

شناسایی مزارع غیرقانونی دستگاه ماینر ارزهای رمزنگاری شده در سیستم های توزیع برق با رویکردهای نوآورانه توسط دوربین حرارتی

عارف شמושکی^۱، مجید شهریاری^۲

^۱ شرکت توزیع برق شرق گرگان، شرکت کل توزیع برق استان گلستان، شرکت توانیر، وزارت نیرو، ایران (نویسنده مسئول)

^۲ شرکت توزیع برق شرق گرگان، شرکت کل توزیع برق استان گلستان، شرکت توانیر، وزارت نیرو، ایران

arefshamoushaki@gmail.com

چکیده

از آنجا که مهم ترین جزء هزینه تولید ارزهای دیجیتال، قبوض انرژی است، استفاده از برق غیرقانونی در مزارع استخراج ارزهای دیجیتال بسیار رایج است. به همین دلیل، بسیاری از کشورها تولید ارزهای دیجیتال را ممنوع کرده یا با برخی مقررات قانونی محدود می کنند. این وضعیت مسئله شناسایی استخراج غیرقانونی ارزهای دیجیتال را مطرح می کند. بنابراین، رویکردهای نوآورانه برای شناسایی مزارع استخراج غیرقانونی ارزهای دیجیتال مورد نیاز است. در این مقاله نشان داده شده است که دوربین های ترموگرافی برای شناسایی مزارع استخراج غیرقانونی ارزهای دیجیتال استفاده شود. ویژگی های خاص دوربین های ترمو ویژن از روی کابل های انشعاب، از طریق اندازه گیری های میدانی شناسایی می شوند. شرکت های توزیع برق می توانند با نظارت بر داده ها با این رویکرد ارزیابی های بر روی مصرف مشترک انجام دهند. در نتیجه، مجوزهای قانونی لازم برای بررسی مصرف کنندگان مشکوک و پرخطر می تواند کسب شود. مزارع استخراج غیرقانونی ارزهای دیجیتال می توانند با بررسی تأسیسات مصرف کنندگان پرخطر شناسایی شوند.

واژه های کلیدی: ارزهای رمزنگاری شده، سرقت برق، مصرف انرژی، دوربین حرارتی

مقدمه

افزایش مسائل مختلف، مانند مشکلات اقتصادی که پس از بحران اقتصادی جهانی در سال ۲۰۰۸ بوجود آمد، تحریم های تجاری گسترده، مشکلات سیستم بانکی و حملات اقتصادی ارزهای قوی علیه کشورهای در حال توسعه، جستجو برای راه حل های جدید را تشدید کرده است. ارزهای دیجیتال، که اولین بار در سال ۲۰۰۸ به عنوان جایگزینی برای دارایی های مالی شده توسط دولت های مرکزی معرفی شدند، به گزینه ای محبوب تبدیل شده اند. افزایش آنها به دلیل توانایی شان در حل برخی از مشکلات اقتصادی مذکور و ارائه مزایای مختلف است

به دلیل ماهیت غیرمتمرکز خود، فرآیند تولید و استفاده از ارزهای دیجیتال نمی تواند به طور کامل توسط دولت ها ردیابی شود و این امر مشکلات امنیتی زیادی ایجاد می کند. یکی از راه های کسب درآمد از ارزهای دیجیتال، استخراج ارز دیجیتال است. استخراج ارز دیجیتال شامل تولید ارز دیجیتال با استفاده از یک سیستم کامپیوتری است [۳][۴]. مانند هر سرمایه گذاری اقتصادی، هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی باید کمتر از درآمد باشد تا سودآور باشد. دو پارامتر هزینه اصلی در استخراج ارز دیجیتال، سخت افزار کامپیوتری مورد نیاز و هزینه انرژی الکتریکی است.

هزینه های نصب و راه اندازی سیستم [۵]. هزینه های محصولات فناوری اطلاعات در سراسر جهان تقریباً یکسان است. بنابراین، هزینه واحد انرژی الکتریکی مهم ترین عاملی است که درآمد حاصل از تولید ارز دیجیتال را تعیین می کند. در سطح جهان، انرژی مصرفی برای تولید ارز دیجیتال از انرژی مصرفی توسط بسیاری از کشورها پیشی گرفته است. انتظار می رود انرژی مورد استفاده برای تولید ارز دیجیتال به تدریج افزایش یابد [۶]. زیرا اکثر انرژی الکتریکی از منابع فسیلی به دست می آید و منجر به افزایش انتشار CO₂ می شود. با توجه به مشکل گرم شدن جهانی که جهان با آن مواجه است، مقدار برق مصرفی توسط تولید ارز دیجیتال نگرانی ها در مورد یک محیط قابل زندگی را افزایش می دهد [۷]. علاوه بر این، استفاده از برق غیرقانونی برای کسب درآمد بالا از تولید ارز دیجیتال اغلب دیده می شود. انتظار می رود تولید ارز دیجیتال به سرعت در مناطقی که مصرف برق هنوز به دلیل ضعف قدرت مرکزی یا کنترل های ناکافی بالا است، گسترش یابد.

توافقی در میان بسیاری از کشورها برای کاهش انتشار CO₂ وجود دارد. برای کاهش انتشار روزافزون C، تولید ارز دیجیتال باید محدود شود. با توجه به افزایش تعداد ارزهای دیجیتال و ارزش بازار آنها، نیاز به توسعه روش های مختلف برای شناسایی مزارع استخراج ارز دیجیتال غیرقانونی برای کاهش استفاده از برق غیرقانونی وجود دارد

به همین دلیل، شناسایی مراکز تولید ارز دیجیتال غیرقانونی در سال های اخیر به یک موضوع مهم تحقیقاتی تبدیل شده است. شرکت های توزیع برق به علاوه بر روش های سنتی، از روش های جدید برای تشخیص مصرف برق غیرقانونی استفاده کرده اند [۷]. این روش های سنتی که توسط شرکت های توزیع برق استفاده می شود، برای شناسایی مزارع استخراج ارز دیجیتال کافی نیستند، زیرا مناطقی که عمدتاً تولید ارز دیجیتال غیرقانونی در آنها انجام می شود، نرخ های بالای اتلاف/نشت برق دارند. بنابراین، روش های نوآورانه برای شناسایی مراکز تولید ارز دیجیتال غیرقانونی ضروری هستند.

در این مطالعه، یک رویکرد نوآورانه برای شناسایی مکان های مزارع استخراج ارز دیجیتال غیرقانونی توضیح داده شده است.

مابقی مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است: بخش ۲ به توضیح پیشینه ارزهای دیجیتال می پردازد. همچنین بخش ۳ به شناسایی استخراج ارز دیجیتال غیرقانونی می پردازد. مطالعه موردی در بخش ۴ و نتیجه گیری ها در بخش ۵ ارائه شده است.

در این بخش، ارزشهای دیجیتال با تمرکز بر بیت کوین توضیح داده خواهند شد، زیرا بیت کوین به طور گسترده استفاده می شود و بیشترین ارزش بازار را دارد. در سال ۲۰۰۸، جهان برای اولین بار از طریق مقاله ای که توسط یک هکر (یا هکرها) به نام ساتوشی ناکاموتو منتشر شد، با ارز دیجیتالی به نام بیت کوین آشنا شد [۸]. این ارز دیجیتال از زمان عرضه به بازار در ژانویه ۲۰۰۹ محبوبیت زیادی پیدا کرده است. ناکاموتو بیت کوین را به عنوان یک سیستم غیرمتمرکز و همتا به همتا (P2P) تعریف کرد که دارندگان پول را مستقیماً بدون نیاز به سرور یا مرجع مرکزی متصل می کند

امروزه بیش از ۱۳۰ ارز دیجیتال با ارزش بازار بیش از ۱۰۰ میلیون دلار وجود دارد [۱۰]. بسیاری از ارزشهای دیجیتال پس از بیت کوین ظهور کردند، همه به طور جمعی آلت کوین نامیده می شوند [۱۱]. اتریوم (ETH)، ریپل (XRP)، استلار (XLM) و ای او اس (EOS) از اصلی ترین آلت کوین ها هستند.

ارزشهای دیجیتال به دلیل مزایای مختلف خود توسط بسیاری از افراد استفاده می شوند. مزایای اصلی ارزشهای دیجیتال برای کاربران شامل موارد زیر است

* به دلیل طراحی برای محرمانگی، نمی توانند توسط یک مرجع مرکزی ردیابی شوند

* نمی توانند مالیات گرفته شوند زیرا توسط دولت ها نمی توانند ردیابی شوند

* انتقال پول و مقدار پول متعلق به کاربران نمی تواند توسط هیچ کاربری به جز خودشان شناخته شود

* خطر امنیتی را کاهش می دهند زیرا به صورت فیزیکی مدیریت نمی شوند.

علاوه بر تمام مزایایی که ارزشهای دیجیتال ارائه می دهند، معایب اجتماعی قابل توجهی نیز وجود دارد. زیرا ارزشهای دیجیتال نمی توانند توسط یک مرجع مرکزی ردیابی شوند، تخمین زده می شود که این ارزشها به طور گسترده در فعالیتهای غیرقانونی استفاده می شوند.

بیت کوین در میان همه ارزشهای دیجیتال جدید مهم ترین بوده است. دلیل این امر این است که بیت کوین وعده می دهد به عنوان یک واحد پولی مستقل از دولت مرکزی عمل کند و هدفش این است که تمام فرآیندهای تولید و تأیید خود را به طور مستقل از دولت مرکزی انجام دهد [۲]. بیت کوین از زمان عرضه به بازار در ژانویه ۲۰۰۹ به سرعت رشد کرده و ارزش بازار کل آن تا سال ۲۰۱۸ بیش از ۱۱۰ میلیارد دلار رسیده است [۱۳]. شکل ۱ نشان می دهد که تغییر سرمایه بازار بیت کوین به مرور زمان چگونه بوده است.



شکل ۱. تغییرات ارزش بازار بیت کوین بر اساس سال ها [۱۴]

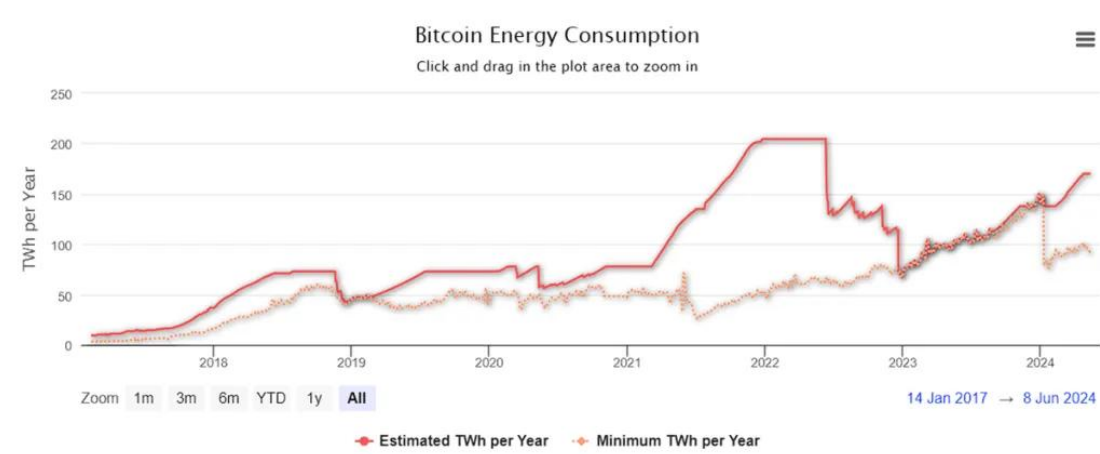
درآمد روزانه بیت کوین به ۵۱.۸۱ میلیارد دلار رسیده است [۱۵]. نه تنها ارزش بازار بیت کوین، بلکه ارزش بازار ارزهای دیجیتال جایگزین که به طور کلی "آلت کوین" نامیده می شوند نیز روز به روز در حال افزایش است.

تعداد ارزهای دیجیتال در سال ۲۰۲۵ همچنان در حال افزایش است و به هزاران ارز مختلف رسیده است. با توجه به رشد سریع این بازار، تعداد دقیق ارزهای دیجیتال ممکن است به سرعت تغییر کند.

امروزه، بسیاری از کاربران به استخراج ارزهای دیجیتال می پردازند تا از صنعت ارزهای دیجیتال که دارای ارزش بازار بالایی است، درآمد کسب کنند.

مصرف انرژی الکتریکی در استخراج بیت کوین

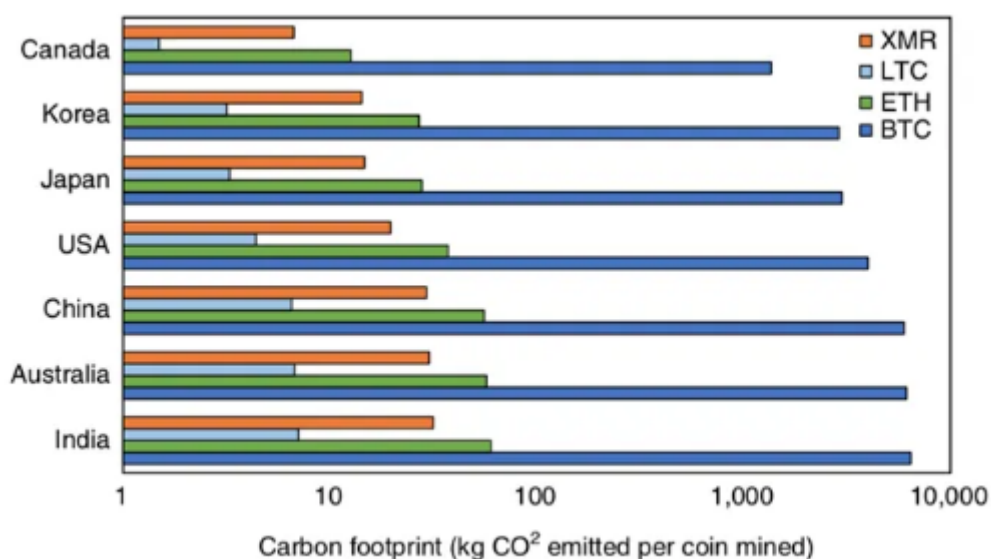
در روزهای اولیه تولید بیت کوین، استخراج بیت کوین می توانست با استفاده از کامپیوترهای معمولی انجام شود به دلیل سطح پایین دشواری آن [۵]. نیاز به تعداد زیادی سیستم های کامپیوتری قدرتمند به نام ماینر اکنون برای استخراج بیت کوین باعث افزایش انرژی مورد نیاز برای استخراج شده است. شکل ۲ مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک بیت کوین در ایالات متحده را نسبت به تجهیزات مختلف نشان می دهد.



شکل ۲. میزان مصرف انرژی مورد نیاز برای استخراج بیت کوین.

با وجود توسعه فناوری‌هایی که مصرف انرژی کمتری دارند برای تولید ارزهای دیجیتال، انرژی مورد نیاز برای تولید ارزهای دیجیتال به تدریج روز به روز افزایش یافته است.

زیرا استخراج بیت کوین به طور مداوم سخت‌تر شده است. انرژی مورد نیاز برای تولید مقدار یک بیت کوین تقریباً برابر با مصرف انرژی دو سال یک خانه است [۱۷]. مطالعات بسیاری برای تعیین میزان انرژی مصرف شده در استخراج بیت کوین در سراسر جهان انجام شده است. مطالعه‌ای در ایرلند نشان داده که انرژی مصرف شده برای بیت کوین می‌تواند با کل مصرف ایرلند رقابت کند [۱۶]. در مطالعه دیگری، انرژی مورد استفاده برای تولید بیت کوین با کل مصرف انرژی کشورهای مختلف مقایسه شده است. شکل ۳ میزان مصرف انرژی کل تولید بیت کوین را در مقایسه با مصرف انرژی کل کشورهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۳. مقایسه انرژی مصرف شده برای تولید بیت کوین در مقابل کشورها [۶]

مصرف انرژی برای تولید بیت کوین در رتبه چهل و هشتم در بین کشورهای جهان قرار دارد و از ۱۵۰ کشور پیشی گرفته است. این نشان دهنده میزان بالای نیاز انرژی برای تولید بیت کوین است. افزایش استفاده از ارزهای دیجیتال نگرانی های زیست محیطی را افزایش می دهد زیرا مصرف انرژی بالا باعث انتشار زیاد دی اکسید کربن می شود که تأثیرات زیست محیطی دارد.

یکی از هزینه های عمده تولید بیت کوین هزینه انرژی الکتریکی است. به همین دلیل، برای کسب درآمد بالا از تولید بیت کوین، قیمت واحد انرژی باید پایین باشد. برخی تولیدکنندگان بیت کوین ترجیح می دهند از سیستم های استخری کارآمدتر به جای تولید فردی استفاده کنند، زیرا نمی توانند هزینه های واحد انرژی را تحمل کنند [۱۸]. همچنین، مراکز داده ای که بیت کوین در آن تولید می شود باید به خوبی خنک شوند تا به طور کارآمد عمل کنند و انرژی مورد نیاز برای خنک کردن مراکز داده نیز بسیار بالاست [۱۹][۲۰]. بنابراین، مناطق با شرایط آب و هوایی سرد و قیمت واحد انرژی پایین، برای تولید بیت کوین ایده آل هستند. تولید بیت کوین در مناطقی که شرایط آب و هوایی گرم دارند و قیمت انرژی...

قیمت واحد انرژی در مناطقی که شرایط آب و هوایی گرم دارند و قیمت انرژی بالاست، احتمال استفاده غیرقانونی از برق را نشان می دهد. جدول ۲ هزینه های مورد نیاز برای تولید بیت کوین توسط ماینر های مختلف را با توجه به قیمت های متوسط برق نشان می دهد.

نام ماینر	ارز استخراجی	توان مصرفی	هزینه برق هر کیلووات ساعت به ریال
انت ماینر اس ۱۹ ایکس پی (XP ۱۹Antminer S)	بیت کوین	۵۳۰۴ وات	۱۴۹,۶۰۹
واتس ماینر ام ۳۳ اس ++ ++ Whatsminer (S۳۳M)	بیت کوین	۶۷۵۰ وات	۱۹۰,۳۹۷
انت ماینر اس ۱۹ پرو پلاس (Pro+ ۱۹Antminer S Hyd)	بیت کوین	۵۲۵۰ وات	۱۴۸,۰۷۶
واتس ماینر ام ۶۰ اس ۱۷۸ تراش (Whatsminer S 178Th۶۰M)	بیت کوین	۳۳۸۰ وات	۹۵,۳۴۰

هزینه های انرژی در صورتی که انرژی مورد نیاز برای تولید ارزهای دیجیتال به صورت رایگان یا غیرقانونی تأمین شود، به صفر می رسد. انتظار می رود که تولید ارزهای دیجیتال در کشورهایی که استفاده غیرقانونی از برق رایج است، معمول شود.

تأسیسات تولید در مناطقی نزدیک به سدهای هیدروالکتریک که قیمت واحد انرژی پایین است، ایجاد می شوند. با این حال، هر چقدر هم که قیمت واحد انرژی پایین باشد، تولیدکنندگان نمی توانند با کسانی که به صورت غیرقانونی از برق استفاده می کنند، رقابت کنند. به عنوان مثال، شرکت KnCminer که از یک نیروگاه هیدروالکتریک محلی در سوئد برق ارزان تأمین می کرد، در سال ۲۰۱۶ ورشکست شد زیرا نمی توانست هزینه های بالا را تحمل کند [۵]. به وضوح مشاهده می شود که قیمت واحد انرژی الکتریکی برای تولید ارزهای دیجیتال از اهمیت حیاتی برخوردار است.

مصرف انرژی بیت کوبین بیشتر از بسیاری از کشورها است و روشن است که انتشار دی اکسید کربن کل ارزشهای دیجیتال بسیار بالاست. علاوه بر این، رابطه پویای بین مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن آن‌ها در مطالعاتی که به بررسی انتشار دی اکسید کربن کشورهای مختلف پرداخته‌اند، به وضوح مشاهده می‌شود [۲۳] [۲۴].

از طریق توافق نامه پاریس و پروتکل کیوتو، دولت‌ها توافق نامه‌هایی برای کاهش انتشار دی اکسید کربن امضا کرده‌اند و متعهد به اتخاذ تدابیر مختلف برای کاهش آن شده‌اند [۲۵] [۲۶]. همکاری جامع بین کشورها برای کاهش انتشار دی اکسید کربن ناشی از تولید ارزشهای دیجیتال ضروری است.

استفاده از برق غیرقانونی به منظور افزایش درآمد از تولید ارزشهای دیجیتال رایج است. یک تولیدکننده بیت کوبین در چین ۱۵۰ مگاوات ساعت برق غیرقانونی در یک تأسیسات تولید که با استفاده از ۲۰۰ کامپیوتر ساخته شده بود، تولید کرد [۲۷]. در هلند، قاچاق برق در مزارع طی پنج سال گذشته ۲۰٪ افزایش یافته است. در یک مورد دیگر که در هلند اتفاق افتاد، یک مدیر شرکت به دلیل راه اندازی یک سیستم استخراج مخفی در اتاق سرور شرکت اخراج شد [۲۸]. در روسیه، تعدادی از دانشمندان به دلیل استفاده از استخراج بیت کوبین بر روی سرورهای یک تأسیسات محرمانه تولید کلاهک‌های هسته‌ای دستگیر شدند [۲۹]. استخراج کنندگان بیت کوبین در ایران با استفاده از برق غیرقانونی به دست آمده از تأسیسات آبیاری که توسط دولت برای آبیاری مزارع کشاورزی تأسیس شده‌اند، بیت کوبین تولید می‌کنند. علاوه بر این، از حمایت مالی دریافتی از دولت به منظور کشاورزی یا دامداری برای تولید بیت کوبین‌های غیرقانونی استفاده می‌کنند [۳۰]. و همچنین در خانه‌ها و انباری‌های خود توسط ماینرهای مختلف ارز دیجیتال استخراج می‌کنند.

روش‌های سنتی استفاده شده برای شناسایی ماینر غیر مجاز

در کشورهایی که تولید ارزشهای دیجیتال ممنوع یا تحت مقررات قانونی است، شناسایی تولید غیرقانونی چالشی جدی است. شرکت‌های توزیع برق امروزه از روش‌های مختلفی برای کشف تأسیسات تولید غیرقانونی ارز دیجیتال استفاده می‌کنند. رایج‌ترین این روش‌ها جمع‌آوری و مقایسه ویژگی‌های مصرف برق مصرف کنندگان با فعالیت‌های مشابه آن‌هاست. اگر مصرف انرژی بسیار بالاتر از مقدار معمول باشد، این وضعیت مشکوک تلقی شده و تأسیسات مصرف کننده مورد بررسی قرار می‌گیرند. برای مقابله با این روش، تولیدکنندگان غیرقانونی ارز دیجیتال از مناطقی با مصرف انرژی بالا مانند ساختمان‌های قدیمی کارخانه‌ها برای تولید استفاده می‌کنند تا شناسایی‌شان سخت‌تر شود. خطر تولید غیرقانونی ارز دیجیتال در مناطقی با نرخ برق دزدی/نشستی بالا بسیار زیاد است.

در روش دیگر، مقدار انرژی توزیع شده توسط شرکت‌های توزیع برق به یک منطقه خاص با مصرف‌های اندازه‌گیری شده و ثبت شده موجود مقایسه می‌شود و افزایش قابل توجه در مصرف غیرثبت شده مشکوک تلقی می‌شود. سپس می‌توان آنالیز دقیقی انجام داد تا تعیین شود که آیا تولید غیرقانونی ارز دیجیتال در حال وقوع است یا خیر. با این حال، تجهیزات جدید نصب شده برای نظارت بر شبکه و جمع‌آوری داده‌ها توسط افرادی که به طور غیرقانونی برق استفاده می‌کنند، فیزیکی تخریب یا غیرفعال می‌شوند. بنابراین، استفاده غیرقانونی از برق در این مناطق ادامه می‌یابد.

برای تعیین تولید غیرقانونی ارز دیجیتال در یک تأسیسات، ورود به ملک خصوصی الزامی است. در بسیاری از کشورها، جستجوی قانونی در املاک خصوصی در صورتی امکان پذیر است که شواهد قوی وجود داشته باشد. همه این مشکلات در شناسایی و جلوگیری از تولید غیرقانونی نشان دهنده نیاز به راه‌حل‌های نوآورانه است. در این زمینه، استفاده از دستگاه‌های

پیشرفته مانند حرارت سنج، امکان شناسایی دقیق تر تأسیسات تولید غیرقانونی را فراهم می کند. پس از دریافت مجوز قانونی در مورد مصرف کننده، از طریق بازرسی های دقیق در تأسیسات می توان تعیین کرد که آیا ارز دیجیتال غیرقانونی تولید می شود و برق غیرقانونی مورد استفاده قرار می گیرد.

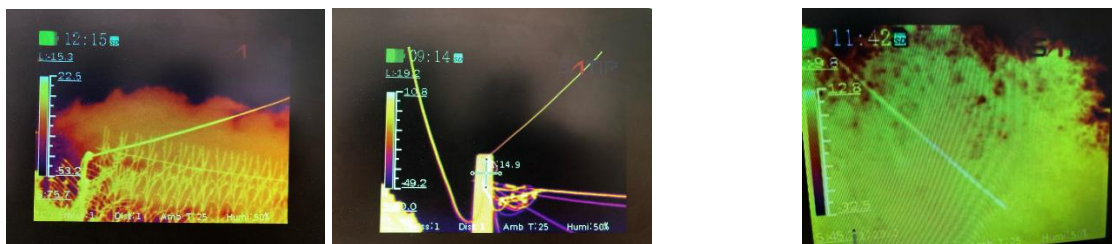
روش نوین جهت شناسایی استخراج ارز دیجیتال به وسیله تصویر برداری حرارتی

ترموویژن یا تصویربرداری حرارتی (Thermography) یک تکنیک مهم و کاربردی است که در بسیاری از صنایع و حوزه ها مورد استفاده قرار می گیرد. این تکنیک بر اساس تشخیص و نمایش تغییرات دمایی اجسام و محیط ها عمل می کند. در ادامه به توضیحات کامل و مفصل در رابطه با ترموویژن و کاربرد آن برای شناسایی استخراج غیرمجاز ارز دیجیتال می پردازیم.

تاریخچه تحول تصویرگرهای حرارتی را می توان به طور خلاصه چنین تفسیر کرد که نوآوری ها در این زمینه عمدتاً به سمت تحقق هزینه کم، قابلیت حمل و کوچک سازی سیستم متمرکز شده اند. تصویرگرهای حرارتی اولیه به طور کلی به چندین بخش مختلف تقسیم می شدند، از جمله بسته تأمین برق، واحد نمایش و دوربین. اولین تصویرگر حرارتی تک قطعه، Agema Thermovision 470، در نهایت در سال ۱۹۸۷ اختراع شد. تصویرگرهای حرارتی اولیه باید برای کسب یک تصویر دو بعدی، از مکانیسم های اسکن سریالی در داخل دوربین برای یک آشکارساز مادون قرمز نقطه ای (یا خطی) استفاده می کردند. این مکانیسم های پیچیده به تدریج ساده تر یا حتی حذف شدند پس از ظهور IRFPA. بسته به نوع مواد آشکارساز، استراتژی های اضافی برای پیاده سازی در داخل دوربین لازم بود، و بنابراین اندازه و وزن دوربین به طور اجتناب ناپذیری افزایش یافت. برای آشکارساز نوع فوتونی، یک Dewar پر از نیتروژن مایع یا یک خنک کننده چرخه استرلینگ اضافه شد تا آشکارسازها را به دمای پایین خنک کند تا نویز حرارتی کاهش یابد. برای آشکارساز نوع پیروالکترونیک، با وجودی که می تواند در دمای اتاق کار کند، یک چرخ چرخان با شیار (که به اصطلاح "چاپر" نامیده می شود) در داخل دوربین اضافه شد تا با قطع مسیر نوری بین لنز فوکوس و آشکارساز، حساسیت آشکارساز را بازیابی کند. بنابراین، نوآوران مشتاق به یافتن نوع جدیدی از آشکارساز مادون قرمز بدون خنک کننده (UTIR) بودند. در اوایل دهه ۱۹۹۰، شرکت Honeywell، Inc. آشکارساز UTIR خود را، که به اصطلاح امروزی "میکروبولومتر" نامیده می شود، اختراع کرد. آن ها فیلم های نازک دی اکسید وانادیوم - یک نوع ماده ترمورزیستو - را به عنوان محیط جذب کننده مادون قرمز انتخاب کردند، بنابراین آشکارساز دیگر نیاز به خنک سازی نداشت. علاوه بر این، به لطف خواص مواد، استفاده از دی اکسید وانادیوم با تکنولوژی فرآیند Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (CMOS) بسیار سازگار است. این سازگاری میکروبولومتر را به یک آشکارساز UTIR ارزشمند برای تصویرگرهای حرارتی مدرن تبدیل می کند. امروزه، طراحی تصویرگر حرارتی دستی به دست آمده است.

برای شناسایی مشترک دارای ماینر غیر مجاز ابتدا با دوربین حرارتی نسبت به انشعابات مناطقی که از قبل برنامه ریزی شده است که به صورت محرمانه می باشد به صورت میدانی و مخفیانه مشترکانی که کابل آنها بیشتر از حد مجاز گرما دارند شناسایی میشود و در چندین مرتبه رصد میشوند که از این موضوع مطمئن شویم که مشترک پر مصرف ماست و مقدار خیلی زیادی دارند از برق استفاده میکنند

نمونه ای از تصاویر توسط دوربین حرارتی ترموویژن در شکل شماره ۴ نمایش داده شده است که مربوط به یک مزرعه بوده است که توسط کارشناس های متخصص به صورت تجربه و تخصصی که در این زمینه داشته اند شناسایی و تعداد زیادی دستگاه ماینر شناسایی شده است.



شکل ۴. نمونه ای از تصاویر که توسط دستگاه ترموویژن صورت پذیرفته است

در مرحله بعد اندازه گیری دما و آمپراژ را انجام می دهیم که به صورت زیر می باشد:

اندازه گیری دما و آمپراژ

اندازه گیری دما

استفاده از دوربین تصویرگر حرارتی

دوربین های تصویرگر حرارتی برای تشخیص و اندازه گیری تابش مادون قرمز ساطع شده از اشیاء طراحی شده اند که سپس به مقادیر دما تبدیل می شود. در اینجا یک راهنمای گام به گام نحوه استفاده از یکی از آنها آمده است:

روشن کردن دوربین: اطمینان حاصل کنید که دوربین تصویرگر حرارتی شارژ شده یا به منبع برق متصل است، سپس آن را روشن کنید.

کالیبراسیون: برخی از دوربین های حرارتی پیشرفته نیاز به کالیبراسیون قبل از استفاده دارند. دستورالعمل های سازنده را برای کالیبراسیون دستگاه به منظور اندازه گیری دقیق دنبال کنید.

انتخاب حالت: بسیاری از دوربین های حرارتی دارای حالت های مختلفی هستند (مثلاً نقطه ای، منطقه ای، دمای تفاضلی). حالت مناسب را براساس نیازهای اندازه گیری خود انتخاب کنید.

هدف گیری دوربین: دوربین را به سمت شیء یا منطقه ای که می خواهید اندازه گیری کنید نشانه بگیرید. اطمینان حاصل کنید که لنز دوربین تمیز و بدون مانع است تا تصویری واضح به دست آید.

ثبت تصویر: دوربین را ثابت نگه دارید و تصویر حرارتی را ثبت کنید. نمایشگر تصویری رنگ بندی شده را نشان می دهد که سطوح دمای مختلف را نمایان می کند.

تحلیل داده ها: اکثر دوربین ها دمای نقاط خاص، مناطق یا کل تصویر را به صورت بلادرنگ نمایش می دهند. از نرم افزار داخلی برای تحلیل داده ها استفاده کنید و برخی دوربین ها امکان ذخیره و صادر کردن تصاویر برای تحلیل بیشتر را فراهم می کنند.

استفاده از حسگرهای تماسی (ترموکوپل ها)

برای اندازه گیری های دقیق تر، به ویژه هنگامی که با اجزاء کوچک کار می کنید، می توانید از حسگرهای تماسی مانند ترموکوپل ها استفاده کنید:

اتصال ترموکوپل: ترموکوپل را به جزء دستگاه تصویرگر حرارتی که می خواهید اندازه گیری کنید متصل کنید.

اتصال به متر: ترموکوپل را به یک دماسنج دیجیتال یا مولتی متر که قابلیت خواندن سیگنال های ترموکوپل را دارد وصل کنید.

خواندن دما: متر دمای جزء را نمایش می دهد. این روش اندازه گیری های بسیار دقیق و محلی ارائه می دهد.

اندازه گیری آمپراژ

استفاده از متر کلمپی

متر کلمپی به شما امکان می دهد جریان الکتریکی عبوری از یک هادی را بدون تماس مستقیم با سیم اندازه گیری کنید:

انتخاب محدوده: متر کلمپی را روی محدوده جریان مناسب (AC) یا (DC) براساس نیازهای اندازه گیری خود تنظیم کنید.

باز کردن فک ها: فک های متر کلمپی را باز کنید و آنها را دور هادی (سیم) حامل جریان قرار دهید. اطمینان حاصل کنید که فک ها کاملاً دور سیم بسته شده اند تا اندازه گیری دقیقی به دست آید

خواندن نمایشگر: متر کلمپی جریان عبوری از هادی را روی نمایشگر خود نمایش می دهد. مقدار را یادداشت کرده و در صورت لزوم ثبت کنید

استفاده از مولتی متر

مولتی متر می تواند آمپراژ را مستقیماً اندازه گیری کند، اما نیاز به شکستن مدار برای اتصال متر به صورت سری دارد: تنظیم مولتی متر: مولتی متر را روی محدوده جریان مناسب (AC یا DC) تنظیم کنید و اطمینان حاصل کنید که قادر به مدیریت جریان مورد انتظار است و هنگام انجام اندازه گیری ها از ایمنی پیروی می کند.

بعد از اینکه بارگیری صورت پذیرفت مقدار بار مصرفی بر حسب نوع مصرف در فصل های مختلف به عنوان مثال در فصل زمستان بیشتر از ۱۸ امپر به بالا مشکوک به داشتن مزرعه میباشند برای هر انشعاب تک فاز می باشد.

دقت اندازه گیری حرارتی برای تشخیص های تصویرگری حرارتی تحت تأثیر عوامل زیر قرار دارد.

ϵ, T تعیین نادرست ضریب تابش - ضریب تابش جسم اندازه گیری شده

بار فعلی پایین تجهیزات الکتریکی اندازه گیری شده، زیرا بار فعلی نقش مهمی در ارزیابی گرم شدن اندازه گیری دارد

تأثیر اشیاء داغ دیگر نزدیک به کابل اندازه گیری شده و تعیین نادرست دمای محیط می توانند هر دو باعث تغییر ضریب تابش شوند،

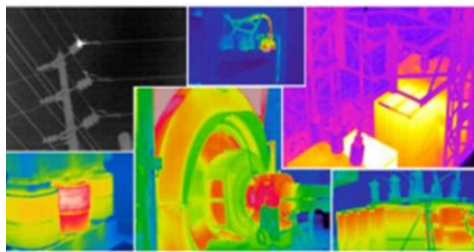
تفسیر نادرست مقادیر اندازه گیری شده دما،

سطوح مختلف (سطح می تواند رنگی، سطح اکسید شده و رنگ پوسته شده بر روی مواد باشد) ممکن است باعث ارزیابی نادرست نتایج شود.

برای تشخیص تابش مادون قرمز توسط تصویربرداری حرارتی در انتقال و توزیع نیروی برق داخلی، لازم است بسیاری از عوامل مرتبط با دقت اندازه گیری در نظر گرفته شوند.

اساس برای تشخیص غیرمخرب دستگاه های الکتریکی با استفاده از سیستم های تصویربرداری حرارتی، توانایی ثبت و کار با تابش مادون قرمز (تابش حرارتی) به شکل تصاویر حرارتی واقعی از اشیاء اندازه گیری شده است و بر اساس داغی بیش از حد بخش های خاصی از اشیاء تشخیص داده شده، عیب (نقص) را شناسایی کرد.

تحلیل تحقیقات نشان می دهد که روش مبتنی بر شناسایی تصاویر حرارتی ممکن است برای کارشناسان فنی سودآور باشد.



شکل ۶. ترموگرام تجهیزات الکتریکی

مشکلات زمانی رخ می‌دهند که جسم توسط اشیاء دیگر با دمای بالا احاطه شده باشد و این دماها بالاتر از دمای جسم مورد بررسی باشند. در این حالت، تابش خود جسم به T_0 و ϵ_0 بستگی دارد که تحت تأثیر خطای تابش بازتابیده ناشی از اشیاء محیطی با دمای T_e و ضریب تابش ϵ_e قرار می‌گیرد. اگر ضریب بازتاب به عنوان ρ_e خطای تابش اندازه‌گیری شود، بخشی که خطا را مشخص می‌کند نسبت به T_e ، ϵ_e و ρ_e متناسب است.

با توجه به محاسباتی که صورت پذیرفته در مناطقی که دمای انجا بالا باشد حرارت کابل ها احتمال خطای ان بالا میرود و حتما کابل ها باید بارگیری شوند.

مطالعه موردی

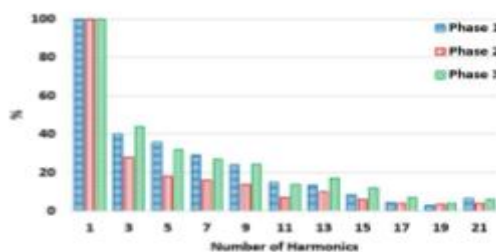
این بخش شامل اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در یک شبکه ولتاژ پایین، همچنین روش تعیین بارهای الکتریکی تشکیل شده در برج‌های دستگاه ماینر از طریق جریان‌های حرارت کابل است. در این اندازه‌گیری‌ها، یک تحلیلگر حرارت کابل برای نمایش موج‌های نگهداری در زمان واقعی و حرارت کابل در زمان واقعی، انجام ضبط طولانی مدت و ثبت رویداد در صورت نیاز استفاده شده است. ابتدا، در یک سیستم توزیع ولتاژ پایین سه فاز چهار سیمه، حرارت کابل‌های دو بار الکتریکی مختلف که شامل بسیاری از برج‌های دستگاه ماینر هستند، اندازه‌گیری شده است.

اندازه‌گیری شده و سپس ثبت شده است. در گروه اول، ده برج دستگاه ماینر و یک سرور وجود دارد و این برج‌های دستگاه ماینر در یک شبکه مشترک کار می‌کنند. شکل زیر جریان‌های کشیده شده توسط ده برج دستگاه ماینر و یک سرور را نشان می‌دهد. همچنین، اختصارات باید اولین باری که در متن ظاهر می‌شوند، تعریف شوند، حتی اگر قبلاً در چکیده تعریف شده باشند. از اختصارات در عنوان استفاده نکنید مگر اینکه اجتناب‌ناپذیر باشند.

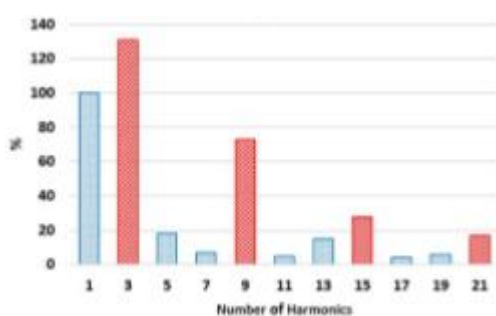


شکل ۸. جریان‌های کشیده شده توسط ده برج دستگاه ماینر و یک سرور

با بررسی شکل ۸، جریان مشاهده می‌شود که بر روی کابل انشعاب جریان دارد. این جریان کابل انشعاب به دلیل این است که فازها نامتعادل هستند و بارها جریان حرارت کابل را می‌کشند. برای به دست آوردن ویژگی‌های حرارت کابل یک تأسیسات، طیف حرارت کابل جریان‌های جاری بر روی فازها و کابل انشعاب باید بررسی شود. شکل ۹ طیف حرارت کابل جریان‌های فاز و کابل انشعاب را نشان می‌دهد. هنگامی که طیف حرارت کابل فازها در شکل ۹ بررسی می‌شود، مشاهده می‌شود که سیستم جریان حرارت کابل بالایی می‌کشد، اما ویژگی خاصی برای حرارت کابل فازها که قابل مشاهده باشد وجود ندارد. با بررسی طیف حرارت کابل جریان کابل انشعاب، مشاهده می‌شود که حرارت کابل‌های سه فاز که با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند، به طور قابل توجهی غالب بر سایر حرارت کابل‌ها هستند. علاوه بر این، بسته به اینکه بار نامتعادل باشد یا نه، جریان مؤلفه اصلی بر روی کابل انشعاب جریان دارد. دامنه حرارت کابل‌های سه فاز بیشتر از مقدار مؤلفه اصلی جریان دار بر روی کابل انشعاب است. این نشان می‌دهد که تا چه حد حرارت کابل‌های سه فاز ناشی از بارهای الکتریکی دستگاه ماینر بر روی کابل انشعاب غالب هستند.



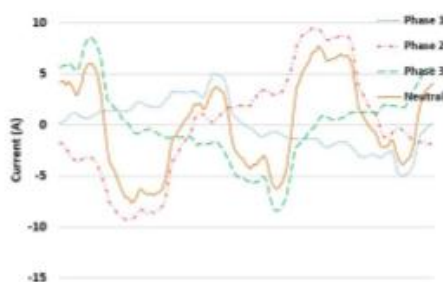
(a)



(b)

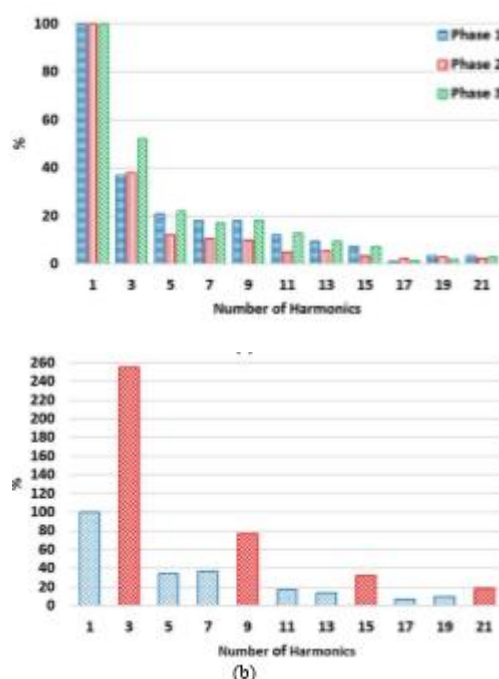
شکل ۹. (الف) طیف حرارت کابل جریان‌های فاز، (ب) طیف حرارت کابل جریان‌های کابل انشعاب

در گروه دوم، چهل برج دستگاه ماینر و یک سرور وجود دارد و این برج‌های دستگاه ماینر در یک شبکه مشترک کار می‌کنند. شکل ۱۰ جریان‌های کشیده شده توسط چهل برج دستگاه ماینر و یک سرور را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. جریان‌های کشیده شده توسط چهل برج دستگاه ماینر و یک سرور

مشابه با تحلیل اول، طیف حرارت کابل جریان های جاری بر روی فازها و کابل انشعاب برای تعیین ویژگی حرارت کابل مورد نظارت قرار گرفتند. شکل ۱۱ طیف حرارت کابل جریان های فاز و کابل انشعاب را نشان می دهد. در شکل ۱۱ مشاهده می شود که حرارت کابل های سه فاز بر دیگر حرارت کابل ها غالب هستند، که مشابه با بررسی اول است. با این حال، هنگامی که اندازه حرارت کابل های سه فاز با حرارت کابل های ساده مقایسه می شود برتری حرارت کابل های سه فاز در مقایسه با حرارت کابل های ساده در مقایسه با تحلیل اولیه بسیار بیشتر است. دلیل اصلی این موضوع، افزایش تعداد برج های دستگاه ماینر در سیستم است. با افزایش تعداد برج های دستگاه ماینر متصل به سیستم، حرارت کابل های سه فاز بیشتر آشکار و حتی بیشتر از مقدار مؤلفه اصلی غالب می شوند.



شکل. (الف) طیف حرارت کابل جریان های فاز، (ب) طیف حرارت کابل جریان های کابل انشعاب

به عنوان نتیجه ای از تحلیل اندازه گیری های انجام شده بر روی دو گروه مختلف از دستگاه های ماینر، ثابت شده است که بارهای الکتریکی دستگاه های ماینر بر کابل انشعاب بسیار غالب بوده و حرارت کابل های سه فاز را تشکیل می دهند. به دلیل تعداد زیاد دستگاه های ماینر در مراکز ارزهای رمزنگاری شده، تأسیسات تولید ارزهای رمزنگاری شده جریان هایی را تولید می کنند که در کابل انشعاب توسط حرارت کابل های سه فاز غالب شده اند. شرکت های توزیع برق با تعداد زیادی از مصرف کنندگان مشاهده می کنند که مصرف کنندگانی که در خطوط یا ترانسفورماتورهای توزیع جریان های حرارت کابل سه فاز بالایی مشاهده می شوند، احتمالاً دارای تأسیسات تولید ارزهای رمزنگاری شده هستند. به دلیل این شک قوی، بر اساس داده ها، می توان با به دست آوردن سریع مجوز قانونی، بررسی دقیقی در تأسیسات انجام داد.

استفاده غیرقانونی از برق یا تولید ارزهای رمزنگاری شده غیرقانونی، اقدام های لازم قانونی را می توان انجام داد. وجود حرارت کابل های سه فاز بر روی کابل انشعاب یک تأسیسات همیشه نشان دهنده بار دستگاه های ماینر نیست، اما با در نظر گرفتن بار الکتریکی کل تأسیسات، تعداد بالایی از حرارت کابل های سه فاز بر روی کابل انشعاب در مراکز داده یا مزارع معدن کاری ارزهای رمزنگاری شده مشاهده می شود.

نتیجه گیری

هر کابل انشعاب دارای تصویربرداری حرارتی منحصر به فردی است. در این مقاله، یک روش نوآورانه توضیح داده شده است که با استفاده از آن می توان با دقت بالایی داده های مشکوک را با بررسی ویژگی های تصویربرداری حرارتی استخراج غیرقانونی مزارع ارز دیجیتال شناسایی کرد. شرکت های توزیع برق با مشکلات مختلفی در شناسایی فعالیت های مشکوک مواجه هستند، مانند عدم امکان دسترسی به املاک خصوصی و طولانی بودن روند قانونی برای شناسایی تأسیسات تولید ارز دیجیتال با استفاده از روش های سنتی. علاوه بر این، تولید ارزهای دیجیتال غیرقانونی در مناطقی با نرخ بالای برق دزدی/نشتی یک چالش بزرگ دیگر در شناسایی این تأسیسات است.

با انجام اندازه گیری های پیشنهادی، امکان شناسایی مراکز تولید ارز دیجیتال غیرقانونی با دریافت ویژگی های تصویربرداری حرارتی فراهم می شود. با این حال، این اندازه گیری نمی تواند با دقت ۱۰۰٪ تعیین کند که یک تأسیسات به طور غیرقانونی ارز دیجیتال تولید می کند. به همین دلیل، شرکت های توزیع برق باید ارزیابی ریسک را با استفاده از ویژگی های تصویربرداری حرارتی خاص انجام دهند. به عنوان نتیجه این ارزیابی ریسک، مجوزهای قانونی لازم باید برای بازرسی تأسیسات با ریسک بالا دریافت شود. فرایند دریافت مجوز قانونی که یک روند طولانی است، بنابراین فقط برای تأسیسات با ریسک بالا اعمال می شود، نه هر تأسیسات. در نتیجه، تعداد تأسیساتی که باید مورد بازرسی قرار گیرند کاهش یافته، فرآیند سریعتر شده و کارایی افزایش می یابد.

منابع

1. S. Adhami, G. Giudici, and S. Martinazzi, "Why do businesses go crypto? An empirical analysis of initial coin offerings," J. Econ. Bus., vol. 100, no. March, pp. 64-75, 2018. Link
2. A. Gervais, G. O. Karame, V. Capkun, and S. Capkun, "Is Bitcoin a Decentralized Currency?," IEEE Secur. Priv., vol. 12, no. 3, pp. 54-60, 2014. Link
3. J. Yli-Huomo, D. Ko, S. Choi, S. Park, and K. Smolander, "Where Is Current Research on Blockchain Technology?-A Systematic Review," PLoS One, vol. 11, no. 10, p. e0163477, 2016. Link
4. K. Christidis and M. Devetsikiotis, "Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things," IEEE Access, vol. 4, pp. 2292-2303, 2016. Link
5. H. Vranken, "Sustainability of bitcoin and blockchains," Current Opinion in Environmental Sustainability. vol. 28, pp. 1-9, 2017. Link
6. Digiconomist, "Bitcoin Energy Consumption Index," digiconomist.net, Jan. 2019. [Online]. Available: Link. [Accessed: Apr. 5, 2019].
7. J. Truby, "Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of Blockchain technologies and digital currencies," Energy Res. Soc. Sci., vol. 44, no. February, pp. 399-410, 2018. Link.
8. S. Nakamoto, "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic cash system," Bitcoin, 2008.
9. B. Maurer, T. C. Nelms, and L. Swartz, "'When perhaps the real problem is money itself!': The practical materiality of Bitcoin," Soc. Semiot., vol. 23, no. 2, pp. 261-277, 2013. Link
10. G. Milunovich, "Cryptocurrencies, Mainstream Asset Classes and Risk Factors - A Study of Connectedness," The Australian Economic Review, vol. 51, no. 4, pp. 551-563, 2018. Link
11. A. Hayes, "The Decision to Produce Altcoins: Miners' Arbitrage in Cryptocurrency Markets," Ssrn, 2015. Link

12. B. U. Tüfek, "Electronic payment tools and approach of the future crypto currency," M. S. thesis, Bahçeşehir University, Istanbul, 2017.
13. Coinmarketcap, "Top 100 Cryptocurrencies by Market Capitalization," coinmarketcap.com, Jan. 2019. [Online]. Available: Link. [Accessed: Apr. 5, 2019].
14. Statista, "Bitcoin price index," www.statista.com, Jan. 2019. [Online]. Available: Link. [Accessed: Apr. 5, 2019].
15. S. Chow and M. E. Peck, "The bitcoin mines of China," IEEE Spectr., vol. 54, no. 10, pp. 46-53, 2017. Link
16. K. J. O'Dwyer and D. Malone, "Bitcoin Mining and its Energy Footprint," 25th IET Irish Signals Syst. Conf. 2014 2014 China-irel. Int. Conf. Inf. Communities Technol. (ISSC 2014/CICT 2014), pp. 280-285, 2014. Link
17. C. Malmo, "One Bitcoin Transaction Consumes As Much Energy As Your House Uses in a Week," motherboard.vice.com, Nov. 1, 2017. [Online]. Available: Link. [Accessed: Apr. 5, 2019].
18. Y. Liu, X. Chen, L. Zhang, C. Tang, and H. Kang, "An intelligent strategy to gain profit for bitcoin mining pools," Proc. - 2017 10th Int. Symp. Comput. Intell. Des. Isc. 2017, vol. 2, pp. 427-430, 2018. Link
19. K. Choo, R. M. Galante, and M. M. Ohadi, "Energy consumption analysis of a medium-size primary data center in an academic campus," Energy Build., vol. 76, pp. 414-421, 2014. Link
20. H. Rong, H. Zhang, S. Xiao, C. Li, and C. Hu, "Optimizing energy consumption for data centers," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 58, pp. 674-691, 2016. Link
21. Elitefixtures, "Bitcoin Mining Costs Throughout the World," www.elitefixtures.com, Feb. 26, 2018. [Online]. Available: Link. [Accessed: Apr. 5, 2019].
22. J. Li, N. Li, J. Peng, H. Cui, and Z. Wu, "Energy consumption of cryptocurrency mining: A study of electricity consumption in mining cryptocurrencies," Energy, vol. 168, pp. 160-168, 2018. Link
23. S. Kais and M. B. Mbarek, "Dynamic relationship between CO2 emissions, energy consumption and economic growth in three North African countries," International Journal of Sustainable Energy, vol. 36, no. 9, pp. 840-854, 2017. Link
24. M. Z. Nain, W. Ahmad, and B. Kamaiah, "Economic growth, energy consumption and CO2 emissions in India: a disaggregated causal analysis," International Journal of Sustainable Energy, vol. 36, no. 8, pp. 807-824, 2017. Link
25. Paris Agreement, "Convention on Climate Change: Climate Agreement of Paris.," United Nations, Tech. Report. 2015.
26. Kyoto Protocol, "On Accounting of Emissions and Assigned Amount," United Nations Framework Convention on Climate Change, Tech. Report. 2016.
27. O. Ç. Deniz, "High electricity consumption gave information against Chinese miner," kriptoparahaber.com, Jun. 23, 2018. [Online]. Available: Link. [Accessed: Apr. 5, 2019].
28. J. Mollen, "Meet the daring detectives sniffing out boobytrapped Bitcoin mines," thenextweb.com, Jul. 30, 2018. [Online]. Available: Link. [Accessed: Apr. 5, 2019]. 29
29. BBC News, "Russian nuclear scientists arrested for 'Bitcoin mining plot'," www.bbc.com, Feb. 9, 2018. [Online]. Available: https://www.bbc.com/news/world-europe43003740. [Accessed: Apr. 5, 2019].
30. ٣٠. Takvim, "Bitcoin miners focus on the Southeast," www.takvim.com.tr, Dec. 26, 2017. [Online]. Available: https://www.takvim.com.tr/teknoloji/2017/12/26/bitcoinmadencileri-guneydoguyu-gozlerine-kestirdi. [Accessed: Apr. 5, 2019].
31. ٣١. IHA, "27.5 million Turkish Liras investments are destroyed for illegal electricity," www.haberturk.com, Nov. 20, 2018. [Online]. Available: https://www.haberturk.com/diyarbakirhaberleri/64831711-kacak-elektrik-icin-27-5-milyon-liralikyatirim-tahrip-ediliyor. [Accessed: Apr. 5, 2019].

32. ۳۲. R. Jiang, R. Lu, Y. Wang, J. Luo, C. Shen, and X. Shen, "Energy-theft detection issues for advanced metering infrastructure in smart grid," *Tsinghua Sci. Technol.*, vol. 19, no. 2, pp. 105-120, 2014. <https://doi.org/10.1109/TST.2014.6787363>
33. ۳۳. S. Güzelgöz, H. B. Çelebi, T. Güzel, H. Arslan, and M. K. Mihçak, "Time frequency analysis of noise generated by electrical loads in PLC," *ICT 2010 2010 17th Int. Conf. Telecommun.*, pp. 864-871, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICTEL.2010.5478758>
34. ۳۴. A. J. Collin, C. E. Cresswell, and S. Ž. Djokić, "Harmonic cancellation of modern switch-mode power supply load," *ICHQP 2010 - 14th Int. Conf. Harmon. Qual. Power*, 2010. <https://doi.org/10.1109/ICHQP.2010.5625422>
35. ۳۵. B. Singh, S. Singh, A. Chandra, and K. Al-Haddad, "Comprehensive study of single-phase AC-DC power factor corrected converters with high-frequency isolation," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 7, no. 4, pp. 540-556, 2011. <https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166798>
36. ۳۶. S. Singh, B. Singh, G. Bhuvaneswari, and V. Bist, "Improved Power Quality Switched-Mode Power Supply Using BuckBoost Converter," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, no. 6, pp. 5194-5202, 2016. <https://doi.org/10.1109/TIA.2016.2600675>
37. ۳۷. IEEE Power and Energy Society, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society," *IEEE Stand.* 519-2014, vol. 2014, 2014.
38. ۳۸. Standards Council of Canada, "Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems," *CAN/CSA Stand. C61000-3-6-04*, 2014.
39. ۳۹. International Electrotechnical Commission, "Electromagnetic compatibility (EMC) Part 3-2: Limits for harmonic current emissions (equipment input current= 16 A per phase)," *IEC Stand. 1000-3*, 2018.
40. ۴۰. A. B. Nassif and Y. Wang, "Power Quality Characteristics and Electromagnetic Compatibility of Modern Data Centres," *2018 IEEE Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, pp. 1-4, 2018. <https://doi.org/10.1109/CCECE.2018.8447607>