ۱ کیلووات ساعت انرژی مصرف شود.

توانایی شبکه در پردازش تراکنش‌ها نیز باید در نظر گرفته شود؛ شبکه بیت‌کوین در هر ثانیه بیشینه تعداد ۱۰ تراکنش را ثبت می‌کند که برای مدیریت حجم بالای تراکنش‌ها در شبکه مناسب به نظر نمی‌رسد. براساس آمار تعداد تراکنش‌هایی که در یک روز توسط شبکه اتریوم مدیریت می‌شود بسیار از بیت‌کوین بالاتر است. شکل ۶ نشان‌دهنده میانگین تعداد تراکنش در یک روز در شبکه‌های رمزارزهای مختلف است.

<sup>۹</sup> Proof of work

<sup>۱</sup> Proof of stake 0

<sup>۱</sup> Proof of authority 1



شکل ۶ تعداد تراکنش در شبکه بلاک چین رمزارزهای مختلف (ماخذ: [19])

همانطور که از نمودار ۶ مشخص است تعداد تراکنش‌های روزانه در شبکه بیت کوین به ۵۰۰ هزار نیز نمی‌رسد در حالیکه در شبکه اتریوم این میزان به ۱ میلیون و ۲۵۰ هزار تراکنش در روز رسیده است. در نتیجه، انتخاب پلتفرم مناسب یکی از مهمترین بخش‌های ایجاد مبادلات انرژی بر بستر بلاک چین است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

بلاک چین به دلیل ماهیت غیرمتمرکزی که دارد، می‌تواند در سیستم‌های پراکنده تولید انرژی آینده نقش ایفا کند. دو مورد از اصلی‌ترین کاربردهای این فناوری در سیستم انرژی، ذخیره اطلاعات با جزئیات کامل و تسویه حساب است. در مورد اول باید گفت که بلاک چین از اساس یک سیستم دفترکل توزیع شده است؛ این بدان معنا است که اولین کاربرد بلاک چین، استفاده از آن به عنوان یک بانک داده شفاف و ایمن در برابر صدمات مرسوم سیستم‌های دیجیتالی است.

دومین مورد که استفاده از این فناوری برای تسویه حساب پرداخت‌ها و مبادلات انجام شده است، زیرمجموعه‌ای از مورد اول است. زیرا هر پرداخت در واقع ثبت اطلاعات روی یک سیستم است. طرف پرداخت کننده اعلام می‌کند مقداری پول را از دست داده است و به ازای آن کالایی گرفته است در نتیجه این امر، آن مقدار پول دیگر متعلق به او نیست. طرف دریافت کننده نیز اعلام می‌کند که مقداری پول به دارایی او اضافه شده است و به ازای آن کالا یا خدمتی را دریافت کرده است. اعلام دریافت و پرداخت پول در سیستم‌های مبادلاتی سنتی بر عهده بانک است



و پیش از آن اسکناس این کار را انجام می‌داده است؛ ولی اسکناس می‌تواند تقلبی باشد و بانک می‌تواند هک شود و ولی این مشکلات برای بلاک‌چین ایجاد نمی‌شود یا حداقل بسیار سخت ایجاد می‌شود.

با آنکه سیستم سنتی در مقادیر مبادله متوسط و بالا عملکرد خوبی دارد ولی در مقادیر کم (به طور مثال ۳۰۰۰ ریال از فردی به فرد دیگر) استفاده از آن به صرفه نمی‌باشد. حداقل کارمزد کارت به کارت در ایران ۵۰۰۰ ریال است [20] و اگر کسی بخواهد مبالغ کمی را جا به جا کند نسبت کارمزد به کل مبلغ منتقل شده بالا خواهد بود؛ به طور مثال اگر در بازار برق یک کیلووات ساعت برق ۱۰۰۰۰ ریال قیمت‌گذاری شود، نسبت کارمزد به هزینه منتقل شده ۵۰ درصد خواهد بود. از طرفی حجم این مبادلات کوچک مقیاس بالا خواهد بود که این روی شبکه بانکی فشار وارد می‌کند (به عنوان مثال تسویه حساب به صورت ساعتی باشد).

برای حل این مشکل در مبادلات می‌توان از سیستم بلاک‌چین استفاده نمود. بلاک‌چین می‌تواند با کارمزد بسیار پایین و سرعت بالا، حجم زیادی از مبادلات در یک بازه زمانی معین را مدیریت کند و این قابلیت را نیز دارد که اطلاعات را به صورت رمزنگاری شده در اختیار همه طرفین درگیر در بازار قرار دهد. مزیت بزرگ شفافیت و در دسترس بودن اطلاعات در این شبکه این است که با دریافت و تحلیل دیتاهای بازار می‌توان با استفاده از روشهای هوش مصنوعی به تحلیل و پیش‌بینی بازار انرژی پرداخت که خود کمک زیادی به مدیریت شبکه و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا خواهد کرد.

## منابع

- [1] NordPool, "NordPool electricity market," *NordPool*, 2021. [Online]. Available: <https://www.nordpoolgroup.com/>.
- [2] R. Sara, "THE REFORMS EFFECTS ON CONSUMER PRICES IN THE ELECTRICITY SECTOR IN."
- [3] S. Witte and A. Moreno, "Charting the Diffusion of Power Sector Reforms across the Developing World," 2017.
- [4] M. Hajibashi *et al.*, "Iran's electricity market seasonal report," Tehran, 2019.
- [5] "5 Cryptocurrencies with No Transaction Fees," *sbwire*, 2019. [Online]. Available: <http://www.sbwire.com/press-releases/5-cryptocurrencies-with-no-transaction-fees-1222779.htm>.
- [6] M. Andoni *et al.*, "Blockchain technology in the energy sector : A systematic review of challenges and opportunities," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 100, no. February 2018, pp. 143–174, 2019.
- [7] C. Zhang, J. Wu, C. Long, and M. Cheng, "Review of Existing Peer-to-Peer Energy

- Trading Projects,” *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 2563–2568, 2017.
- [8] C. Park and T. Yong, “Comparative review and discussion on P2P electricity trading,” *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 3–9, 2017.
- [9] O. Abrishambaf, F. Lezama, P. Faria, and Z. Vale, “Towards transactive energy systems : An analysis on current trends,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 26, p. 100418, 2019.
- [10] LO3 Energy, “The Brooklyn Microgrid,” *LO3 Energy*, 2020. [Online]. Available: <https://lo3energy.com/innovations/>.
- [11] A. Varnavskiy, A. Buryakova, and E. Sebechenko, “Design of models for the tokenization of electric power industry basing on the blockchain technology,” in *Communication Papers of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, 2018, vol. 17, pp. 45–50.
- [12] Coin marketcap, “SolarCoin,” *Coin marketcap*, 2021. [Online]. Available: <https://coinmarketcap.com/currencies/solarcoin/>.
- [13] H. Kadry and P. Industries, “IPTC-19937-Abstract Blockchain Applications in Midstream Oil and Gas Industry,” *IPCT*, no. January, pp. 13–15, 2020.
- [14] “Power Ledger,” *Power ledgert*, 2020. [Online]. Available: <https://www.powerledger.io/>.
- [15] A. Agung, G. Agung, and R. Handayani, “Blockchain for smart grid,” *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, no. xxxx, 2020.
- [16] F. Urban and J. Nordensvärd, “Low Carbon Energy Transitions in the Nordic Countries : Evidence from the Environmental Kuznets Curve,” *Energies*, vol. 11, 2018.
- [17] M. N. Luke, S. J. Lee, Z. Pekarek, and A. Dimitrova, “Blockchain in Electricity : a Critical Review of Progress to Date,” 2018.
- [18] S. J. Alsunaidi and F. A. Alhaidari, “A Survey of Consensus Algorithms for Blockchain Technology,” in *2019 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCIS)*, 2019, pp. 1–6.
- [19] Statista, “number of daily cryptocurrency transactions by type,” *Statista*, 2020. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/730838/number-of-daily-cryptocurrency-transactions-by-type/>.
- [20] F. Tajeddini, “Bank transfer fee,” *Tejarat News*, 2019. [Online]. Available: <https://tejaratnews.com/?است-چقدر-بانکی-کارت-به-کارت-هزینه>.