نشریه علمی پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار)
مقاله پژوهشی/ سال بیست و سوم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲، ص: ۲۶-۱

بررسی اثرات زیست محیطی استخراج بیت‌کوین با استفاده از روش پویایی سیستم

شکوه محمودی[۱]
سید عبدالمجید جلائی[۲]
زین‌العابدین صادقی[۳]
علیرضا شکیبایی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۴/۲۰ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۵/۲۵

چکیده

رشد عظیم بازار ارزهای دیجیتال در سال‌های گذشته، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و به دلیل مزایایی همچون شفافیت و قابلیت‌های نوین بلاک‌چین، پیش بینی می‌شود که در آینده نیز بتوانند به رشد مستمر خود ادامه دهد. محبوبیت ارزهای دیجیتال مانند بیت‌کوین و ارزهای متکی به بلاک چین، چالش‌ها و فرصت‌هایی را برای بخش انرژی ایجاد کرده است. با توجه به اینکه روش‌های تولید برق در اکثر نقاط دنیا، غالباً با استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی های تجدیدناپذیر انجام می‌شود، اثرات مخرب زیست‌محیطی از جانب استخراج ارزهای دیجیتال، خطری محسوس می‌باشد. لذا پرداختن به این وجه از ارزهای دیجیتال و در نظر گرفتن هزینه‌های زیست‌محیطی آن، می‌تواند هزینه‌های پنهان این فرایند را نمایان سازد و یک تحلیل جامع و کامل در حوزه ارز دیجیتال ارائه نماید. در این پژوهش، تلاش شده است تا با استفاده از روش پویایی سیستم و طراحی سیستم استخراج بیت‌کوین از زمان انتشار بیت‌کوین تا سال ۲۰۳۴، جوانب انتشار این ارز و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و اثرات زیست محیطی ناشی آن، بررسی و پیش بینی گردد. نتایج، نشان داد که استخراج بیت کوین، به بروز و انتشار آلایندگی در سطح دنیا منجر خواهد شد و بیشترین سطح آن در زمان نقطه اوج هش (۳ میلیارد گیگاهش) در حدود ۴۰۰ میلیون کیلوگرم CO_2 در روز خواهد بود و تا وقوع هاوینگ بعدی، استخراج بیت‌کوین سودآور می‌باشد و پس از آن، میزان استخراج و بالتبع سطح آلایندگی آن رو به کاهش خواهد گذاشت.

واژگان کلیدی: ارز دیجیتال، انرژی، بیت‌کوین، پویایی سیستم، محیط‌زیست
طبقه‌بندی JEL: P18, Q4, F31

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد بین‌الملل دانشگاه شهید باهنرکرمان (نویسنده مسؤول)
shokooh.mahmoodi@aem.uk.ac.ir
۲. استاد بخش اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان jalaee@uk.ac.ir
۳. دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان z_sadeghi@ uk.ac.i
۴. دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شهید باهنر کرمان ashakibai@uk.ac.ir

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]
[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

۱. مقدمه

رشد عظیم بازار ارزهای دیجیتال در سال‌های گذشته، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است و به دلیل مزایایی همچون شفافیت و قابلیت‌های نوین بلاک‌چین، پیش بینی می‌شود در آینده نیز بتوانند به رشد مستمر خود ادامه دهد. محبوبیت ارزهای دیجیتال مانند بیت کوین و ارزهای متکی به بلاک چین، چالش‌ها و فرصت‌هایی را برای بخش انرژی ایجاد کرده است. با افزایش علاقه به بیت کوین و سایر ارزهای دیجیتال، تقاضای انرژی برای تأمین انرژی استخراج ارزهای دیجیتال نیز افزایش یافته، به طوری که بر اساس برآوردهای سایت digiconomist[1]، مصرف برق سالانه بیت‌کوین، ۲۰۴ تراوات ساعت می‌باشد؛ که در همین گزارش، مصرف برق کشورهایی مانند تایلند و لهستان، ۱۹۵ و ۱۶۶ تراوات ساعت برآورد شده است و نشان می‌دهد، مصرف برق دستگاه‌های استخراج بیت‌کوین حتی در مقایسه با کل میزان انرژی الکتریکی استفاده شده توسط مردم برخی کشورها نیز بیشتر است.

فناوری زیربنای ارزهای دیجیتال، بلاک‌چین است. بلاک چین یک دفتر کل توزیع‌شده دیجیتالی است که به طرف‌هایی که ممکن است به یکدیگر اعتماد نداشته باشند، این امکان را می‌دهد تا در مورد مالکیت و توزیع فعلی دارایی‌ها به منظور انجام تجارت جدید به توافق برسند. ممکن است بلوک‌های جدید از طریق روش‌های مختلفی به یک بلاک‌چین اضافه شوند. در استخراج بلوک‌ها، کاربران به دنبال اضافه کردن بلوک بعدی به زنجیره هستند. برای بیت کوین، بلوک‌های جدید از طریق الگوریتم اثبات‌کار[1]، به بلاک چین اضافه می شوند. استخراج ارزهای دیجیتال از طریق الگوریتم اثبات‌کار، به انرژی قابل توجهی نیاز دارد تا: (۱) دستگاه‌هایی را به کار بگیرد که محاسبات مورد نیاز برای حفظ یکپارچگی بلاک چین را محاسبه می‌کنند؛ و (۲) تنظیم حرارتی دستگاه‌ها برای عملکرد بهینه را انجام دهند (الگوریتم‌های جایگزین مانند اثبات سهام[2] و اثبات قدرت[3] نیز وجود دارند که مصرف انرژی آنها کمتر است). دستگاه‌های استخراج، قابلیت‌های عملکرد متفاوت و نیازهای برق متفاوتی دارند. به طور کلی، دستگاه یا مجموعه‌ای از دستگاه‌ها که می‌توانند محاسبات بیشتری در ثانیه انجام دهند، به انرژی بیشتری برای تغذیه و خنک‌کردن نیاز دارند (کلارک و گرینلی[4]، ۲۰۱۹).

با توجه به اینکه روش‌های تولید برق در اکثر نقاط دنیا، غالباً با استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدناپذیر انجام می‌شود، اثرات مخرب زیست‌محیطی از جانب استخراج ارزهای دیجیتال،

---

۱. الگوریتم اثبات کار (Proof of Work)، به معنی یافتن راه حل برای معادلات بسیار پیچیده ریاضی، تأیید سایر ماینرها و درنهایت، تأیید بلوک برای پیوستن به زنجیره بلاک چین است. اساس کار این نوع سیستم، بر پایه قدرت محاسباتی کامپیوتر می‌باشد که کاربران نیاز دارند برای مشخص کردن اعتبار تراکنش‌ها، از مسائل ریاضی بسیار پیچیده استفاده کنند.

2. Proof of Stake
3. Proof of Authority
4. Clark, & Greenly (2019).

خطری محسوس می‌باشد؛ به‌طوری‌که داده‌های پلتفرم تحلیلی کوین‌شیرز[1]، نشان می‌دهد که استخراج بیت‌کوین حدود ۳۶ میلیون تُن در سال۲۰۲۰ و ۴۱ میلیون تُن در سال ۲۰۲۱ دی‌اکسیدکربن تولید کرده است. در صورت رشد قیمت بیت‌کوین و سایر ارزهای دیجیتال و افزایش اقبال عمومی نسبت به بازار ارزهای دیجیتال، افراد بیشتری به استخراج آن روی می‌آورند و در نتیجه، با افزایش سختی استخراج (که ناشی از افزایش نرخ هش شبکه می‌باشد)، مصرف انرژی برای استخراج بیت‌کوین رو به افزایش می‌گذارد و آلایندگی بیشتری را در پی خواهد داشت. همچنین با افزایش قیمت و سودآوری استخراج بیت‌کوین، استفاده از دستگاه‌های استخراج با بهره‌وری پایین‌تر و آلودگی بیشتر نیز توجیه پیدا می‌کند (دوریس[2]، ۲۰۲۰).

روش پویایی سیستم می‌تواند جنبه های فنی و اجتماعی سیستم های پیچیده ای را که با پذیرش بیت‌کوین و سایر ارزهای رمزنگاری شده ایجاد شده‌اند، مدل کند. بنابراین، به دلیل توانایی آن در توضیح پدیده‌های سیستمی نوظهور از نظر تعامل بین عوامل مربوط به رفتار انسان و معماری سیستم (فنی)، یک روش کامل برای مطالعه، پویایی اقتصادی این اشکال جدید پول است (ساول[3]، ۲۰۲۰).

هدف از نگارش این مقاله، آن است که به این وجه از ارزهای دیجیتال با در نظر گرفتن آلودگی‌های زیست‌محیطی آن بپردازد و نشان دهد، چگونه روش پویایی سیستم، می‌تواند یک ابزار قدرتمند و قابل دسترس برای مدل‌سازی بلاک‌چین و رفتارهای مربوط به بازار آن باشد و جنبه‌های فنی و اجتماعی بیت‌کوین به عنوان یک سیستم پیچیده را ارائه نماید. قدرت پویایی سیستم در توانایی ادغام این جنبه‌ها در یک مدل و نمایش بصری آن است که مدل‌های پویایی سیستم را برای مخاطبان زیادی قابل فهم می‌کند.

در مطالعات صورت گرفته در حوزه ارزهای دیجیتال و مصرف انرژی، تا کنون تنها به برآورد مصرف انرژی بیت‌کوین پرداخته شده است، اما در این مطالعه، ضمن استفاده از روش پویایی سیستم برای پیش‌بینی نرخ هش شبکه بیت‌کوین، میزان مصرف انرژی و آلودگی انتشار یافته از آن را نیز که متناسب با رشد نرخ هش شبکه می‌باشد را برآورد و تحرکات و تغییرات ناشی از هاوینگ‌های بعدی را پیش بینی می‌نماید. در این پژوهش، با طراحی سیستم استخراج بیت‌کوین، میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و اثرات زیست‌محیطی ناشی از آن، از زمان انتشار بیت‌کوین تا سال ۲۰۳۴، با استفاده از نرم افزار ونسیم[4]، بررسی و پیش‌بینی می‌شود.

در ادامه، پس از بررسی ادبیات موضوع و مطالعات صورت گرفته در این حوزه، مبانی نظری تحقیق ارائه، سپس سیستم پویا طراحی و تشریح، و در انتها، نتایج برآورد، تحلیل می‌گردد.

1. www.coinshares.com
2. de Vries (2020).
3. Saul *et al.* (2020).
4. Vensim

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

۲. ادبیات موضوع

با وجود اینکه موضوع ارزهای رمزنگاری شده در طی چند سال اخیر مورد بحث و استقبال قرار گرفته‌اند، اما مطالعات کمتری نسبت به سایر حوزه‌های اقتصادی در رابطه با آن انجام شده است. در چندین مطالعه، مصرف انرژی ارزهای دیجیتال بررسی شده‌اند.

دوریس[1] (۲۰۱۸) بررسی کرده که با وجود اینکه پیشرفت‌های فناوری در دستگاه‌های مورد استفاده برای استخراج بیت‌کوین، به افزایش نرخ هش دستگاه‌های استخراج (یعنی بهبود کارآیی دستگاه) منجر شده، اما هش‌ریت شبکه نیز با افزایش محبوبیت بیت‌کوین، افزایش یافته است.

طبق یک تخمین در اواسط مارس ۲۰۱۸، شان می‌دهد، حدود ۲۶ کوئینتیلیون عملیات هش در هر ثانیه و بدون وقفه توسط شبکه بیت کوین انجام می‌شود (دوریس[2]، ۲۰۱۸). برآورد مصرف برق شبکه جهانی بیت‌کوین، به کارآیی سخت‌افزارهای مختلف بستگی دارد؛ مانند تعداد ماشین‌آلات در حال استفاده و نیازهای خنک کننده این تأسیسات. تخمین‌های مختلفی برای توان مورد نیاز شبکه بیت کوین ارائه شده است که به‌طورکلی، این تخمین ها از هش و بازده هش ماینر برای تعیین مصرف انرژی استفاده می‌کنند.

مطالعه استول و همکاران[3] (۲۰۱۹)، برای تخمین مصرف انرژی بر داده‌های سخت‌افزاری به‌دست‌آمده از پرونده‌های عرضه اولیه عمومی[4] تکیه کرده است و با استفاده از بومی‌سازی آدرس‌های IP، تخمین مصرف انرژی را به انتشار کربن تبدیل می‌کند. این مطالعه، مصرف برق سالانه بیت کوین را تا نوامبر ۲۰۱۸ برابر ۴۵/۸ تراوات ساعت تعیین نموده و تخمین می‌زند که انتشار کربن سالانه بین ۲۲ تا ۲۲/۹ میلیون تن دی‌اکسیدکربن $MtCO_2$ است؛ بدان معنی که آلایندگی تولید شده توسط بیت کوین، در سطح آلایندگی کشورهای اردن و سریلانکا قرار دارد که با آلودگی تولید شده توسط ایالت کانزاس نیز قابل مقایسه است.

همچنین کرایوس و تولامت[5] (۲۰۱۸) در گزارش نتایج پژوهش خود، بیان می‌کنند که بیت‌کوین بزرگ‌ترین پلت‌فرم ارز دیجیتال هم در ارز در گردش و هم در معاملات پردازش‌شده است و بنابراین، نیازهای انرژی سایر ارزهای دیجیتال نسبت به بیت‌کوین، نسبتاً کمتر است و مطالعات کمتری، نیازهای انرژی را برای ارزهای دیجیتال دیگر غیر از بیت‌کوین بررسی کرده‌اند.

اما نظرات در مورد اینکه آیا رشد آینده بیت کوین بر مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2) تأثیر می‌گذارد، متفاوت است.

ورانکن[6] (۲۰۱۷)، استدلال می‌کند که نگرانی‌های ناشی از مصرف انرژی ارزهای دیجیتال نابه‌جا هستند و رقابت‌پذیری استخراج بیت‌کوین باعث این خواهد شد که تنها ماینرهایی با رقابتی‌ترین

1. de Vries
2. de Vries
3. Stoll *et al*. (2019).
4. IPO
5. Krause and Tolaymat (2018).
6. Vranken (2017).

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

سخت‌افزار، استخراج و کمترین هزینه‌های برق در طول زمان، بتوانند به فعالیت ادامه دهند و این موضوع، می‌تواند به استفاده کمتر ماینرها از سخت افزار ناکارآمد انرژی منجر شود، زیرا ممکن است دیگر نتوانند به‌طور مؤثر رقابت کنند.

اما د وریس[1] (۲۰۲۰)، در پژوهش خود، نشان می‌دهد هر چه سود ماینینگ بیشتر باشد، بیشتر به فعالان بازار اجازه می‌دهد تا تصمیماتی بگیرند که به بهره‌وری انرژی کمتر از حد مطلوب شبکه بیت‌کوین منجر می‌شود. به‌طورخاص، در زمانی که سودآوری استخراج در سال ۲۰۱۹ به اوج خود رسید، مشخص شد که فعالان بازار، عمدتاً از نسل‌های قدیمی‌تر دستگاه‌هایی با در دسترس بودن بهتر و هزینه‌های خرید کمتر، استفاده می‌کردند. این مطالعه تخمین می‌زند که شبکه بیت کوین، سالانه ۸۷,۱ تراوات ساعت انرژی الکتریکی در ۳۰ سپتامبر ۲۰۱۹ مصرف می‌کند (برابر با کشوری مانند بلژیک).

ولی، مونی و موفسون[2] (۲۰۱۷)، پیش بینی می‌کنند که با تغییر انگیزه پاداش از کشف بیت‌کوین جدید به کسب درآمد از طریق کارمزد تراکنش، تقاضای انرژی کاهش می‌یابد.

کرایوس و تولامت[3] (۲۰۱۸)، استدلال می‌کنند که مصرف انرژی حاصل از استخراج بیت‌کوین، یک مسأله موقتی است. مشاهده می‌شود که هش‌های شبکه چندین ارز دیجیتال، روند صعودی داشته است و نشان می‌دهد که مصرف انرژی (و انتشار CO_2) افزایش خواهد یافت. با این حال، این برآوردها، انرژی مورد نیاز برای سیستم‌های خنک‌کننده و سایر عملیات‌ها و فعالیت‌های تعمیر و نگهداری مرتبط با استخراج ارزهای دیجیتال را شامل نمی‌شود.

مورا و همکاران[4] (۲۰۱۸)، مطالعه‌ای در مورد رشد بیت‌کوین و اثرات بالقوه‌ای که بر انتشار CO_2 می‌گذارد، انجام داده‌اند. نتایج این مطالعه، نشان داده است که اگر بیت‌کوین در نهایت، جایگزین سایر تراکنش‌های بدون پول نقد شود، مصرف انرژی مرتبط با استفاده از بیت‌کوین، می‌تواند به‌طور بالقوه انتشار CO_2 را افزایش دهد؛ به‌طوریکه به افزایش دمای جهانی به میزان ۲ درجه سانتی گراد منجر شود. این پیش‌بینی‌ها فرض می‌کنند که ترکیب انواع سوخت مورد استفاده برای تولید برق (و انتشار CO_2) مطابق سال ۲۰۱۴ ثابت باقی می‌ماند و این فرض را که در بسیاری از موارد، بیت‌کوین در مناطقی با انرژی‌های تجدیدپذیر فراوان و مقرون به صرفه، استخراج می‌شود را در نظر نمی‌گیرد کامیا[5] (۲۰۱۸).

علاوه بر این، پیش‌بینی‌ها هیچیک از اثرات بالقوه سقوط قیمت بیت‌کوین بر هش‌ها یا مصرف انرژی را در نظر نمی‌گیرند و اینکه آیا سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در استخراج بیت‌کوین، می‌تواند برای ارزهای دیجیتال دیگر یا برای اهداف دیگر استفاده شود.

1. de Vries
2. Mooney, Mufson (2017).
3. Krause and Tolaymat (2018).
4. Mora *et al*. (2018).
5. Kamiya (2018).

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

طبق نظر کرایوس و تلایمن[1](۲۰۱۸)، پیش‌بینی‌های رشد مداوم در مصرف انرژی، باعث شد برخی، خواهان اصلاح در صنعت ارزهای دیجیتال باشند.

فوتینیس[2](۲۰۱۸) اما از سویی دیگر، استدلال می‌کند که اتکای مداوم به برق مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، موضوعی مهم است و نه شدت‌انرژی بیت‌کوین. رائوچ[3] (۲۰۱۸).

تاکنون مطالعات کمی در زمینه بیت‌کوین و دیگر ارزهای رمزنگاری شده توسط پویایی سیستم‌ها انجام شده است.

یاماگوچی[4] (۲۰۱۷)، در مطالعه خود، به صراحت از ویژگی‌های منحصر به فرد چهارچوب سیستم بلاک‌چین و بیت‌کوین، الگوبرداری یا بر اساس آن، استفاده نمی‌کند. او در مقاله خود، طرحی یکپارچه از سیستم پولی جدید را ارائه می‌دهد؛ و یک سیستم پول عمومی همتا به همتا[5] را طراحی می‌کند و نشان می‌دهد که لایه‌های پیچیده روش‌های پرداخت، باعث نابرابری درآمد بین سرمایه‌گذاران و غیرسرمایه‌گذاران از طریق هزینه‌های معاملاتی می‌شوند. از سوی دیگر، سیستم پول عمومی همتا به همتا که در این مقاله پیشنهاد شده است و معاملات همتا به همتا[6] را، با پشتیبانی از فناوری دفتر کل توزیع شده ارائه می‌دهد. این مقاله نیاز به توسعه پروتکل جهانی برای پیاده‌سازی سیستم پیشنهادی را توصیه می‌کند.

در پژوهشی دیگر، لسی و ساول[7](۲۰۲۰)، یک مدل دینامیک سیستم از بیت‌کوین را طراحی کردند. مدل این مقاله، به این موضوع می‌پردازد که چه چیزی باعث رشد نرخ هش شبکه می‌شود و نشان می‌دهد که روند نرخ هش شبکه را می‌توان تا حد زیادی با فرضیه بازار کارا توضیح داد و پیش‌بینی می‌کند، احتمال روند نزولی در نرخ هش شبکه پس از هاوینگ[8] در ماه مه ۲۰۲۰ وجود دارد.

1. Krause and Tolaymat (2018).
2. Foteinis (2018).
3. Rauchs . (2018).
4. Yamaguchi (2018).

۵. سیستم پولی همتا به همتا (peer to peer) اجازه می‌دهد که انتقال پول به‌طور مستقیم از یک طرف به طرف دیگر، بدون واسطه‌گری یک مؤسسه مالی انجام شود.

6. Peer to Peer
7. Saul *et al*. (2020)

۸. (Halving) به‌طور میانگین، هر چهار سال یک‌بار (پس از گذشت ۲۱۰ هزار بلاک در بلاک چین بیت کوین)، میزان تولید بیت کوین‌های جدید به شکل ناگهانی نصف می‌شود یا به‌طور دقیق‌تر، پاداش اهدایی به ماینرها برای اضافه کردن یک بلاک به بلاک چین، ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. هاوینگ توسط ساتوشی ناکاموتو، خالق ناشناس بیت کوین، و با هدف کنترل تورم بیت کوین، در کد این شبکه قرار داده شده است.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

۳. مبانی نظری

پویایی سیستم[1]، روشی برای مدل‌سازی سیستم‌ها با استفاده از متغیرهای انباشت، حالت و جریان است که در دهه ۶۰ توسط استاد دانشگاه MIT؛ پروفسور جی‌فورستر[2] (۱۹۶۱) معرفی شد. این مدل در دهه ۷۰ به لطف انتشار کتاب "محدودیت‌های رشد"[3]، بسیار شهرت یافت. این کتاب از مدل پویایی سیستم برای تحلیل پوچی ایدهٔ رشد نامحدود استفاده نمود و امروزه نیز جامع‌ترین منبع برای مدل پویایی سیستم کتاب "پویایی کسب و کار"[4]، اثر پروفسور جان استرمن[5] (۲۰۰۰) از دانشگاه MIT است. پویایی سیستم، می‌تواند جنبه‌های فنی و اجتماعی سیستم‌های پیچیده‌ای را که با پذیرش بیت‌کوین و سایر ارزهای رمزنگاری شده ایجاد شده‌اند، مدل کند. بنابراین، به دلیل توانایی آن در توضیح پدیده های سیستمی نوظهور از نظر تعامل بین عوامل مربوط به رفتار انسان و چهارچوب سیستم (فنی)، یک روش کامل برای مطالعه پویایی اقتصادی این شکل جدید از پول است.

با استفاده از تکنیک مدل‌سازی پویایی سیستم (جی‌فورستر[6] (۱۹۶۱)؛ جان استرمن (۲۰۰۰))، تحولات نرخ هش شبکه، تا حد زیادی قابل توضیح است. با فرض وجود بازار کارا[7]، می‌توان این‌طور تحلیل نمود که استخراج‌کنندگان تا جایی به استخراج بیت‌کوین ادامه می‌دهند که: سود مورد انتظار آنها از استخراج (که خالص شده از هزینه برق استخراج است)، محقق شود. به عبارت دیگر، استخراج-کنندگان عقلایی رفتار می‌کنند که مفهومی اساسی برای تحلیل و پیش‌بینی رفتار آتی نرخ هش شبکه می‌باشد.

به‌طورخاص، اگر سود حاصل از استخراج در نتیجه سقوط قیمت یا سقوط چشمگیر پاداش استخراج (هاوینگ) منفی شود، نرخ هش شبکه ممکن است به میزان قابل توجهی کاهش یابد، زیرا قدرت هش شبکه، به استخراج ارزهای جایگزین سودآورتر منتقل می‌شود. همان‌طور که پس از هاوینگ مه ۲۰۲۰، اقبال عمومی نسبت به بسیار از ارزهای دیگر افزایش پیدا کرد.

در این پژوهش، از مدل و نتایج مطالعهٔ لسی و ساول[8] (۲۰۲۰) به عنوان مقاله پایه استفاده گردیده و مدل برآورد شده در این پژوهش، اقتباس از این مقاله می‌باشد. مدل این مقاله، به این موضوع می‌پردازد که استخراج بیت‌کوین، چه تأثیری بر سطح آلایندگی و سطح انتشار دی‌اکسید کربن دارد. برای این منظور، ابتدا می‌بایست سیستم استخراج ارز دیجیتال را با منطق استخراج‌کنندگان طراحی نماییم. در این سیستم، به دنبال این خواهیم بود که چه چیزی باعث مصرف بیشتر انرژی در روند استخراج می‌گردد. حلقه ارتباطی برای رسیدن به مصرف انرژی فرایند استخراج؛ دستگاه‌های استخراج

1. System dynamics
2. Jay Forrester (1961).
3. D. H. Meadows, D. L. Meadows, Randers, & Behrens (1972).
4. Business Dynamics
5. John Sterman (2000).
6. Jay Forrester (1961).
7. Efficient-market
8. Saul, *et al*. (2020).

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]
[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

هستند که کارآیی آنها بر حسب گیگاهش بر ژول نمایش داده می‌شود و لذا برای محاسبه میزان انرژی مصرف شده، نرخ هش شبکه (یعنی قدرت استخراج بیت‌کوین)، بررسی و محاسبه می‌گردد.

فرضیه این است که استخراج کنندگان استخراج می‌کنند؛ زیرا سود به دست می‌آورند. به عبارت دیگر ، به دلیل اینکه

هزینه‌های استخراج < درآمدهای استخراج

و درآمدهای استخراج برابر است با:

درآمدهای استخراج = (پاداش استخراج + کارمزد معاملات) × قیمت BTC

در فرضیهٔ پویا در این مطالعه، یک "بازار کارا با اطلاعات کامل" فرض می‌شود، به این‌صورت که؛ تا زمانی که سود استخراج مثبت باشد، تلاش برای استخراج ارز دیجیتال، رو به افزایش است یا به عبارتی، قدرت هش بیشتری به شبکه اضافه می‌شود تا اینکه هزینه نهایی برای افزودن قدرت هش بیشتر، از بازده مورد انتظار آن فراتر رود. برعکس، وقتی سود استخراج منفی بشود، نرخ هش از شبکه کم می‌شود. افزایش و کاهش نرخ هش با یک ثابت زمانی خاص اتفاق می‌افتد، که با ضریب تأخیر، نشان داده می‌شود (زیرا تنظیم آنی نیست). با یک تقریب اولیه، این تأخیر برای افزایش و کاهش نرخ هش، یکسان در نظر گرفته می‌شود، اگرچه به احتمال زیاد، کاهش نرخ هش، سریع‌تر از افزایش آن است (لسی و ساول[1]، ۲۰۲۰).

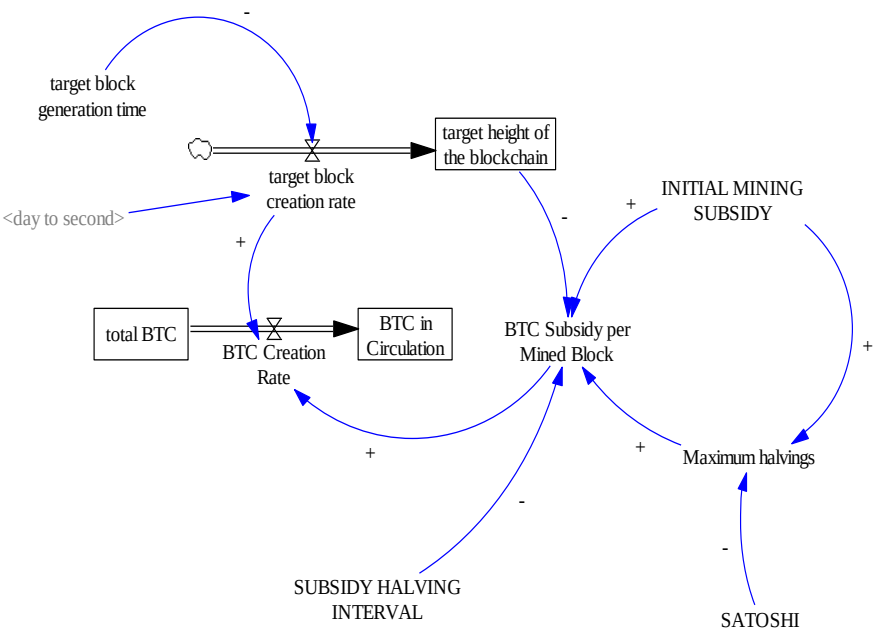
۳-۱. خلق بیت کوین

مدل طراحی شده در این پژوهش شامل دو بخش می‌باشد. بخش اول که در شکل ۱ نشان داده شده است، مدل عرضه بیت‌کوین می‌باشد که توسط ناکاموتا طراحی شده است و مکانیسم استخراج بیت‌کوین را نشان می‌دهد. این قسمت از مدل، شامل هیچ حلقهٔ بازخوردی نیست و تنها برای برآورد و پیش‌بینی سیستم استخراج بیت‌کوین طراحی شده و از متغیرهای Mined Block و Target Block Creation Rate برای اتصال به حلقهٔ پیش‌بینی نرخ هش و مصرف انرژی استفاده می‌شود.

1. Saul, et all (2020)

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]



مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۱: خلق بیت کوین

در این مکانیسم، مقدار محدودی بیت‌کوین وجود دارد که شامل ۲۱ میلیون بیت‌کوین می‌باشد (total BTC) که با نرخ مشخصی (BTC Creation Rate) به متغیر انباره دوم، کل بیت‌کوین‌های در گردش یا استخراج شده (BTC in circulation) می‌رسد.

نرخ استخراج بیت‌کوین (BTC Creation Rate) از دو مؤلفه تأثیر می‌پذیرد: (۱) چند بلوک در روز استخراج می‌شود (Target block creation rate)؛ و (۲) چه مقدار بیت‌کوین در ازای هر بلوک استخراج شده، پاداش داده می‌شود (BTC Subsidy per Mined Block). بر اساس الگوریتم اثبات کار[1] که توسط شبکه بیت کوین مورد استفاده قرار می‌گیرد، نرخ استخراج بیت‌کوین برابر با یک بلوک در هر ۱۰ دقیقه است (برابر با ۱۴۴ بلوک در روز) و متغیر دوم، از یک سری هندسی کدگذاری شده پیروی می‌کند؛ به این‌صورت که میزان پاداش اولیه به ازای هر بلوک، ۵۰ بیت‌کوین بوده است که پس از هر ۲۱۰ هزار بلوک استخراج شده، این میزان نصف می‌شود (هاوینگ) و این فرایند به‌طور تقریبی،

1. Proof of Work

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

هر چهار سال یک بار رخ می‌دهد و تا زمانی ادامه پیدا می‌کند که ارزش پاداش استخراج، به کمترین واحد بیت‌کوین (0.01 E-6 BTC)، که به آن، یک ساتوشی گفته می‌شود، برسد (ساول[1]، ۲۰۲۰).

۲-۳. نرخ هش

مکانیسم سیستماتیک نرخ هش و مصرف انرژی آن در شبکه بیت کوین، در نمودار (۲) که نمودار جریان-حالت نرخ هش شبکه بیت‌کوین است، ملاحظه می‌شود. حلقه بازخورد منفی در این نمودار، بر اساس فرضیه پویای مدل (فرضیه بازار کارا) مدل‌سازی شده است؛ به این‌صورت که استخراج‌کنندگان با توجه به سود استخراج[2]، به فعالیت خود ادامه می‌دهند.

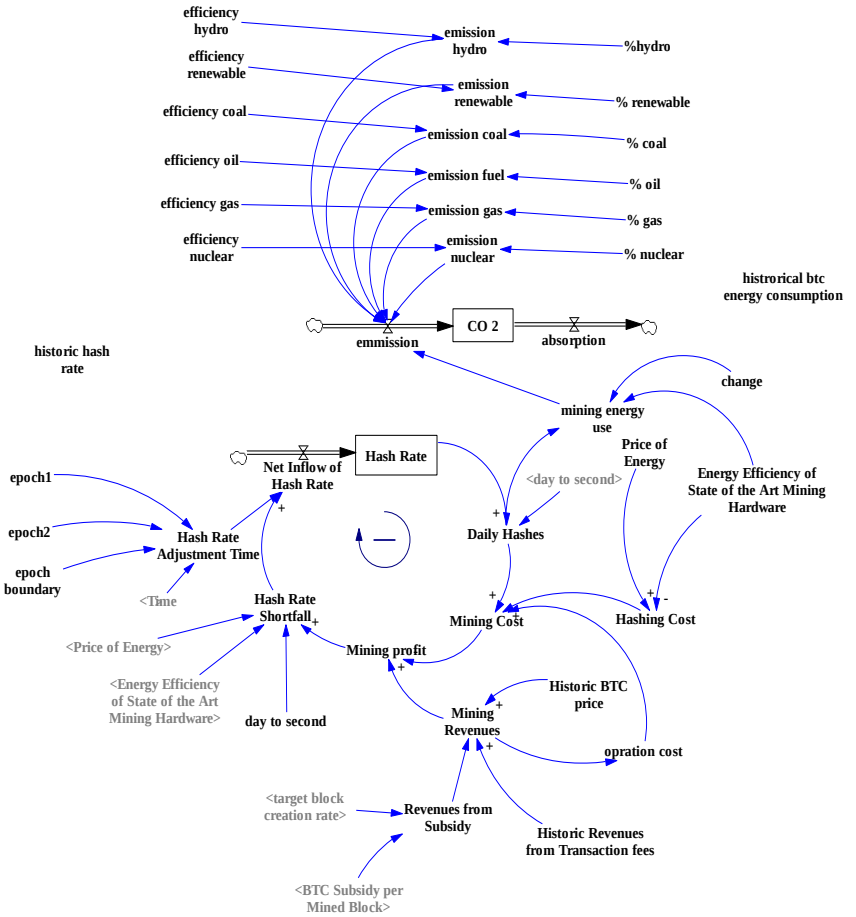
نرخ هش[3] شبکه متغیر انباشت این حلقه می‌باشد و نرخ جریان خالص هش[4]، نشان‌دهنده میزان توان محاسباتی است که روزانه به شبکه اضافه و یا از آن، کسر می‌شود. بر اساس برخی تخمین‌ها، توان محاسباتی اولیه در روزهای اولیه استخراج بیت کوین، برابر با ۰/۰۰۷ GH/s (گیگا هش بر ثانیه) بوده، که به عنوان نقطه اولیه جهت برآورد در نظر گرفته شده است. با استفاده از این متغیر، میزان هش روزانه[5] بر حسب گیگاهش بر ثانیه، برای دوره زمانی پیش بینی به دست آمده است.

هزینه استخراج[6] که متغیر مورد استفاده ما جهت بررسی سودآوری استخراج است، با استفاده از هزینه هش[7] و ضرب دو متغیر، قیمت انرژی[8] و بهره‌وری انرژی دستگاه‌های استخراج[9]، محاسبه می‌شود. در رابطه با متغیر قیمت انرژی، فرض بر این است که قیمت انرژی در بازه زمانی مورد مطالعه ۰/۰۵ $ به ازای هرکیلووات ساعت، ثابت در نظر گرفته شده است[10].

1. Saul *et al*. (2020).
2. Mining Profit
3. Hash Rate (GH/s)
4. Net Inflow of hash rate
5. Daily Hashes
6. Mining Cost
7. Hashing Cost
8. Price of energy
9. Energy Efficiency of State of the Art Mining Hardware
۱۰. این یک ساده‌سازی است و ممکن است به طور کامل، نمایانگر میانگین قیمت انرژی مورد استفاده ماینرها در روزهای اولیه نباشد؛ اما این عدد با برآورد CoinShares Research (2019) که حدود ۰/۰۴ $/ کیلووات ساعت است، همخوانی دارد.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]



مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۲: نمودار جریان-حالت نرخ هش و مصرف انرژی

در محاسبه متغیر درآمدهای استخراج[1]، از ترکیبی از عوامل درونزا و برونزا استفاده می‌شود: پاداش استخراج[2] بر اساس متغیرهای مدل شده در مدل "خلق بیت کوین" که در قسمت قبل توضیح

1. Mining Revenues
2. Revenues from Subsidy

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

داده شده است، محاسبه می‌شود؛ درحالی‌که کارمزد معاملات استخراج[1] و قیمت بیت‌کوین[2]، از داده‌های سری زمانی استخراج می‌گردد.

با جمع این سه متغیر، میزان درآمدهای استخراج برحسب دلار محاسبه می‌شود. با کسر هزینه‌های استخراج[3] از درآمدهای استخراج، که این هزینه‌ها شامل هزینه های هش[4]و هزینه عملیاتی استخراج[5] می‌باشد، سود استخراج[6]، محاسبه می‌شود و مقدار متغیر افت نرخ هش[7] را تعیین می‌کند. این متغیر به صورت زیر فرمول نویسی شده است.

افت نرخ هش = سود استخراج / (هزینه انرژی × بهره‌وری انرژی دستگاه‌های استخراج) (۳)

این حلقه به این معنی است که: به چه میزان به قدرت هش شبکه می‌توان اضافه نمود تا هزینه نهایی برای افزودن هش از مزایای آن بیشتر نشود (وضعیت سود صفر که هدف حلقه بازخورد منفی است). به عبارت دیگر، سودی که شبکه هر روز به دست می‌آورد ((روز/دلار)که به صورت (ثانیه/دلار) بیان شده است)، مقداری را نشان می‌دهد که شبکه می‌تواند قبل از رسیدن به وضعیت سوددهی صفر به آن اضافه کند.

در نهایت، عامل اصلی دخیل در این حلقه معرفی می‌شود: زمان تعدیل نرخ هش[8]. این متغیر این واقعیت را نشان می‌دهد که سیستم فوراً به افت نرخ هش واکنش نشان نمی‌دهد، زیرا زنجیره تأمین دستگاه‌های استخراج در توان خود محدود است. متغیرهای epoch و epoch، تأخیرهای لحاظ شده در مدل را نشان می‌دهند که به ترتیب، ۱۴۸۲ و ۲۶۴ روز می‌باشد.

۳-۳. مصرف انرژی و بیت کوین

متغیر اتصال دهنده این مدل به بخش مصرف انرژی آن، بهره‌وری انرژی دستگاه‌های استخراج[9] است؛ چرا که برای محاسبه و پیش‌بینی میزان مصرف انرژی ناشی از استخراج ارزهای دیجیتال، می‌باید سطح مصرف انرژی دستگاه‌های استخراج را در نظر گرفت که بر اساس گیگ هش بر ثانیه (GH/s) اندازه‌گیری می‌شود که این متغیر با یک سطح ثابت در هر دوره استخراج، مدل‌سازی می‌شود.

مراحل پیشرفت دستگاه‌های استخراج در هفت دوره مشخص شده است که از CPU در سال ۲۰۰۹ و با آغاز استخراج بیت‌کوین و با کمترین سرعت شروع می‌شود، سپس در سال ۲۰۱۰، فناوری GPU با کارآیی ۱۰ برابر نسبت به CPU ظهور کرد و پس از آن به طور تقریبی، هر ۱۰سال فناوری

1. Historic Reveues from Transaction fees
2. Historic BTC price
3. Mining Cost
4. Hashing Cost
5. Operation Cost
6. Mining Profit
7. Hash Rate Shortfall
8. Adjustment Hash Rate
9. Energy Efficiency of State of the Art Mining Hardware

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

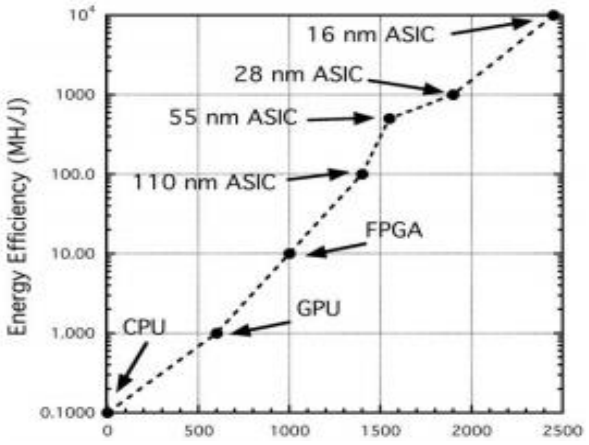
[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

دستگاه‌های استخراج ارتقا یافته، و تا جدیدترین فناوری (ASIC(16 nm که در سال ۲۰۱۵ رونمایی شد، ادامه داشته است (جدول شماره ۱ و شکل شماره ۱).

جدول ۱: کارآیی مصرف انرژی دستگاه‌های استخراج

Technology	From (date)	Period (days)	Energy efficiency (MH/J)
CPU	Mar 2009	0–600	0.1
GPU	Oct 2010	600–1000	1
FPGA	Dec 2011	1000–1400	10
ASIC (110 nm)	Jan 2013	1400–1550	100
ASIC (55 nm)	Jun 2013	1550–1900	500
ASIC (28 nm)	Jun 2014	1900–2450	1000
ASIC (16 nm)	Dec 2015	2450–Now	10 000

منبع: blockchain.com



منبع:blockchain.com

نمودار ۳: روند کارآیی مصرف انرژی دستگاه‌های استخراج

اما نکته قابل توجه، این است که سطح مصرف انرژی این دستگاه‌ها در شرایطی که سختی استخراج افزایش پیدا کند، بیشتر خواهد شد؛ چرا که نرخ هش شبکه برای استخراج همان مقدار ارز در گذشته افزایش می‌یابد و بنابراین، برای بررسی نوسانات و تغییرات مصرف انرژی استخراج ارزهای دیجیتال، باید نرخ هش شبکه و نوسانات آن را محاسبه و پیش‌بینی نمود که متغیر انباره نرخ هش[1] در نمودار ۲ (نمودار جریان–حالت نرخ هش و مصرف انرژی)، مقدار پیش بینی نرخ هش را نشان می‌دهد.

1. Hash Rate

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

در نهایت، مقدار انرژی مصرفی استخراج[1]، از تقسیم کارآیی دستگاه‌های استخراج[2] در هش‌روزانه[3]به دست می‌آید.

سپس میزان آلودگی[4] دی‌اکسیدکربن ناشی از استخراج بیت‌کوین انتشار یافته از سهم هر کدام از منابع تولید الکتریسته در تولید جهانی (%Hydro, %Coal, …) و میزان دی‌اکسیدکربن انتشار یافته از هر کیلو وات ساعت تولید برق (Efficiency Hydro, Efficiency Coal,…) محاسبه می‌شود. جدول ۲ اطلاعات فوق را نشان می‌دهد.

جدول ۲: منابع تولید الکتریسته و میزان آلایندگی آنها

منابع سوخت	الکتریسیته $g(CO_2\text{-eq})/kW.he$	سهم از کل تولید الکتریسیته (درصد)
زغال‌سنگ	۸۶۳	۳۹
نفت	۸۹۳	۷
گازهای طبیعی	۵۷۷	۱۹
انرژی برق‌آبی (تولید شده از آب یا بخار)	۱۵	۱۷
انرژی هسته‌ای اورانیم	۶۰	۱۵
انرژی زمین گرمایی	۵۵	۳
انرژی خورشید	۱۰۶	
انرژی باد	۲۱	

source: IPCC
$kW{\cdot}he$ = kilowatt-hour(s) equivalent
gCO_2-eq = grams of carbon dioxide equivalent

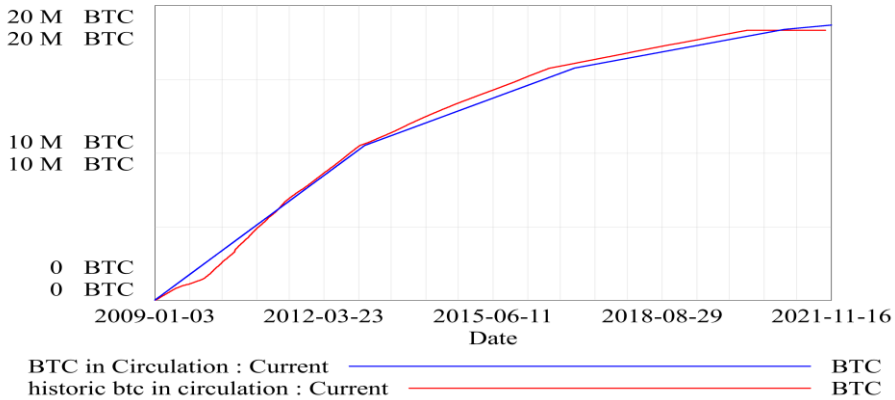
۴. برآورد مدل

۴-۱. صحت سنجی مدل

به منظور اعتبارسنجی مدل، سری زمانی واقعی بیت‌کوین‌ها از سایت BlockChain.com استخراج شده و با میزان محاسبه شده توسط مدل مقایسه می‌گردد (نمودار ۳). مقایسه رضایت بخش است و نشان می‌دهد که سیستم طراحی شده برای خلق بیت‌کوین، مطابق انتظار و واقعیت بازار بیت‌کوین رفتار می‌نماید.

1. Mining energy use(J/Day)
2. Energy Efficiency of State of the Art Mining Hardware (GH/J)
3. Daily Hash
4. Emission

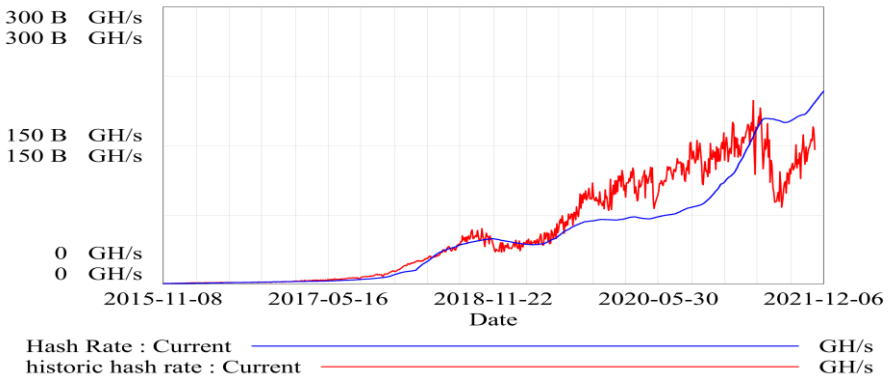
[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]
[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]



مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۴: مقایسه میزان واقعی استخراج بیت کوین با میزان محاسبه شده مدل

همچنین مقایسه نرخ هش به دست آمده از مدل، با سری زمانی نرخ هش[1] (نمودار۴) نشان می‌دهد که نرخ هش تا سال ۲۰۱۹ به درستی و منطبق بر واقعیت نرخ هش برآورد شده است و در سال ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ به دلیل وقوع شوک‌های متنوع به بازار ارزهای دیجیتال، مدل توانسته است روند نرخ هش را برآورد نماید و در واقع، به دلیل عدم ثبات بازار ارز دیجیتال به دلیل نو پا بودن آن و عمق شوک‌های قیمتی اتفاق افتاده در بازار ارز دیجیتال و نوسانات شدید این ارز، پیش بینی‌های مدل نسبت به سال‌های قبل، دقیق نمی‌باشد؛ اما همان‌طور که گفته شد، روند نرخ هش و زمان وقوع اوج حضیض‌های نرخ هش، به درستی برآورد شده است.



مأخذ: یافته‌های تحقیق

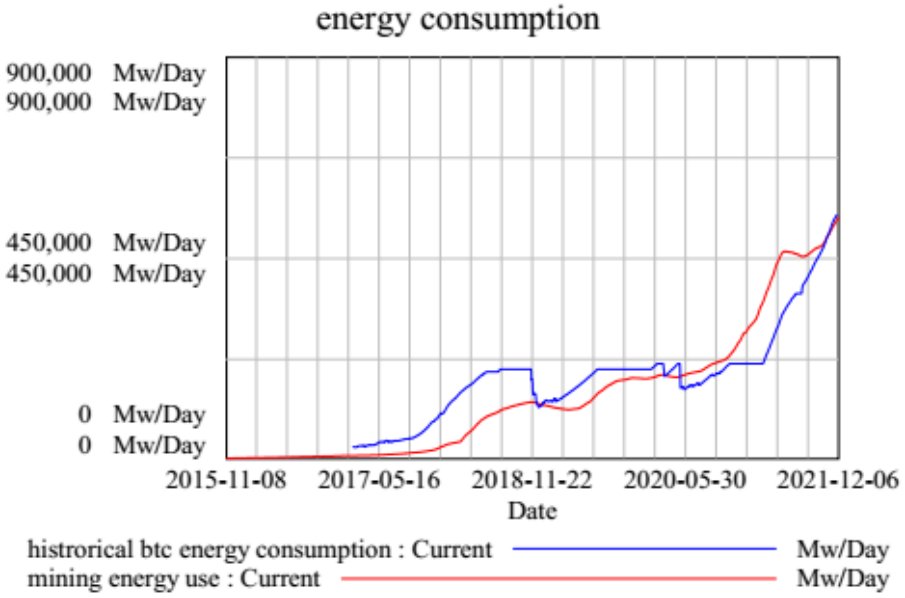
نمودار ۵: مقایسه میزان نرخ هش با میزان محاسبه شده مدل

1. www.Blockchain.com

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

در نمودار ۵، مشاهده می‌گردد که اوج نرخ هش در آوریل ۲۰۲۱ که به دلیل اوج گرفتن قیمت بیت‌کوین رخ داده، به درستی توسط مدل پیش بینی شده، اما پیش بینی مدل در افت نرخ هش فاصله زیادی تا نرخ هش واقعی داشته است که در دوره‌های پیشین، این حد از تورش در برآورد، مشاهده نمی‌گردد که این امر را می‌توان این‌طور تحلیل نمود که در سال‌های اخیر، به دلیل افزایش عمق بازار ارزهای دیجیتال، ارزهای دیجیتال متنوعی وارد بازار شده که نسبت به سال‌های گذشته ارزهای دیجیتال، از تنوع بسیار بالایی برخوردار است و این باعث می‌گردد که بیت‌کوین و سایر ارزهای دیجیتال، جانشین‌های بسیاری در بازار ارز داشته باشند و در صورت وقوع کاهش قیمت بیت‌کوین یا سایر ارزها، دستگاه‌های استخراج برای استخراج سایر ارزها آماده می‌شوند و لذا در زمان وقوع شوک قیمتی، واکنش بازار عمیق‌تر و سریع‌تر اتفاق خواهد افتاد.



مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۶: مقایسه میزان مصرف انرژی بیت کوین با میزان محاسبه شده مدل

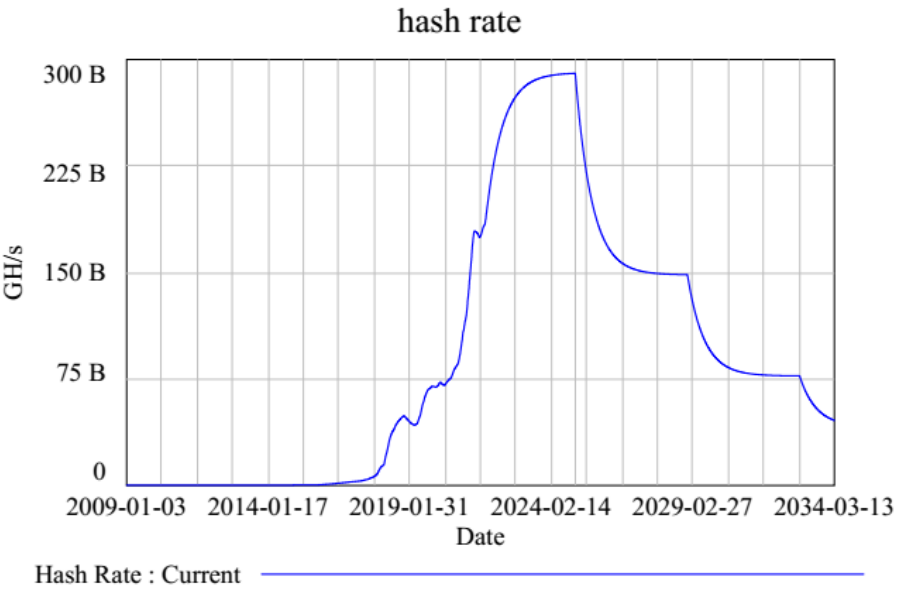
همچنین از مقایسه میزان مصرف انرژی برآورد شده توسط مدل با مقدار مصرف انرژی بیت‌کوین که توسط سایت digiconomist تخمین زده شده، این‌طور برداشت می‌شود که روند برآورد شده توسط مدل، با این تخمین همسو بوده است، ولی از آنجایی که روش محاسبه در این مدل با روش تخمین زده شده توسط این سایت متفاوت می‌باشد، انتظار در انطباق این دو برآورد نیست؛ زیرا در روش برآورد این سایت، میزان هزینه انرژی به عنوان درصدی از درآمدهای استخراج کنندگان در نظر گرفته می‌شود و بنابراین، با افزایش قیمت بیت کوین، میزان درآمد و در نتیجه، مصرف انرژی در این روش برآورد، افزایش پیدا می‌کند؛ در صورتی که بر اساس روش محاسبه این پژوهش، افزایش مصرف انرژی در اثر افزایش هش شبکه و در

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]
[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

نتیجه، افزایش مصرف انرژی دستگاه‌ها رخ می‌دهد و با واقعیت مصرف انرژی انطباق بیشتری دارد؛ چراکه در مقطعی از زمان، درآمد استخراج‌کنندگان از محل افزایش قیمت بیت کوین، افزایش می‌یابد؛ در صورتی که مصرف انرژی آنها در سطح ثابتی بوده، و با افزایش درآمد، رشد نداشته است و بنابراین، محاسبهٔ مصرف انرژی بر اساس پیش بینی نرخ هش شبکه، به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود.

۵. نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از برآورد سیستم استخراج بیت کوین، در چهار نمودار به شرح زیر قابل توضیح می‌باشد و برای دوره زمانی مطالعه (از ابتدای ایجاد بیت‌کوین (سال ۲۰۰۹) و تا سال ۲۰۳۴ میلادی) پیش بینی شده است.



مأخذ: یافته‌های تحقیق

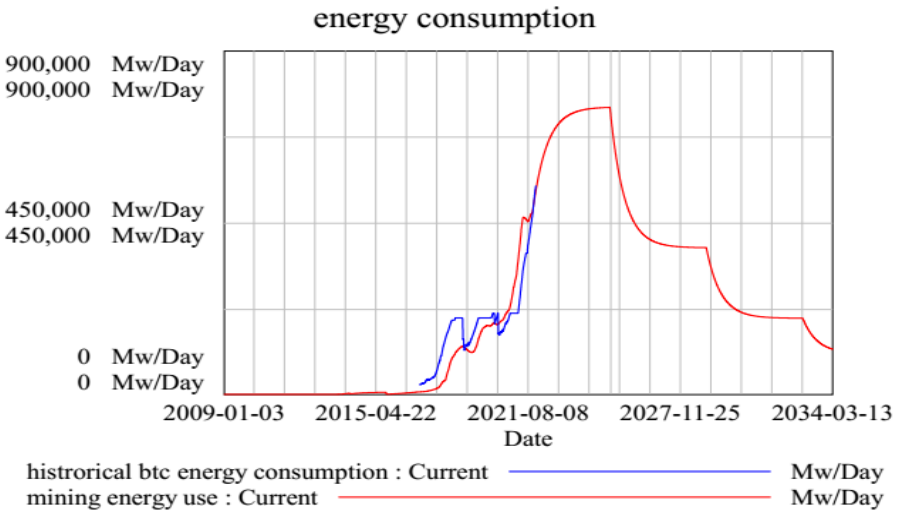
نمودار ۷: پیش بینی نرخ هش

B=1e+9

نمودار ۷، مربوط به پیش‌بینی میزان نرخ هش شبکه می‌باشد؛ زیرا حلقه واسط میان استخراج بیت‌کوین و مصرف انرژی از طریق پیش بینی نرخ هش صورت می‌گیرد. برآورد مدل با استفاده از داده های موجود، نشان می‌دهد که حداکثر میزان نرخ هش در سال ۲۰۲۴، پس از چهارمین هاوینگ اتفاق خواهد افتاد و تا مرز ۳۰۰ میلیارد گیگا هش در روز پیش خواهد رفت و پس از آن، تلاش برای استخراج بیت کوین رو به کاهش خواهد گذاشت.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

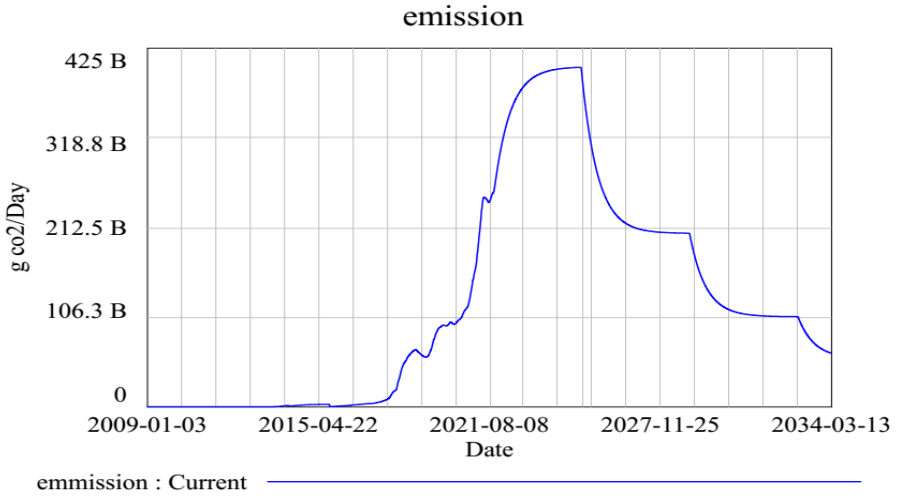
[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]



مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۸: پیش بینی میزان مصرف انرژی استخراج بیت کوین

نمودار ۸، پیش بینی میزان انرژی مصرفی ناشی از استخراج بیت‌کوین در بازه زمانی مورد مطالعه را نشان می‌دهد، و مشاهده می‌گردد که مصرف انرژی متأثر است از میزان نرخ هش شبکه که با کاهش تلاش‌ها برای استخراج بیت‌کوین، مصرف انرژی نیز کاهش پیدا می‌کند و رابطه مستقیم بین هش شبکه و مصرف انرژی بیت‌کوین وجود دارد.



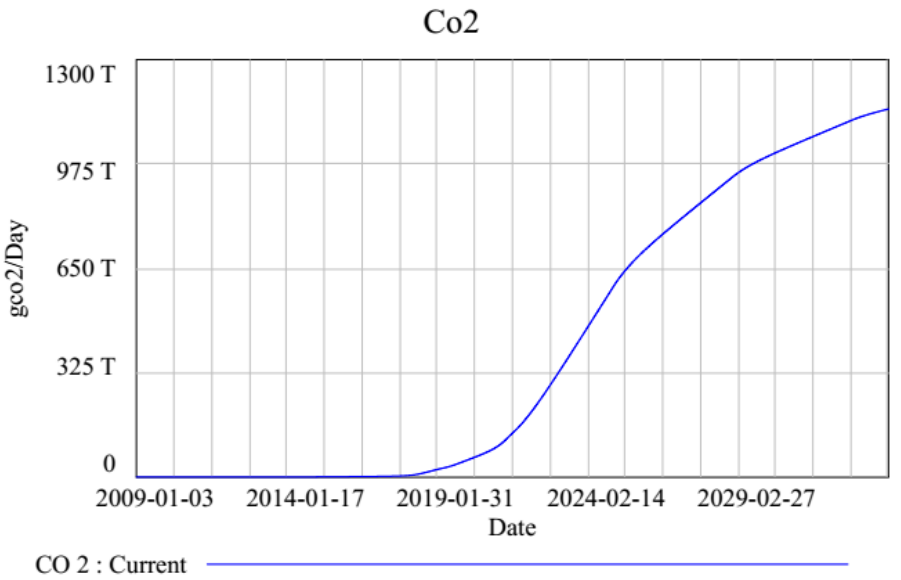
مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۹: پیش‌بینی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از استخراج بیت کوین

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

از مصرف انرژی روزانه بیت کوین، می‌توان میزان انتشار روزانه دی اکسید کربن را محاسبه نمود. نمودار ۹ نشان می‌دهد، حداکثر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در زمان حداکثر نرخ هش اتفاق خواهد افتاد و رقمی نزدیک به ۴۰۰ میلیون کیلوگرم در روز خواهد بود. در برآوردهای صورت گرفته در CoinShare، میزان انتشار دی اکسیدکربن در حال حاضر به طور روزانه، عددی نزدیک به ۱۵۰ میلیون کیلوگرم می‌باشد. لازم به ذکر است در روش محاسبه این سایت، میزان تولید کربن برای هر کیلووات ساعت از منابع تولیدی مختلف به صورت میانگینی از تمام منابع تولید الکتریسیته در نظر گرفته می‌شود.



مأخذ: یافته‌های تحقیق

نمودار ۱۰: پیش بینی میزان انباشت دی اکسید کربن ناشی از استخراج بیت کوین

و در انتها میزان انباشت دی‌اکسید کربن در اثر استخراج بیت‌کوین در نمودار ۱۰ ملاحظه می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد، میزان انتشار دی‌اکسید کربن در بازه زمانی مطالعه، روند صعودی با نرخ کاهنده را خواهد داشت و با کاهش استخراج بیت‌کوین و هش شبکه، روند آلودگی ناشی از استخراج نیز رو به کاهش خواهد گذاشت. پیش بینی می‌شود که با کاهش استقبال از استخراج بیت‌کوین به دلیل کاهش حجم باقی مانده از بیت‌کوین‌ها و سخت‌تر شدن استخراج آنها، سایر ارزهای دیجیتال، مورد استقبال قرار گرفته و جایگزین این ارز شوند.

۶. نتیجه گیری

در این مطالعه نشان داده شد که فرایند استخراج بیت کوین را می‌توان به عنوان یک سیستم پویا با استفاده از روش سیستم‌های پویا، مدل‌سازی نمود. مدل‌سازی با فرضیه بازارهای کارا در استخراج

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]
[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

بیت‌کوین آغار می‌گردد. در مدل طراحی شده، نشان داده شد که چگونه سیستم استخراج بیت‌کوین را می‌توان با یک حلقه بازخورد منفی که سود استخراج را با تأخیر زمانی صفر می‌کند، توضیح داد. با شبیه سازی این مدل برای سه دوره هاوینگ بعدی، تقریباً در فوریه ۲۰۲۴، استخراج ارز دیجیتال به نقطه حداکثر تولید آلودگی خواهد رسید و به عبارتی، تا وقوع هاوینگ بعدی، استخراج بیت‌کوین سودآور خواهد بود و پس از آن، میزان استخراج و بالتبع سطح آلایندگی آن رو به کاهش خواهد گذاشت.

این مدل، نشان می‌دهد که روش‌ها و ابزارهای پویایی سیستم، می‌توانند برای مدل‌سازی بیت‌کوین مؤثر باشند و برای سایر ارزهای رمزنگاری شده موجود یا جدید، پیشنهاد شود و همچنین رفتار سیستم های پیچیده اجتماعی که از کاربرد فناوری بلاک چین ایجاد شده‌اند را به خوبی توضیح دهند.

نتایج نشان داد که استخراج بیت کوین، به بروز و انتشار آلایندگی در سطح دنیا منجر خواهد شد و بیشترین سطح آن در زمان نقطه اوج هش (۳۰۰میلیارد گیگا هش) در حدود ۴۰۰ میلیون کیلوگرم CO_2 در روز خواهد بود. استخراج بیت‌کوین مانند هر فعالیت سودآور دیگری در زمان افزایش سودآوری آن، با استقبال بیشتری برای بهره‌برداری و کسب درآمد روبرو خواهد شد و لذا با توجه به کارکرد و منافعی که دارد، آلایندگی آن قابل پیش‌بینی و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد، اما موضوع اصلی برای تصمیم‌گیرندگان و سیاست‌گذاران این حوزه، آن است که آیا میزان هزینه‌های پنهان و آشکار استخراج ارزهای دیجیتال نسبت به منافع آن، کمتر است یا بیشتر و نکته دیگر آنکه، آیا این هزینه‌ها در قیاس با سایر فعالیت‌های مشابه، بیشتر است یا کمتر؟

۷. پیشنهادها و توصیه‌های سیاستی

بر اساس یافته های تحقیق و به منظور کنترل آلایندگی ناشی از استخراج بیت کوین، پیشنهاد می‌گردد که سهم بیشتری از منابع الکتریسیته، مورد استفاده استخراج کنندگان به منابع تجدیدپذیر اختصاص یابد که برای این مهم، می‌توان سیاست‌های حمایتی برای استخراج‌کنندگان از این روش در نظر گرفت. این امر، موجب خواهد شد تا دولت‌ها از این مسیر، اطلاعات دقیق‌تری نسبت آمار دقیق استخراج‌کنندگان در دست داشته باشند.

همچنین حمایت از ارزهای دیجیتال با الگوریتم‌هایی که دستگاه‌های مورد نیاز آنها مصرف انرژی پایین‌تری نیاز دارند (مانند الگوریتم اثبات سهام و الگوریتم اثبات قدرت)، می‌تواند به کاهش مصرف انرژی استخراج‌کنندگان کمک نماید و در انتها، پیشنهاد می‌گردد که میزان آلایندگی سایر ارزهای دیجیتال که قابلیت جانشینی با بیت کوین را دارند، مورد بررسی قرارگیرد؛ چرا که تعداد بیت‌کوین‌های استخراج شده در طی سال‌های آتی، رو به کاهش خواهد گذاشت و لاجرم سایر ارزهای دیجیتال جایگزین می‌گردد. لذا در پیش بینی مصرف انرژی بازار ارزهای دیجیتال در آینده، می‌باید ارزهای دیجیتال دیگر غیر از بیت‌کوین را نیز مورد واکاوی قرار داد.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

References

Ammous, S. (2018). "Can Cryptocurrencies Fulfil the Functions of Money?". Quarterly Review of Economics and Finance: https://doi.org/10.1016/j.qref.2018.05.010.

Asadi, Amirreza. (2015). "International Virtual Currencies and their Application In Iran's Economy". The Third International Conference on New Findings of Science And Technology, Qom.

Bakhshi Dastjerdi, Rasool; Taleb Baghbani, Mohammad Reza; Mokher Mujahidi, Mohammad Mahdi; Ahmadnia, Mohammad Saleh. (2018). "System Dynamics Approach to the Effect of Bank Money Creation on Inflation in Iran's Economy". Economic Research and Policy Quarterly, No. 89 , 27th. Year, Spring 2018: 97-135.

Barrdear, J. & K. Michael. (2016). The Macroeconomics of Central Bank Issued Digital Currencies. Bank of England. 605. 1749-9135 .

Caporale, G.M. (2018). Persistence in the Cryptocurrency Market, Research in International Business and Finance , 2018, vol. 46, issue C, 141-148.

Corrie E. Clark & Heather L. Greenley. (2019). Bitcoin, Blockchain, and the Energy Sector, Congressional Research Service, August 09 ,2019.

Dashtbani, Yavar; Hosseini, Seyyed Shamsuddin; Memaranjad, Abbas; Mehrara, Mohsen. (2018). "The Effect of Electronic Payments on the Share of Banknotes and Coins in Money in Iran and Selected Countries". Financial Economics Quarterly, 13th. year, No. 74, summer 2018: 155-174.

De Vries, A. (2018). "Bitcoin's Growing Energy Problem", Joule. Volume 2 Issue 5 Pages 801-805 (May 2018). DOI: 10.1016/j.joule.2018.04.016.

De Vries, A. (2019). Renewable Energy Will Not Solve Bitcoin's Sustainability Problem. Joule, 3(4), 893–898. https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.02.007

De Vries, A. (2020). Bitcoin's Energy Consumption is Underestimated: A Market Dynamics Approach. Energy Research and Social Science, 70(February), 101721. https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101721

Digiconomist, Bitcoin Energy Consumption Index, 2019.

Dwyer Gerald, P. (2015). "The Economics of Bitcoin and Similar Private Digital Currencies". Journal of Financial Stability, 17: 81-91.

Forrester, J.W. (1961) Industrial Dynamics. MIT Press, Cambridge, Mass.

Foteinis, Spyros (2018). "Bitcoin's alarming carbon footprint". Nature. 554 (7691): 169. Bibcode:2018Natur.554..169F. doi:10.1038/d41586-018-01625-x.

Ghasemi, Mehsa and Jafari Eskandari, Maitham. (2016). "Dynamic Modeling of the Economic System in Iran". First International Conference on New Developments in Management, Economics and Accounting, Tehran.

Giray, G. Tiwari, A. Demir, E. Akron, S. (2019). "The Relationship Between Bitcoin Returns and Trade Policy Uncertainty". Finance Research Letters, Elsevier, vol. 29(C), pages 75-82.

Goodkind, A. L.; Jones, B. A.; Berrens, R. P. (2020). "Cryptodamages: Monetary Value Estimates of the Air Pollution and Human Health Impacts of

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

Cryptocurrency Mining". Energy Res. Soc. Sci. 59 101281: https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101281.

Harold Vranken, "Sustainability of Bitcoin and Blockchains," *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 28 (2017), p. 8.

International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2018: https:// webstore.iea.org/key-world-energy-statistics.

Kamiya, George. (2018). *Commentary: Bitcoin Energy Use-Mined the Gap*, International Energy Agency.

KiHoon, H. Kyounghoon, P. Jongmin, Y. (2017). "Crowding out in a Dual Currency Regime? Digital Versus Fiat Currency". BOK Working Paper, No.13.

Knapton, S. (2020). "Bitcoin Using More Electricity Per Transaction than a British Household in Two Months". The Telegraph (2020).

Krause, Tolaymat. (2018). "Quantification of Energy and Carbon Costs for Mining Cryptocurrencies". Nature Sustainability, Vol. 1: 711-718.

Leblanc, y. (2016). The Effects of Crytocurrencies on the Banking Industry and Monetary Policy Senior Honors Theses. 499. http://commons.emich.edu/honors/499

Majlis Research Center. (2017). Virtual Currency: Legislation in Different Countries and Suggestions for Iran.

Mooney, Chris; Mufson, Steven. (2017). "Why the Bitcoin Craze Is Using Up So Much Energy". The Washington Post: https://www.washingtonpost.com/news/energy environment/wp/2017/12/19/why-the-bitcoin-craze-is-using-up-somuch-energy

Mora, C. Rollins, R.L. Taladay, K. Kantar, M.B. Chock, M.K. M, Shimada, E.C. Franklin. (2018). "Bitcoin Emissions Alone Could Push Global Warming Above 2°C". Nat. Clim. Change, 8: 931-933.

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-peer Electronic Cash System.

Nelson, B. (2018). "Financial stability and monetary policy issues associated with digital currencies," Journal of Economics and Business, Elsevier, vol. 100(C), pages 76-78.Nguyen ,tvh. nguyen ,bt. Nguyen, ks.

Pham, H. (2019). Asymmetric Monetary Policy Effects on Cryptocurrency Markets. Research in International Business and Finance. 48, 335. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.01.011.

Nouri, Mehdi and Nawabpour Alireza. (2016). "Designing the Conceptual Framework of Virtual Currencies Policy in Iran's Economy". Scientific-Research Quarterly of Public Policy, Vol. 3, No. 4, Winter 1996: 51-78.

Rahman, A. (2018). "Deflationary Policy Under Digital and Fiat Currency Competition". Research In Economics". doi: 10.1016/j.rie.2018.04.004.

Rajabi, A. (2014). Bitcoin; *A New Tool in the Electronic Payment System*, Majlis Research Center.

Rauchs, Michel Rauchs *et al*. (2018). *2nd. Global Cryptoasset Benchmarking Study*, University of Cambridge: https://www.jbs.cam.ac.uk/fileadmin/user_upload /research/centres/alter ative-finance/downloads/2019-01-ccaf.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

Pour Akbar, Marjan, & Firozhan Sarnaghi, Tohid. (2014). "Modeling the Increase in Liquidity in Iran's Economy Using the System Dynamics Approach". Decision Engineering Quarterly, Year 1, Issue 2, Spring :61-90.

Sayad Maarouf, Mohammad Rasool, Tofanzadeh Mojdehi, Ali and Rashidi, Hassan. (2014). "Bitcoin Digital Currency and its Role in Electronic Commerce". The Second International Research Conference in Science and Technology, Turkey, Istanbul.

Sterman, J.D. (2000) Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World. Irwin McGraw-Hill, Boston.

Stoll, C., Klaaßen, L., Gallersdörfer, U. (2019). The Carbon Footprint of Bitcoin. Cell. Vol. 3, Issue 7. P. 1647-1661.

https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2542-4351%2819%2930255-7

Truby, J. (2018). "Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies". Energy Res. Soc. Sci., 44: 399-410.

University of Cambridge, Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index, 2020.

Yamaguchi, K. (2006). "Integration of Real and Monetary Sectors with Labor Market: SD Macroeconomic Modeling". In Proceedings of the 24th. International Conference of the System Dynamics Society, Nijmegen, The Netherlands, The System Dynamics Society.

Yamaguchi, Y., Yamaguchi, K. (2017). "Peer-to-Peer Public Money System-Focusing on Payments". In Proceedings of the Second Asia-Pacific Region Conference of the System Dynamics Society, At the National University of Singapore, Boston, USA, Feb. 20. The System Dynamics Society.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

Quarterly Journal of The Economic Research (Sustainable Growth and Development)
Original Research Article/ Vol.23, No.3, Autumn 2023, P: 1-25

Investigation of Environmental Effects of Bitcoin Mining Using System Dynamics Method

Shokooh Mahmoodi[1]
Seyed Abdol Majid Jalaee[2]
Zeynolabedin Sadeghi[3]
Alireza Shakibaei[4]

Received: 2022-7-11 Accepted: 2022-8-16

Aim and Introduction
The growth of the digital currency market in the past years has attracted a lot of attention, and due to advantages such as transparency and new capabilities of the block chain, it is expected to continue its continuous growth in the future. The popularity of digital currencies such as Bitcoin and block chain-based currencies has created challenges and opportunities for the energy sector. Considering that electricity in most parts of the world are often produced using fossil fuels and non-renewable energies, the harmful environmental effects of digital currency mining are significant. Therefore, dealing with digital currency mining and considering related environmental costs can reveal the hidden costs of mining and provide a comprehensive and complete analysis in the field of digital currency. In this research, an attempt has been made to investigate and predict the trend of Bitcoin mining and related carbon dioxide emissions and environmental effects by using the method of system dynamics and design of the Bitcoin mining system from the time of the issuance of Bitcoin until 2034.
The results showed that Bitcoin mining will lead to the emergence and release of pollution in the world and its highest level during the peak of hash (300 billion GH) will be about 400 million kilograms of CO_2 per day and until the next halving, Bitcoin mining will be profitable and after that the amount of extraction and consequently the level of its pollution will decrease.

Methodology
System dynamics is a method for modeling systems using accumulation, state and flow variables, which was introduced and developed in the 1960s by Forster (1961).

This method became very famous in the 1970s due to the publication of the book "Limits to Growth". This book used the system dynamics model to analyze the absurdity of the idea of unlimited growth, and today the most comprehensive

1. Ph.D. candidate of International Economics at Shahid Bahonar University of Kerman, (Corresponding Author),E-mail: shokooh.mahmoodi@yahoo.com
2. Professor of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, E-mail: jalaee@uk.ac.ir
3. Associate Professor of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, E-mail: abed_sadeghi@yahoo.com
4. Associate Professor of Economics, Shahid Bahonar University of Kerman, E-mail: ashakibaee@yahoo.com

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]

source for the system dynamics model is the book "Business Dynamics" by Sterman (2000).

System dynamics can model the technical and social aspects of complex systems created by the adoption of Bitcoin and other cryptocurrencies. Therefore, due to its ability to explain emergent systemic phenomena in terms of interactions between agents related to human behavior and the (technical) framework of the system, it is a complete method to study the economic dynamics of this new form of money.

By using the system dynamics modeling technique (Forster, 1961; Sterman, 2000), the evolution of the network hash rate can be explained to a large extent. Assuming the existence of an efficient market, it can be analyzed that the miners will continue to mine Bitcoin to a certain extent that their expected profit from mining (which is netted from the cost of mining electricity) is realized. In other words, miners behave rationally, which is a basic concept for analyzing and predicting the future behavior of the hash rate of the network.

Results and Discussion

In this study, it was shown that the Bitcoin mining process can be modeled as a dynamic system using the dynamic systems method. Modeling begins with the hypothesis of efficient markets in Bitcoin mining. In the designed model it was shown how the Bitcoin mining system can be explained with a negative feedback loop that reduces the mining profit to zero with a time delay. By simulating this model for the next three halving periods, approximately in February 2024, digital currency mining will reach the point of maximum pollution production, and in other words, until the next halving, Bitcoin mining will be profitable, and after that, the amount of mining and, consequently, its pollution level will decrease. This model shows that the methods and tools of system dynamics can be effective for modeling Bitcoin and can be proposed for other existing or new cryptocurrencies as well as to explain the behavior of complex social systems created by the application of block chain technology.

Conclusion

The results showed that Bitcoin mining will lead to the emergence and release of pollution in the world, and its highest level will be around 400 million kilograms of CO2 per day during the peak of hash (300 billion Gigahash). Bitcoin mining, like any other profitable activity, when its profitability increases, it will be more welcome for exploitation and earning, therefore, according to its function and benefits, its pollution is predictable and unavoidable, but the main issue for decision makers and policy makers in this field is to compare the amount of hidden and obvious costs of digital currency mining with its benefits, and another point is to compare these costs to other similar activities.

Keywords: Digital Currency, Energy, Bitcoin, System Dynamics, Environment
JEL Classification: F31, P18, Q4.

[Downloaded from ecor.modares.ac.ir on 2024-05-21]

[DOR: 20.1001.1.17356768.1402.23.3.1.7]