

بررسی عوامل مؤثر بر نوسانات بیت کوین و خطرات مالی ذاتی در رمزپول‌ها با استفاده از مدل GARCH(1,1)

کاظم میرزایی^۱
وحید فتوح آبادی^۲
جمشید نصرت آبادی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۹/۳۰

چکیده

بیت کوین به عنوان یک پول رمزنگاری پیشگام، زمانی که بازارهای مالی جهانی در میان بحران قرار گرفته بودند معرفی شد. سیستم مالی غیر متمرکز بیت کوین برای تبدیل شدن به یک واحد پولی به منظور مبادلات مالی لازم است معیارهای پولی همچون واسط مبادله، سنجش ارزش و منبع حفظ ارزش را داشته باشد. در حال حاضر بزرگ‌ترین مانع بیت کوین برای داشتن چنین عملکردی، نوسان قیمتی آن است. در این تحقیق محدودیت‌های سیستم بیت کوین برای تفسیر دامنه خطرات مالی و امنیتی ذاتی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور یک مدل GARCH(1,1) برای تحلیل نوسانات بیت کوین با توجه به متغیرهای اقتصاد کلان در کشورهایی که بیت کوین در آن‌ها بیشتر مورد معامله قرار می‌گیرد، مورد استفاده قرار گرفته است. این تحقیق بیان می‌کند که چگونه سیستم بیت کوین به طور ذاتی تحت سیاست‌های کشورهای اثرگذار همانند آمریکا می‌تواند باعث افزایش خطرات مالی شود.

واژگان کلیدی: پول رمزنگاری شده، بیت کوین، نوسان، مدل GARCH، خطرات مالی.

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه امیرکبیر، (K90mirzaei@gmail.com)

^۲ دکتری مخابرات، گروه آمار و فناوری، دانشگاه عالی دفاع ملی.

^۳ کارشناس ارشد مدیریت فناوری اطلاعات دانشگاه پیام نور تهران. (nosratabadi61@yahoo.com)

۱. مقدمه

بیت کوین نخستین پول دیجیتال غیرمتمرکز است که پشتوانه و ارزش ذاتی ندارد، در واقع ارزش ذاتی بیت کوین مبتنی بر اعتماد و تمایل مردم برای ادامه استفاده از آن است (Tapscott, 2016). در حالی که حاضر صدها پول رمزنگاری دیگر (که در جامعه رمزپولها آنها را آلت کوین^۱ می‌نامند) وجود دارند که بر روی نقاط ضعف بیت کوین سرمایه‌گذاری کرده و نوآوری‌هایی با افزودن مشخصه‌های جدید ایجاد کرده‌اند. برای نمونه اتریم یک پلتفرم کاربردی است که همراه با یک پول رمزنگاری شده به نام اتر ساخته شده است. ارزش بازار اتر بیش از ۱۳ میلیارد دلار می‌باشد. زمان تأیید تراکنش در اتر تقریباً ۱۲ ثانیه است که به نسبت زمان ۱۰ دقیقه‌ای در بیت کوین از سرعت بسیار بالاتری برخوردار است. همچنین برخلاف بیت کوین محدودیت اندازه بلوک در آن وجود ندارد، این بدان معنی است که می‌تواند به لحاظ نظری مقدار نامحدودی تراکنش در هر ثانیه را پردازش کند (Wood, 2014; CoinMarketCap, 2018).

برتری بیت کوین نسبت به آلت کوین در اثر شبکه آن است. در زمان نگارش تعداد کل آدرس‌های منحصر به فرد مورد استفاده در بیت کوین تقریباً ۴۰۰ هزار و تعداد تراکنش‌های تأیید شده روزانه ۲۸۰ هزار عدد بوده است (www.blockchain.com, 2019).

در حال حاضر، بیت کوین عمدتاً با توجه به کمبودها در برنامه‌نویسی آن که ۱۰ سال پیش نوشته شده و منسوخ شده است، مورد تهدید قرار می‌گیرد (Ram & at el, 2016). از آن زمان، بیت کوین به یک شبکه گسترده مورد استفاده تبدیل شده است که اکنون نیازمند رویکردهای متفاوتی برای بهبود برخی مشکلات آن می‌باشد. در حال حاضر بزرگ‌ترین محدودیت اندازه بلوک یک مگابایتی آن می‌باشد. محدوده اندازه بلوک در سال ۲۰۰۹ برای حفاظت از شبکه در برابر حملات طراحی شد. این بدان معنی است که بیت کوین تنها می‌تواند ۷ تراکنش در ثانیه را تحمل کند که یک نقص در مقایسه با سایر سرویس‌های پرداخت کنونی همچون ویزا^۲ می‌باشد. ویزا به طور متوسط ۱۷۵۰ تراکنش‌ها در ثانیه را انجام می‌دهد، اما قادر به پردازش حداکثر ۲۴۰۰۰ تراکنش در ثانیه است (Huberman & at el, 2017).

کاربران بیت کوین می‌توانند این تصمیم را بگیرند که تراکنش آنها چه میزان کارمزد داشته باشد و این یعنی هر کسی که بالاترین کارمزد را بپردازد در فرآیند تأیید تراکنش اولویت‌بندی می‌شود. از آنجا که در حال حاضر بیش از ۷ تراکنش در ثانیه انجام نمی‌شود، معاملات به تأخیر می‌افتند و این باعث می‌شود متوسط هزینه یا کارمزد معاملاتی افزایش یابد. قبل از اینکه شبکه به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار گیرد، اغلب تراکنش‌ها به طور رایگان انجام می‌شد. با این حال، متوسط کارمزد فعلی برای جلوگیری از تأخیر، برابر با ۰٫۳۷ دلار می‌باشد که به عنوان یک ضعف در سیستم بیت کوین شناخته می‌شود (Ram & at el, 2016).

حتی برجسته‌ترین توسعه‌دهندگان بیت کوین متقاعد شده‌اند که مقیاس‌پذیری یک مشکل مبرم است که حیات سیستم را به دلیل زمان‌بر بودن تأیید تراکنش‌ها و کارمزدهای بالاتر، تهدید می‌کند (Karame, 2016).

¹ altcoin

² Visa

2016). برای غلبه بر این مسئله لازم است کدها اصلاح شوند که این نیز منشأ اختلاف نظر در جامعه بیت کوین می‌باشد. همانطور که قبلاً اشاره شد، هر تغییری در کد بیت کوین منجر به ایجاد فورک می‌شود و «استخراج کنندگان»^۱ در این گونه موارد بالقوه خطرناک مردم هستند. مخالفان افزایش اندازه بلوک ادعا می‌کنند که این تصمیم می‌تواند با افزایش منابع مورد نیاز برای استخراج، به نامتمرکز بودن بیت کوین آسیب برساند (کریمی و منتظری، ۱۳۹۶). آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که معاملات به اصطلاح خارج از زنجیره را اجرا کنند که به این معنی است که تراکنش‌های کوچک‌تر در خارج بلاکچین اتفاق بیفتند. مهم نیست که کدام راه‌حل اجرا شود، اگر مقیاس‌پذیری به زودی برطرف نشود، کاربرها به دیگر رمپول‌ها مانند اتریوم با کارمزد پایین‌تر و زمان کوتاه‌تر در تأیید تراکنش‌ها مهاجرت می‌کنند (مرادزاده، ۱۳۹۵؛ رضا دوست و رضانی شمایی، ۱۳۹۷).

مسئله مهم دیگر عدم ناکارآمدی قدرت بیت کوین است (منتصر کوهساری، ۱۳۹۶). در زمان نگارش، «استخراج کنندگان» تقریباً ۴۳ میلیون تراکنش در ثانیه در شبکه بیت کوین اجرا می‌کنند به طور متوسط، شرکت‌های استخراج‌کننده برای هر تراکنش بر ثانیه ۱۱۵ وات برق مصرف می‌کنند (www.digiconomist.net, 2019). با این فرض، شبکه بیت کوین در حال حاضر به صورت تقریبی ۴۷۱۵ مگاوات انرژی مصرف می‌کند. برای درک بهتر میزان مصرف انرژی در شبکه بیت کوین می‌توان آن را با یک سیستم پرداخت دیگر مانند ویزا مقایسه کرد. بر این اساس در ویزا برای هر ۱۰۰ هزار تراکنش ۱۶۹ کیلووات ساعت برق مصرف می‌شود در حالی که در بیت کوین برای هر تراکنش ۴۶۰ کیلووات ساعت برق مصرف می‌شود (www.digiconomist.net, 2019). ناکارآمدی توان بیت کوین به دلیل محاسبات فراوان رمزنگاری موردنیازی است که استخراج‌کنندگان برای تأیید تراکنش‌ها باید استفاده کنند (O'Dwyer & Malone, 2014).

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

همانطور که گفته شد، در حال حاضر بزرگ‌ترین مسئله‌ای که سبب می‌شود بیت کوین به عنوان پول کارایی لازم را نداشته باشد نوسانات آن است. مدل‌های مرسوم برای اندازه‌گیری نوسان مانند انحراف استاندارد و انحراف از میانگین در میان دیگر مدل‌ها، همبستگی واریانس بازدهی‌ها که ممکن است در طول وضعیت‌های بحرانی متغیر باشند را در نظر نمی‌گیرند. این مدل‌ها تنها برای وضعیت‌هایی که در آن نوسان ثابت است در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که مدل‌هایی مانند مدل GARCH که به نوسانات متغیر زمان اشاره دارد، بسیار رایج‌تر هستند.

گرانوالد^۲ با نوعی مدل GARCH نشان داد، قیمت بیت کوین به شدت با حرکات شدید در روند آن مشخص می‌شوند که نشانه‌ای از یک بازار نابالغ است (Gronwald, 2014). دیبرگ^۳ قابلیت‌های یک

¹ Miners

² Gronwald

³ Dyhrberg

دارایی مالی را برای بیت کوین بررسی کرد. با استفاده از یک مدل GARCH نامتقارن، او شواهدی یافت که بیت کوین ممکن است در مدیریت ریسک و برای سرمایه‌گذاران که کم ریسک هستند، خصوصاً در مواقعی که پیش‌بینی می‌شود بازار در شوک‌های منفی قرار گیرد، مفید باشد (Dyhrberg, 2016). بوری^۱ و همکاران دریافتند که بیت کوین می‌تواند به عنوان یک منبع مؤثر عمل کند و نه به عنوان یک ابزار جهت پوشش ریسک سرمایه‌گذاری (Bouri & at el, 2017). اوراکارت^۲ نوسانات بیت کوین و توانایی پیش‌بینی مدل GARCH در بازار بیت کوین را مورد بررسی قرار داد. او دریافت که نوسانات در نیمه اول عمر بیت کوین بسیار بالا بوده اما در سال‌های اخیر کاهش یافته است (Urquhart, 2017).

۱-۲. اطلاعات

داده‌های بیت کوین از وب سایت^۳ coindesk که در آن قیمت بیت کوین به دلار و بر اساس متوسط قیمت در صرافی‌های پیشرو جهان می‌باشد، جمع‌آوری شده است. داده‌ها از تاریخ ۱ اکتبر ۲۰۱۳ تا ۱۵ ژانویه ۲۰۱۹ است. تعداد کل داده‌های جمع‌آوری شده ۱۹۳۰ داده می‌باشد.



شکل شماره (۲) شاخص قیمت بیت کوین

Source: <http://www.coindesk.com/price/>

به عنوان یک متغیر پاسخ، از لگاریتم بازدهی قیمت روزانه بیت کوین استفاده شده است. استفاده از لگاریتم بازدهی به خوبی توسط ادبیات تحقیق تجربی تأیید شده است زیرا گمان می‌رود که قیمت‌ها غیراستاندارد

¹ Bouri

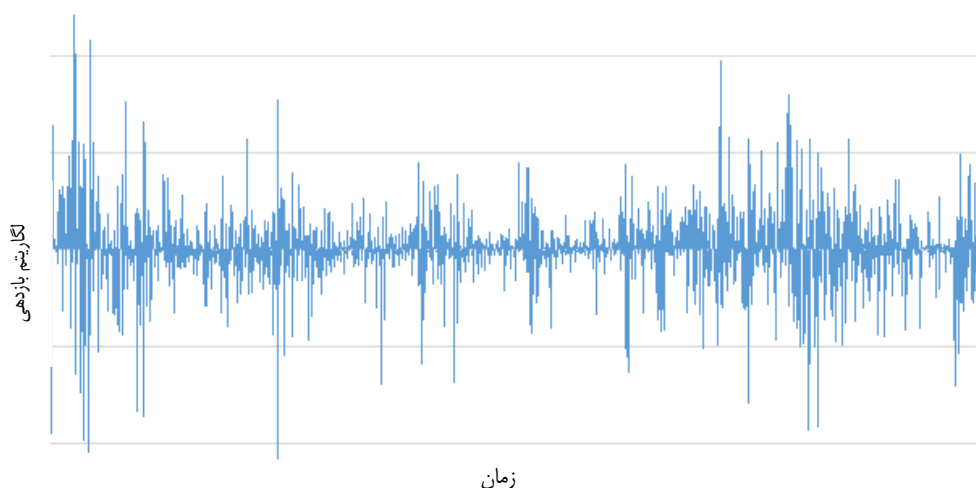
² Urquhart

³ <http://www.coindesk.com/price/>

باشند. مزیت استفاده از لگاریتم بازدهی این است که داده‌ها نرمال شده و به طور نرمال توزیع می‌شوند. برای محاسبه لگاریتم بازدهی بیت کوین از رابطه زیر استفاده شده است:

$$r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) \quad (1)$$

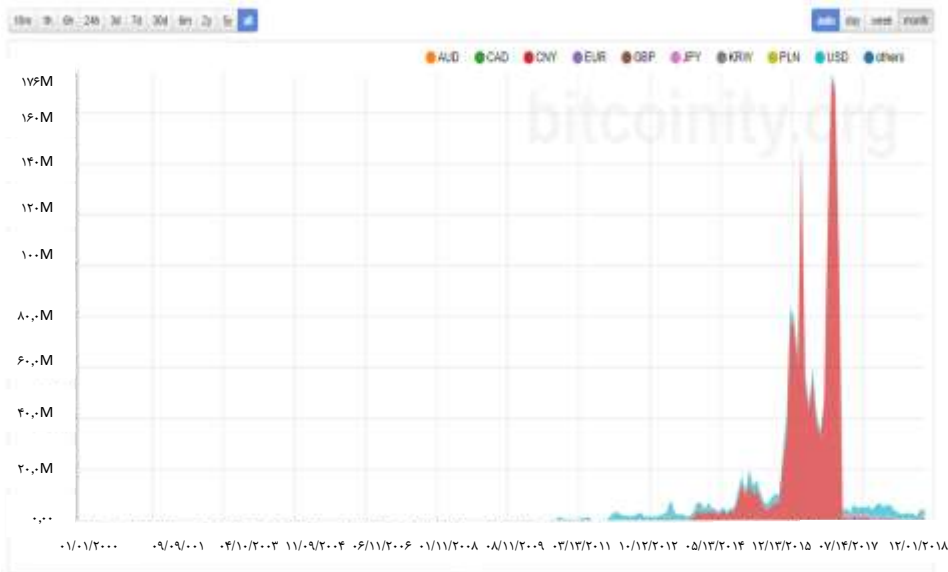
که در آن r_t لگاریتم بازدهی در لحظه t و P_t قیمت بیت کوین به دلار در زمان t می‌باشد. لگاریتم بازدهی قیمت‌های بیت کوین برای داده‌های موجود در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل شماره (۳) بازدهی لگاریتم قیمت بیت کوین به صورت روزانه

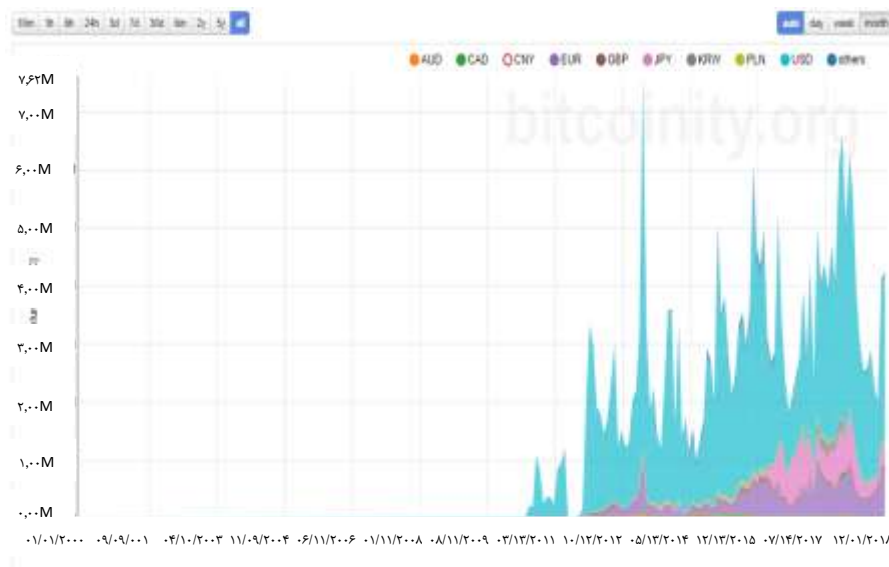
اکثر مطالعات قبلی بر پیش‌بینی سطوح نرخ ارز به جای نوسان آن‌ها تمرکز داشتند. هیچ اتفاق نظر وجود ندارد که چه عواملی بر نوسانات نرخ ارز در واحد پول تأثیر می‌گذارند، اما بیشتر مطالعات بر این باور هستند که نوسان نرخ ارز به طور کلی می‌تواند با متغیرهای اقتصاد کلان مانند تورم، نرخ بهره، عرضه پول، صادرات و تولید ناخالص داخلی توضیح داده شود (Antonakakis & Darby, 2013; Engel & West, 2005).

از آنجا که بیت کوین غیرمتمرکز است، نوسان نرخ ارز آن را نمی‌توان با متغیرهای اقتصاد کلان تنها یک کشور توضیح داد. به منظور تعیین این که کدام متغیرها باید مورد استفاده قرار بگیرند باید کشورهایی که بیشترین معامله در بیت کوین را دارند در نظر بگیریم. برای تعیین این کشورها، ما می‌توانیم از اطلاعات آماری حجم معاملات بیت کوین با ارزهای جهان استفاده کنیم. در شکل زیر حجم مبادلات بیت کوین با بیشترین ارزهای مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل شماره (۴) حجم معاملات بیت کوین به تفکیک ارز مورد استفاده

همانطور که در شکل (۴) نیز مشهود است، یوان (CNY) پیش از اعمال ممنوعیت‌های چین بر حجم مبادلات تجاری تسلط داشت. در صورتی که همان نمودار شکل قبل را بدون یوان در نظر بگیریم وضعیت سایر ارزها مشخص خواهد شد. از شکل (۵) در می‌یابیم که دومین واحد پول مبادله شده در بیت کوین دلار آمریکا (USD) است که پس از آن به ترتیب یورو (EUR) و ین (JPY) قرار گرفته‌اند. ارزهای دیگر حضور قابل توجهی در مبادلات بیت کوین ندارند. در نتیجه، می‌توان فرض کرد که چین و ایالات متحده مهم‌ترین عامل خارجی هستند که بر نوسانات بیت کوین تأثیر می‌گذارند، پس از آن اتحادیه اروپا و ژاپن؛ بنابراین، برای توضیح نوسانات نرخ رمزارز بیت کوین، از شاخص‌های کلان اقتصاد در این سه کشور و اتحادیه اروپا استفاده خواهیم کرد. علاوه بر این متغیرهای کلان اقتصادی، همچنین از قیمت طلا و قیمت نفت به عنوان دو شاخص اقتصادی اثرگذار استفاده خواهیم کرد.



شکل شماره (۵) حجم معاملات بیت کوین به تفکیک ارز مورد استفاده به استثنای یوان

شاخص‌های اقتصاد کلان توصیه‌شده توسط ادبیات با مشاهدات روزانه، نرخ مبادله ارز، شاخص بازار سهام، بازده اوراق قرضه ۱۰ ساله و نرخ بهره بین‌بانکی ۳ ماهه است. نرخ ارز نشان‌دهنده قدرت اقتصاد کلان یک کشور است، شاخص بازار سهام نشان‌دهنده وضعیت بازار سهام است، بازده اوراق قرضه دولتی نشان‌دهنده بازار اوراق قرضه و نرخ بهره بین‌بانکی ۳ ماهه نشان‌دهنده وضعیت بخش بانکی است؛ بنابراین متغیرهای بیرونی توضیحی عبارت‌اند از: جفت ارزهای USD/ EUR، USD/ JPY، USD/ BTC که برای راحتی در ادامه تنها از نام آن ارز (برای نمونه CNY به جای USD/ CNY) استفاده می‌شود و قیمت هر اونس طلا، قیمت جهانی نفت برنت، شاخص بازار سهام شانگهای، S&P500، شاخص بازار سهام منطقه اروپا stoxx50، شاخص بازار سهام ژاپن NIKKEI225، اوراق قرضه دولتی ۱۰ ساله کشورهای چین، ایالات متحده، آلمان و ژاپن، نرخ بهره بانکی ۳ ماهه در کشورهای چین، ایالات متحده، اروپا و ژاپن. همه متغیرهای اقتصاد کلان توضیحی را می‌توان در جدول (۲) مشاهده کرد. همه داده‌ها از بانک اطلاعات اقتصادی (FRED^۱) و بانک تجارت اقتصادی^۲ گرفته شده است.

¹ Federal Reserve Economic Data (*site: https://fred.stlouisfed.org*)

² Trading Economics (*site: https://tradingeconomics.com*)

جدول شماره (۲) متغیرهای توضیحی اقتصاد کلان

آمریکا	چین	
	$\Delta \ln CNY_{t-1}$	نرخ ارز
$\Delta \ln S \& P500_{t-1}$	$\Delta \ln Shanghai Stock Index_{t-1}$	شاخص بازار سهام
$US 10Y Govt Bond_{t-1}$	$China 10Y Govt Bond_{t-1}$	اوراق قرضه دولتی ۱۰ ساله
$US 3M Interbank Rate_{t-1}$	$China 3M Interbank Rate_{t-1}$	نرخ بهره بانکی ۳ ماهه

Source: <https://fred.stlouisfed.org> & <https://tradingeconomics.com>

ژاپن	اتحادیه اروپا	
$\Delta \ln JPY_{t-1}$	$\Delta \ln EUR_{t-1}$	نرخ ارز
$\Delta \ln NIKKEI 255_{t-1}$	$\Delta \ln Euro Stoxx_{t-1}$	شاخص بازار سهام
$Japan 10Y Govt Bond_{t-1}$	$Germany 10Y Govt Bond_{t-1}$	اوراق قرضه دولتی ۱۰ ساله
$Japan 3M Interbank Rate_{t-1}$	$EU 3M Interbank Rate_{t-1}$	نرخ بهره بانکی ۳ ماهه

Source: <https://fred.stlouisfed.org> & <https://tradingeconomics.com>

۳. مدل سازی

با توجه به نقش گسترده ناطمینی و بی ثباتی و اثرات ناشی از آن‌ها در نظریه‌های اقتصادی، کمی سازی و تحلیل عددی بی ثباتی در حوزه تجربی اقتصاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این پژوهش برای اندازه گیری و بررسی کمی ناطمینی از نوعی مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودرگرسیون به نام مدل GRACH استفاده می‌کنیم. به منظور درک اینکه مدل GARCH به چه صورت عمل می‌کند لازم است در ابتدا مدل ARCH را توضیح دهیم. مدل ARCH^۱ که اصطلاحاً به مدل واریانس ناهمسانی شرطی خودرگرسیون معروفند، اولین بار توسط رابرت انگل به عنوان روشی برای تخمین نوسانات متغیر در سال ۱۹۸۲ مطرح شد. ایده مدل ARCH این است که تخمین نوسانات، زمانی که داده‌های دوره قبل در نظر گرفته می‌شود، دقیق تر خواهد بود؛ این بدان معناست که نوسانات دوره فعلی به اطلاعات دوره پیشین وابسته (مشروط) است. هنگامی که واریانس خطاها ثابت است (واریانس همگن^۲)، از روش حداقل مربعات معمولی

^۱ Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

^۲ Homoscedastic

(OLS) استفاده می‌کنیم؛ اما در صورتی که واریانس خطاها نوسان داشته باشد (واریانس ناهمگن^۱) که در مورد بیت کوین نیز همین‌طور است، باید از روش حداقل مربعات وزن‌دار (WLS) برای تخمین رگرسیون استفاده کنیم. چراکه مدل ARCH خطاهای روش OLS را به یک فرآیند درونی منتقل می‌کند و در صورتی که داده‌ها واریانس ناهمسانی داشته باشند، روش رگرسیونی OLS استاندارد فرضیه‌های گاوس مارکوف را رد خواهد کرد چرا که رابطه $Var(\varepsilon) = \sigma^2$ برقرار نخواهد بود.

هر دو مدل ARCH و GARCH شامل دو معادله هستند. یکی معادله میانگین شرطی و دیگری معادله واریانس شرطی می‌باشد. از آنجایی واریانس تابعی از میانگین است هر دو معادله باید همزمان تخمین زده شود. معادله واریانس شرطی مدل ARCH که توسط انگل ارائه شده است به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 \quad (2)$$

که در آن σ_t^2 واریانس شرطی برای دوره فعلی t ، ε_{t-1}^2 مجذور جمله اخلاخل یا خطا در دوره قبلی $t-1$ که اصطلاحاً آن را المان ARCH می‌نامند و α_0 و α_1 ضرایب ثابت هستند که $\alpha_0 > 0$ و $\alpha_1 \geq 0$ برای اطمینان از مثبت بودن واریانس و $\alpha_1 < 1$ برای مانایی آن در نظر گرفته می‌شود. اگر جمله اخلاخل در دوره قبلی بزرگ باشد، پیش‌بینی برای نوسانات وابسته یا مشروط در دوره فعلی نیز بزرگ خواهد بود. می‌توان مدل بالا را به وقفه‌های بالاتر برای فرآیند خودرگرسیونی معادله واریانس تعمیم داد که در این صورت داریم:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 \quad (3)$$

مدل ARCH از مرتبه p یا ARCH(p) نشان می‌دهد چه میزان وقفه از جملات اخلاخل در نظر گرفته می‌شود. زمانی که p برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود یعنی ARCH(1)، این بدان معناست که تنها یک وقفه از مجذور جمله اخلاخل دوره قبلی در نظر گرفته شده است.

با این حال، در مدل ARCH نوسان مشروط دوره فعلی تنها به مجذور جمله اخلاخل دوره پیشین بستگی دارد، این بدان معناست که یک بحران با یک خطای بزرگ، همان مانایی را که معمولاً در طول یک بحران واقعی مشاهده می‌شود، ندارد. به منظور تصحیح این مورد و در نظر گرفتن وضعیت بحرانی با خطای بزرگ یک بسط از مدل ARCH توسط بولرسلو که به مدل GARCH^۲ معروف می‌باشد، توسعه داده شده است. رایج‌ترین مدل مورد استفاده در ادبیات مدل متقارن GARCH(1,1) است که به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 \quad (4)$$

که در آن σ_t^2 واریانس مشروط برای دوره فعلی t ، ε_{t-1}^2 مجذور جمله اخلاخل یا خطا در دوره قبلی $t-1$ که اصطلاحاً آن را المان ARCH می‌نامند، همچنین σ_{t-1}^2 واریانس دوره قبلی $t-1$ می‌باشد که اصطلاحاً آن

¹ Heteroskedastic

² Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

را المان GARCH می‌نامند و α_0, α_1 و β_1 ضرایب ثابت هستند که $\alpha_0 > 0, \alpha_1 > 0$ و $\beta_1 > 0$ برای اطمینان از مثبت بودن واریانس و $\alpha_1 + \beta_1 < 1$ برای مانایی آن در نظر گرفته می‌شود. مطابق با GARCH(1,1)، تخمین نوسان دوره فعلی تابعی از واریانس بلندمدت میانگین وزنی، مجذور جمله اخلاص و نوسان دوره قبلی می‌باشد. فرآیند GARCH با مرتبه p و q یا GARCH(p,q) نشان می‌دهد چه تعداد وقفه از مجذور جملات اخلاص که با p نشان داده می‌شود و چه تعداد وقفه از واریانس‌ها که با q نشان داده می‌شود در مدل لحاظ شده است. زمانی که هر دوی p و q برابر ۱ هستند یا GARCH(1,1) به معنای وقفه تنها برای دور پیشین در نظر گرفته شده است. معادله واریانس مشروط یا وابسته برای GARCH(p,q) به صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \dots + \beta_q \sigma_{t-q}^2 \quad (5)$$

پارامترهای کلیدی در مدل GARCH مجموع مؤلفه‌های α و β می‌باشند که به عنوان یک پارامتر برای اندازه‌گیری مانایی، نشان می‌دهد که با چه سرعتی اثر نوسانات پس از یک شوک بزرگ باقی می‌مانند. در ادبیات، از مدل‌های GARCH برای نشان دادن خوشه‌بندی نوسانات زمانی مختلف استفاده می‌شود، زمانی که داده‌های سری زمانی، دوره‌های پیوسته نوسانات بالا و یا دوره‌های پیوسته نوسانات پایین را نشان می‌دهند. مدل‌های GARCH تنها برای مدل‌سازی فرآیند تاریخی نوسان استفاده نمی‌شوند، بلکه در پیش‌بینی نوسانات چند دوره نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مدل‌های GARCH عمدتاً برای تحلیل و پیش‌بینی نوسانات بازده سهام، نرخ بهره و داده‌های تبادلی ارز استفاده می‌شود که در تخصیص پورتفولیو، بهینه‌سازی دینامیک و قیمت‌گذاری مفید است (Bollerslev & Wooldridge, 1992). در این مطالعه از یک مدل GARCH به خاطر توانایی آن برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی نوسان استفاده شده است. به علاوه، ثابت شده است که GARCH(1,1) یک مدل برتر برای تخمین نوسانات ارزی است (Hansen & Lunde, 2005؛ Bollerslev & Wooldridge, 1992)

اولین گام در استفاده از مدل GARCH(1,1) این است که معادله میانگین شرطی تعیین شود. همانطور که قبلاً گفته شد، معادله میانگین شرطی به طور همزمان با معادله واریانس شرطی تخمین زده می‌شود زیرا واریانس تابعی از میانگین است. در سری‌های زمانی ایستا، معمولاً معادله میانگین شرطی با یک مدل AR^1 ، $ARMA^2$ ، یا یک مدل MA^3 برآورد می‌شود. مدل AR بیش‌ترین استفاده را در ادبیات دارد مخصوصاً زمانی که نوسانات بازده مالی تجزیه و تحلیل می‌شود. به همین منظور نیز ما از مدل مرتبه اول خود رگرسیون $AR(1)$ استفاده می‌کنیم که به معنی تخمین میانگین دوره فعلی با استفاده از دوره پیشین می‌باشد. معادله میانگین شرطی که در مدل $AR(1)$ مورد استفاده قرار می‌گیرد در زیر نمایش داده شده است:

^۱ مدل خود رگرسیو (Autoregressive)

^۲ مدل خود رگرسیو میانگین متحرک (Autoregressive Moving Average Model)

^۳ مدل میانگین متحرک (Moving Average)

$$r_t = \beta_0 + \beta_1 r_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{with} \quad \varepsilon_t \approx i.i.d(0, \sigma^2) \quad \text{and} \quad |\theta| < 1 \quad (۶)$$

به منظور تعیین اینکه آیا متغیر توضیحی بر روی نوسانات بیت کوین تأثیر می‌گذارد یا خیر؟ هر دو مدل AR(1) و GARCH(1,1) را می‌توان با اضافه کردن متغیرهای توضیحی برای هر دو معادله میانگین شرطی و معادله واریانس شرطی که توسط ولاستکیس^۱ و مارکیلوس^۲ ارائه شده است، اصلاح نمود (Vlastakis & Markellos, 2012)؛ که رابطه میانگین اصلاح شده در رابطه ۶ آماده است:

$$\begin{aligned} r_t = & \beta_0 + \beta_1 r_{t-1} + \beta_2 \Delta \ln CNY_{t-1} + \beta_3 \Delta \ln EUR_{t-1} + \beta_4 \Delta \ln JPY_{t-1} \\ & + \beta_5 \Delta \ln Gold_{t-1} + \beta_6 \Delta \ln Oil_{t-1} + \beta_7 \Delta \ln SSI_{t-1} + \beta_8 \Delta \ln SP500_{t-1} \\ & + \beta_9 \Delta \ln Stoxx_{t-1} + \beta_{10} \Delta \ln NIKKEI_{t-1} + \beta_{11} \Delta ChinaB_{t-1} + \beta_{12} \Delta USB_{t-1} \\ & + \beta_{13} \Delta GerB_{t-1} + \beta_{14} \Delta JapB_{t-1} + \beta_{15} \Delta ChinaI_{t-1} + \beta_{16} \Delta USI_{t-1} + \beta_{17} \Delta GerI_{t-1} \\ & + \beta_{18} \Delta JapI_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (۷)$$

و معادله واریانس اصلاح شده به صورت زیر می‌باشد:

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 = & \exp(\lambda_0 + \lambda_1 \Delta \ln CNY_{t-1} + \lambda_2 \Delta \ln EUR_{t-1} + \lambda_3 \Delta \ln JPY_{t-1} \\ & + \lambda_4 \Delta \ln Gold_{t-1} + \lambda_5 \Delta \ln Oil_{t-1} + \lambda_6 \Delta \ln SSI_{t-1} + \lambda_7 \Delta \ln SP500_{t-1} \\ & + \lambda_8 \Delta \ln Stoxx_{t-1} + \lambda_9 \Delta \ln NIKKEI_{t-1} + \lambda_{10} \Delta ChinaB_{t-1} + \lambda_{11} \Delta USB_{t-1} \\ & + \lambda_{12} \Delta GerB_{t-1} + \lambda_{13} \Delta JapB_{t-1} + \lambda_{14} \Delta ChinaI_{t-1} + \lambda_{15} \Delta USI_{t-1} + \lambda_{16} \Delta GerI_{t-1} \\ & + \lambda_{17} \Delta JapI_{t-1}) + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (۸)$$

در ادبیات پیشنهاد شده است که معادله میانگین با متغیرهای توضیحی داخلی و معادله واریانس با متغیرهای توضیحی بیرونی اصلاح شوند. با این حال، بیت کوین متغیر داخلی دیگری غیر از رویدادهای مداخله‌گر مانند هک شدن صرافی‌های بیت کوین، منسوخ شدن ارزهای فیات و قوانین دولتی ندارد که آن‌ها نیز نمی‌توانند به عنوان تابعی از بازدهی مورد استفاده قرار گیرند. دیبرگ^۳ توصیه می‌کند که معادله میانگین را با متغیرهای توضیحی بیرونی اصلاح شود و در این مطالعه نیز از این رویکرد استفاده شده است (Dyhrberg, 2016)؛ بنابراین ما در این تحقیق برای هر دو معادله میانگین و واریانس از متغیرهای توضیحی بیرونی که در بخش قبل تشریح داده شد استفاده کردیم.

¹ Vlastakis

² Markellos

³ Dyhrberg

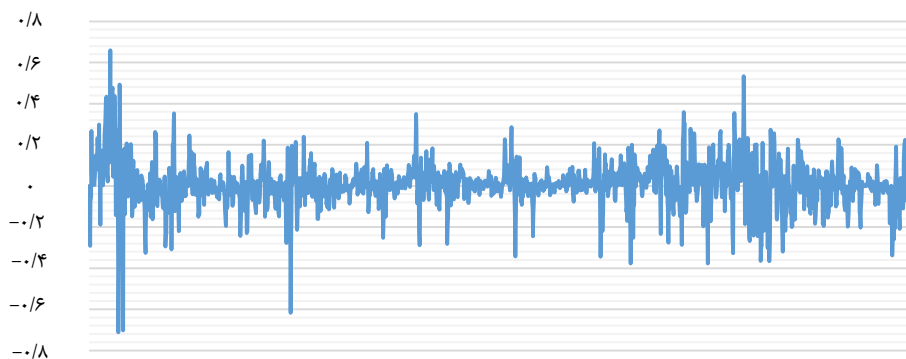
پیش از برآورد مدل $GARCH(1,1)$ ، لازم است ویژگی‌های آماری معادله میانگین مورد بررسی قرار گیرد. دو پیش شرط که باید برای تخمین مدل $GARCH(1,1)$ برآورده شوند عبارتند از:

۱. خوشه‌بندی نوسانات^۱

۲. اثر ARCH در جملات اخلاص

در مدل‌سازی ناهمسانی واریانس مفهوم خوشه‌بندی نوسانات در تحلیل سری‌های زمانی مالی به این معناست که نوسانات بزرگ به دنبال نوسانات بزرگ و نوسانات کوچک به دنبال نوسانات کوچک رخ می‌دهند. به این پدیده ناهمسانی شرطی گفته می‌شود؛ زیرا فرض می‌شود سری زمانی در حالت کلی ماناست، ولی واریانس مورد انتظار شرطی آن با زمان تغییر می‌کند (Engle, 1982).

نتایج آزمون خوشه‌بندی نوسانات در جملات اخلاص را می‌توان در شکل (۶) مشاهده کرد. شکل نشان می‌دهد، دوره‌هایی که نوسان پایین در جملات خطا یافت می‌شود با دوره‌های نوسان پایین همراه می‌شوند. این نشان می‌دهد که پس از بازدهی‌های بزرگ ما انتظار بازدهی بزرگ را خواهیم داشت و بازدهی‌های کوچک با بازدهی کوچک دنبال می‌شوند که به معنی آن است که جملات اخلاص به طور مشروط خودهمبستگی دارند؛ بنابراین، پیش شرط اول برآورده می‌شود و ما می‌توانیم به پیش شرط دوم برویم: آیا مدل ARCH بر جملات اخلاص اثر می‌گذارد؟



شکل شماره (۶) آزمون خوشه‌بندی نوسانات در جملات اخلاص

اثرگذاری ARCH مشخص می‌کند که آیا همبستگی در واریانس ناهمسانی وجود دارد یا نه. برای این منظور، باید یک آزمون ضرایب لاگرانژ^۲ (LM) روی ARCH انجام دهیم. فرضیه صفر در این تست این است که هیچ اثر ARCH وجود ندارد و فرضیه جایگزین برعکس آن می‌باشد. نتایج تست را می‌توان در

¹ Volatility Clustering

² Lagrange multiplier test

جدول (۳) مشاهده کرد. آزمون LM برای ARCH شواهدی قوی را فراهم می‌کند که در معادله میانگین یک اثر ARCH وجود دارد زیرا ما می‌توانیم فرضیه صفر را رد کنیم؛ بنابراین، مدل میانگین هر دو ضابطه را برآورد می‌کند و ما اعتبار لازم برای اجرای مدل $GARCH(1,1)$ را داریم.

جدول شماره (۳) آزمون ضریب لاگرانژ برای آزمون تأثیرگذاری معادله میانگین ARCH

سطح معناداری	df	کای دو	Lag(p)
۰/۰۰۰	۱	۱۴۸/۶۷	۱

پس از برآورد مدل $GARCH(1,1)$ با میانگین اصلاح شده $ARCH(1)$ در نرم‌افزار EViews خروجی آن در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول شماره (۴) ضرایب متغیرهای وابسته در مدل $GARCH(1,1)$

معادله واریانس	معادله میانگین	متغیر
-۱۹۹/۹۳۳*	-۰/۶۱۰۹۸	$\Delta \ln USD_{t-1}$
۶۱/۰۹۸۴۳*	-۰/۷۱۳۳۳*	$\Delta \ln EUR_{t-1}$
۳/۲۶۸۴*	۰/۲۰۷۳۴	$\Delta \ln JPY_{t-1}$
-۱۵/۹۷۶۱۲*	۰/۱۷۹۸۳	$\Delta \ln Gold_{t-1}$
-۲/۴۶۸۴*	۰/۰۷۴۵۶	$\Delta \ln Oil_{t-1}$
۳۹/۸۴۶۵۳*	۰/۰۸۲۰۲	$\Delta \ln Shanghai Stock Index_{t-1}$
۳۶/۹۱۸۶۳*	۰/۰۸۰۱۷	$\Delta \ln S \& P 500_{t-1}$
-۳۸/۹۱۳۳*	۰/۱۳۲۵۶	$\Delta \ln Euro Stoxx_{t-1}$
-۷/۸۷۱۶	-۰/۱۲۸۹۱	$\Delta \ln NIKKEI 225_{t-1}$
۱/۱۵۶۷۸۵*	-۰/۰۰۴۸۹	$China 10Y R Govt Bondt_{t-1}$
-۲/۶۹۴۳*	-۰/۰۰۰۲۵	$US 10Y Govt Bondt_{t-1}$
۴/۵۶۸۴۵*	-۰/۱۴۸۷۶	$Germany 10Y R Govt Bondt_{t-1}$
-۹/۴۸۴۲۱۰*	-۰/۰۰۹۷۲	$Japan 10Y Govt Bondt_{t-1}$
-۰/۳۲۶۷۸*	-۰/۰۰۵۱۳۶	$China 3M Interbank Ratet_{t-1}$
-۱/۷۸۹۹۸۴*	-۰/۰۰۹۸۶۴	$US 3M Interbank Ratet_{t-1}$
۲/۰۵۶۴۸*	-۰/۰۰۰۱۱۸	$EU 3M Interbank Ratet_{t-1}$
۳/۶۰۵۸۷	۰/۰۳۲۵۸	$Japan 3M Interbank Ratet_{t-1}$

متغیر	معادله میانگین	معادله واریانس
α		$0/198615^*$
β		$0/36458^*$
ثابت	$0/036973^*$	$-6/7884^*$

* نشان دهنده معنادار بودن آن ضریب در مدل می باشد

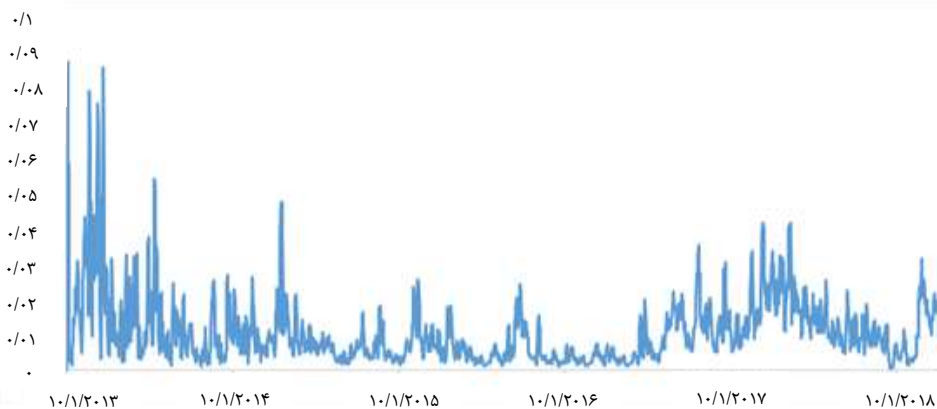
در معادله میانگین، اغلب متغیرهای توضیحی به لحاظ آماری معنی دار نیستند، تنها متغیر آماری معنی دار، بازدهی لگاریتمی جفت ارز EUR/USD است که نشان می دهد زمانی که لگاریتم بازدهی EUR/USD افزایش می یابد، لگاریتم بازدهی BTC/USD در دوره بعد کاهش خواهد یافت. با این حال، یک رگرسیون جداگانه برای تأیید یا رد این رابطه انجام شد و نشان داد که رابطه معنی دار نیست؛ بنابراین، ما می توانیم نتیجه بگیریم که هیچ یک از متغیرهای توضیحی در دوره قبلی در پیش بینی لگاریتم بازدهی بیت کوین در دوره فعلی معنی دار نیستند؛ به عبارت دیگر، بازدهی بیت کوین از همه متغیرهای توضیحی تحلیل شده مستقل می باشد.

در معادله واریانس هر دوی المان های ARCH و GARCH به لحاظ آماری معنادار هستند که به معنی آن است که با توجه به مدل ARCH بازدهی روز قبل بیت کوین بر روی نوسان روز فعلی آن اثرگذار است و همچنین با توجه به مدل GARCH نوسان روز قبل بیت کوین بر روی نوسان روز فعلی آن تأثیر می - گذارد. همچنین لازم به ذکر است که به دلیل $\beta > \alpha$ ، ما می توانیم نتیجه بگیریم که اثرات نوسان گذشته نسبت به اثرات شوک گذشته برتری دارد و اثرات نوسانات گذشته را باید در هنگام پیش بینی نوسانات بیت کوین بیشتر مورد توجه قرار داد. در مقایسه با معادله میانگین، اغلب متغیرهای توضیحی در معادله واریانس در توضیح نوسانات بیت کوین معنادار هستند که یک پیامد مطلوب می باشد.

مهم ترین یافته این است که متغیرهای توضیحی اقتصاد کلان چین، ایالات متحده و اروپا همگی برای پیش بینی نوسانات بیت کوین معنادار هستند. این امر نشان می دهد که بیت کوین نسبت به عوامل مؤثر بر ارزهای تعریف شده در کشور چین، ایالات متحده و اروپا واکنش نشان می دهد. علاوه بر این، نشان می دهد که بیت کوین در حال به بلوغ رسیدن برای تبدیل شدن به یک واحد پول به ویژه در این کشورها و اتحادیه اروپا است که نتیجه مطلوبی نیست چراکه شوک های اقتصاد کلان از چین، ایالات متحده و اتحادیه اروپا بر بیت کوین بیش از شوک های کشورهای دیگر تأثیر می گذارد. در صورتی که بخواهیم بیت کوین به عنوان یک واحد پول بین المللی جایگزین عمل کند، باید از کشورهای بزرگ مستقل شود و در سراسر جهان به طور گسترده مورد استفاده قرار گیرد. تا در این صورت شوک های اقتصاد کلان و تأثیر رویدادهای مداخله گسترش یابند و به اندازه امروز بیت کوین را آن چنان تحت تأثیر قرار ندهند، برای مثال، زمانی که چین در اوایل سال ۲۰۱۷ کاربران خود را از بیت کوین تعلیق کرد، در میان نگرانی هایی که استفاده از رمزنگاری برای تسهیل سرمایه مورد توجه قرار گرفته بود، قیمت بیت کوین در عرض یک هفته ۳۰ درصد کاهش یافت. از آن زمان به بعد، قیمت بهبود یافت و به بالاترین میزان در طول عمر بیت کوین رسید؛ اما درست بعد از آن که اوج

خود را گرفت، کمیسیون بورس اوراق بهادار آمریکا^۱ (SEC) با درخواست تأسیس صندوق سرمایه‌گذاری ارزی بیت کوین مخالفت کرد و قیمت آن ۲۴ درصد کاهش یافت. این‌ها تنها دو نمونه‌ای هستند که چگونه شوک‌های خارجی از کشورهای چین یا ایالات متحده به شدت بر نوسان بیت کوین تأثیر می‌گذارند. ضرایب بازدهی نرخ‌های ارز نشان می‌دهد که نوسان بیت کوین نسبت به تغییرات قیمت در USD بسیار حساس است. این نتیجه نیز مورد انتظار است، به این دلیل که اکثریت قریب به اتفاق معاملات بیت کوین در دو سال گذشته USD بوده است. البته دور از انتظار نیست که ادعا کنیم پیش از اعمال محدودیت‌های چین این اثر توسط ارز CYN وجود داشته است.

بازدهی حاصل از طلا و نفت در پیش‌بینی نوسانات بیت کوین قابل توجه هستند، اما ضریب نسبتاً کوچک آن‌ها به این معنی است که نوسان بیت کوین نسبت به تغییرات قیمت آن‌ها بسیار حساس نیست. یکی دیگر از یافته‌های قابل توجه، این است که یک شوک مثبت به USD، نوسان بیت کوین را کاهش می‌دهد. توضیحی که می‌توان داد این است که بیت کوین به عنوان یک دارایی یا یک کالای سرمایه‌ای عمل می‌کند. هنگامی که ریسک افزایش در نگهداری USD وجود دارد، افراد بیشتری ارز خود را به بیت کوین تبدیل می‌کنند و بنابراین حجم مبادلات را افزایش می‌دهند که در نتیجه نوسان بیت کوین را کاهش می‌دهد. تخمین واریانس مشروط لگاریتم بازدهی روزانه بیت کوین را می‌توان در شکل (۷) مشاهده کرد. همانطور که در شکل مشخص است نوسان‌ها به مرور پس از انتشار بیت کوین و عبور از دوره انتشار اولیه خود کم شده‌اند و مدل به‌درستی آن را تخمین می‌زند اما پس از شوک ممنوعیت چین نوسانات شدت گرفته‌اند.



شکل شماره (۷) تخمین واریانس مشروط لگاریتم بازدهی روزانه بیت کوین

۴. نتیجه‌گیری

رمزپول‌ها یک انقلاب در میان ارزهای دیجیتال به حساب می‌آیند. از آنجایی که اولین آن‌ها در سال ۲۰۰۹ به وجود آمده است با این حال در این زمان توانسته‌اند با جذب کاربران فراوان توجه دولت‌ها را به خود جلب

¹ U.S. Securities and Exchange Commission

کنند. در مقایسه با پول‌های رایج، پول‌های رمزنگاری شده رویکردهای متفاوتی برای مالکیت و ناشناس بودن دارند. این تفاوت‌ها خطرات زیادی را ایجاد می‌کند، اما فرصت‌های متعددی نیز به همراه دارد. اکنون کشورهای مختلف به این دلیل که این خطرات آن‌ها را تهدید می‌کنند تمایل به درک آن‌ها دارند. بسیاری از این خطرات را می‌توان با استفاده از آموزش و آگاهی دادن کاربران و با استفاده از سیاست‌های پول‌شویی^۱ و شناخت کاربر^۲ مهار کرد. ناتوانی مقامات قانونی برای برداشت وجوه از یک حساب رمزپول و برگشت‌ناپذیری تراکنش‌ها به عنوان بزرگ‌ترین خطرها در این ساختار شناخته می‌شوند.

نوسان بیت کوین بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات قیمت دلار آمریکا دارد. در حال حاضر، شوک‌های اقتصادی کلان از ایالات متحده، اتحادیه اروپا و چین بر بیت کوین بیش از شوک‌های کشورهای دیگر تأثیر می‌گذارد. از این رو نمی‌توان بیت کوین را به‌عنوان جایگزین بین‌المللی قابل اتکا از واحدهای پول فیات در نظر گرفت. تنها راه قابل اتکا بودن آن وابستگی کمتر به کشورهای یاد شده بخصوص ایالات متحده می‌باشد. البته این نیز بعید نیست که در آینده ایالات متحده با توجه به تأثیرگذاری خود بر روی این رمزپول از آن به‌عنوان اهرام فشار استفاده کند. از این رو پیشنهاد می‌شود در وضعیت کنونی اقتصاد کشور و تحریم‌های ظالمانه کشور آمریکا، استفاده از رمزپول‌های رایج همچون بیت کوین در تجارت بین‌الملل کشور و به‌صورت کلان استفاده نشود.

¹ AML

² KYC

منابع و مأخذ

منابع فارسی

- رضا دوست، نیما و رمضانی شمامی، مژگان (۱۳۹۷). بررسی بلاکچین و کاربرد آن در حوزه‌های مختلف، دومین کنفرانس ملی دانش و فناوری علوم مهندسی ایران، تهران، مؤسسه برگزار کننده همایش‌های توسعه محور دانش و فناوری سام ایرانیان.
- کریمی، علی و منتظری، آزاده (۱۳۹۶). مروری بر پول دیجیتال بیت کوین و جایگاه آن در تجارت ایران، چهارمین کنفرانس ملی فناوری اطلاعات، کامپیوتر و مخابرات، مشهد، دانشگاه تربت‌حیدریه.
- مرادزاده، منصوره (۱۳۹۵). بیت کوین در اقتصاد جهانی، دومین همایش ملی چشم‌انداز تکنولوژی کامپیوتر و شبکه در ۲۰۳۰.
- منتصر کوهساری، هدیه (۱۳۹۶). تأثیر تکنولوژی بلاک چین در بازار آینده انرژی، کنفرانس بین‌المللی تحقیقات بنیادین در مهندسی برق، تهران، دانشگاه ابرار.

منابع لاتین

- Antonakakis, N. and J. Darby, (2013). Forecasting volatility in developing countries' nominal exchange returns. *Applied Financial Economics*, 23(21): p. 1675-1691.
- Bitcoin Energy Consumption Index. (2019); Available from: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>.
- Bollerslev, T. and J.M. Wooldridge, (1992). Quasi-maximum likelihood estimation and inference in dynamic models with time-varying covariances. *Econometric reviews*. 11(2): p. 143-172.
- Bouri, E., et al., (2017). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin: Is it really more than a diversifier? *Finance Research Letter*. 20: p. 192-198.
- CoinMarketCap: Cryptocurrency Market Capitalizations. (2018); Available from: <https://coinmarketcap.com/>.
- De Grauwe, P., (1988). Exchange rate variability and the slowdown in growth of international trade. *Staff Papers*, 35(1): p. 63-84.
- Dyhrberg, A.H., Bitcoin, (2016). gold and the dollar—A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*. 16: p. 85-92.
- Engel, C. and K.D., (2005). West, Exchange rates and fundamentals. *Journal of political Economy*. 113(3): p. 485-517.
- Engle, R.F., (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, p. 987-1007.

- Gronwald, M., (2014). The Economics of Bitcoins-Market Characteristics and Price Jumps.
- Hansen, P.R. and A. Lunde, (2005).A forecast comparison of volatility models: does anything beat a GARCH (1, 1)? Journal of applied econometrics, 20(7): p. 873-889.
- Huberman, G., J.D. Leshno, and C.C. Moallemi, (2017) Monopoly without a monopolist: An economic analysis of the bitcoin payment system.
- Karame, G. (2016). On the security and scalability of bitcoin's blockchain. in Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. 2016. ACM.
- O'Dwyer, K.J. and D. Malone, (2014) Bitcoin mining and its energy footprint.
- Poon, S.-H. and C. Granger, (2005). Practical issues in forecasting volatility. Financial analysts journal, 61(1): p. 45-56.
- Ram, A., W. Maroun, and R. Garnett, (2016). Accounting for the Bitcoin: accountability, neoliberalism and a correspondence analysis. Meditari Accountancy Research. 24(1): p. 2-35.
- Tapscott, D. and A. Tapscott, (2016).Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world.: Penguin.
- The estimated number of tera hashes per second (trillions of hashes per second) the Bitcoin network is performing.
- The number of daily confirmed Bitcoin transactions. (2019); Available from: <https://www.blockchain.com/charts/n-transactions>.
- The total number of unique addresses used on the Bitcoin blockchain. (2019); Available from: <https://www.blockchain.com/charts/n-unique-addresses>.
- Urquhart, A., The volatility of Bitcoin. (2017).
- Vlastakis, N. and R.N. Markellos, (2012) Information demand and stock market volatility. Journal of Banking & Finance,36(6): p. 1808-1821.
- Wood, G. (2014). Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger. Ethereum project yellow paper. 151: p. 1-32.

