RAQAMLI AKTIVLAR VOLATILLIGINING STATISTIK VA EHTIMOLLIK MODELLARI

Shakirova Nigora Axralovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
Statistika kafedrasi PhD, dotsenti
Elektron pochta:shakirova0130@gmail.com
Orcid: 0009-0006-5025-4764
Narzullayev Husniddin Bahronovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, "Moliya" fakulteti
E-mail:husniddinnarzullayev08@gmail.com

Annotatsiya. Raqamli aktivlar riskini baholashdagi asosiy muammo daromadlilik dispersiyasining vaqt bo'yicha o'zgarishi va ekstremal yo'qotishlarning normal taqsimotga nisbatan yuqori ehtimolligidir. Maqolaning maqsadi Bitcoin va Ethereum volatilligini baholash uchun statistik diagnostika, shartli geteroskedastiklik va dum riskini yagona metodologik tizimga birlashtirishdan iborat. Tadqiqot dizayni 2021–2026-yillardagi kunlik narxlar asosida logarifmik daromadlilikni hisoblash, deskriptiv statistika, stasionarlik va ARCH effektlarini tekshirishni nazarda tutadi. GARCH va EGARCH modellari normal hamda Student-t innovatsiyalari ostida taqqoslanadi. Risk Value at Risk va Expected Shortfall orqali, prognoz sifati esa tanlanmadan tashqari xatolar va qamrov testlari yordamida baholanadi. Adabiyotlar sintezi og'ir dumlarni hisobga olish zarurligini tasdiqlaydi, biroq murakkab yoki asimmetrik modelning universal ustunligini qo'llab-quvvatlamaydi. Taklif etilayotgan metodologik hissa model murakkabligini emas, risk prognozining kalibrlanishini tanlov mezoniga aylantirishdir. Keltirilgan sonlar nashr etilgan tadqiqotlarga tegishli bo'lib, yangi davr uchun original baholar sifatida talqin qilinmaydi. Natijalar investitsiya limitlari, kapital buferlari va stress-testlarni loyihalash uchun tekshiriladigan tadqiqot asosini yaratadi.

Kalit so'zlar: raqamli aktivlar, Bitcoin, Ethereum, volatillik, GARCH, EGARCH, og'ir dumlar, VaR, Expected Shortfall.

Abstract. The central problem in digital asset risk measurement is the combination of time-varying return variance and extreme losses that Gaussian models do not adequately represent. This article develops a reproducible framework for assessing Bitcoin and Ethereum volatility using statistical diagnostics, conditional heteroskedasticity models, and probabilistic tail-risk measures. The proposed empirical design uses daily prices for 2021–2026, subject to an explicitly documented observation cutoff. Log returns are examined through descriptive statistics, stationarity tests, and ARCH diagnostics. GARCH and EGARCH specifications are compared under Gaussian and Student-t innovations. Value at Risk and Expected Shortfall forecasts are evaluated through out-of-sample losses and coverage tests. Published evidence supports incorporating heavy tails, while the superiority of asymmetric, regime-switching, or more complex models remains conditional on assets, samples, and evaluation criteria. The methodological contribution is a decision-oriented framework that prioritizes forecast calibration over in-sample fit. Reported numerical examples originate from published studies and are not presented as newly estimated results. The framework supports transparent exposure limits, capital buffers, and stress-testing procedures.

Keywords: digital assets, Bitcoin, Ethereum, volatility, GARCH, EGARCH, heavy tails, VaR, Expected Shortfall.

Аннотация. Основная проблема измерения риска цифровых активов заключается в сочетании изменяющейся во времени дисперсии доходности и высокой вероятности экстремальных потерь. Цель статьи состоит в разработке воспроизводимой методологии оценки волатильности Bitcoin и Ethereum, объединяющей статистическую диагностику, модели условной гетероскедастичности и вероятностные показатели хвостового риска. Предлагаемый эмпирический дизайн предусматривает использование дневных цен за 2021–2026 годы с обязательным указанием конечной даты

наблюдений. Анализ включает логарифмическую доходность, описательную статистику, проверку стационарности и выявление ARCH-эффектов. Модели GARCH и EGARCH сопоставляются при нормальном распределении и распределении Стьюдента. Прогнозы Value at Risk и Expected Shortfall проверяются вне обучающей выборки посредством функций потерь и тестов покрытия. Синтез опубликованных исследований подтверждает необходимость учета тяжелых хвостов, но не устанавливает универсального превосходства сложных моделей. Методологический вклад заключается в выборе модели по калибровке прогнозируемого риска, а не только по внутривыборочному соответствию. Приведенные численные показатели относятся к опубликованным исследованиям и не являются новыми оценками. Предложенный подход формирует проверяемую основу для инвестиционных лимитов, резервов капитала и стресс-тестирования.

Ключевые слова: цифровые активы, Bitcoin, Ethereum, волатильность, GARCH, EGARCH, тяжелые хвосты, VaR, Expected Shortfall.

1.

Kirish

Raqamli aktivlarning yuqori volatilligi va rejim almashinuvi riskni o‘zgarmas dispersiya bilan ifodalashni cheklaydi; mingdan ortiq spetsifikatsiya taqqoslangan tadqiqot standart bir rejimli GARCH noto‘g‘ri VaR va ES prognozlarini berishini ko‘rsatgan (Caporale & Zekokh, 2019). Kriptobozorning uzluksiz, 24/7 ishlashi kuzatuvlar vaqtini birxillashtirishni talab qiladi, aktivlarning desentralizatsiyalashgan tuzilishi esa narxlarning nostasionar harakati bilan birga kuzatiladi (Tsao & Cheng, 2025; Pečiulis & Vasiliauskaitė, 2025).

FinTech risk boshqaruvida muammo faqat tebranish kattaligi emas, balki yo‘qotishlar taqsimotining shaklidir: 254 kriptovalyuta bo‘yicha tekshiruv og‘ir dumlar, klasterlanish va uzoq xotirani keng tarqalgan xususiyatlar sifatida aniqlagan (Fung et al., 2021). Ushbu tanlanmada Student-t GARCH spetsifikatsiyalari aktivlarning qariyb 80 foizini yaxshi tavsiflagan (Fung et al., 2021).

Tadqiqot gipotezasi uch qismga ajratiladi: daromadlilik normal taqsimotdan chetlanadi; normal innovatsiyali risk modeli ekstremal yo‘qotishlarni yetarli ifodalamaydi; asimmetriyani hisobga olish ayrim aktiv va davrlarda prognozni yaxshilaydi. Oxirgi qism universal qonun emas: og‘ir dumli EWMA murakkab GARCH bilan teng aniqlik ko‘rsatgan, ayrim tanlanmalarda esa oddiy GARCH eng yaxshi moslashuvni bergan (Alexander & Dakos, 2023; Yildirim & Bekun, 2023).

2. Adabiyotlar Tahlili

Engle ARCH orqali shartli dispersiyaning o‘tmish axborotiga bog‘liqligini shakllantirgan, Bollerslev esa tenglamaga oldingi shartli dispersiyalarni kiritgan (Engle, 1982; Bollerslev, 1986). Nelsonning EGARCH modeli daromadlilik va volatillik innovatsiyalari o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalaydi; FIGARCH esa shok ta’sirining sekin, giperbolik so‘nishini modellashtiradi (Nelson, 1991; Baillie et al., 1996).

Jadval 1. Model Oilalari Taqqoslanishi

Model	Asosiy vazifa	Empirik dalil	Muhim cheklov
GARCH	Dispersiya klasterlanishi	Haftalik BTC uchun yaxshi moslashuv (Yildirim & Bekun, 2023)	Simmetrik javob
EGARCH/GJR	Shoklar asimmetriyasi	Daqiqalik prognozlarda GJR ustun (Ampountolas, 2022)	Natija chastotaga bog‘liq
FIGARCH/HYGARCH	Uzoq xotira	BTC va ETH uchun turlicha tanlov (Okur, 2020)	Rejimlar alohida tekshiriladi
MSGARCH	Rejim almashinuvi	BTC VaR prognozida yaxshilanish	Kalibrlash murakkabligi

		(Ardia et al., 2019)	
GARCH–EVT	Ekstremal dumlar	Tanlanmadan tashqari VaR ustunligi (Omari & Ngunyi, 2021)	Chegara tanlashga sezgir

Rasm 1: Volatillik model oilalarining vazifalari va empirik cheklovlari taqqoslanishi. Manba: jadvaldagi ilmiy tadqiqotlar; muallif tomonidan yangi ekonometrik hisoblash bajarilmagan.

Asimmetriya yo‘nalishi bahsli: ayrim natijalarda salbiy shoklar kuchliroq, boshqalarida ijobiy shoklar volatillikni ko‘proq oshirgan (Sözen, 2025; Özdemir, 2022; Cheikh et al., 2020). Shuning uchun “asimmetriya mavjud” degan xulosa “klassik leverage effekti mavjud” degan xulosaga tenglashtirilmaydi (Ardia et al., 2019).

GAS modellari Bitcoinning 1 foizlik VaR prognozida yaxshi natija bergan, robust diapazonli GARCH esa keskin o‘zgarishlar sharoitida dispersiya, VaR va ES aniqligini oshirgan (Troster et al., 2019; Fiszeder et al., 2024). Kopula yondashuvi Bitcoin uchun samarali bo‘lgan, Ethereum uchun esa yagona universal g‘olib aniqlanmagan (Kar & Meka, 2025). Chegaraviy Bayes modellari va makroiqtisodiy regressorlarga asoslangan neyron kvantil modellari ham dum riskini prognozlashda yaxshilanish ko‘rsatgan (Chen et al., 2025; Lawuobahsumo et al., 2023).

3. Ma’lumotlar va Metodologiya

Tadqiqot obyekti BTC/USD va ETH/USD kunlik narxlaridir. Rejalashtirilgan boshlanish sanasi — 2021-yil 1-yanvar; yakuniy sana 2026-yildagi amalda mavjud oxirgi kuzatuv bilan belgilanadi. CoinMarketCap ma’lumotlaridan foydalanish ilmiy amaliyotda mavjud, biroq uning boshqa provayderlar bilan farqlari va agregatsiya qamrovi qayd etilishi kerak (Wu & Yueh, 2025; Vidal-Tomás, 2022).

UTC bo'yicha kun chegarasi, yuklash sanasi, kotirovka valyutasi va yetishmayotgan kuzatuvlar alohida qayd qilinadi. Bu tanlovlar tadqiqot protokolidir, bajarilgan hisoblash natijasi emas.

Daromadlilik va Diagnostika

Logarifmik daromadlilik va tanlanma ko'rsatkichlari quyidagicha aniqlanadi:

$$r_t = \ln(P_t / P_{t-1}),\ \bar{r} = (1/n) \sum r_t,\ s = \sqrt{[\ (1/(n-1)) \sum (r_t - \bar{r})^2\ ]}$$

$$m_k = (1/n) \sum (r_t - \bar{r})^k,\ S = m_3 / m_2^{3/2},\ K = m_4 / m_2^2$$

$$JB = (n/6) * [\ S^2 + (K - 3)^2 / 4\ ]$$

Bu yerda K — Pearson kurtosisi. Logarifmik daromadlilikdan foydalanish kriptovalyuta modellashtirishida qo'llanadi, ammo transformatsiyaning o'zi normal taqsimotni ta'minlamaydi (Sözen, 2025; Okur, 2020). Stasionarlik ADF, shartli geteroskedastiklik ARCH-LM, qoldiq bog'liqligi esa diagnostik testlar bilan tekshiriladi; ARCH-LM kvadrat qoldiqlarning bog'liqligiga asoslanadi (Yildirim & Bekun, 2023; Engle, 1982).

Jadval 2. Deskriptiv Statistikalar

Ko'rsatkich	BTC: nashr etilgan	ETH: nashr etilgan	2021–2026 original bahosi
O'rtacha kunlik daromad	0,0015	0,0014	Hisoblanmagan
Standart og'ish	0,0343	0,0436	Hisoblanmagan
Skewness	−1,1036	−1,1312	Hisoblanmagan
Pearson kurtosisi	21,2730	18,3385	Hisoblanmagan
JB / ADF	Bu manbada berilmagan	Bu manbada berilmagan	Hisoblanmagan

Rasm 2: Bitcoin va Ethereum daromadliliklarining nashr etilgan deskriptiv ko'rsatkichlari. Manba: Sözen, 2019-yil 1-yanvar–2025-yil 8-yanvar tanlanmasi; sonlar o'nli birlikda, yangi hisob-kitob emas (Sözen, 2025).

Shartli Dispersiya va Risk Modellari

Bazaviy GARCH(1,1) modeli:

$$r_t = \mu_t + \varepsilon_t,\ \varepsilon_t = \sigma_t * z_t,\ \sigma_t^2 = \omega + \alpha * \varepsilon_{t-1}^2 + \beta * \sigma_{t-1}^2$$

GARCH oldingi shoklar va dispersiyani birlashtiradi (Sözen, 2025). Standart birlik dispersiyali innovatsiyalar uchun $\omega > 0, \alpha, \beta \geq 0, \alpha + \beta < 1$ shartlari tekshiriladi; yuqori persistensiya alohida FIGARCH dalilisiz uzoq xotiraning isboti deb olinmaydi (Bollerslev, 1986; Baillie et al., 1996).

Asimmetrik EGARCH(1,1) muqobili:

$$ln(\sigma_t^2) = \omega + \beta * ln(\sigma_{t-1}^2) + \alpha * (|z_{t-1}| - E|z|) + \gamma * z_{t-1}$$

EGARCH log-dispersiya orqali musbat dispersiyani ta'minlaydi (Sözen, 2025). Normal va birlik dispersiyaga standartlashtirilgan Student-t innovatsiyalari bir xil ma'lumot hamda prognoz davrida taqqoslanadi.

Yo‘qotish L = -r, ishonchlilik darajasi c bo‘lsa:

$$VaR_{c,t} = F^{-1}_{L_t | F_{t-1}}(c), ES_{c,t} = (1 / (1 - c)) \int_c^1 VaR_{u,t} du$$

VaR chegaraviy yo‘qotishni, ES esa eng yomon dumdagi o‘rtacha yo‘qotishni ifodalaydi (Kupiec, 1995; Acerbi & Tasche, 2001). Kupiec testi qamrovni, Christoffersen yondashuvi shartli qamrovni, ES testlari esa dumdagi yo‘qotishlarni tekshiradi (Kupiec, 1995; Christoffersen, 1998; Du & Escanciano, 2015).

4. Natijalar

Ushbu bo‘lim yangi baholash emas, nashr etilgan natijalarni ajratib ko‘rsatadi. BTC va ETH uchun ARCH effektlari qayd etilgan, biroq boshqa tanlanmada ular aniqlanmagan; diagnostika davrga bog‘liq holda qayta bajarilishi zarur (Sözen, 2025; Yahaya et al., 2022).

Jadval 3. Model Parametrlari

Aktiv va model	ω	α	β	Qo‘shimcha parametr
BTC GARCH	0,0000201	0,0689	0,9301	ν = 2,9235
BTC EGARCH	−0,0456	0,0217	0,9928	γ = 0,1526
ETH GARCH	0,0000326	0,0834	0,9156	ν = 3,2509

ETH EGARCH	−0,0595	0,0231	0,9905	γ = 0,1318

Rasm 3: GARCH va EGARCH parametrlarining Bitcoin hamda Ethereum bo'yicha taqqoslanishi. Manba: Sözenning 2019–2025 tanlanmasi; berilgan jadvalda standart xatolar yo'qligi sababli barcha parametrlar uchun p < 0,05 tasdiqlanmaydi (Sözen, 2025).

Jadvaldan GARCH persistensiyasi BTC uchun 0,9990, ETH uchun 0,9990 chiqadi; bu nashr etilgan koeffitsiyentlarning arifmetik yig'indisidir (Sözen, 2025). Biroq optimal model bir xil emas: ushbu tanlanmada BTC uchun TGARCH, ETH uchun EGARCH tanlangan (Sözen, 2025). Rejimli modellar boshqa tadqiqotlarda VaR va ES prognozini yaxshilagan, aralashma taqsimotlari esa ayrim taqqoslashlarda Markov modellaridan ustun kelgan (Maciel, 2020; Caporale & Zekokh, 2019).

Jadval 4. VaR va ES Baholash Sxemasi

Aktiv	Ishonchlilik	VaR hisoblash ifodasi	ES hisoblash ifodasi
BTC	95%	F^{-1}_{L,BTC}(0,95)	20 * ∫_{0,95}^1 VaR_u du
BTC	99%	F^{-1}_{L,BTC}(0,99)	100 * ∫_{0,99}^1 VaR_u du
ETH	95%	F^{-1}_{L,ETH}(0,95)	20 * ∫_{0,95}^1 VaR_u du
ETH	99%	F^{-1}_{L,ETH}(0,99)	100 * ∫_{0,99}^1 VaR_u du

Rasm 4: Bitcoin va Ethereum uchun shartli dum riski hisoblash sxemasi. Manba: VaR va ES ta'riflari; parametrik hisoblash uchun baholangan taqsimot zarur (Acerbi & Tasche, 2001; Engle, 1999).

Vizualizatsiya Metodologiyasi

Raqamli aktivlar narxi (P_t) va kunlik shartli volatillik (σ_t) dinamikasini vizual tahlil qilish uchun interaktiv grafik panellari qo'llaniladi. Tahlilda UTC vaqti

bo‘yicha saralangan logarifmik daromadlilik va baholangan GARCH/EGARCH shartli dispersiya ko‘rsatkichlari alohida panellarda ifodalanadi.

> **ILMIY ILOVA:** *Grafikni shakllantirish va interaktiv tahlil qilish uchun mo‘ljallangan to‘liq optimallashtirilgan Plotly/JavaScript kodi maqolaning 1-Ilovasida keltirilgan.*

5. Muhokama

Kriptoaktivlarning pasayish riski pandemiya tanlanmasida S&P 500 va Shanghai indekslaridan yuqori bo‘lgan (Özdemir, 2022). Bitcoinni oltinning barqaror o‘rinbosari deb talqin qilish ham asoslanmagan: dastlabki hedj imkoniyatlari haqidagi natijalarga qarshi, keyingi taqqoslash barqaror himoyalash qobiliyatini topmagan (Dyhrberg, 2016; Klein et al., 2018). Ayrim ko‘p aktivli portfellarda risk kamaygan bo‘lsa-da, kriptoaktivlar ichidagi diversifikatsiya ekstremal yo‘qotishlarni sezilarli kamaytirmagan (Guesmi et al., 2019; Bruhn & Ernst, 2022).

BTC–ETH bog‘liqligi vaqt bo‘yicha o‘zgaradi, ularning diversifikatsiya imkoniyatlari ayrim davrlarda qisqargan (Beneki et al., 2019). DCC va boshqa ko‘p o‘lchovli natijalar bozorlararo shok uzatilishini tasdiqlaydi (Gupta & Chaudhary, 2022; Ampountolas, 2022). Global moliya bozorlariga ta’sir esa ko‘pincha mo‘tadil va qisqa muddatli bo‘lgan, shuning uchun aktiv volatilligi tizimli inqirozga avtomatik tenglashtirilmaydi (Vukovic et al., 2024).

Markaziy banklar uchun kuzatuv va tayyorgarlik muhim, lekin xavf bahosi davr va integratsiya darajasiga bog‘liq (Manaa et al., 2019; Joebges et al., 2025). Jahon banki tadqiqotida 130 dan ortiq mamlakat kriptofaolligi asosan global omillar bilan bog‘langan, biroq ma’lumotlarning qisqa tarixi cheklov sifatida qayd etilgan (Feyen et al., 2022). O‘zbekiston bo‘yicha huquqiy tadqiqot litsenziyalash va vakolatli agentlik rolini tavsiflaydi; bu ekonometrik natija yoki Markaziy bankning rasmiy pozitsiyasi emas (Ganiev, 2025).

Chizma 1. Raqamli aktivlar volatilligini baholash va risk prognozini tekshirish algoritmi

Model kalibrlash va risk ko‘rsatkichlarini ketma-ket baholash jarayoni quyidagi bosqichlardan iborat:

Ketma-ketlik: 1. Narxlar ma'lumotlar bazasini shakllantirish (BTC/ETH kunlik narxlari, UTC vaqti, manba auditi).

2. Log-daromadlilikni (r_t) hisoblash.

3. Deskriptiv statistika, ADF stasionarlik testi va ARCH-LM geteroskedastiklik testi.

4. GARCH va EGARCH (Normal / Student-t) modellarini baholash.

5. Sirg‘aluvchi darcha (rolling-window) yordamida prognozlarni shakllantirish.

6. 95% va 99% VaR hamda Expected Shortfall (ES) ko‘rsatkichlarini aniqlash.

7. Qamrov, mustaqillik va ES backtestlarini o‘tkazish.

8. Kalibrlash natijalari qoniqarli bo‘lsa: Pozitsiya limitlari va stress-test o‘tkaziladi; Yo‘q bo‘lsa: Robust, rejimli (MSGARCH) yoki EVT muqobil modeliga o‘tiladi.

Asosiy cheklov — haqiqiy volatillik kuzatilmasligi va uning proksisi model reytingiga ta’sir qilishidir. Yuqori chastotali realizatsiyalangan dispersiyaga asoslangan HAR qisqa ufqda kunlik GARCHdan ustun kelgan (Bergsli et al., 2022). Ethereum uchun strukturaviy uzilishlarni hisobga olish haftalik prognozni yaxshilagan (Chen, 2024). Juda kam ekstremal kuzatuvlar test quvvatini cheklaydi, davriy geteroskedastiklik esa standart interval testlarini chalg‘itishi mumkin (Kupiec, 1995; Clements & Taylor, 2003).

6. Xulosa va Tavsiyalar

Dalillar uch xulosani asoslaydi: og‘ir dumlar risk modelining markaziy elementi; yuqori persistensiya rejim almashinuvidan ajratilishi kerak; model tanlovi aktiv, chastota va baholash mezoniga bog‘liq (Fung et al., 2021; Ardia et al., 2019; Sözen, 2025). Yangi aktivlarning qisqa tarixida sodda og‘ir dumli modellar murakkab muqobillar bilan teng ishlashi mumkin (Mappadang et al., 2024).

Investitsiya fondlari va tahlilchilar uchun uch aniq tavsiya:

1. Normal modelni yagona mezon qilmang: Student-t muqobili bilan VaR va ESni birgalikda tekshiring (Troster et al., 2019; Acereda et al., 2020).

2. Pozitsiya limitlarini dinamik kovariatsiya va qo‘shma ekstremal yo‘qotishlar asosida yangilang (Kantar et al., 2025; Bruhn & Ernst, 2022).

3. Modelni tanlanmadan tashqarida qayta tekshirib, keskin davrlar uchun robust muqobil saqlang (Alexander & Dakos, 2023; Fiszeder et al., 2024).

Eng muhim siljish — “eng yaxshi moslashuvchi model”dan “eng yaxshi kalibrlangan risk prognozi”ga o‘tishdir. Eng katta ochiq savol — aynan bir xil 2021–2026 tanlanmasida qaysi spetsifikatsiya inqiroz va sokin davrlarda birdek ishonchli ishlashidir.

Foydalanilgan Adabiyotlar va Snoskalar

Acereda, B., León, Á. and Mora, J. (2020). ‘Estimating the expected shortfall of cryptocurrencies: An evaluation based on backtesting’. Finance Research Letters.

Alexander, C. and Dakos, M. (2023). ‘Assessing the accuracy of exponentially weighted moving average models for Value-at-Risk and Expected Shortfall of crypto portfolios’. Quantitative Finance.

Ardia, D., Bluteau, K. and Rüede, M. (2019). ‘Regime changes in Bitcoin GARCH volatility dynamics’. Finance Research Letters.

Baillie, R., Bollerslev, T. and Mikkelsen, H. (1996). ‘Fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroscedasticity’. Journal of Econometrics.

Bergsli, L.Ø. et al. (2022). ‘Forecasting volatility of Bitcoin’. Research in International Business and Finance.

Bollerslev, T. (1986). ‘Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity’. Journal of Econometrics.

Caporale, G. and Zekokh, T. (2019). ‘Modelling volatility of cryptocurrencies using Markov-Switching GARCH models’. Research in International Business and Finance.