

## فصل شانزدهم.

# بیت‌کوین و بازارهای انرژی

### استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین: تکنولوژی ضد-دستوری<sup>۱</sup>

چنانکه در بخش نخست این کتاب گفتیم، استاندارد دستوری مشکل «فروش آسان در مکان‌های مختلف» در پول‌های فیزیکی را حل کرد؛ در این استاندارد به جای حمل فیزیکی از شبکه‌های پرداخت دستوری (دولتی) استفاده می‌شود. در استاندارد دستوری تمام دارایی‌های پایه (پولی) به توکن‌های مجازی تبدیل می‌شوند که نود دستوری مرکزی به دلخواه خود آن‌ها را تخصیص می‌دهد و حذف می‌کند؛ دلیل قدرت فراوان آن هم در دست داشتن انحصار انتشار و تصفیه این توکن‌های پولی است. هر تراکنشی را می‌توان برگرداند و هر مانده‌ای را می‌توان مصادره کرد. بخش بزرگی از توکن‌ها هم از باد هوا خلق و به فلان حساب ریخته می‌شوند؛ این همه نیز تنها با یک دستور و فرمان از سوی «از ما بهتران» انجام می‌گیرند. می‌بینیم که در نهایت می‌توان همه‌چیز را در سیستم بانکداری به صورت سیاسی تعیین تکلیف کرد و با گذشت زمان یک تغییر جدی در جامعه دستوری رخ خواهد داد: تخصیص سیاسی ارزش جای تولید اقتصادی (به عنوان منبع خلق ثروت) را می‌گیرد. اگر نیروهای اقتصادی در بازار آزاد ارزش اقتصادی را تعیین نکنند و به جای آن‌ها «وصل بودن» سیاسی بنشیند نهادها و مناسبات (ترتیبات) اقتصادی جامعه تضعیف می‌شوند و از بین می‌روند. هر قدر فعالیت سیستم پول دستوری بیشتر و طولانی‌تر شود کار آن بیشتر به یک طرح وفاداری<sup>۲</sup> برای دولت شباهت پیدا می‌کند. وقتی مسیر قدرت و ثروت از کنترل سیاسی سیستم مالی می‌گذرد فعالان اقتصادی هم برای اثرگذاری روی اهالی سیاست و عوامل دولت مرکزی دست به جیب می‌شوند و پول خرج می‌کنند. سیاست داخلی و بین‌المللی هم احتمالاً بیشتر به سوی تعارض‌های خشونت‌بار می‌رود؛ این هم چیز غریبی نیست زیرا برنده‌ها می‌توانند کنترل سازوکارهای خلق و نابودی ثروت را در دست داشته باشند و به میل خود از آن‌ها بهره بگیرند.

بیت‌کوین اما تکنولوژی به‌کلی متفاوتی را برای ایجاد یک سیستم پولی و مالی به کار می‌گیرد که در آن دستور و فرمان دولت جایی ندارد؛ بنیان و اساس کارکرد این سیستم بر راست‌آزمایی<sup>۳</sup> (تأیید) است. برای انتقال فلان مقدار کوین (یا بهتر بگوییم انتقال «کنترل» آن کوین‌ها) از یک نشانی به نشانی دیگر در شبکه بیت‌کوین فقط و فقط باید کلیدهای خصوصی مربوط به نشانی فرستنده را در اختیار داشت و هیچ‌چیز دیگری نیاز نیست. هیچ قدرت اقتصادی، مالی، سیاسی و مذهبی نمی‌تواند بدون در اختیار داشتن این کلیدهای خصوصی چیزی را به نشانی دیگر انتقال دهد و البته برای برگرداندن (لغو) تراکنش‌های کسی که کلیدها در اختیار اوست هم نمی‌تواند کاری کند. همین تکنولوژی است که بیت‌کوین

۱. anti-fiat

۲. loyalty rewards scheme

۳. verification

را به یک تکنولوژی خنثی و غیرسیاسی برای پرداخت بدل کرده است که می‌تواند نقش پول را بر عهده گیرد. بیت‌کوین از یک نظر بیشتر شبیه چاقو و چرخ است تا کارت اعتباری؛ نوعی تکنولوژی که اگر درست از آن استفاده کنی کارش را انجام می‌دهد و نیازی به نظارت فلان مقام ناظر ندارد. در گذشته برای تلفن زدن نیاز به یک اپراتور، انسانی با پوست و گوشت و استخوان، بود تا به صورت دستی افراد را به هم ارتباط دهد. خودکار شدن تلفن‌ها هزینه تماس را بسیار کاهش داد و به کسری از مقداری رساند که در حالت دستی پیشین رایج بود. بیت‌کوین هم در واقع اجرای همین ایده برای انتقال بین‌المللی پول و سیاست پولی است.

فرایند اثبات کار را باید یک پیشرفت چشمگیر مهندسی به شمار آورد که خودکارسازی «ثبت و نگهداری سوابق<sup>۱</sup>» را هم ممکن می‌سازد. با این تکنولوژی بی‌بدیل دیگر نیازی به حضور یک مقام ناظر نداریم. به لطف فرایند اثبات کار، فلان دولت مرکزی یا فلان شرکت غول مالی نمی‌تواند تراکنش‌های راست‌آزمایی‌شده (تأییدشده) روی بلاکچین را ناخنک بزند و تغییرشان دهند. با توجه به ماهیت غیرمتمرکز بیت‌کوین می‌توان اطمینان داشت که همه افراد، اعم از فقیر و غنی، بر اساس مجموعه قواعد یکسانی به فعالیت می‌پردازند. بیت‌کوین را باید شبکه‌ای متشکل از نودها دانست که داوطلبانه در فرایند اجماع بر سر ثبت تراکنش‌ها و مالکیت «پول» مشارکت می‌کنند. فرایند اثبات کار نوعی تکنولوژی است که از طریق مجموعه‌ای از قواعد از پیش تعیین‌شده امکان رسیدن به اجماع را به شکل خودکار فراهم می‌سازد؛ در این میان نیازی هم به توسل به فلان مقام دولتی نیست. در واقع داریم از «سیستمی از قواعد بدون قاعده‌گذار<sup>۲</sup>» حرف می‌زنیم.

در سیستم بیت‌کوین هر نودی می‌تواند هر تراکنشی که می‌خواهد (حتی تراکنش‌های جعلی) را ایجاد کند و هیچ مقامی هم نمی‌تواند به جرم کلاهبرداری جلوی آن را بگیرد یا مجازاتش کند. اما برای مشارکت نودها در فرایند اجماع و همگام شدن<sup>۳</sup> با شبکه تنها یک راه وجود دارد و افزوده شدن بلاک‌ها به بلاکچین فقط از طریق استخراج‌کنندگانی (ماینرهایی) ممکن است که موفق به حل مسائل ریاضی فرایند اثبات کار شده باشند. نودها می‌توانند درستی تراکنش‌هایی که استخراج‌کنندگان (ماینرها) می‌خواهند به بلاک‌ها بیفزایند و البته صحت رامحل مسئله ریاضی اثبات کار را به سادگی راست‌آزمایی (تأیید) کنند و این کار هم با هزینه بسیار کم و به شکل آنی انجام می‌گیرد. با این حال عرضه<sup>۴</sup> تراکنش‌ها در شبکه (افزودن بلاک جدید به بلاکچین) برای استخراج‌کنندگان (ماینرها) گران تمام می‌شود زیرا حل مسئله اثبات کار نیازمند استفاده از تجهیزات استخراج (ماینینگ) و مصرف برق است. به یمن وجود فرایند تنظیم سختی، این هزینه همواره نزدیک به پاداش حاصل از استخراج بلاک خواهد بود. اصل مطلب در مدل امنیت<sup>۵</sup> بیت‌کوین همین عدم تقارن (نابرابری) میان «هزینه حل مسئله فرایند اثبات کار» و «هزینه راست‌آزمایی (تأیید) رامحل» است. این عدم تقارن (نابرابری) باعث می‌شود که هزینه تقلب یا حتی تلاش برای آن،

۱. record keeping

۲. a system of rules without rulers

۳. sync

۴. presenting

۵. security model

برای استخراج‌کنندگان (مایرها) بالا برود و در عین حال هزینه رسیدن به اجماع بین نودها پایین بیاید و کار بسیار ساده شود. برای اجماع کار زیادی نداریم و با ملاحظه و ممیزی تنها چند بلاک کار حل می‌شود؛ همان بلاک‌هایی که استخراج‌کنندگان (مایرها) به شبکه افزوده‌اند و مسائل ریاضی فرایند اثبات کار را برای آن‌ها حل کرده‌اند.

وقتی انجام تقلب پرهزینه ولی کشف و رد آن کم‌هزینه باشد رسیدن به توافق هم آسان خواهد بود. اگر بدانیم که هزینه افزودن هر بلاک جدید همواره در حدود پاداش حاصل از آن است می‌توان انتظار داشت نودهای بیت‌کوین هم راه ساده کردن فرایند دستیابی به اجماع را (از نظر محاسباتی و البته «سیاسی») پیش بگیرند تا بتوان کار را به شکلی آرام، مطمئن، بی‌دردسر و آسان پیش برد.

در سیستم‌های پولی که در آن‌ها از فرایند اثبات کار خبری نیست، هزینه تقلب کردن، تراکنش‌های جعلی یا تورم نیز بسیار پایین است. در غیاب فرایند اثبات کار، هزینه تقلب بسیار اندک است و البته سود بالقوه فراوانی هم خواهد داشت. دعوای و اختلافات مالی به طور طبیعی در اقتصادهای بزرگ به وفور دیده می‌شوند و رفع این تعارض‌ها هم نیازمند احقاق حق و اعمال مجازات متناسب است. پیش‌شرط این کار وجود مرجع و قدرتی برتر است که بگوید حق با کی است و بتواند تصمیم‌های دیگران را ملغی کند. سیستم پولی بدون فرایند اثبات کار در نهایت جانبدارانه عمل خواهد کرد و با توجه به منفعت‌جویی انسان‌ها و رجوع به سوابق تاریخی می‌توان حدس زد که در درازمدت خنثی و بی‌طرف نخواهد ماند. فعالیت چنین سیستم‌هایی بیشتر متأثر از تعارض‌های سیاسی و نظامی خواهد بود.

اثبات کار را باید تکنولوژی کارآمدی دانست که می‌تواند جایگزین تعارض‌های سیاسی و ژئواستراتژیک شود و کار تأیید اعتبار تراکنش‌ها را به شکلی متفاوت به انجام رساند. وقتی از ارزش‌های دستوری و زیرساخت مربوط به آن‌ها استفاده می‌کنید در واقع روی صداقت و صلاحیت مقامات دولتی ناظر بر آن‌ها حساب کرده‌اید! اما برای استفاده از بیت‌کوین نیازی به اعتماد به فلان فرد یا مقام خاص نیست. شبکه بیت‌کوین بدون نیاز به مرجعی بیرونی کار تصفیه تراکنش‌ها را انجام می‌دهد و سیاست پولی بیت‌کوین را به اجرا درمی‌آورد. اینجا با یک فرایند مکانیکی سروکار داریم که تنها نیازش چند تا آدم (فرقی نمی‌کند چه کسی و کجا!) است که بخواهند از مبادلات کاربران سود ببرند و پاداش (پاداش بلاک<sup>۱</sup>) دریافت کنند.

ماجرای این شکل ببینیم که در بیت‌کوین انگار «اطمینان از صحت تراکنش‌های دفتر کل» به مزایده گذاشته و به بالاترین پیشنهاد فروخته می‌شود. اما بهای بسیار بالایی برای پیشنهاد در نظر گرفته می‌شود و البته کشف تقلب و قانون‌شکنی برای سایر اعضای شبکه هزینه پایی دارد. در نتیجه متقاضیان خیلی انگیزه‌ای برای «زیرآبی رفتن» نخواهند داشت و چند هزار عضو شبکه هر ده دقیقه یک بار اجماعی آرام و بی‌دردسر را رقم می‌زنند. اصل مطلب در این سیستم این است که فرد یا گروه متقاضی باید منابع خود را برای اثبات ادعایش خرج کند؛ می‌دانیم که نودهای بیت‌کوین بدون حل مسئله ریاضی فرایند اثبات کار به راست‌آزمایی (تأیید) بلاک نمی‌پردازند. اینجا با سازوکاری سروکار داریم که به ما اطمینان

۱. block reward

می‌دهد تنها کسانی می‌توانند پای کار بیایند که از جیب مبارک خرج کرده و کارهایی با «هزینه‌های واقعی»<sup>۱</sup> انجام داده باشند؛ هزینه‌هایی که جعل آن‌ها ممکن نیست و می‌توان هزینه‌کرد آن‌ها را اثبات کرد.<sup>۲</sup>

در ریل‌های پرداخت سیستم دستوری ضرورتی به استفاده از فرایند اثبات کار نیست ولی سیستم دستوری همچنان در عمل این کار را انجام می‌دهد. برای به روزرسانی دفتر کل در سیستم دستوری، هزینه و انرژی کمی مورد نیاز است ولی انرژی خیلی زیادی برای به چنگ آوردن (کنترل) دفترکل در قالب کشمکش‌های سیاسی و حتی جنگ صرف می‌شود! در سیستم دستوری هر کسی که قدرت را در دست داشته باشد می‌تواند داشته‌های همه کاربران دیگر را از آن خود کند؛ از این‌رو دولت-ملت‌ها وارد جنگ قدرت می‌شوند و انرژی زیادی برای حفظ قدرت هدر می‌رود. سرانجام ماجرای اثبات کار و در کنترل گرفتن دفتر کل در سیستم دستوری چیزی جز قدرت‌نمایی عریان نیست: جنگ! تنها گروهی می‌تواند کنترل دفترکل را در دست بگیرد که مقدار بسیار زیادی انرژی را به صورت انفجاری به سوی دشمنان گسیل دارد و آن‌ها را وادار به پذیرش نسخه اجماع مطلوب خود نماید.

برخورد نظامی در تحلیل نهایی فقط نوعی مسابقه قدرت، البته در شکل بسیار بدوی و ابتدایی آن، به حساب می‌آید؛ برنده کسی است که بتواند تجهیزات بیشتری را به میدان آورد و انرژی جنبشی<sup>۳</sup> بیشتری را برای نابودی دشمن به سوی او گسیل دارد. نخستین جنگ جهانی به تولد پول دستوری در انگلستان انجامید و دومین جنگ هم ایالات متحده را در رأس هرم قدرت جهان نشانده. این کشورها توانستند معماری سیستم پول دستوری پس از جنگ را بچینند و تورم خود را به دیگر کشورها صادر کنند. استیلای پولی ایالات متحده تا امروز با قدرت نظامی آن حمایت و تثبیت شده است؛ شبکه بزرگی از پایگاه‌های نظامی در سراسر جهان و ناوگان عظیم ناوهای هواپیمابر که در مدت بسیار کوتاهی می‌توانند توان نظامی سهمگین و قدرت مرگ‌آفرین ایالات متحده را به رخ بقیه بکشند. به جریان افتادن دلار در سراسر دنیا و تبدیل آن پایه و اساس سیستم پولی جهان ناشی از همین قدرت حاکمیتی<sup>۴</sup> است. نیرو و توانی که برای حفظ امپراتوری ارتش آمریکا در بیرون مرزهای آن صرف می‌شود و البته جنگ‌افروزی‌های مدام این کشور در سراسر جهان را باید معادل انرژی مورد نیاز برای حفظ دلار و اهالی آن دانست؛ منظور از اهالی دلار همان مراجع نظارتی مشغول در سیستم پولی جهان هستند که حرکت سرمایه از اینجا به آنجا را تسهیل می‌کنند.

هدف از تحلیل ما البته این نیست که بر سیاست خارجی ایالات متحده بتازیم (حتی اگر چنین نقدی خیلی هم ارزشمند باشد) ولی می‌خواهیم بر یک واقعیت انگشت بگذاریم: در دنیایی که در آن میلیاردها انسان در بیش از دویست کشور زندگی می‌کنند، اگر همه در برابر یک مرجع سیاسی تمکین نکنند کمتر بتوان راهی یافت که با یکدیگر از طریق یک

۱. unforgeable costliness

۲. Szabo, Nick. "Shelling Out: The Origins of Money." Satoshi Nakamoto Institute. ۲۰۰۲. Web. ۳ Oct. ۲۰۲۱.

۳. kinetic energy

۴. sovereign power

سیستم پولی مرآوده داشته باشند. حتی اگر ایالات متحده طی قرن بیستم یک سیاست خارجی انزواجویانه<sup>۱</sup> را پی گرفته بود یحتمل دولتی دیگر نقش «بانکدار مرکزی جهان»<sup>۲</sup> را بر عهده می‌گرفت. جهان با پول دستوری به یک مرجع مرکزی جهانی نیاز دارد تا قواعد را بر همه گروه‌ها تحمیل کند و البته عهده‌دار شدن چنین نقشی امتیازهای بسیار زیادی هم دارد. اگر پول دستوری را نهایت و اوج تکنولوژی پولی بدانیم حتی اگر امپریالیسم امریکا هم در کار نباشد کشور دیگری جای آن را می‌گیرد. اگر چنین نشود هم باز شاهد کشمکش همیشگی بین کشورها و البته بالکانیزه شدن سیستم‌های پولی و پیرو آن مناطق تجاری، خواهیم بود؛ نتیجه این قضایا هم کاهش تجارت و تقسیم کار جهانی است که پیامدهای انسانی و اقتصادی ویرانگری خواهد داشت. خیلی مهم نیست کدام مرجع سیاسی سیستم دستوری را در کنترل خود دارد؛ سازوکار اثبات کار در استاندارد دستوری بسیار پرهزینه و ناکاراست. بیت‌کوین یک تکنولوژی کارآمد است و ترفندی هوشمندانه برای جلوگیری از کشمکش‌های سیاسی ناشی از پول دستوری به شمار می‌آید. در استاندارد بیت‌کوین به جای آنکه کار به میدان جنگ برسد و در آنجا فیصله پیدا کند، به ماشین‌های بسیار قدرتمند و استخراج‌کنندگان (ماینها) سپرده می‌شود. هرکس بخواهد می‌تواند مسئولیت به‌روزرسانی دفتر کل تراکنش‌های جهانی را بر عهده گیرد فقط باید نرخ بازاری رایج برای کسب چنین افتخاری را از جیب مبارک پرداخت کند. این کار از یک جهت شبیه سیستم دستوری است که اگر کسی یا گروهی کنترل دولت مرکزی را بر عهده گیرد می‌تواند کنترل سیستم پرداخت و توزیع توکن‌های دستوری محلی را هم به دست آورد. اگر این فرد یا گروه بتواند در رویارویی نظامی ایالات متحده را شکست دهد سیستم پولی جهان هم در اختیارش خواهد بود. پیشرفت تکنولوژی و تجارت جهانی این امکان را برای پول دستوری فراهم کرد که یک پول مطمئن مبتنی بر طلا را از میدان به در کند و به جایش پولی را بنشانند که در آن حق با زورمندان است!

در بیت‌کوین هم بنا نیست واقعیت‌ها نادیده گرفته شوند؛ نقش قدرت در کنترل دفترکل به رسمیت شناخته می‌شود ولی پرده روی قدرت برمی‌افتد و کنترل شبکه به همه اعضای آن سپرده می‌شود؛ با توجه به قابلیت راست‌آزمایی (تأیید) بسیار ارزان تراکنش‌ها، همه سهمی در این قدرت خواهند داشت. اهالی بیت‌کوین با استفاده از این شبکه به طور ضمنی یک مدل امنیت و درواقع نوعی بده‌بستان را می‌پذیرند: یک مرجع واحد به تنهایی نمی‌تواند در مورد اصل یا نقلی بودن تراکنش‌ها تصمیم بگیرد؛ هر کس بخواهد می‌تواند تراکنش‌هایش را در شبکه عرضه کند ولی تنها بعد از آنکه هزینه‌ای کم‌وبیش معادل عایدی مورد انتظار از افزودن بلاک تراکنش‌هایش پرداخت کند. در بیت‌کوین واقعیت‌های قدرت و مناسبات آن بسیار هوشمندانه به رسمیت شناخته می‌شود؛ اساس آن یک شاهکار نبوغ‌آمیز مهندسی است که این قدرت را از طریق راست‌آزمایی (تأیید) داوطلبانه مهار می‌کند و برای حقیقت و صلح به خدمت می‌گیرد.

۱. isolationist

۲. world's central banker

### تنظیم سختی: فوت کوزه‌گری<sup>۱</sup>!

اساس کار مدل امنیت بیت‌کوین این است که استخراج‌کنندگان (ماینها) قبل از افزودن بلاک‌های جدید به بلاک‌چین باید از منابع خود خرج کنند. به این منظور ارزش منابع مصرفی برای فرایند اثبات کار باید به اندازه‌ای بالا باشد که اسپرها<sup>۲</sup> را منصرف کند و البته نه آنقدر بالا که حتی استخراج‌کنندگان (ماینها) واقعی هم ناامید شوند. بیت‌کوین با استفاده از یک الگوریتم، سختی فرایند استخراج (ماینینگ) را تنظیم می‌کند و منظورمان از سختی هم زمان مورد انتظار برای حل مسئله فرایند اثبات کار است.

شیوه حل مسائل فرایند اثبات کار به این صورت است که استخراج‌کنندگان (ماینها) با حدس زدن‌ها و بررسی‌های مستمر تا رسیدن به پاسخ صحیح پیش می‌روند. این هم فرایندی احتمالی<sup>۳</sup> است و هرچقدر قدرت پردازش بیشتری برای حدس زدن تخصیص داده شود تعداد حدس‌ها در واحد زمان افزایش می‌یابد و سریع‌تر به پاسخ صحیح می‌رسیم. سختی استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین در واقع شاخصی برای دشواری حدس زدن پاسخ صحیح است. تنظیم سختی شبکه هر دو هفته یک بار صورت می‌گیرد تا با توجه به قدرت پردازش فعلی، زمان رسیدن به پاسخ صحیح در حدود ۱۰ دقیقه باقی بماند.

در آغاز کار سختی بیت‌کوین روی ۱ تنظیم شده بود یعنی رایانه‌های شبکه به طور متوسط در ۱۰ دقیقه بتوانند مسائل ریاضی فرایند اثبات کار را حل کنند. با افزایش تعداد رایانه‌ها زمان رسیدن به پاسخ صحیح کمتر می‌شود و بلاک‌ها با سرعت بیشتری به بلاک‌چین اضافه می‌شوند. اگر هم توان پردازش شبکه کاهش یابد که زمان افزودن بلاک‌ها بیش از ۱۰ دقیقه خواهد بود. با افزوده شدن هر ۲,۰۱۶ بلاک یا همان هر دو هفته یک بار، زمان تصفیه بلاک<sup>۴</sup> با مقدار بهینه (۱۰ دقیقه) مقایسه می‌شود و با توجه به قدرت پردازش متوسط شبکه طی دو هفته گذشته، تنظیم سختی برای رساندن متوسط زمان به ۱۰ دقیقه انجام می‌گیرد. این نکته مهم را نباید از یاد ببریم که این فرایندی دقیق نیست بلکه تنها نوعی کالیبراسیون به شمار می‌آید که هر دو هفته یک بار صورت می‌پذیرد. زمان بلاک به ندرت به طور دقیق ۱۰ دقیقه است ولی متوسط آن در بلندمدت چیزی نزدیک به ۱۰ دقیقه خواهد بود.

بسیاری از عناصر معماری بیت‌کوین مدت‌ها پیش از مقاله مشهور ساتوشی ناکاموتو به وجود آمده بودند. رمزنگاری کلید عمومی، شبکه‌های هم‌تا به هم‌تا، اثبات کار، هشینگ و درختان مرکل<sup>۵</sup> سال‌ها پیش از ظهور بیت‌کوین ابداع شده بودند. ویژگی نوع‌آمیز بیت‌کوین در این بود که همه آن‌ها با هم ترکیب شدند و آن افزودنی جادویی که چنین ترکیبی را ممکن ساخت چیزی جز الگوریتم تنظیم سختی استخراج (ماینینگ) نبود.

تنظیم سختی استخراج (ماینینگ) نقطه اتصال میان شبکه بیت‌کوین و اقتصاد جهان است. تنظیم سختی ادامه کار بیت‌کوین را طبق برنامه مشخص ممکن می‌سازد؛ فارغ از اینکه فلان تکنولوژی جدید ریزتراشه ابداع شده باشد یا فلان تحول ژئوپلیتیک باعث آفتی

۱. the secret sauce

۲. spammers

۳. probabilistic

۴. block clearing

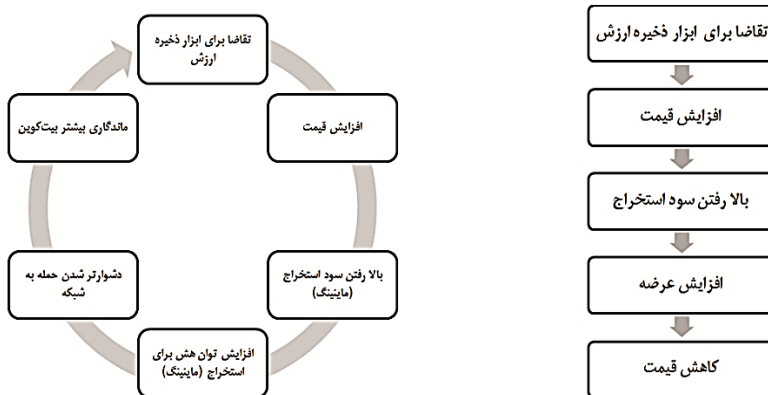
۵. Merkle trees

جدی در عملیات استخراج (ماینینگ) شود. بیت‌کوین با تنظیم سختی می‌تواند در هر مقیاسی بدون نیاز به تغییر ساختاری به کارش ادامه دهد. تنظیم سختی برای ثابت نگه داشتن زمان بلاک در حدود ۱۰ دقیقه به این معناست که شبکه می‌تواند سیاست پولی خود و تولید کوین‌ها را ادامه دهد و از برنامه تعیین شده دور نشود و در عین حال مدل امنیت آن که در بالا اشاره شد همچنان برقرار باشد: هزینه معرفی و افزودن یک بلاک به شبکه همواره در حدود پاداشی است که برای این کار حاصل می‌شود. با بالا رفتن ارزش شبکه، الگوریتم تنظیم سختی نیز هزینه ارسال تراکنش‌ها به شبکه را افزایش می‌دهد و حمله به شبکه به شکل تقلب، تورم یا خرابکاری را گران‌تر و پرهزینه‌تر می‌سازد. تنظیم سختی را باید تضمینی برای امنیت شبکه به شمار آورد زیرا این اطمینان را می‌دهد که هزینه استخراج (ماینینگ) یک بلاک جدید در حدود پاداش استخراج (ماینینگ) آن باقی می‌ماند. با افزایش قیمت بیت‌کوین منابع انرژی اختصاص‌یافته برای استخراج (ماینینگ) آن هم بیشتر می‌شوند و جذابیت و ارزش حمله به شبکه بیت‌کوین (به شکل تورم یا تقلب) بالا می‌رود. این روند افزایشی تنظیم سختی در واقع تضمینی است برای اینکه هزینه افزودن یک بلاک جدید برای نودهای شبکه هم جهشی مشابه را تجربه کند.

تنظیم سختی در واقع همه واقیعت‌های اقتصادی جهان را در یک شاخص خلاصه می‌کند که در شبکه بیت‌کوین اعمال می‌شود: زمان بلاک. پروتکل بیت‌کوین، سختی را چنان تنظیم می‌کند که زمان بلاک در حدود ۱۰ دقیقه بماند و به این ترتیب شبکه به شکل مطلوب و فارغ از میزان تقاضا به کارش ادامه می‌دهد. بیت‌کوین با این ویژگی تنها کالای نقدی<sup>۱</sup> است که عرضه آن به طور کامل بی‌کشش است. به عبارت دیگر عرضه بیت‌کوین به شدت محدود است و به افزایش تقاضا واکنشی نشان نمی‌دهد. اگر رایانه‌های بیشتری برای استخراج (ماینینگ) به شبکه بپیوندند باز افزایشی در عرضه بیت‌کوین به وجود نخواهد آمد و فقط سختی استخراج (ماینینگ) آن طی فرایند اثبات کار بالا خواهد رفت. این تنظیم خودکار را باید اصلی‌ترین تمایز بیت‌کوین از دیگر دارایی‌های پولی دانست. اگر تقاضا برای فلان فلز افزایش پیدا کند تولید آن هم شتاب خواهد گرفت و از این‌رو عرضه آن سریع‌تر از قبل خواهد بود. همه کالاهای بازاری یا دارایی‌های پولی همراه با افزایش تقاضا، افزایش عرضه را تجربه خواهند کرد ولی در مورد بیت‌کوین ماجرا متفاوت است و با افزایش تقاضا شاهد افزایش امنیت شبکه آن خواهیم بود.

استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین مثل یک مسابقه ورزشی است: فقط یک جایزه اهدا خواهد شد و اگر تعداد افراد افزایش یابد جایزه بیشتری در کار نخواهد بود؛ فقط بردن جایزه دشوارتر می‌شود. تنظیم سختی در واقع تضمین می‌کند که هزینه تولید یک بیت‌کوین در حدود ارزش آن باقی می‌ماند و می‌توان بیت‌کوین را یک پول سخت تلقی کرد. اگر یک استخراج‌کننده (ماینر) بتواند بیت‌کوین را با هزینه کم تولید کند با توجه به سودآوری آن بقیه هم وارد میدان می‌شوند و سختی افزایش می‌یابد و هزینه تولید تا حذف سود بالا می‌رود یا تنها آن‌هایی باقی می‌مانند که کمترین هزینه برق را دارند.

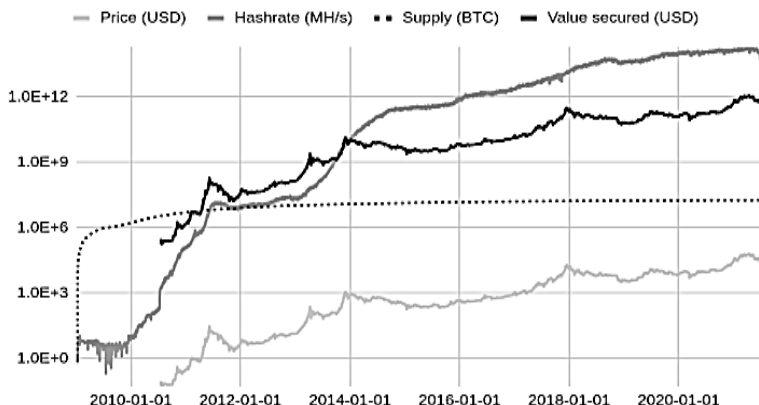
تنظیم سختی همان حلقه مفقوده ارزهای دیجیتالی قبلی بود که توفیق بیت‌کوین را رقم زد. با این الگوریتم می‌توان اطمینان داشت که روند هزینه تولید بیت‌کوین همواره به سوی قیمت آن همگرا می‌شود و از این‌رو با خیال راحت می‌توان بیت‌کوین را یک پول سخت به حساب آورد. هیچ‌کس نمی‌تواند پولی را تولید کند که هزینه تولید آن تفاوت ماندگار و چشمگیری با قیمت بازاری‌اش داشته باشد. چنانکه در (تصویر ۱۸) هم می‌توان دید الگوریتم تنظیم سختی باعث می‌شود که در بیت‌کوین شاهد ایجاد حلقه‌های بازخور مثبت<sup>۱</sup> بین مشوق‌های اقتصادی باشیم. تنها با فهم تنظیم سختی است که می‌توان دلیل افزایش شدید ارزش بیت‌کوین را درک کرد.



تصویر ۱۸- تمایز منحصربه‌فرد بیت‌کوین (سمت چپ) با دیگر پول‌ها (سمت راست)

با بالا رفتن قیمت بیت‌کوین طی زمان، تولید بیت‌کوین طبق برنامه قبلی ادامه خواهد یافت؛ در همین حال قدرت پردازش شبکه (بر حسب نرخ هش) نیز به شکل چشمگیری افزایش پیدا خواهد کرد. با افزایش امنیت شبکه هم انتظار داریم که ارزش ذخیره‌شده در آن افزایش یابد. تنظیم سختی در واقع تقاضای بیشتر برای تولید بیت‌کوین را به امنیت بالاتر شبکه «ترجمه» می‌کند و البته عرضه بیت‌کوین همچنان طبق برنامه تعیین‌شده ادامه خواهد یافت.

۱. positive feedback loop



تصویر ۱۹- قیمت بیت‌کوین، نرخ هش، عرضه و ارزش  
(Coinmetrics.io)

نباید تصور کرد که بیت‌کوین برای حفظ امنیت خود نیازمند یک مقدار مشخص<sup>۱</sup> برق یا نرخ هش است؛ کافی است بازاری با نقدشوندگی بالا برای برق و توان هش<sup>۲</sup> ایجاد شود تا بخشی از ظرفیت زیرساخت‌های سرمایه‌ای موجود به تولید سخت‌افزار استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین اختصاص پیدا کند. در فرایند استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین در ازای مصرف برق و توان پردازش به افراد پاداش «نقدی» تعلق می‌گیرد؛ به این ترتیب بیت‌کوین می‌تواند کاراترین تأمین‌کنندگان برق و توان پردازش (که به دنبال پولی‌سازی منابع خود هستند) را به سوی خود بکشد. تا زمانی که چنین بازاری داریم که در آن پاداش‌های جذاب نصیب افراد می‌شود، حمله به شبکه بسیار پرهزینه خواهد بود و سرانجامی نخواهد داشت. به طور خاص اثر بیت‌کوین بر بازار برق را می‌توان چنین توصیف کرد: یک خریدار سبزی‌ناپذیر و همیشه پای‌کار برای برق ارزان در همه جای دنیا حضور دارد! برای حمله به شبکه باید مقدار زیادی انرژی گران‌قیمت در مناطق پرجمعیت<sup>۳</sup> در اختیار داشت ولی بیت‌کوین می‌تواند از ارزان‌ترین منابع انرژی در نقاط مختلف جهان بهره‌مند شود؛ بیت‌کوین برای فروش برق به تأمین‌کنندگان پاداش‌هایی می‌دهد که در جای دیگر گیرشان نمی‌آید و نمی‌توانند در جای دیگری با چنین شرایطی برق خود را بفروشند.

برخی سناریوهای آخرالزمانی هم از شکست بیت‌کوین به دلیل اشکالات فنی خبر می‌دهند ولی در آن‌ها مشوق‌های اقتصادی بیت‌کوین نادیده گرفته شده‌اند؛ مشوق‌هایی که بیت‌کوین برای ادامه فعالیت و استمرار موفقیت‌های خود به هوادارانش ارائه می‌دهد. تا زمانی که تقاضا برای پول دیجیتال سخت وجود دارد می‌توان به میلیون‌ها هوادار آن در سراسر جهان هم امیدوار بود؛ آن‌ها انگیزه کافی دارند که رامحلی برای حفظ این پول سخت

۱. a fixed sum

۲. hash/hashing power

۳. centralized locations

پیدا کنند. بیت‌کوین یک الزام (نیازمندی) فنی خیلی مشخص دارد و کاری که انجام می‌دهد هم بسیار ساده است و دشواری فنی چندانی ندارد ولی در عوض مشوق‌های اقتصادی آن بسیار چشمگیر و جدی است.

### سوخت بیت‌کوین

یکی از رایج‌ترین بدفهمی‌ها درباره انرژی این است که آن را کمیاب یا محدود فرض می‌کنند. خیلی‌ها معتقدند که انرژی زمین محدود است و وقتی انسان چیزی را گرم می‌کند یا حرکت می‌دهد بخشی از آن انرژی محدود مصرف می‌شود. در این دیدگاه (دیدگاه کمیابی) مصرف انرژی چیز خوبی نیست زیرا هر کاری که انرژی مصرف می‌کند ذخیره محدود انرژی سیاره ما را تهی و تهی‌تر می‌سازد. اهالی رسانه و دانشگاهی‌های جریان اصلی به انرژی به شکل یک بازی مجموع صفر می‌نگرند که گویی هر کسی در جهان انرژی مصرف می‌کند آن را از دست دیگران درآورده است. اما انرژی محصولی است که انسان‌ها از طبیعت استحصال (تولید) می‌کنند و از این‌رو مصرف فقط مشوقی برای تولید آن به حساب آورد. این کمیابی انرژی ربطی به مقدار مطلق آن ندارد بلکه مسئله تأمین آن به صورت توان‌بالا در زمان و مکان مطلوب است.

مقدار کل منابع انرژی در دسترس برای بهره‌برداری انسان‌ها در واقع نامحدود است و حتی نمی‌توان آن را به عدد و رقم تبدیل کرد چه رسد که بخواهیم مصرفش کنیم. انرژی خورشیدی که هر روز به زمین می‌رسد صدها برابر بیش از کل مصرف انرژی جهان است. رودخانه‌ای که هر ساعت و هر روز جریان دارد انرژی بیشتری از کل مصرف جهان در خود دارد؛ بادی که می‌وزد و سوخت‌های هیدروکربنی که زیر زمین خوابیده‌اند نیز وضعیت مشابهی دارند؛ از سوخت‌های هسته‌ای می‌گذریم که خیلی کم از آن‌ها استفاده کرده‌ایم.

اجازه دهید از یک منبع انرژی آغاز کنیم که بیش از بقیه در دسترس است؛ خورشید به تنهایی سالانه ۳/۸۵ میلیون اِگزاجول<sup>۱</sup> (۱۰ به توان ۱۸ ژول!) انرژی به زمین می‌فرستد که ۷۰۰۰ هزار برابر انرژی مصرفی سالانه انسان‌هاست. در واقع میزان انرژی خورشیدی که هر ساعت به زمین می‌رسد بیش از کل انرژی مصرفی بشر طی یک سال است. انرژی بادی که در جهان می‌وزد به تنهایی حدود ۴ برابر انرژی مصرفی انسان‌ها در سراسر جهان است. برخی برآورد می‌کنند که ظرفیت بالقوه تولید سالانه انرژی برقی چیزی در حدود ۵۲ پتا-وات-ساعت است که حدود یک‌سوم انرژی مصرفی جهان است. ذخایر هیدروکربوری جهان هم با افزایش مصرف انسان هر سال روبه افزایش‌اند زیرا با بالا رفتن مصرف، اکتشاف و استخراج آن هم بیشتر می‌شود و البته تکنولوژی‌های جدید مانند شکست هیدرولیکی<sup>۲</sup> را هم باید در نظر داشت. شرکت‌های حوزه انرژی همواره ذخایر بیشتر و بیشتری را کشف می‌کنند.

بشر تا زمانی که خورشید می‌تابد و رودخانه‌ها جاری هستند و باد می‌وزد با مشکل کمیابی انرژی روبه‌رو نخواهد شد؛ بماند که میزان سوخت‌های هیدروکربوری و هسته‌ای

۱. exajoules

۲. hydraulic fracturing

زیر زمین هم آنقدر زیاد است که به شماره نمی‌آید. انرژی همواره در دسترس انسان‌هاست تا چنانکه دوست دارند از آن بهره بگیرند. تنها محدودیت برای دسترسی به انرژی، زمانی است که باید برای هدایت این منابع انرژی صرف کرد؛ هدایت از جاهایی که به وفور موجودند به جاهایی که نیاز به آن‌ها هست. در تحلیل نهایی اگر هزینه هدایت انرژی به مکان مناسب در زمان مناسب و با شدت مناسب را در نظر بگیریم در واقع همه انواع انرژی را باید رایگان به حساب آورد! هزینه انرژی در واقع هزینه زنجیره تأمین آن است؛ زنجیره‌ای شامل افراد و بنگاه‌ها که انرژی را به شکل مناسب به محل مورد نظر به میزان مشخص و در زمان مشخص می‌رسانند. از این‌رو خطاست انرژی را نوعی منبع کمیاب خدادادی با مقدار ثابت ببینیم که از انسان‌ها جز مصرف آن کاری بر نمی‌آید. انرژی (به شکل آماده مصرف آن) در واقع یک فراورده انسانی است؛ فراورده‌ای که انسان‌ها با هدایت نیروهای طبیعت به جایی که مورد نیاز هستند آن را تولید کرده‌اند. برای تولید این کالا هم مثل هر کالای دیگر جز بیت‌کوین! محدودیت طبیعی وجود ندارد؛ تنها محدودیت مقدار زمانی است که انسان‌ها باید برای تولید آن صرف کنند. این محدودیت اخیر هم به نوبه خود از سازوکار قیمت و علامت‌های ارسالی آن به تولیدکنندگان متأثر می‌شود. وقتی مردم به انرژی بیشتری نیاز دارند پول بیشتری هم برای آن خرج می‌کنند که مشوقی برای تولید بیشتر به شمار می‌آید؛ هرچند به بهای تولید نشدن کالاهای دیگر تمام می‌شود. هرچقدر مردم بیشتر به آن نیاز داشته باشند امکان تولید مقدار بیشتری از آن نیز وجود دارد. کمیابی انرژی مانند همه کمیابی‌های پیش از بیت‌کوین، یک کمیابی نسبی است و علتی جز هزینه فرصت (بر حسب دیگر کالاها) ندارد.

استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین از منظر مصرف انرژی ویژگی‌های منحصربه‌فردی دارد: فرایندی انرژی‌بر و بسیار سودآور است که همه جا می‌توان انجامش داد و خروجی آن را به صورت دیجیتالی فروخت. بیت‌کوین برای آنکه بدون توسل به یک مرجع مرکزی بتواند فرایند رسیدن به اجماع را به انجام برساند محتاج مصرف فزاینده انرژی است. برای تأمین این انرژی، شبکه به‌گونه‌ای طراحی شده که همواره میان استخراج‌کنندگان (ماینها) رقابتی بی‌امان در جریان است تا آن‌ها از سراسر جهان ارزان‌ترین منابع انرژی را بیابند و از تجهیزاتشان به کارترین شکل استفاده نمایند. بیت‌کوین انرژی ارزان را هر جا که باشد و هر طور که تولید شده باشد خواهد خرید؛ نیازی هم به خط لوله، کامیون، مخزن یا قطار نیست و فقط یک اتصال اینترنت کافی است. بیت‌کوین یک تکنولوژی به‌کلی جدید برای خرید دیجیتالی برق به حساب می‌آید که تولید و فروش برق را متحول کرده و نقدشوندگی و «همگنی»<sup>۱</sup> آن را بالا برده است. برخلاف دیگر کاربردهای رایج برق، در مورد بیت‌کوین نیازی به انتقال توان برق تولیدی نیست؛ می‌توان برق را هر جا که در دسترس بود خریداری کرد و بیت‌کوین هم که تشنه برق مطمئن و ارزان است! دلالت‌ها و پیامدهای همین نکته اخیر هنوز فهم نشده است و همچنان در آغاز راه هستیم.

## ۱. انرژی اتلافی (هدررفته)

۱. Fungibility: به پانویس مربوط به fungible در فصل پنجم رجوع کنید.

بعد از درک ابعاد مختلف «تنظیم سختی بیت‌کوین» و «تحرك جغرافیایی استخراج (ماینینگ) آن» به یک نتیجه مسلم و قطعی می‌رسیم که بیت‌کوین ناگزیر است به مصرف برق ارزان، هدررفته و سرگردان<sup>۱</sup> (یعنی انرژی‌هایی با هزینه فرصت صفر) رو بیاورد. استخراج (ماینینگ) تنها برای کسانی سود پایدار خواهد داشت که از برق ارزان (نرخ) بسیار پایین‌تر از قیمت برق در عمده نقاط جهان) استفاده می‌کنند. متوسط قیمت جهانی برق چیزی در حدود ۱۴ سنت برای هر کیلووات-ساعت برآورد می‌شود<sup>۲</sup>. در هر قیمت معینی از بیت‌کوین، میلیاردها نفر در سراسر جهان هستند که با قیمت ۱۴ سنت و کمتر (برای هر کیلووات-ساعت برق) می‌توانند دست به استخراج (ماینینگ) بزنند. هرچقدر تعداد بیشتری از این افراد وارد کار استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین بشوند سختی استخراج (ماینینگ) افزایش می‌یابد؛ بازده مورد انتظار برای استخراج‌کنندگان (ماینها) کم می‌شود و سود کسانی که قیمت‌های برق آن‌ها بالاتر است اُفت می‌کند. با افزایش درجه سختی، آن دسته از استخراج‌کنندگان (ماینها) که برق ارزان گیرشان نمی‌آید زیان می‌کنند و با انباشته شدن این زیان‌ها در نهایت چاره‌ای جز بیرون رفتن از میدان نخواهند داشت. تنها کسانی خواهند ماند که به برق بسیار ارزان‌تر دسترسی داشته باشند. می‌بینیم که انگار کار شبکه بیت‌کوین این است که برق ارزان و پایدار را بیابد و پاداش دهد!

برای استخراج (ماینینگ) سودآور و مستمر باید نرخ برق کمتر از ۵ سنت برای هر کیلووات-ساعت باشد. با نرخ‌های بالاتر استخراج (ماینینگ) تنها زمانی سودآور خواهد بود که قیمت بیت‌کوین به سرعت در حال افزایش باشد. اما با کاهش قیمت یا افزایش سختی استخراج (ماینینگ) کار عیب می‌کند و دیگر چندان پول‌ساز نخواهد بود. تنظیم سختی بیت‌کوین بنا به ماهیت خود رقابتی بی‌رحمانه را میان استخراج‌کنندگان (ماینها) دامن می‌زند. این رقابت هم بدان معناست تنها آن‌هایی می‌توانند موفق شوند که به برق بسیار ارزان دسترسی داشته باشند.

در جاهایی که تقاضای زیادی برای برق مسکونی، تجاری یا صنعتی داشته باشیم استفاده از انرژی برای تولید بیت‌کوین هزینه فرصت بالایی خواهد داشت. علت آن هم مشخص است: در این مناطق مردم حاضرند برای برآوردن نیازهای روزمره خود هزینه بالایی برای انرژی پرداخت کنند. اما در مورد منابع انرژی تک‌افتاده<sup>۳</sup> و سرگردان ماجرا فرق می‌کند: تقاضای دیگری برای آن‌ها وجود ندارد و هزینه فرصت استفاده از آن‌ها صفر است. در بسیاری مناطق ارزش انرژی منفی است به دلیل اینکه بیشتر مایه گرفتاری و خطر است و حتی برای رها شدن از شر آن باید هزینه کرد. برای مثال گاز اضافی حاصل از فرایند شکست هیدرولیکی اغلب می‌سوزد و هدر می‌رود. سدهای برقایی گاهی سرریز آب دارند. آتشفشان‌ها هم مقدار زیادی گاز و گدازه تولید کنند که بسیار هم خطرناک هستند. استفاده از این انرژی‌ها بسیار دشوار است زیرا برای انتقال آن به مراکز صنعتی و مسکونی باید هزینه زیادی صرف کرد.

۱. stranded electricity

۲. "Electricity Prices." *globalpetrolprices.com*. Web 3 Oct. 2021.

۳. isolated

با توجه به هزینه‌های بالای انتقال و ذخیره انرژی، طی فرایند تولید برق و در مسیر انتقال از تأمین‌کننده به مصرف‌کننده مقدار زیادی انرژی هدر می‌رود. در سال ۲۰۱۹ در جهان در حدود ۱۷۳،۰۰۰ تراوات-ساعت برق تولید شده که حدود یک‌سوم آن به هدر رفته و بشر تنها می‌تواند ۱۱۷،۰۰۰ تراوات-ساعت از آن را استفاده کند. در حال حاضر شبکه بیت‌کوین در حدود ۱۲۰ تراوات یا حدود ۰/۱ درصد از کل برقی که در دنیا هدر می‌شود را مصرف می‌کند. اما در فرایند استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین، برخلاف دیگر کاربردهای انرژی، آن انرژی‌هایی مصرف می‌شوند که در غیر این صورت هدر می‌رفتند (و البته به احتمال زیاد امروز هم دارد همین اتفاق می‌افتد).

با اختراع بیت‌کوین، گاز متانی که باید سوزانده می‌شد، رودخانه‌ای که باید سرریز می‌کرد، میدان‌های نفتی رها شده و آتشفشان‌هایی که باید فوران می‌کردند پولی‌سازی<sup>۱</sup>، هدایت و مصرف می‌شوند. تنظیم سختی به ما اطمینان می‌دهد که بیت‌کوین تنها از منابع برق ارزان و با کمترین هزینه فرصت استخراج (ماینینگ) می‌شود و مشوقی برای استخراج‌کنندگان (ماینها) برای کشف و استفاده از انرژی ارزان است.

بیت‌کوین توانست تا هزار برابر رشد کند و مصرف انرژی آن بیش از مقدار انرژی هدررفته بشر نشود! بیت‌کوین با مصرف همین انرژی به رشد خود ادامه می‌دهد بیش از همه به این دلیل که هزینه فرصت این انرژی صفر است و جز اهالی بیت‌کوین خریدار زیادی برای آن نیست. اجازه دهید خلاصه کنیم؛ برقی که برای آن تقاضا وجود دارد روی زمین نمی‌ماند و مشتریان دست‌به‌نقدتر از شبکه بیت‌کوین دارد! اما برای شبکه بیت‌کوین تنها برق ارزانی مناسب است که نزدیک مناطق پرتقاضا نباشد و کاربرد ارزشمندی برای آن وجود نداشته باشد.

## ۲. بیت‌کوین مشوق تولید انرژی است.

ویژگی ذاتی کالا‌های سرمایه‌ای بالا بردن تولید نهایی (مارژینال) تولیدکنندگانی است که از آن‌ها استفاده می‌کنند. ماهیگیری که با استفاده از کشتی ماهیگیری دست به صید ماهی می‌زند تولید ساعتی بسیار بالاتری نسبت به صیادی دارد که فقط از قایقی کوچک و تور استفاده می‌کند. تولید همین صیاد هم البته بیشتر از کسی است که با قلاب به دنبال صید ماهی است که تولید او هم به نوبه خود بیشتر از کسی است که می‌خواهد با دست ماهی بگیرد. با افزایش موجودی سرمایه، تولید کارگر بالا می‌رود و از این روست که کشورهای پیشرفته با وجودی سرمایه بیشتری دارند درآمدشان هم نسبت به فقیرترها بالاتر است. تمدن و پیشرفت بشر را در واقع باید پیشرفت در انباشت سرمایه تلقی کرد که به ازای زحمت و تلاش هر انسان خروجی نسبی بیشتری هم نصیب او می‌شود. هرچقدر انباشت سرمایه بیشتر باشد انسان‌ها مولدتر خواهند بود و هزینه نهایی (مارژینال) تولید کالاها کاهش خواهد یافت.

اگر همین تحلیل را برای بحث مصرف انرژی بیت‌کوین هم به کار بگیریم دلالت‌های جالبی خواهد داشت. بیت‌کوین در واقع انرژی جهان را «مصرف» نمی‌کند بلکه باید آن را یک مشوق بازاری قدرتمند برای تولیدکنندگان انرژی در سراسر جهان به حساب آورد تا

انرژی ارزان بیشتری تولید کنند. بیت‌کوین یک مشوق مالی معرکه برای همه کسانی است که برای استخراج (ماینینگ) به برق ارزان (پایین‌تر از قیمت بازار) دسترسی دارند؛ به این ترتیب ایجاد و توسعه منابع برق ارزان و مطمئن در هر جایی از جهان به گزینه‌ای بسیار جذاب و پرسود بدل می‌شود. این پاداش مالی هم به نوبه خود، سرمایه‌گذاری بیشتر در زیرساخت‌های انرژی ارزان را در پی خواهد داشت که به افزایش تولید انرژی و کاهش هزینه آن می‌انجامد. با توجه به آنچه در فصل ۱۰ گفتیم مسئله جالب‌تر هم می‌شود؛ در آن فصل گفتیم که چطور دولت و نورچشمی‌های آن با پول دستوری به دنبال تحمیل و ترویج منابع انرژی نامطمئن و ناپیوسته می‌روند و از توسعه منابع انرژی ارزان و مطمئن جلوگیری می‌کنند. رواج و رشد بیت‌کوین پادزهری است برای مصیبتی که این انرژی‌های دستوری مسبب آن بوده‌اند؛ بیت‌کوین یک جایزه بزرگ برای همه کسانی است که از پس تولید برق ارزان و مطمئن بر بیایند. دولت‌ها شاید این انرژی‌های ارزان را با مالیات و ماده و تبصره گران‌تر کنند ولی بیت‌کوین این روند را معکوس می‌سازد و عدالتی شاعرانه<sup>۱</sup> را محقق می‌کند: دیگر سینیورژ (عایدی حاصل از چاپ پول) در اختیار دولت‌ها نیست و برای تأمین مالی تولید انرژی ارزان در سراسر جهان به کار گرفته می‌شود.

بیت‌کوین در واقع پولی‌سازی (تبدیل به پول) یک کالای دیجیتال است که از برق تولید می‌شود و با بالا رفتن تقاضای بیت‌کوین شاهد افزایش تقاضای برق نیز خواهیم بود. زمانی می‌توان پیشرفت حاصل از بیت‌کوین را به طور کامل و همه‌جانبه درک کرد که توجه کنیم پولی‌سازی بیت‌کوین محرکی برای بالا بردن تولید انرژی برق (از مهم‌ترین کالاهای اقتصادی ابداعی بشر) است و در عین حال بدیلی برای پول دستوری هم به شمار می‌آید. پیش‌تر گفتیم که کار سیستم پول دستوری چیزی جز پولی‌سازی بدهی و دستور و فرمان دولت نیست و حاصلی جز بدهکارتر شدن مردم و قدرتمندتر شدن دولت ندارد. سینیورژ دیگر به جیب دولت‌ها، بوروکرات‌ها، وام‌دهندگان و وام‌گیرندگان و نظامیان جنگ‌طلب نمی‌رود بلکه بیت‌کوین آن را به سوی تولید یک کالای معجزه‌آسا هدایت می‌کند؛ کالایی که پیشرفت انسان را رقم زده و او را از تاریکی، سرما، بیماری و خشونت طبیعت رهایی بخشیده است.

### ۳. انرژی مطمئن

تجهیزات رایانه‌ای از دیگر هزینه‌های عمده در فرایند استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین به حساب می‌آیند و امروزه تولید رایانه‌هایی که با کارایی مناسب قادر به استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین باشند به یک صنعت رقابتی چند میلیارد دلاری و بسیار تخصصی بدل شده است. هزینه این ماشین‌ها نیز با بالا رفتن قیمت بیت‌کوین افزایش می‌یابد و استخراج‌کنندگانی (ماینرهایی) می‌توانند قیمت چنین ماشین‌هایی را پرداخت کنند که آن‌ها را با بالاترین کارایی و بیشترین سودآوری به کار بگیرند. برای استفاده سودآور از حداکثر ظرفیت این تجهیزات، باید آن‌ها را تمام مدت به یک منبع برق مطمئن و پایدار متصل کرد. وقتی امکان اتصال و استفاده از برق وجود نداشته باشد رایانه‌ها مستهلک می‌شوند و نمی‌توانند بازده مورد انتظار را ایجاد کنند. در این حالت صاحبان این رایانه‌ها نسبت به کسانی که ۲۴ ساعت در روز و

۱. poetic justice

۳۵۶ روز در سال از تجهیزا نشان استفاده می‌کنند عقب می‌مانند. دستگاه‌ها باید در تمام ساعات روز به برق متصل باشند تا سودآور بمانند. می‌دانیم که «زمان فعالیت»<sup>۱</sup> دستگاه‌های استخراج (دستگاه‌های ماینر) بیت‌کوین از عوامل اصلی میزان پول‌سازی آن‌هاست.

با توجه به ویژگی‌ها و ماهیت تقاضای برق بیت‌کوین، شاید بتوان حدس‌هایی درباره منابع انرژی مورد استفاده در استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین و برخی روندهای احتمالی آن زد. برق خورشیدی و بادی بعید است نقش عمده‌ای در تأمین برق فرایند استخراج (ماینینگ) داشته باشد زیرا این منابع از پس تأمین جریان انرژی مطمئن و مستمر بر نمی‌آیند. ماشین‌هایی که با این انرژی‌ها کار می‌کنند زمان خواب<sup>۲</sup> (عدم فعالیت) زیادی دارند؛ این خواب زیاد هم (با توجه به تنظیم سختی بیت‌کوین که با هیچ‌کس شوخی ندارد!) بدین معناست که نمی‌توانند مقابل دستگاه‌های استخراج (دستگاه‌های ماینر) متصل به برق مطمئن و مستمر بختی داشته باشند. یادمان نرود بسیاری از این منابع جدید انرژی به وفور از یارانه‌های دولتی بهره‌مند هستند و شاید استفاده از آن‌ها برای استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین در کوتاه‌مدت موجه باشد ولی در بلندمدت بعید است بتوان روی آن‌ها حساب کرد. اینکه انتظار داشته باشیم این منابع جدید با تکنولوژی باتری (ذخیره انرژی) کارستان کنند هم واقع‌بینانه نیست؛ هزینه برق حاصل از باتری‌ها تا چند برابر بیشتر از منابع ارزان فعلی خواهد بود. به احتمال زیاد خواهیم دید که سهم سیستم‌های ارزان و مطمئن فعلی در نرخ هش شبکه بیت‌کوین افزایش می‌یابد.

#### ۴. آینده انرژی بیت‌کوین

نیروگاه‌های برقی که از نفت، زغال‌سنگ و گاز استفاده می‌کنند نیز بعید است منبع اصلی انرژی بیت‌کوین باشند؛ علت هم هزینه فرصت بالای تولید برق و هزینه‌های عملیاتی بالای تأمین سوخت آن‌هاست. نیروگاه‌های برقی که از هیدروکربن‌ها استفاده می‌کنند در مناطقی قرار دارند که در آن‌ها تقاضا برای برق مطمئن بالاست. به عبارتی دیگر، قیمت برق در چنین مناطقی بسیار بالاتر از ۵ سنتی (برای هر کیلووات-ساعت) است که استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین را سودآور می‌سازد. بعید است در آینده استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین در مقیاس وسیع با استفاده از شبکه‌های برق متصل به نیروگاه‌های هیدروکربوری صورت گیرد زیرا هزینه فرصت آن بسیار بالاست. در این نیروگاه‌ها فقط اگر ظرفیت اضافی موجود باشد می‌توان آن را برای استخراج بیت‌کوین به کار گرفت. درآوردن خرج ساخت نیروگاه‌های برق بزرگ (که بناسر رشد آینده را رقم بزنند) با بیت‌کوین ساده‌تر می‌شود؛ می‌توان به اپراتورها اجازه داد با استفاده از ظرفیت اضافی موجود دست به استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین بزنند و کار را تا زمانی که تقاضای برق دوباره افزایش یابد ادامه دهند و به این ترتیب بخشی از هزینه‌ها پوشش داده می‌شود. همچنین بیت‌کوین می‌تواند برای تأمین هزینه‌های ایجاد ظرفیت اضافی ذخیره<sup>۳</sup> هم کارساز باشد؛ منظور ظرفیتی است که در

۱. uptime

۲. downtime

۳. standby spare capacity

مواقع اضطراری یا از کار افتادن دیگر منابع انرژی موردنیاز است. با افزایش شکنندگی شبکه‌های برق به دلیل اجبار به استفاده از سایر منابع نامطمئن انرژی، تولیدکنندگان برق می‌توانند با استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین هزینه‌های ایجاد ظرفیت اضافی را تأمین کنند تا در زمان‌هایی که باد و خورشید یاری نمی‌کنند وارد شبکه شود.

انتقال هیدروکربن‌ها نسبت به انرژی برقی بسیار ارزان‌تر تمام می‌شود. هر جا که بشر سکنی گزیده است تقاضای زیادی برای هیدروکربن‌ها وجود دارد و می‌توان آن‌ها را در خودروها، خانه‌ها، شهرها و بسیاری موارد دیگر به کار گرفت. هزینه فرصت استفاده از آن‌ها به طور نسبی بالاست زیرا همیشه کسی هست که آن‌ها را برای یک کاربرد بسیار مولد در نظر داشته باشد. اما انرژی برقی اغلب هزینه فرصت بسیار کمی (یا حتی گاهی هزینه منفی در مواقعی که خطر سیل جدی است) دارد. برخلاف هیدروکربن‌ها، انرژی برقی بسیار دورتر از جایی که تقاضا برای آن وجود دارد تولید می‌شود و هزینه عملیاتی اندکی هم دارد زیرا سوخت دیگری برای عملیات آن موردنیاز نیست. انرژی برقی در مقایسه با باد و خورشید از دو مزیت بزرگ برخوردار است: اطمینان (پایایی) و پیش‌بینی‌پذیری در طی زمان. هزینه متوسط برق از یک نیروگاه برقی چیزی در حدود ۳ تا ۵ سنت به ازای هر کیلووات-ساعت است که برای استخراج‌کنندگان (ماینها) بیت‌کوین ایده‌آل است. به نظر می‌رسد بهترین استراتژی بلندمدت برای استخراج (ماینینگ) سودآور بیت‌کوین «استفاده از نیروگاه‌های برقی در مناطق دور از مراکز جمعیتی» است.

انرژی هسته‌ای هم شاید برای استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین مناسب باشد زیرا بسیار ارزان و مطمئن است؛ همچنین بسیاری از نیروگاه‌های هسته‌ای قابلیت تولید برق زیادی دارد که اغلب اوقات بیشتر از تقاضای محلی است. چنانکه پیش‌تر هم گفتیم یک منبع بالقوه بسیار پراهمیت دیگر سوزاندن گاز متان حاصل از میدان‌های نفتی است. از تولید نفت ناگزیر مقدار بسیاری زیادی گاز متان حاصل می‌شود که انتقال آن به دوردست بسیار پرهزینه است. از این‌رو متان اغلب در میدان‌های نفتی سوزانده می‌شود اما برای استخراج بیت‌کوین می‌توان این انرژی را در محل خریداری کرد و با نصب یک ژنراتور و دستگاه‌های استخراج (دستگاه‌های ماینر) کار را پیش برد. از دیگر منابع بالقوه کارخانه‌های زباله‌سوزی است که اغلب دور از مراکز جمعیتی قرار دارند.

کل گاز متانی که هر سال آتش زده و سوزانده می‌شود در حدود ۱,۵۰۰ تراوات-ساعت انرژی دارد که در حدود ۱۰ برابر مصرف شبکه بیت‌کوین است. با انرژی برقی به تنهایی در سال ۲۰۱۹ حدود ۴,۳۰۶ تراوات-ساعت برق تولید شده که حدود ۳۰ برابر مصرف بیت‌کوین است. اگر بتوان در نواحی دور از مراکز جمعیتی و جدا از شبکه‌های اصلی برق، نیروگاه‌های برقی برای استخراج (ماینینگ) بیت‌کوین ایجاد کرد که ظرفیت تولید برقی بیشتر هم می‌شود. با توجه به ظرفیت اضافه نیروگاه‌های هسته‌ای و همچنین ظرفیت اضافی و ذخیره نیروگاه‌های هیدروکربنی می‌توان گفت: فرصت‌های بسیار زیادی برای استخراج بیت‌کوین فقط با استفاده از منابع انرژی اضافی، ائتلافی و سرگردان وجود دارد که هزینه بسیار پایینی هم دارند. هیاهوی جنون‌آمیزی که رسانه‌ها و دانشگاهی‌های دستوری در مورد مصرف انرژی بیت‌کوین راه انداخته‌اند (که انگار تمام انرژی زمین را مصرف می‌کند!) به‌کلی بی‌پایه است. تنظیم سختی به ما این اطمینان را می‌دهد که انرژی بیت‌کوین به طور عمده از منابعی تأمین می‌شود که هزینه فرصت بسیار پایینی دارند.