



ΣΧΟΛΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ (ΣΚΕ)

Τραπεζική, Χρηματοοικονομική και Χρηματοοικονομική
Τεχνολογία (FinTech) (ΤΡΑΧ)

Πτυχιακή / Διπλωματική Εργασία

«Μελέτη του Αντισταθμιστικού Ρόλου των παραγώγων σε
Κρυπτοστοιχεία»

Λαζαράκης Παναγιώτης

Επιβλέπουσα καθηγήτρια Α΄: Κύρτσου Αικατερίνη

Πάτρα, Μάιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



«Μελέτη του Αντισταθμιστικού Ρόλου των παραγώγων σε
Κρυπτοστοιχεία»

Παναγιώτης Λαζαράκης

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Αικατερίνη Κύρτσου

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Φώτιος Σιώκης

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Πάτρα, Ιούνιος 2026

*«Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες προς την επιβλέπουσα Καθηγήτριά μου
Αικατερίνη Κύρτσου για τη συνδρομή της και τις πολύτιμες οδηγίες της κατά την εκπόνηση
της Διπλωματικής Εργασίας μου. Η εργασία είναι αφιερωμένη στην οικογένειά μου για την
υποστήριξη και την ηθική και ψυχολογική συμπαράσταση»*

Περίληψη

Σε ένα οικονομικό περιβάλλον όπου η μεταβλητότητα και τα ακραία γεγονότα αποτελούν πλέον κανόνα και όχι εξαίρεση, η αποτελεσματική διαχείριση του κινδύνου αναδεικνύεται σε βασική επενδυτική παράμετρο, αλλά και σε βασικό πυλώνα σταθεροποίησης των αγορών. Τα παράγωγα συνεισφέρουν σημαντικά προς αυτή τη κατεύθυνση ειδικά σε χρηματοοικονομικά στοιχεία που χαρακτηρίζονται από έντονη μεταβλητότητα, όπως τα κρυπτοστοιχεία, τα οποία διεισδύουν όλο και περισσότερο στις χρηματοοικονομικές αγορές και υιοθετούνται όχι μόνο ως συναλλακτικό μέσο αλλά και ως επενδυτικά προϊόντα.

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να διερευνήσει τον αντισταθμιστικό ρόλο των παραγώγων σε κρυπτοστοιχεία αξιολογώντας την αποτελεσματικότητά τους ως προς την διαχείριση του κινδύνου που προέρχεται από την μεταβλητότητα των αγορών Spot, μέσω υπολογισμού του συντελεστή αντιστάθμισης με τη χρήση στατικών και δυναμικών στατιστικών μοντέλων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ισχυρή συσχέτιση των δύο αγορών και ικανοποιητική αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης, χωρίς ωστόσο να προκύπτει σημαντική πρόσθετη συνεισφορά των δυναμικών μοντέλων έναντι του στατικού μοντέλου. Επίσης, από την ανάλυση της μεταβλητότητας, αλλά και από την μελέτη της αποτελεσματικότητας της αντιστάθμισης σε περιόδους έντονης μεταβλητότητας, τεκμηριώνεται η σταδιακή ωρίμανση της οικείας αγοράς παραγώγων και η ενίσχυση της αποτελεσματικότητάς της, μέσω της θεσμικής συμμετοχής.

Λέξεις – Κλειδιά

Hedging Cryptocurrencies, Hedge Ratios Estimation, Hedging Effectiveness, Derivatives Market. Crypto Derivatives, Bitcoin Futures

«Study of the Hedging Role of Derivatives in Crypto Assets»

Panagiotis Lazarakis

Abstract

In an economic environment where volatility and extreme events have become the rule rather than the exception, effective risk management emerges as a key investment parameter and a fundamental pillar of market stability. Derivatives contribute significantly in this direction, particularly for financial assets characterized by pronounced volatility, such as crypto-assets, which are increasingly penetrating financial markets and being adopted not only as transactional instruments but also as investment products.

This paper aims to investigate the hedging role of derivatives in crypto-assets by evaluating their effectiveness in managing the risk arising from Spot market volatility, through the estimation of the hedge ratio using both static and dynamic statistical models.

The results reveal a strong correlation between the two markets and demonstrate satisfactory hedging effectiveness, although dynamic models do not appear to provide substantial additional explanatory power compared to the static model. Furthermore, analysis of volatility and hedging performance during periods of heightened market stress indicates a gradual maturation of the relevant derivatives market and an improvement in its efficiency, driven by the increase of institutional participation.

Keywords

Hedging Cryptocurrencies, Hedge Ratios Estimation, Hedging Effectiveness, Derivatives Market. Crypto Derivatives, Bitcoin Futures.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract	6
Περιεχόμενα	7
Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων	9
Κατάλογος Πινάκων	10
Συντομογραφίες & Ακρωνύμια.....	11
1. Εισαγωγή.....	1
2. Παράγωγα και Αντιστάθμιση.....	3
2.1 Τί είναι τα Παράγωγα	3
2.1.1 Είδη Παραγώγων Κρυπτονομισμάτων.....	3
2.1.2 Θεωρίες Αποτίμησης.....	5
2.2 Θεμελιώδεις Αρχές Hedging και Arbitrage	6
2.2.1 Ο Ρόλος της Αντιστάθμισης Κινδύνου (Hedging).....	7
2.2.2 Μορφές Hedging	7
2.2.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποτελεσματικότητα της Αντιστάθμισης	9
2.2.4 Θεμελιώδεις Αρχές Arbitrage	9
2.2.5 Μελέτες Στρατηγικών Arbitrage σε Κρυπτοστοιχεία	10
2.3 Πρόσφατες Έρευνες πάνω σε παράγωγα Κρυπτοστοιχείων	11
2.4 Μελέτες σε αντιστάθμιση παραγώγων Κρυπτοστοιχείων	14
3. Εμπειρική Εφαρμογή	18
3.1 Συλλογή Δεδομένων.....	18
3.2 Στατιστική Ανάλυση	19
3.2.1 Περιγραφικά Στατιστικά	19
3.2.2 Έλεγχοι Υποθέσεων	23
3.2.2.1 Έλεγχος μοναδιαίας Ρίζας (Unit Root Test)	23
3.2.2.2 Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας – Arch Effect Test	24
3.2.2.3 Έλεγχος παράλειψης σημαντικών μεταβλητών	25
3.2.3 Ανάλυση Μεταβλητότητας	27
3.2.4 Back testing arbitrage στρατηγικών	32
3.3 Εμπειρική Ανάλυση	33
3.3.1 Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις.....	33
3.3.2 Οικονομετρικά Μοντέλα.....	34
3.3.2.1 Απλή Ανάλυση Παλινδρόμησης (OLS).....	34
3.3.2.2 Kalman Filter	35
3.3.2.3 Μοντέλα ARCH, GARCH και EGARCH	37
3.3.3 Εφαρμογή Μοντέλων	40
3.3.3.1 Αποτελέσματα μοντέλου Γραμμικής Παλινδρόμησης και έλεγχος	
στατιστικής σημαντικότητας – Bitcoin	40
3.3.3.2 Αποτελέσματα μοντέλου Γραμμικής Παλινδρόμησης και έλεγχος	
στατιστικής σημαντικότητας – Ether	40
3.3.3.3 Αποτελέσματα μοντέλου Egarch και έλεγχος στατιστικής	
σημαντικότητας – Bitcoin	41

3.3.3.4	Αποτελέσματα μοντέλου Egarch και έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας – Ether	42
3.3.3.5	Αποτελέσματα Μοντέλου Kalman - Bitcoin & Ether.....	43
3.4	Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και μέτρηση της αποτελεσματικότητας αντιστάθμισης – Hedging Effectiveness	45
3.4.1	Hedging Effectiveness	46
3.4.2	Back Testing.....	48
3.4.3	Ιστορική Μελέτη Αποτελεσματικότητας	50
4.	Συμπεράσματα	52
	Βιβλιογραφία / Αρθρογραφία	54
	Παράρτημα Α: «Πίνακες».....	61

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Γράφημα 1 : Εξέλιξη Τιμής Bitcoin.....	20
Γράφημα 2 : Εξέλιξη Τιμής Ether.....	20
Γράφημα 3 : Μεταβολές Αποδόσεων Spot / Future Bitcoin.....	21
Γράφημα 4 : Μεταβολές Αποδόσεων Spot / Futures Ether	21
Γράφημα 5 : Εξέλιξη Κυλιόμενου Δείκτη Μεταβλητότητας 24 ημερών για Spot, Futures, Base	31
Γράφημα 6 : Εξέλιξη Μεταβλητότητας Βάσης vs Spot / Futures Prices.....	32
Γράφημα 7 : Μεταβολή Βάσης Bitcoin	32
Γράφημα 8 : Σύγκριση KALMAN / OLS Hedge Ratio - Ether	44
Γράφημα 9 : Σύγκριση KALMAN / OLS Hedge Ratio - Bitcoin.....	44
Γράφημα 10 : Kalman Hedge Ratio - In Sample Period.....	49
Γράφημα 13 : Αποτελέσματα Γραμμικής Παλινδρόμησης Bitcoin.....	63
Γράφημα 14 : Αποτελέσματα Γραμμικής Παλινδρόμησης Ether.....	64
Γράφημα 15 : Αποτελέσματα Μεθόδου Egarch Bitcoin.....	64
Γράφημα 16 : Αποτελέσματα Μεθόδου Egarch Ether.....	65

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 : Περιγραφικά Στατιστικά Bitcoin / Ether	22
Πίνακας 2 : Αποτελέσματα Augmented Dickey-Fuller Test	23
Πίνακας 3 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Bitcoin	25
Πίνακας 4 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Ether	26
Πίνακας 5 : Εξέλιξη Μεταβλητότητας Βάσης Bitcoin και Εξέλιξη Συντελεστή Συσχέτισης	28
Πίνακας 6 : Εξέλιξη Μεταβλητότητας Spot / Futures / Base Bitcoin.....	30
Πίνακας 7 : Σύνοψη Αποτελεσμάτων Μεθοδολογικών Προσεγγίσεων και Αποτελεσματικότητας.....	46
Πίνακας 8 : Out of Sample Back Testing Ethereum	49
Πίνακας 9 : Out of Sample Back Testing Bitcoin.....	49
Πίνακας 10 : Ιστορική Μελέτη Αποτελεσματικότητας Αντιστάθμισης σε Περιόδους Υψηλής Μεταβλητότητας - Bitcoin	50
Πίνακας 11 : Ιστορική Μελέτη Αποτελεσματικότητας Αντιστάθμισης σε Περιόδους Υψηλής Μεταβλητότητας - Bitcoin	51
Πίνακας 12 : Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας Bitcoin Arch-LM (Engle's Test)	61
Πίνακας 13 : Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας Ether Arch-LM (Engle's Test)	61
Πίνακας 14 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Bitcoin	62
Πίνακας 15 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Ether	63
Πίνακας 16 : Αποτελέσματα OLS Bitcoin - Out of Sample	65
Πίνακας 17 : Αποτελέσματα Egarch Bitcoin - Out of Sample	66
Πίνακας 18 : Αποτελέσματα OLS Ether - Out of Sample	66
Πίνακας 19 : Αποτελέσματα Egarch Ether - Out of Sample.....	67

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

BTC	Bitcoin
ETH	Ethereum
ΣΜΕ	Συμβόλαιο Μελλοντικής Εκπλήρωσης (Future)
HR	Hedge Ratio
OLS	Ordinary Least Squares Method

1. Εισαγωγή

Η Κρυπτο-οικονομία αναπτύσσεται διαρκώς τα τελευταία χρόνια και αποκτά σταδιακά σημαντική επίδραση στις αγορές, ενώ τα Κρυπτονομίσματα υιοθετούνται όλο και περισσότερο ως μέσο συναλλαγών, αποταμίευσης και επένδυσης, λειτουργώντας συμπληρωματικά στα νομίσματα FIAT. Ωστόσο, η εγγενής μεταβλητότητα των κρυπτοστοιχείων καθώς και η έλλειψη θεμελιωδών στοιχείων, αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την περαιτέρω υιοθέτησή τους από τις αγορές και εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για τους κατόχους κρυπτοστοιχείων, η δε αποτελεσματική διαχείριση και αντιμετώπιση των κινδύνων είναι κρίσιμη για την περαιτέρω υιοθέτησή τους αλλά και για την γενικότερη διασφάλιση της συστημικής ευστάθειας και της προστασίας των επενδυτών. Η εμφάνιση τα τελευταία χρόνια παραγώγων σε κρυπτοστοιχεία θα μπορούσε να αποτελέσει ένα σημαντικό εργαλείο διαχείρισης και αντιστάθμισης των κινδύνων αλλά και παράγοντα ωρίμανσης των αγορών. Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ανάπτυξη, εμβάθυνση και διεύρυνση των παραγώγων Κρυπτοστοιχείων από ρυθμιζόμενες αγορές, στοιχείο που τεκμηριώνει το γεγονός του αυξανόμενου ενδιαφέροντος για την συγκεκριμένη αγορά.

Στο πλαίσιο αυτό στην παρούσα εργασία θα αναλυθεί η αγορά παραγώγων Κρυπτοστοιχείων ως προς τη δομή, τα συστατικά της στοιχεία και την μεταβλητότητα και θα αξιολογηθεί η ικανότητα των ΣΜΕ να αντισταθμίσουν αποτελεσματικά τον κίνδυνο απαντώντας στα ακόλουθα ερευνητικά ερωτήματα :

Πόσο αποτελεσματικά είναι τα παράγωγα σε Κρυπτοστοιχεία στην αντιστάθμιση ενός spot χαρτοφυλακίου;

Πόσο αποτελεσματικός είναι ο συντελεστής αντιστάθμισης κινδύνου και πως μεταβάλλεται σε περιόδους έντονης μεταβλητότητας (stress) και ακραίων γεγονότων (tail risk);

Παρέχουν τα στατικά μοντέλα ικανοποιητικά αποτελέσματα στο υπολογισμό του συντελεστή αντιστάθμισης, σε σχέση με τα δυναμικά μοντέλα;

Υπάρχει ασυμμετρία στην αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης σε περιόδους ανοδικής και καθοδικής πορείας;

Η εμπειρική ανάλυση βασίστηκε στην συλλογή ημερήσιων δεδομένων των αγορών Spot και Future για την αγορά των ΣΜΕ σε Bitcoin και Ether που διαπραγματεύονται στο Chicago Mercantile Exchange (CME) για το διάστημα 2024 – 2026, τα οποία αναλύθηκαν μέσω στατικών και δυναμικών μοντέλων, προκειμένου να διαπιστωθεί η

αποτελεσματικότητά τους ως προς την μείωση του κινδύνου αλλά και η συμπεριφορά τους ως προς την μεταβλητότητα των αποδόσεων.

Στο επόμενο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι αγορές καθώς και τα διαθέσιμα προϊόντα με εμβάθυνση στις αρχές του Hedging και του Arbitrage. Εν συνεχεία θα επισκοπηθεί η διαθέσιμη βιβλιογραφία, όσον αφορά τον συντελεστή αντιστάθμισης σε συνάρτηση με μελέτες πάνω σε στατικά και δυναμικά μοντέλα υπολογισμού, καθώς και οι αντίστοιχες πρόσφατες μελέτες πάνω σε παράγωγα Κρυπτονομισμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο που αφορά την εμπειρική εφαρμογή, θα αναλυθούν τα δεδομένα με αποτύπωση των στατιστικών χαρακτηριστικών τους καθώς και η μεταβλητότητα των αποδόσεών τους, μελετώντας περιόδους έντονης μεταβλητότητας. Εν συνεχεία θα εφαρμοστούν τρία μοντέλα υπολογισμού, η στατική OLS και τα δυναμικά μοντέλα EGARCH και Φίλτρο Kalman. Στο δεύτερο μέρος θα διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης, αξιολογώντας διαφορετικές περιόδους με αυξημένη μεταβλητότητα αλλά και καθοδικό κύκλο, ενώ θα ακολουθήσει περαιτέρω έλεγχος σε εκτός δείγματος δεδομένα (out of sample), ως πρόσθετο μέτρο ελέγχου της αποτελεσματικότητας της αντιστάθμισης.

Εν κατακλείδι, στο τρίτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της εμπειρικής μελέτης ως προς τα ερωτήματα της παρούσας εργασίας και καταγράφονται διαπιστώσεις ως προς τις ρυθμιζόμενες αγορές κρυπτοστοιχείων.

2. Παράγωγα και Αντιστάθμιση

2.1 Τί είναι τα Παράγωγα

Κατά τον Μυλωνά (2005) τα παράγωγα προϊόντα αποτελούν χρηματοοικονομικούς τίτλους / συμβόλαια τα οποία αποτυπώνουν τη συναλλαγή δύο μερών στην οποία συμφωνείται η αγοραπωλησία ενός αγαθού ή εν γένει περιουσιακού στοιχείου σε συμφωνημένη τιμή, ποσότητα, τόπο και χρόνο στο μέλλον. Ως εκ τούτου η ύπαρξη του παραγώγου καθώς και η τιμή του εξαρτάται από το περιουσιακό στοιχείο / αγαθό το οποίο ονομάζεται υποκείμενο προϊόν. Επομένως, τα παράγωγα έχουν ως υποκείμενο προϊόν, μετοχές και χρηματιστηριακούς δείκτες, ομόλογα και επιτόκια, συνάλλαγμα και εν γένει νομίσματα καθώς και εμπορεύματα.

Τα παράγωγα προϊόντα διαπραγματεύονται είτε σε οργανωμένες αγορές, είτε σε εξωχρηματιστηριακές αγορές που καλούνται Over-the-Counter (OTC).

Συνεπώς, τα παράγωγα αποτελούν επενδυτικά εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για αντιστάθμιση κινδύνου (Hedging) ήτοι για προστασία από τις μεταβολές των τιμών, είτε για κερδοσκοπία (Speculation) είτε για Arbitrage δηλαδή για την εκμετάλλευση τυχόν διαφορών στις τιμές ανάμεσα σε διαφορετικές αγορές.

2.1.1 Είδη Παραγώγων Κρυπτονομισμάτων

Τα παράγωγα σε Κρυπτονομίσματα είναι συμβόλαια όπου ο υποκείμενος τίτλος είναι ένα Κρυπτονόμισμα.

Προκειμένου να απαριθμηθούν τα διαθέσιμα προϊόντα σε Crypto θα πρέπει να αναλυθούν πρώτα οι αγορές στις οποίες διαπραγματεύονται. Δεδομένου ότι τα Κρυπτονομίσματα διαπραγματεύονται σε ιδιωτικές αγορές (CEX, DEX) και ο κύριος όγκος συναλλαγών γίνεται μέσω ανταλλακτηρίων, οι ίδιες αγορές προσφέρουν μια πλειάδα παραγώγων προϊόντων. Συνεπώς οι αγορές παραγώγων αποτελούνται από :

Τις ρυθμιζόμενες αγορές οι οποίες είναι οι κάτωθι :

CME Group (Chicago Mercantile Exchange): Αποτελεί την κύρια και μεγαλύτερη ρυθμιζόμενη αγορά για Bitcoin & Ether Futures και Options στις ΗΠΑ. Λειτουργεί με

παραδοσιακά ωράρια χρηματιστηρίου, ωστόσο από 29-05-26 η αγορά Crypto λειτουργεί σε συνεχή βάση 24/7.

Coinbase International & Advanced : είναι κεντρικό ανταλλακτήριο, αλλά πρόσφατα επεκτάθηκε προσφέροντας ρυθμιζόμενα futures σε 26 ευρωπαϊκές χώρες, μέσω άδειας MiFID.

Eurex: είναι το ευρωπαϊκό χρηματιστήριο παραγώγων που προσφέρει συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης σε κρυπτονομίσματα για την ευρωπαϊκή αγορά. Το 2025 ξεκίνησε τη διαπραγμάτευση Nano FTSE Bitcoin & Ethereum Futures

Τα κεντρικά ανταλλακτήρια (CEX) τα οποία συνιστούν τον κυρίαρχο πυλώνα στα παράγωγα κρυπτονομισμάτων, κατέχοντας το μεγαλύτερο ποσοστό των συναλλαγών παραγώγων. Τα μεγαλύτερα κεντρικά ανταλλακτήρια ανά όγκο συναλλαγών είναι η Binance, OKX, Bybit και Bitget.

Τα κυριότερα είδη παραγώγων που διαπραγματεύονται στις ανωτέρω αγορές είναι :

Futures: Συμβόλαια αγοράς ή πώλησης ενός crypto asset σε προκαθορισμένη τιμή και ημερομηνία. Διαπραγματεύονται και σε πλατφόρμες CEX και σε ρυθμιζόμενες αγορές.

Options: Δικαιώματα αγοράς (call) ή πώλησης (put). Διαπραγματεύονται και αυτά σε πλατφόρμες CEX και σε ρυθμιζόμενες αγορές, με κυρίαρχη την πλατφόρμα της Deribit. Σημειώνεται ότι τα options στο CME έχουν ως υποκείμενο τίτλο το αντίστοιχο Future και όχι το ίδιο το Κρυπτονόμισμα.

Συμβόλαια ανταλλαγής (Swaps).

Perpetual Contracts: Συμβόλαια χωρίς ημερομηνία λήξης, που η τιμή τους διατηρείται κοντά στο spot μέσω του funding rate ενός μηχανισμού πληρωμών μεταξύ long και short πλευράς, για να παραμένει η τιμή κοντά στην τιμή του υποκείμενου κρυπτοστοιχείου. Τα συγκεκριμένα προϊόντα διαπραγματεύονται μόνο σε CEX ή DEX.

Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της CoinGlass - 2025 Cryptocurrency Derivatives Annual Market Report¹ - ο συνολικός τζίρος της αγοράς παραγώγων για το 2025 ανήλθε σε \$85.70 τρις με μέσο ημερήσιο όγκο ύψους \$264.5 δις. Τους βασικότερους όγκους κατέγραψαν, η Binance με συνολικό ετήσιο τζίρο παραγώγων \$25,09 τρις, ελέγχοντας το 29,3% της παγκόσμιας αγοράς και ακολούθησαν, δεύτερη η OKX με συνολικό τζίρο 10,76 τρις, τρίτη

¹ <https://www.rootdata.com/news/480534>

η Bybit με τζίρο 9,43τρισ, τέταρτη η Bitget, η οποία σημείωσε μεγάλη άνοδο με τζίρο 8,17 και πέμπτο το CME Group με συνολικό τζίρο σχεδόν \$3 τρις και μέσο ημερήσιο τζίρο \$12 δις.

Σύμφωνα με την έκθεση της CoinGlass, το 2025 η δομή της αγοράς μετατοπίστηκε σε πιο θεσμικό περιβάλλον, καθώς κυριάρχησαν θεσμικές στρατηγικές αντιστάθμισης και περισσότερο διαφοροποιημένες επενδυτικές προσεγγίσεις. Η μετάβαση αυτή οφείλεται, εν μέρει, στη διαρκώς αυξανόμενη δημοτικότητα των spot ETFs, των options και των futures που διαπραγματεύονται σε ρυθμιζόμενες αγορές, τα οποία προσέλκυσαν μαζική θεσμική συμμετοχή. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι το CME ελέγχει πλέον ένα τεράστιο μέρος του κεφαλαίου που παραμένει στην αγορά για μεγάλο διάστημα (Open Interest) και συγκεκριμένα για το 2024 και το 2025 το Bitcoin futures open interest ξεπέρασε αυτό της Binance, καταδεικνύοντας ότι οι θεσμικοί επενδυτές προτιμούν το ρυθμιζόμενο περιβάλλον.

2.1.2 Θεωρίες Αποτίμησης Μοντέλο Black-Scholes

Το μοντέλο Black-Scholes αποτελεί το πιο γνωστό μοντέλο αποτίμησης δικαιωμάτων. Η εξίσωση αποτίμησης ενός ευρωπαϊκού τύπου call option είναι η κάτωθι :

$$C = S_0 N(d_1) - K e^{-rT} N(d_2)$$

όπου:

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/K) + (r + \sigma^2/2)T}{\sigma\sqrt{T}}, d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$$

Το μοντέλο στηρίζεται στις κάτωθι υποθέσεις:

- Υπάρχουν λογαριθμικά κανονικές αποδόσεις,
- Η μεταβλητότητα είναι σταθερή,
- Δεν υπάρχει arbitrage,
- Υπάρχει συνεχής διαπραγμάτευση
- Δεν υπάρχουν κόστη συναλλαγών

Ωστόσο, οι υποθέσεις αυτές συχνά παραβιάζονται ειδικά στην αγορά Crypto (Zulfiqar & Gulzar 2021), καθώς υπάρχει έντονη μεταβλητότητα και άλματα στις τιμές, ενώ υπάρχουν και έντονες μεταβολές της ρευστότητας.

Binomial Tree Model

Το μοντέλο binomial tree αναπτύχθηκε από τους Cox, Ross και Rubinstein και βασίζεται στη διακριτή εξέλιξη των τιμών. Η τιμή του υποκείμενου μπορεί να κινηθεί είτε ανοδικά με πιθανότητα p , είτε καθοδικά με πιθανότητα $1 - p$. Το μοντέλο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για American options, dynamic hedging και path-dependent structures, ενώ η ευελιξία του το καθιστά κατάλληλο για crypto derivatives όπου οι μεταβολές τιμών είναι ακραίες.

Stochastic Volatility Models

Τα stochastic volatility models αναπτύχθηκαν για να αντιμετωπίσουν τα προβλήματα του Black-Scholes.

Το πιο γνωστό είναι το μοντέλο Heston:

$$dv_t = \kappa(\theta - v_t)dt + \xi\sqrt{v_t}dW_t$$

Το μοντέλο επιτρέπει δυναμική μεταβλητότητα, mean reversion και volatility smiles.

Στην αγορά crypto options, τα μοντέλα αποτίμησης βάσει stochastic volatility και jump-diffusion παρουσιάζουν σημαντικά καλύτερη προσαρμογή.

2.2 Θεμελιώδεις Αρχές Hedging και Arbitrage

Οι αρχές της αντιστάθμισης κινδύνου (hedging) και της εξισορροπητικής κερδοσκοπίας (arbitrage) αποτελούν βασικές θεωρίες της χρηματοοικονομικής και κύρια συστατικά της λειτουργίας των αγορών παραγώγων. Η θεωρία των παραγώγων βασίζεται στην αρχή της μοναδιαίας τιμής, ενώ η διαχείριση κινδύνου στηρίζεται στην αποτελεσματική αντιστάθμιση. Στο περιβάλλον των κρυπτονομισμάτων, όπου η αγορά χαρακτηρίζεται από υψηλή μεταβλητότητα και συχνές διαρθρωτικές ανωμαλίες, οι δύο αυτές έννοιες αποκτούν ιδιαίτερη σημασία.

2.2.1 Ο Ρόλος της Αντιστάθμισης Κινδύνου (Hedging)

Αντιστάθμιση ονομάζεται η διαδικασία απόκτησης θέσης σε ένα παράγωγο αξιόγραφο προκειμένου να μειωθεί ή και να εξουδετερωθεί ο κίνδυνος που προέρχεται από τη μεταβολή της τιμής ενός υποκείμενου προϊόντος. Ως εκ τούτου, βασική λειτουργία της αντιστάθμισης είναι η εν γένει μείωση της αβεβαιότητας, μέσω της μείωσης του κινδύνου που προέρχεται από την μεταβλητότητα των αγορών και των διαπραγματεύσιμων τίτλων ή προϊόντων.

Συνεπώς η αντιστάθμιση δεν είναι κερδοσκοπική συναλλαγή αλλά συναλλαγή που στοχεύει στη σταθεροποίηση της απόδοσης και στη μείωση της διακύμανσης ενός χαρτοφυλακίου.

Κατ' επέκταση, σε θεωρητικό επίπεδο η αγορά παραγώγων λειτουργεί ευεργετικά στην μείωση της μεταβλητότητας των αγορών, αλλά και των κινδύνων, προσφέροντας προστασία στους επενδυτές. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που η αγορά των παραγώγων μπορεί να μην λειτουργήσει προς αυτή την κατεύθυνση, αντιθέτως να δημιουργήσει πρόσθετη μεταβλητότητα και κινδύνους, καθώς λόγω δομής και μόχλευσης τα παράγωγα προϊόντα αφήνουν περιθώρια για έντονη κερδοσκοπία. Δεν είναι άλλωστε τυχαίο ότι αρκετές χρηματοοικονομικές κρίσεις έχουν τις ρίζες τους στις αγορές παραγώγων.

Εν προκειμένω, στις αγορές κρυπτονομισμάτων, η ανάγκη για αντιστάθμιση είναι πιο έντονη καθώς, αφενός η μεταβλητότητα είναι μεγαλύτερη σε σχέση με άλλα χρηματοοικονομικά assets, αφετέρου δεν υπάρχουν θεμελιώδη στοιχεία για την αποτίμησή τους, ενώ παράλληλα η ύπαρξη πολλαπλών αγορών με διαφορετική ρευστότητα και τιμές δημιουργεί έδαφος για κερδοσκοπική δραστηριότητα.

2.2.2 Μορφές Hedging

Όπως προαναφέρθηκε, η αντιστάθμιση αφορά την εξουδετέρωση του κινδύνου από την μεταβολή της τιμής του υποκείμενου προϊόντος, που σημαίνει την ανάληψη αντίθετης θέσης στα παράγωγα από την θέση που κατέχει ο επενδυτής στο υποκείμενο προϊόν. Ως εκ τούτου, όταν στην αγορά spot υπάρχει θετική θέση / αγοράς (long), τότε θα πρέπει να δημιουργηθεί μια αρνητική θέση / πώλησης (short) στην αγορά Futures.

Οι βασικές μορφές αντιστάθμισης είναι :

Short hedge: αντιστάθμιση long spot θέσης με short Futures.

Long hedge: αντιστάθμιση short spot θέσης με long Futures.

Cross-hedging: χρήση ενός ΣΜΕ σε άλλο περιουσιακό στοιχείο όταν δεν υπάρχει διαθέσιμο συμβόλαιο στο υποκείμενο asset (π.χ. χρήση Bitcoin Futures για αντιστάθμιση Solana ή XRP).

Dynamic hedging: συνεχής αναπροσαρμογή της αντιστάθμισης, με βάση την εξέλιξη της μεταβλητότητας και της συσχέτισης.

Στα Κρυπτοστοιχεία, το cross-hedging χρησιμοποιείται συχνά λόγω έλλειψης ώριμων Futures, για μικρότερα tokens ειδικά σε ρυθμιζόμενες αγορές.

Η διαδικασία της αντιστάθμισης, πέρα από την απόφαση για την λήψη της κατάλληλης θέσης, περιλαμβάνει και αποφάσεις που αφορούν τον χρόνο, το ποσό των συμβολαίων που θα αγοραστούν, καθώς και ποιο προθεσμιακό συμβόλαιο είναι κατάλληλο. Σύμφωνα με τον Μυλωνά (2005) εφόσον έχει ληφθεί η θέση στην αγορά μετρητοίς και αποφασιστεί ότι πρέπει να γίνει αντιστάθμιση, τότε η θέση στα παράγωγα πρέπει να αναληφθεί άμεσα. Η απόφαση για το είδος του προϊόντος που θα αγοραστεί συνδέεται κατά βάση με τις διαθέσιμες λήξεις που υπάρχουν για το παράγωγο του υποκείμενου προϊόντος. Κατά τον Μυλωνά (2005), πιο κατάλληλο προϊόν είναι αυτό που έχει την μικρότερη λήξη, καθώς είναι αυτό που έχει την μεγαλύτερη συσχέτιση με την τιμή του υποκείμενου προϊόντος. Ωστόσο, επειδή στην αγορά Κρυπτοστοιχείων, ειδικά σε επίπεδο DeFi, υπάρχει πλειάδα προϊόντων και ειδικότερα perpetuals, η απόφαση για το είδος του συμβολαίου που θα αποκτηθεί είναι πιο περίπλοκη.

Η τελευταία απόφαση αφορά την αναλογία αντιστάθμισης που αφορά τον αριθμό των ΣΜΕ που θα αποκτηθούν. Η μαθηματική σχέση που αποτυπώνει τον αριθμό αυτό είναι η κάτωθι:

$S_t^{hedged} = -F_t * h$ όπου h είναι ο συντελεστής αντιστάθμισης και ουσιαστικά αποτυπώνει τη συσχέτιση ανάμεσα στις δύο αγορές, και υπολογίζεται ως η συνδιακύμανση των δύο μεταβλητών δια την διακύμανση της εξαρτημένης μεταβλητής, ήτοι των τιμών spot :

$$h = \sigma_{\Delta S, \Delta F} / \sigma_{\Delta F}^2$$

2.2.3 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποτελεσματικότητα της Αντιστάθμισης

Η πλήρης αντιστάθμιση επιτυγχάνεται όταν οι μεταβολές των τιμών στις δύο αγορές δεν προκαλούν διαφοροποίηση στη θέση. Αυτό προϋποθέτει ωστόσο ότι οι δύο τιμές κινούνται παράλληλα και η βάση, δηλαδή η διαφορά Spot και Future, παραμένει διαχρονικά σταθερή. Ωστόσο, αυτό δεν συμβαίνει στη πράξη, ειδικά στα συμβόλαια με μακρά διάρκεια λήξης. Στα συμβόλαια αυτά υπάρχουν παράγοντες που επηρεάζουν τη βάση ως εκ τούτου και την παράλληλη διακύμανση των τιμών. Οι βασικοί παράγοντες που επιδρούν στη βάση και κατά συνέπεια στην αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης είναι :

- ❖ Οι συνθήκες προσφοράς και ζήτησης στην αγορά Future,
- ❖ Οι προσδοκίες για την εξέλιξη των τιμών στις αγορές Spot & Future,
- ❖ Οι συνθήκες ρευστότητας και το βάθος της αγοράς,
- ❖ Τα Funding Rates που αφορούν perpetual futures,
- ❖ Οι μακροοικονομικές συνθήκες ως παράγοντας επίδρασης στην προσφορά και ζήτηση, αλλά και στις προσδοκίες για τις μελλοντικές τιμές,
- ❖ Η Δομή των αγορών παραγώγων,
- ❖ Η ωριμότητα των συμβολαίων.

2.2.4 Θεμελιώδεις Αρχές Arbitrage

Σύμφωνα με τον Μυλωνά (2005), η εξισορροπητική κερδοσκοπία (arbitrage) είναι η ταυτόχρονη συναλλαγή αγοράς και πώλησης ενός περιουσιακού στοιχείου σε διαφορετικές αγορές, με σκοπό την αποκόμιση κέρδους από τη διαφορά τιμής. Εφόσον η συναλλαγή δεν ενέχει κίνδυνο, τότε η πράξη ορίζεται ως ακίνδυνη εξισορροπητική κερδοσκοπία. Η συμβολή του arbitrage στην αποτελεσματικότητα της αγοράς είναι σημαντική, καθώς οι εξισορροπιστές διασφαλίζουν ότι οι τιμές των παραγώγων παραμένουν σε ευθυγράμμιση με τις τιμές των υποκείμενων τίτλων ενώ προσθέτουν σημαντική ρευστότητα σε μια αγορά, κατ' επέκταση η εξισορροπητική κερδοσκοπία συμβάλλει στην ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της αγοράς.

2.2.5 Μελέτες Στρατηγικών Arbitrage σε Κρυπτοστοιχεία

Στα κρυπτοστοιχεία η εφαρμογή στρατηγικών arbitrage παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, που απορρέουν από τη φύση και τη δομή των ψηφιακών αγορών.

Δεδομένου ότι οι αγορές των κρυπτοστοιχείων αποτελούνται από πλήθος ανταλλακτηρίων, κεντρικών και αποκεντρωμένων, που λειτουργούν καθημερινά σε 24ωρη βάση παγκοσμίως χωρίς κεντρικό ρυθμιστή, δημιουργούνται συνεχείς ευκαιρίες αποκλίσεων τιμών μεταξύ των εκατοντάδων πλατφορμών που λειτουργούν διεθνώς. Παράλληλα, η υψηλή μεταβλητότητα, η ανομοιογένεια της δομής των ανταλλακτηρίων και η διαφοροποίηση των αμοιβών συναλλαγών δημιουργούν ένα περιβάλλον που παρέχει ευκαιρίες, αλλά εγκυμονεί και κινδύνους.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, υφίστανται πολλαπλές κατηγοριοποιήσεις των στρατηγικών arbitrage. Ειδικότερα για τις αγορές Κρυπτοστοιχείων, οι βασικές μορφές έχουν ως εξής:

Spatial (Χωρικό) arbitrage : Εκμετάλλευση της διαφοράς τιμής του ίδιου asset μεταξύ δύο διαφορετικών ανταλλακτηρίων.

Triangular (Τριγωνικό) arbitrage : Εκμετάλλευση της ανισορροπίας τιμών μεταξύ τριών διαφορετικών ζευγών νομισμάτων στο ίδιο ανταλλακτήριο.

Statistical (Στατιστικό) arbitrage : Το στατιστικό arbitrage αξιοποιεί ιστορικές συσχετίσεις μεταξύ κρυπτοστοιχείων και ως εκ τούτου όταν η σχέση τους αποκλίνει στατιστικά σημαντικά από τον ιστορικό μέσο όρο, ο επενδυτής ανοίγει θέσεις αναμένοντας την επαναφορά.

Basis arbitrage ή Cash and Carry Arbitrage / Reverse cash-and-carry : Συνίσταται στην εκμετάλλευση της διαφοράς μεταξύ της τιμής Spot και της τιμής Future και αποτελεί την πιο κλασική μορφή arbitrage στα Futures. Συγκεκριμένα, η συναλλαγή περιλαμβάνει αγορά spot, πώληση futures με κλείσιμο θέσεων στη λήξη όταν η αγορά είναι contango με premium υψηλότερο από το κόστος χρηματοδότησης και φύλαξης, ενώ όταν η αγορά είναι σε backwardation τότε λαμβάνονται οι αντίθετες θέσεις. Επί παραδείγματι, η διαδικασία έχει ως εξής : Το Future συγκεκριμένης ημερομηνίας και λήξης ενός μήνα διαπραγματεύεται με premium (contango) έναντι της αντίστοιχης τιμής Spot και συγκεκριμένα τιμή Spot BTC: \$70.000 / Τιμή Future : \$72.000. Το arbitrage προκύπτει αγοράζοντας ταυτόχρονα 1 BTC στην αγορά Spot έναντι \$70.000 και πουλώντας 1

συμβόλαιο Future στις \$72.000. Εφόσον διακρατηθεί η θέση μέχρι τη λήξη, στην οποία η τιμή Spot και η τιμή Future συγκλίνουν πάντα, τότε το αποτέλεσμα θα είναι ένα μικτό κέρδος \$2.000 το οποίο αφήνει μια μηνιαία απόδοση 2,85%, χωρίς κίνδυνο. Ωστόσο εν προκειμένω θα πρέπει να συνυπολογιστούν τόσο τα κόστη συναλλαγών όσο και το κόστος ευκαιρίας του Risk Free Rate.

Funding rate arbitrage: Εξασκείται στα perpetual futures, με τους traders να εκμεταλλεύονται υψηλά funding rates, όπως για παράδειγμα πώληση perpetual, με αγορά spot.

Ωστόσο το arbitrage στα Κρυπτοστοιχεία δεν θεωρείται συναλλαγή μηδενικού κινδύνου, καθώς λόγω της φύσεως και της δομής των αγορών υφίστανται παράμετροι κινδύνου όπως ο κίνδυνος καθυστέρησης (Latency Risk), ήτοι ο χρόνος που απαιτείται για τη μεταφορά κεφαλαίων μεταξύ των blockchains, στην διάρκεια του οποίου θα μπορούσε να αλλάξει το spread, ο κίνδυνος Ρευστότητας (Liquidity Risk), δηλαδή η έλλειψη βάθους της αγοράς που θα μπορούσε να προκαλέσει την πτώση της τιμής, μειώνοντας το κέρδος κατά την εκτέλεση μεγάλων εντολών και φυσικά υφίστανται και τα κόστη των συναλλαγών τα οποία επιβαρύνουν το αποτέλεσμα.

2.3 Πρόσφατες Έρευνες πάνω σε παράγωγα Κρυπτοστοιχείων

Η αρθρογραφία σχετικά με την αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης κινδύνου μέσω παραγώγων έχει αναπτυχθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, με πρωτεργάτες τους Ederington (1979), Hill and Schneeweis (1982), Nelson and Collins (1985), Gjerd (1987), Kawaller et al. (1987), Johnston and McConnell (1989), Chang et al. (1990) και Stoll and Whaley (1990) στην ανάδειξη της σημασίας των χρηματοοικονομικών αγορών futures για τη μείωση του κινδύνου μεταβολής των τιμών και κατ' επέκταση του περιορισμού του κινδύνου των επενδυτών.

Επίσης, υπάρχει σημαντικός όγκος μελετών σχετικά με τον υπολογισμό του βέλτιστου λόγου αντιστάθμισης, οι οποίες επικεντρώνονται γενικά σε 4 μεθοδολογικές κατηγορίες: (α) Μοντέλα Ελαχίστων Τετραγώνων - OLS (Ederington, 1979), (β) Μοντέλα Διόρθωσης Σφάλματος - ECM (Sargan, 1964), (γ) Μοντέλα βασισμένα στην Υπό Συνθήκη

Μεταβλητότητα - ARCH / GARCH (Engle, 1982 & Bollerslev, 1986) και (δ) μοντέλα αναδρομικού αλγόριθμου φίλτρου Kalman (Kalman, 1960).

Η εκτίμηση του συντελεστή αντιστάθμισης αποτελεί πεδίο έρευνας, ήδη από το 1960, με την μελέτη του Johnson (1960), να αποτελεί την πρώτη συστηματική εφαρμογή του μοντέλου ελαχιστοποίησης της διακύμανσης (minimum-variance hedge ratio, MVHR) για την εκτίμηση του συντελεστή αντιστάθμισης. Αργότερα, ο Ederington (1979) προχώρησε στην βελτίωση του μοντέλου, ελαχιστοποιώντας τη διακύμανση του συνολικού χαρτοφυλακίου με τη μέθοδο των Ελαχίστων Τετραγώνων (OLS).

Έκτοτε, αρκετές μελέτες, όπως αυτές των Park and Berra (1987) και Herbst et al (1989), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η στατική προσέγγιση του OLS συχνά αδυνατεί να αποτυπώσει τη χρονικά μεταβαλλόμενη σχέση μεταξύ spot και futures τιμών, ιδιαίτερα σε αγορές με υψηλή μεταβλητότητα, ενώ οι Moschini and Myers (2002) απορρίπτουν την υπόθεση ενός σταθερού συντελεστή αντιστάθμισης.

Συγκεκριμένα, η κλασική μέθοδος έχει δεχθεί κριτικές για την αποτελεσματικότητά της, ειδικά σε προϊόντα υψηλής μεταβλητότητας όπως τα κρυπτοστοιχεία, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την ετεροσκεδαστικότητα μεταξύ του υποκείμενου περιουσιακού στοιχείου και του συμβολαίου μελλοντικής εκπλήρωσης, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κλασική μέθοδος παλινδρόμησης, ως στατική μέθοδος, δεν λαμβάνει υπόψη τη χρονική μεταβολή της διακύμανσης, καθώς και την αλλαγή των λοιπών παραμέτρων, όπως η καμπυλότητα και η ασυμμετρία.

Ως εκ τούτου, η επόμενη γενιά μελετών επικεντρώθηκε σε μοντέλα ESM και ARCH, όπως τα GARCH, BEKK, VECM και MGARCH, τα οποία επιτρέπουν χρονικά μεταβαλλόμενες συνδιακυμάνσεις και συνεπώς δυναμικούς λόγους αντιστάθμισης.

Ειδικότερα, μελέτες των Ghosh (1995), Lien (1996), Ghosh and Clayton (1996), Chou et al. (1996), Sim and Zurbrugg (2001) έδειξαν ότι οι λόγοι αντιστάθμισης που βασίζονται σε ECM μοντέλα έχουν βρεθεί να αποδίδουν καλύτερα από εκείνους που προκύπτουν από OLS.

Οι Kenourgios et al. (2008) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του δείκτη S&P στις ΗΠΑ και έδειξαν ότι, όσον αφορά τη μείωση του κινδύνου, το ECM αποτελεί την κατάλληλη μέθοδο για την εκτίμηση των βέλτιστων hedge ratios, καθώς παρέχει καλύτερα αποτελέσματα από τη συμβατική

μέθοδο OLS, το ECM με σφάλματα GARCH, το μοντέλο GARCH και το μοντέλο EGARCH (1,1).

Επίσης, μελέτες όπως των Cecchetti et al (1988), Baillie and Myers (1991), Kroner and Sultan (1993), Park and Switzer (1995), Kavussanos and Nomikos (2000), Lien et al., 2002) και Moschini and Myers (2002) έδειξαν ότι τα πολυμεταβλητά GARCH μοντέλα συχνά υπερέχουν έναντι της στατικής μεθόδου απλής παλινδρόμησης (OLS), επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη μείωση κινδύνου.

Επίσης, οι Lypny and Powalla (1998) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης κινδύνου των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης του γερμανικού χρηματιστηριακού δείκτη DAX και έδειξαν ότι η εφαρμογή μιας δυναμικής στρατηγικής αντιστάθμισης βασισμένης σε μια διαδικασία GARCH (1,1) είναι οικονομικά και στατιστικά το πιο αποτελεσματικό μοντέλο.

Οι Floros and Vougas (2004) βρήκαν επίσης ότι οι συντελεστές αντιστάθμισης μέσω GARCH απέδωσαν καλύτερα από τις μεθόδους OLS και ECM για αντιστάθμιση στην Ελληνική Χρηματιστηριακή Αγορά για την περίοδο 1999-2001.

Επίσης, οι Laws and Thompson (2005) εκτίμησαν τους συντελεστές αντιστάθμισης με τις μεθόδους OLS, GARCH & EWMA (exponentially weighted moving average) σε δείκτες και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος EWMA έχει την καλύτερη απόδοση.

Ωστόσο, σε μελέτη των Butterworth and Holmes (2005) υποστηρίζεται ότι η προσέγγιση Extended Mean Gini Approach είναι καταλληλότερη από τη μέθοδο ελάχιστης διακύμανσης, καθώς έχει την δυνατότητα να ενσωματώνει τις προτιμήσεις και την αποστροφή κινδύνου του επενδυτή.

Οι Lee et al. (2009) εξέτασαν τέσσερα στατικά και ένα δυναμικό μοντέλο αντιστάθμισης, χρησιμοποιώντας δεδομένα από ΗΠΑ, Ταϊβάν, Ιαπωνία, Χονγκ Κονγκ, Κορέα και Σιγκαπούρη, προκειμένου να εξάγουν τα βέλτιστα hedge ratios. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, παρόλο που τα βέλτιστα hedge ratios διαφέρουν σε κάθε αγορά, η χρήση συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης σε χρηματιστηριακούς δείκτες αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο αντιστάθμισης, ανεξαρτήτως στρατηγικής ή χρονικού ορίζοντα.

Σε πιο πρόσφατη μελέτη, ο Zhou (2016) προχώρησε στην εφαρμογή διαφόρων δυναμικών και στατικών οικονομετρικών μοντέλων για τον υπολογισμό του συντελεστή αντιστάθμισης σε REIT Index Futures που διαπραγματεύονται σε τέσσερις διεθνείς αγορές. Σύμφωνα με

τα αποτελέσματα της έρευνας, οι μέθοδοι με σταθερό λόγο αντιστάθμισης δεν είναι απαραίτητα κατώτερες και ένα πιο περίπλοκο μοντέλο GARCH δεν οδηγεί αναγκαστικά σε καλύτερη απόδοση σε σχέση με ένα πιο λιτό μοντέλο, ενώ διαπιστώθηκε ότι μόνο τα μοντέλα DCC και BEKK παρέχουν σταθερά καλύτερες επιδόσεις και στις τέσσερις αγορές.

Ωστόσο, παράλληλες μελέτες υποστηρίζουν ότι η υπεροχή των σύνθετων μοντέλων δεν είναι πάντα δεδομένη, καθώς η απλότητα της απλής παλινδρόμησης (OLS) μπορεί να αποδειχθεί επαρκής σε ορισμένα περιβάλλοντα.

Στο συμπέρασμα αυτό καταλήγει ο Bystrom (2003), ο οποίος εξετάζοντας την αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης των συμβολαίων ηλεκτρικής ενέργειας στη Νορβηγία (1996–1999), βρήκε ότι ο λόγος αντιστάθμισης OLS απέδωσε ελαφρώς καλύτερα, ενώ οι Butterworth and Holmes (2001), σε μελέτη για τα FTSE-Mid250 futures, έδειξαν ότι το OLS, όταν εφαρμόζεται με τη μέθοδο Least Trimmed Squares και αφαιρούνται ακραίες τιμές, μπορεί να παράγει πιο αξιόπιστους λόγους αντιστάθμισης. Επιπλέον, οι Lien et al. (2002) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος OLS υπερέχει της GARCH μετά από εφαρμογή σε δέκα αγορές spot και futures (νομίσματα, εμπορεύματα και δείκτες). Πιο πρόσφατα οι Alexander and Barbosa (2006) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι μέθοδοι της ελάχιστης διακύμανσης (minimum variance) παρείχαν καλύτερη αντιστάθμιση από την απλή (naive) αντιστάθμιση με Futures ενώ συμφώνησαν με τον Lence (1995) στο γεγονός ότι τα σύνθετα οικονομετρικά μοντέλα (ECM, EWMA, GARCH) δεν προσδίδουν σημαντικό πλεονέκτημα ως προς τους συντελεστές αντιστάθμισης, σε σχέση με το απλό μοντέλο παλινδρόμησης (OLS), καθώς τα κόστη αναπροσαρμογής της αντιστάθμισης εξανεμίζουν τα όποια οφέλη.

Στην ίδια κατεύθυνση κινήθηκε και η μελέτη των Copeland and Zhu (2006), οι οποίοι προχώρησαν στην σύγκριση δυναμικών μεθόδων υπολογισμού με την κλασική μέθοδο OLS σε 6 διεθνείς αγορές και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει ξεκάθαρο πλεονέκτημα από την χρήση πιο περίπλοκων οικονομετρικών μοντέλων.

2.4 Μελέτες σε αντιστάθμιση παραγώγων Κρυπτοστοιχείων

Ενώ υπάρχει πλούτος μελετών πάνω στον συντελεστή αντιστάθμισης σε παράγωγα προϊόντα, οι μελέτες που έχουν γίνει πάνω σε παράγωγα Κρυπτονομισμάτων είναι πιο περιορισμένες, κάτι που δικαιολογείται άλλωστε από το γεγονός ότι η αγορά παραγώγων

Κρυπτονομισμάτων είναι νέα και σχετικά μικρή, ωστόσο αρχίζει να εμφανίζει σημαντική διεύρυνση τόσο σε πλήθος προϊόντων όσο και σε βάθος αγοράς.

Παρά τον μικρό τους αριθμό, οι μελέτες που έχουν γίνει μέχρι σήμερα πάνω στο Crypto Futures Hedge Ratio αποδεικνύουν ισχυρή σχέση ανάμεσα στις τιμές Futures και Spot, ωστόσο υπάρχει εκτενής συζήτηση σχετικά με την μέθοδο εκτίμησης της σχέσης τους. Παρακάτω αναφέρουμε τις βασικές μελέτες :

Οι Pal and Mitra (2019) υπολόγισαν τα βέλτιστα hedge ratios μεταξύ Bitcoin και άλλων χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων, χρησιμοποιώντας υπό συνθήκη μεταβλητότητα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο χρυσός αποτελεί καλύτερο μέσο αντιστάθμισης έναντι του Bitcoin.

Οι Beneki et al. (2019) μελέτησαν την ύπαρξη μεταδόσεων μεταβλητότητας και ικανότητας αντιστάθμισης μεταξύ Bitcoin και Ethereum χρησιμοποιώντας πολυμεταβλητή μεθοδολογία BEKK-GARCH. Τα ευρήματα αποκάλυψαν σημαντικές μεταβολές στη χρονικά μεταβαλλόμενη συσχέτιση και μια καθυστερημένη θετική αντίδραση της μεταβλητότητας του Bitcoin σε ένα θετικό σοκ μεταβλητότητας στις αποδόσεις του Ethereum.

Σε πρόσφατη μελέτη οι Alexander et al (2020) τεκμηριώνουν ότι τα παράγωγα στην πλατφόρμα συναλλαγών BitMEX είναι αποτελεσματικά ως προς την αντιστάθμιση της μεταβλητότητας των τιμών Spot.

Επίσης οι Deng et al. (2020) δείχνουν ότι τα Bitcoin inverse futures που διαπραγματεύονται σε crypto derivatives exchanges, μπορούν να αντισταθμίσουν ικανοποιητικά την έκθεση σε BTC ενώ προκρίνεται η ανωτερότητα της μεθόδου ελαχιστοποίησης της διακύμανσης στη μείωση του κινδύνου από την απλή αντιστάθμιση.

Οι Sebastião and Godinho (2020) διερεύνησαν την ικανότητα αντιστάθμισης των συμβολαίων CBOE Bitcoin futures στους πρώτους μήνες της διαπραγμάτευσής τους, εφαρμόζοντας τα μοντέλα OLS και DCC-GARCH, με τα αποτελέσματα να δείχνουν ότι τα συμβόλαια Bitcoin futures είναι αποτελεσματικά στην αντιστάθμιση όχι μόνο του Bitcoin, αλλά και άλλων μεγάλων κρυπτονομισμάτων (cross-hedging).

Οι Koulis and Kyriakopoulos (2021) διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης του Bitcoin Future, εκτιμώντας τον βέλτιστο συντελεστή αντιστάθμισης μέσω εναλλακτικών μοντέλων, τόσο σταθερών όσο και χρονικά μεταβαλλόμενων. Συγκεκριμένα,

εφαρμόστηκαν η συμβατική μέθοδος OLS, η μέθοδος ECM (error correction model), το μοντέλο GARCH και το μοντέλο EGARCH (1,1). Από τα ευρήματα προκύπτει ως πιο κατάλληλο το μοντέλο διόρθωσης σφαλμάτων (ECM), το οποίο παρέχει πιο αποτελεσματικούς δείκτες αντιστάθμισης από τις λοιπές μεθόδους, ενώ η έρευνα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης σε BTC είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την αντιστάθμιση κινδύνου.

Η Dangi (2022) μελέτησε την αποτελεσματικότητα των στατικών και δυναμικών στρατηγικών αντιστάθμισης για τα Bitcoin, Ethereum, XRP και Bitcoin Cash, εφαρμόζοντας τις μεθοδολογίες OLS, VECM, GARCH και TARARCH, καθώς και τις συμμετρικές και ασύμμετρες μεθοδολογίες diagonal VECM and diagonal BEKK για την εκτίμηση των δυναμικών συντελεστών αντιστάθμισης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όλα τα κρυπτονομίσματα έχουν αρνητικούς και στατιστικά σημαντικούς συντελεστές αντιστάθμισης, με εξαίρεση το XRP, καταδεικνύοντας την υπεροχή των στατικών στρατηγικών αντιστάθμισης έναντι των δυναμικών.

Οι Liu et al (2023) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης σε Bitcoin (CME BTC futures) ως εργαλείο αντιστάθμισης κινδύνου για διάφορα κρυπτονομίσματα και κρυπτο-δείκτες με μοντελοποίηση μέσω συζεύξεων (copulas) και εφαρμογής διαφορετικών μέτρων κινδύνου (value-at-risk, expected shortfall and spectral risk measures). Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε ως υπερέχουσα στον υπολογισμό του συντελεστή αντιστάθμισης έναντι της παραδοσιακής μεθόδου υπολογισμού μέσω διακύμανσης, η οποία θεωρείται ανεπαρκής λόγω ασυμμετριών, ακραίων γεγονότων και heavy tails στις αποδόσεις των κρυπτονομισμάτων. Η έρευνα μέσα από ένα εκτεταμένο, εκτός δείγματος backtesting, καταλήγει στο συμπέρασμα ότι τα Bitcoin futures αποτελούν ένα ισχυρό και αξιόπιστο εργαλείο αντιστάθμισης για το Bitcoin και τους αντίστοιχους δείκτες.

Οι Matsui and Knottenbelt (2023) προχώρησαν στην σύγκριση της κλασικής μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων με το φίλτρο Kalman, έναν αναδρομικό αλγόριθμο που κατ' ουσίαν αποτελεί ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μοντέλο εκτίμησης δυναμικών συντελεστών αντιστάθμισης. Τα αποτελέσματα της μελέτης επιβεβαιώνουν την υπεροχή του φίλτρου Kalman στην εκτίμηση του βέλτιστου λόγου αντιστάθμισης έναντι της μεθόδου OLS και καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι το Bitcoin future λειτουργεί αποτελεσματικά ως εργαλείο αντιστάθμισης κινδύνου.

Ένα άλλο σημαντικό πεδίο μελέτης για τους ερευνητές αποτελεί η επίδραση που έχει η εισαγωγή των παραγώγων προϊόντων στην τιμή των υποκείμενων προϊόντων.

Συγκεκριμένα οι Bouteska and Harasheh (2023) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η εισαγωγή των Future σε bitcoin αύξησε τη μεταβλητότητα του Bitcoin, ενώ παράλληλα μείωσε την δυνητική του απόδοση.

Στο ίδιο συμπέρασμα είχε καταλήξει και αντίστοιχη έρευνα των Jalan et al (2021), τα αποτελέσματα της οποίας ανέδειξαν την επιρροή του Bitcoin future στην αύξηση της μεταβλητότητας, της κύρτωσης και της ρευστότητας και παράλληλα στην μείωση της απόδοσης και της ασυμμετρίας.

3. Εμπειρική Εφαρμογή

3.1 Συλλογή Δεδομένων

Η παρούσα έρευνα επικεντρώνεται στα Κρυπτονομίσματα Bitcoin και Ethereum (Ether) καθώς και στα αντίστοιχα παράγωγα Futures που διαπραγματεύονται στο CME (Chicago Mercantile Exchange). Επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα Κρυπτοστοιχεία καθώς, στην παρούσα φάση, αποτελούν τα προϊόντα Crypto με την μεγαλύτερη διείσδυση στις αγορές και τον μεγαλύτερο όγκο συναλλαγών, ενώ αντίστοιχα τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης Bitcoin Future Contract και Ether future Contract στο CME επιλέχθηκαν καθώς διαπραγματεύονται σε ρυθμιζόμενη αγορά με πλήρη διαφάνεια τιμών και εκκαθάριση (Clearing), ενώ πραγματοποιούν σημαντικούς τζίρους.

Τα CME Bitcoin Future και Ether Future αποτελούν τα κυρίαρχα θεσμικά προϊόντα παραγώγων με τη μεγαλύτερη ρευστότητα και open interest, καθώς και με την ευρύτερη χρήση από επαγγελματίες traders και θεσμικούς επενδυτές.

Το δείγμα της έρευνας αφορά ημερήσια δεδομένα τιμών κλεισίματος για την περίοδο 01-01-2024 έως 17-04-2026, ήτοι 594 παρατηρήσεις, οι οποίες συλλέχθηκαν μέσω της πλατφόρμας www.investing.com.

Τα δεδομένα της χρονοσειράς εξάγονται από τον δείκτη BTC1! του CME, ο οποίος αποτυπώνει το Συνεχές Συμβόλαιο του Πρώτου Μήνα (Continuous Front Month Contract) για τα Futures του Bitcoin στο χρηματιστήριο CME και προκύπτει από τη διαδικασία rollover, δηλαδή τη μετάβαση από το συμβόλαιο του τρέχοντος μήνα στο επόμενο, σύμφωνα με συγκεκριμένους κανόνες (front-month, volume-based, open-interest-based).

Το CME δημιούργησε το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης σε bitcoin τον Δεκέμβριο του 2017 ως απάντηση στη ραγδαία ανάπτυξη της αγοράς κρυπτονομισμάτων, ενώ τον Φεβρουάριο του 2021 δημιουργήθηκε το συμβόλαιο μελλοντικής εκπλήρωσης σε Ethereum. Σήμερα στο CME διαπραγματεύονται αρκετά παράγωγα σε Crypto, καθιστώντας το τη μεγαλύτερη οικεία ρυθμιζόμενη αγορά. Παραθέτουμε τα διαθέσιμα προϊόντα σε Κρυπτονομίσματα που διαπραγματεύονται σήμερα στο εν λόγω χρηματιστήριο:

Η πρώτη κατηγορία αφορά Futures σε Bitcoin & Ether διαθέσιμα σε standard μέγεθος (5 BTC και 50 ETH αντίστοιχα), καθώς και Futures σε Altcoins, όπως Solana (SOL), XRP, Cardano (ADA), Chainlink (LINK), Stellar (XLM), Avalanche (AVAX) και Sui (SUI), ενώ

προσφέρονται και Bitcoin Friday Futures (BFF) που είναι εβδομαδιαία συμβόλαια που λήγουν κάθε Παρασκευή, προσφέροντας ευελιξία σε βραχυπρόθεσμες κινήσεις.

Επίσης διαπραγματεύονται Euro - Denominated Exposure, δηλαδή συμβόλαια σε Bitcoin και Ether σε Euro, ενώ υπάρχει και ένα εξειδικευμένο συμβόλαιο για τη διακύμανση της ισοτιμίας μεταξύ των δύο μεγαλύτερων κρυπτονομισμάτων το Ether / Bitcoin Ratio.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά Micro Futures και συγκεκριμένα Micro Bitcoin & Micro Ether με μέγεθος 1/10 του νομίσματος, Micro Altcoins διαθέσιμα για όλα τα παραπάνω κρυπτονομίσματα (SOL, XRP, ADA κ.λπ.) σε πολύ μικρά μεγέθη συμβολαίων.

Η τρίτη κατηγορία αφορά Options με υποκείμενο τίτλο σε Bitcoin και Ether futures, καθώς και Micro Options διαθέσιμα σε Micro Bitcoin, Micro Ether, Micro SOL και Micro XRP.

Το CME, διακρίνοντας το έντονο ενδιαφέρον για Παράγωγα Κρυπτοστοιχεία, λανσάρει νέα προϊόντα & Δείκτες, όπως το Nasdaq CME Crypto Index Futures, τα οποία αναμενόταν να ξεκινήσουν στις 8 Ιουνίου 2026 και αφορούν συμβόλαια σε δείκτη που παρακολουθεί 7 διαφορετικά κρυπτονομίσματα βάσει κεφαλαιοποίησης, τα Spot-Quoted Futures τα οποία επιτρέπουν τη διαπραγμάτευση απευθείας στην τρέχουσα (spot) τιμή της αγοράς καθώς και τα Bitcoin Volatility Futures που σχεδιάζονται για επενδυτές που θέλουν να διαχειριστούν την έκθεση στην μεταβλητότητα του Bitcoin.

Σημειώνεται ότι το CME προγραμματίσει τη μετάβαση σε καθημερινή 24ωρη διαπραγμάτευση (24/7) για τα crypto Futures και Options, από 29 Μαΐου 2026.

3.2 Στατιστική Ανάλυση

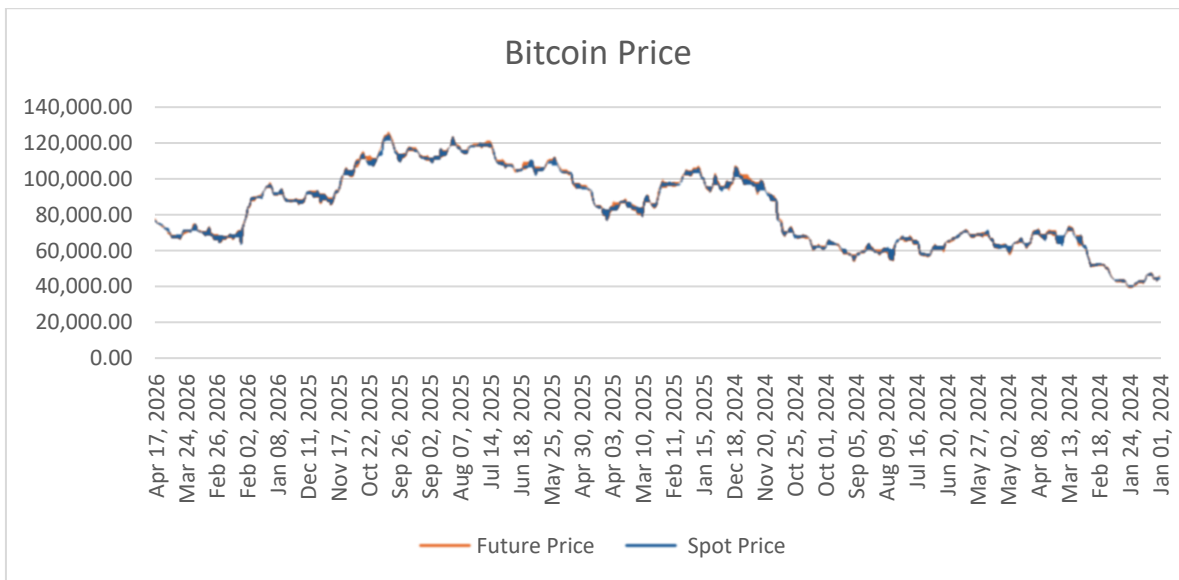
3.2.1 Περιγραφικά Στατιστικά

Στα γραφήματα 2 και 3 παρατίθεται η εξέλιξη των τιμών του δείγματος, από τα οποία παρατηρούνται τα εξής :

Υφίσταται έντονη μεταβλητότητα στην πορεία και των δύο Κρυπτονομισμάτων με εντονότερη αυτή του Ether.

Η εξέλιξη των τιμών Spot και Future συμπίπτει καθώς υπάρχει σημαντική θετική συσχέτιση, όπως προκύπτει και από τον συντελεστή συσχέτισης.

Αποτυπώνεται η έντονη πτώση των τιμών που ξεκίνησε από τα τέλη Σεπτεμβρίου του 2025, με αποτέλεσμα και τα δύο κρυπτονομίσματα να έχουν απωλέσει σημαντικό μέρος της αξίας τους και συγκεκριμένα το Ether ποσοστό ~50% και το Bitcoin ποσοστό ~40%.



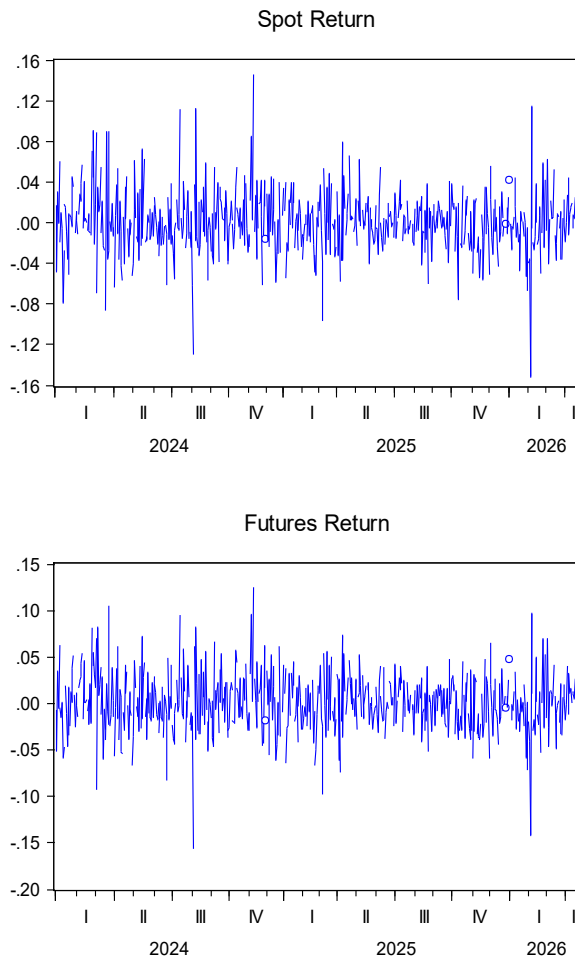
Γράφημα 1 : Εξέλιξη Τιμής Bitcoin



Γράφημα 2 : Εξέλιξη Τιμής Ether

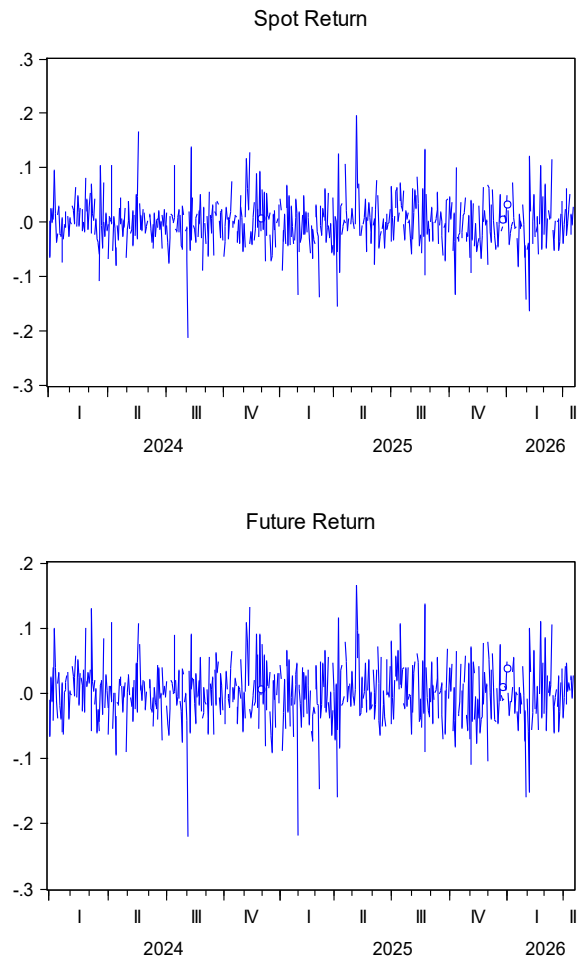
Εν συνεχεία υπολογίστηκαν οι ημερήσιες λογαριθμικές αποδόσεις μέσω της σχέσης : $r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ και η εξέλιξη των αποδόσεων αποτυπώνεται στα διαγράμματα 4 και 5 :

Bitcoin



Γράφημα 3 : Μεταβολές Αποδόσεων Spot / Future Bitcoin

Ethereum



Γράφημα 4 : Μεταβολές Αποδόσεων Spot / Futures Ether

Φαίνεται θετική συσχέτιση των αποδόσεων Spot & Futures και στα δύο Κρυπτονομίσματα, ειδικά όσον αφορά στις ακραίες τιμές.

Το Ether εμφανίζει μεγαλύτερη μεταβλητότητα αποδόσεων.

Και τα δύο Κρυπτονομίσματα έχουν εμφανίσει ακραίες τιμές αποδόσεων που για το Bitcoin φθάνουν το $\pm 15\%$, ενώ μεγαλύτερες για το Ether -20% και $+15\%$

Από τα περιγραφικά Στατιστικά, όπως αποτυπώνονται στον πίνακα 1, αντλούνται περαιτέρω σημαντικά συμπεράσματα για τις αποδόσεις:

Η τυπική απόκλιση των αποδόσεων Spot & Futures συγκλίνει, ενώ είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση του Ether, όπου ανέρχεται σε 4,3% στις αποδόσεις Spot και 4,47% στις αποδόσεις Future.

Αντίστοιχα το εύρος των αποδόσεων φθάνει περίπου το ~29% για το Bitcoin και αυξάνεται στο 41% για το Ether στις Spot αποδόσεις.

Η μέγιστη θετική απόδοση συναντάται στις αποδόσεις Spot του Ether με 19,7% και 16,5% αντίστοιχα στα Futures, καθώς επίσης και οι αρνητικές με -21,32% και -22,15% αντίστοιχα.

Προκειμένου να ελεγχθεί εάν τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή, έγινε έλεγχος Jarque-Bera σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, από τις τιμές του οποίου προκύπτει ότι τα δεδομένα και για τα δύο ζεύγη δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή όπως προκύπτει τόσο από την κρίσιμη τιμή, όσο και από την πιθανότητα p-value η οποία είναι μηδενική, ως εκ τούτου απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση H_0 ότι τα δεδομένα ακολουθούν την κανονική κατανομή.

Πίνακας 1 : Περιγραφικά Στατιστικά Bitcoin / Ether

	BITCOIN		ETHER	
	SPOT RETURNS	FUTURES RETURNS	SPOT RETURNS	FUTURE RETURNS
Μέσος	0,00093789	0,000893131	0,000048704	0,000012517
Τυπικό σφάλμα	0,001251893	0,0013037	0,001771258	0,001836423
Διάμεσος	0,000057066	0,000540962	-0,00042805	0,000317511
Μέση απόκλιση τετραγώνου	0,030511269	0,031773926	0,043132942	0,0447198134
Διακύμανση	0,000930938	0,001009582	0,001860451	0,001999862
Κύρτωση	3,081963853	1,98948796	2,962661398	2,581220122
Ασυμμετρία	0,180803265	-0,070432975	0,053976789	-0,27586137
Εύρος	0,298795985	0,283396695	0,410521504	0,387137988
Ελάχιστο	-0,151457771	-0,157545638	-0,213271264	-0,221492023
Μέγιστο	0,147338213	0,125851056	0,19725024	0,165645964
Άθροισμα	0,557106854	0,530520009	0,02888124	0,007422714
Πλήθος	594	594	593	593
Jarque-Bera	238,32	98,45	217,16	172,15
p-value	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

3.2.2 Έλεγχοι Υποθέσεων

3.2.2.1 Έλεγχος μοναδιαίας Ρίζας (Unit Root Test)

Ο έλεγχος μοναδιαίας ρίζας ή διαφορετικά έλεγχος στασιμότητας συνεισφέρει στο να εξακριβωθεί εάν τα στατιστικά στοιχεία μιας χρονοσειράς, όπως ο μέσος όρος και η διακύμανση, αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου ή παραμένουν σταθερά. Το αποτέλεσμα είναι κρίσιμο, καθώς μπορεί να επηρεάσει την αποτελεσματικότητα του στατιστικού μοντέλου. Συνεπώς, όταν μια χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη, το υπόδειγμα της παλινδρόμησης μπορεί να οδηγήσει σε ψευδές αποτέλεσμα, ενώ πολλά οικονομετρικά μοντέλα απαιτούν σταθερές χρονοσειρές για να εξάγουν ακριβείς και αποτελεσματικές προβλέψεις.

Εν προκειμένω ο έλεγχος στασιμότητας θα γίνει μέσω του υποδείγματος Augmented Dickey Fuller (ADF Test), σύμφωνα με το οποίο η μηδενική υπόθεση σημαίνει ότι υπάρχει μοναδιαία ρίζα, άρα η σειρά δεν είναι στάσιμη. Η γενική μορφή του υποδείγματος είναι η κάτωθι :

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta t + \rho Y_{t-1} + \sum_{i=1}^p \gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t$$

Ο έλεγχος ADF εφαρμόστηκε στο Excel εφαρμόζοντας παλινδρόμηση στην πρώτη διαφορά της χρονοσειράς ως προς το υστερημένο επίπεδο, καθώς και στην επέκταση σε έως τρεις υστερήσεις, οι οποίες ωστόσο δεν απέδωσαν στατιστική σημαντικότητα. Ως εκ τούτου, η ανάλυση περιορίστηκε στην παλινδρόμηση των διαφορών ως προς το υστερημένο επίπεδο.

Για να επιβεβαιωθεί το γεγονός υπολογίστηκε και αξιολογήθηκε το κριτήριο AIC (Akaike Information Criterion) σε βάθος έως και τρεις υστερήσεις και η μεγαλύτερη τιμή παρέμεινε στο υστερημένο επίπεδο.

Βάσει του κριτηρίου t-stat του συντελεστή του υστερημένου επιπέδου, ο οποίος συγκρίθηκε με τις κριτικές τιμές του Dickey–Fuller προέκυψε η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης ήτοι ότι οι χρονοσειρές είναι στάσιμες.

Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον πίνακα 2 :

Πίνακας 2 : Αποτελέσματα Augmented Dickey-Fuller Test

	BITCOIN SPOT	BITCOIN FUTURE	ETHER SPOT	ETHER FUTURE
t-stat	-25,83	-26,73	-24,36	-25,76
p-value	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

3.2.2.2 Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας – Arch Effect Test

Μετά την εφαρμογή της γραμμικής παλινδρόμησης θα ακολουθήσει έλεγχος ετεροσκεδαστικότητας, προκειμένου να εξακριβωθεί εάν παρατηρείται το φαινόμενο στο δείγμα. Ο έλεγχος θα γίνει με την εφαρμογή Arch LM Test Engle (1982).

Ο έλεγχος ARCH–LM βασίζεται στην εκτίμηση ενός βοηθητικού υποδείγματος παλινδρόμησης των τετραγώνων των υπολοίπων. Εφαρμόζοντας την εξίσωση γραμμικής παλινδρόμησης στα δεδομένα του δείγματος λαμβάνονται τα κατάλοιπα της $\hat{u}_t$ και αφού δημιουργηθούν q υστερήσεις (lags), εφαρμόζεται εκ νέου παλινδρόμηση. Η μαθηματική διατύπωση του ελέγχου είναι η εξής :

$$\hat{u}_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{u}_{t-1}^2 + \alpha_2 \hat{u}_{t-2}^2 + \dots + \alpha_q \hat{u}_{t-q}^2 + v_t,$$

Η μηδενική υπόθεση του ελέγχου είναι ότι δεν υπάρχει αυτοσυσχέτιση στη διακύμανση, δηλαδή:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_q = 0.$$

Το στατιστικό LM υπολογίζεται ως $LM = T * R^2$, όπου T ο αριθμός των παρατηρήσεων και R^2 ο συντελεστής προσδιορισμού της βοηθητικής παλινδρόμησης. Στη μηδενική υπόθεση, το LM ακολουθεί κατανομή $\chi^2(q)$. Ισοδύναμη πληροφορία δίνει και το F–statistic της βοηθητικής παλινδρόμησης, για την ύπαρξη ή μη ARCH effects. Η απόρριψη της H_0 υποδηλώνει την παρουσία ετεροσκεδαστικότητας.

Εν προκειμένω έγινε έλεγχος Arch-LM σε βάθος 1 υστέρησης για τα ζεύγη Bitcoin Spot / Futures και Ether Spot / Futures μέσω του στατιστικού προγράμματος EVIEWS, τα αποτελέσματα του οποίου παρατίθενται στους πίνακες 12 και 13 του παραρτήματος.

Ο έλεγχος ARCH για το ζεύγος Bitcoin έδειξε έντονο φαινόμενο ετεροσκεδαστικότητας στα κατάλοιπα του μοντέλου. Τα στατιστικά F και $Obs * R^2$ είναι ιδιαίτερα υψηλά, 113,8 και 95,75 αντίστοιχα, ενώ τα αντίστοιχα p-values είναι μηδενικά ($p = 0.0000$), οδηγώντας στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης περί απουσίας ARCH effect.

Επιπλέον, οι συντελεστές των τετραγώνων των καταλοίπων προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί, γεγονός που επιβεβαιώνει την ύπαρξη χρονικά μεταβαλλόμενης μεταβλητότητας.

Και στην περίπτωση του Ether, ο έλεγχος Arch ανέδειξε έντονη παρουσία ετεροσκεδαστικότητας, καθώς τα στατιστικά F και $\text{Obs} \cdot R^2$ είναι ιδιαίτερα υψηλά (85,29 και 74,77 αντίστοιχα), με μηδενικές p-values, οδηγώντας και εδώ στην απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης περί απουσίας ARCH effect.

Επίσης οι συντελεστές των τετραγώνων των καταλοίπων προκύπτουν στατιστικά σημαντικοί, γεγονός που επιβεβαιώνει την ύπαρξη χρονικά μεταβαλλόμενης μεταβλητότητας.

3.2.2.3 Έλεγχος παράλειψης σημαντικών μεταβλητών

Έναν πρόσθετο διαγνωστικό έλεγχο της μεθόδου γραμμικής παλινδρόμησης αποτελεί ο έλεγχος παράλειψης σημαντικών μεταβλητών (Omitted Variables Test) ο οποίος ερευνά εάν το υπόδειγμα παρέχει ορθή εξειδίκευση και δεν έχουν παραλειφθεί σημαντικές ερμηνευτικές μεταβλητές. Εφόσον από τον έλεγχο αποδειχθεί ότι υφίστανται ερμηνευτικές μεταβλητές που δεν έχουν συμπεριληφθεί στο μοντέλο, όπως η υπό συνθήκη διακύμανση, τότε ενδεχομένως να απαιτηθεί η υιοθέτηση διαφορετικού οικονομετρικού μοντέλου, όπως Garch. Με λίγα λόγια, το τεστ αυτό εξετάζει εάν υπάρχει μη γραμμικότητα στο μοντέλο.

Εν προκειμένω, ο έλεγχος Omitted Variable Test εφαρμόστηκε συμπληρωματικά για να διερευνηθεί πιθανή ύπαρξη μη γραμμικότητας στη σχέση μεταξύ spot και futures αποδόσεων και διενεργήθηκε μέσω του στατιστικού προγράμματος EVIEWS. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους κάτωθι πίνακες 3 και 4.

Πίνακας 3 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Bitcoin

BITCOIN				
Στατιστική	Τιμή	df	p-value	Σημαντικότητα
t-statistic	2,1556	591	0,0315	5%
F-statistic	4,6468	(1, 591)	0,0315	5%
Likelihood Ratio	4,6521	1	0,0310	5%

Εκ των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η μηδενική υπόθεση H_0 = η μεταβλητή $FUTURES_RETURN^2$ δεν είναι στατιστικά σημαντική, απορρίπτεται σε επίπεδο 5%, καθώς το F-statistic = 4,64 με p-value = 0,0315.

Η θετική και στατιστικά σημαντική επίδραση του τετραγώνου των αποδόσεων υποδηλώνει ότι η σχέση spot / future δεν είναι αυστηρά γραμμική, αλλά περιλαμβάνει μη γραμμικά

στοιχεία που ενδέχεται να προκύπτουν από φαινόμενα μεταβαλλόμενης διακύμανσης (ARCH/GARCH effects)

Αυτό σημαίνει ότι όταν οι αποδόσεις των futures είναι μεγάλες (θετικές ή αρνητικές), οι αντίστοιχες αποδόσεις spot μεταβάλλονται δυσανάλογα, γεγονός που μπορεί να υποδηλώνει ασυμμετρία στη μεταβλητότητα ή leverage effect.

Δεδομένου ότι και οι τρεις στατιστικοί έλεγχοι απορρίπτουν τη H_0 σε επίπεδο 5%, τεκμηριώνεται ότι η μεταβλητή $FUTURES_RETURN^2$ δεν πρέπει να παραλείπεται από το μοντέλο.

Ωστόσο σε επίπεδο σημαντικότητας 1% η μηδενική δεν απορρίπτεται καθώς τα p-values ανέρχονται σε 0,03.

Ο συντελεστής της μεταβλητής $FUTURES_RETURN^2$ ανέρχεται σε 0,583 και είναι στατιστικά σημαντικός (p-value 0,0315), που σημαίνει ότι η σχέση μεταξύ των αποδόσεων Spot και Futures δεν είναι αυστηρά γραμμική, αλλά παρουσιάζει κυρτότητα (convexity) και συγκεκριμένα δείχνει ότι οι μεγάλες μεταβολές στις αποδόσεις των futures, είτε θετικές είτε αρνητικές, προκαλούν μεγαλύτερη αύξηση στις spot αποδόσεις.

Η προσαρμογή του νέου μοντέλου έχει $R\text{-squared} = 0,813$ που βελτιώνει οριακά την εξειδίκευση του μοντέλου, καθώς το αντίστοιχο μοντέλο χωρίς τη νέα μεταβλητή έχει $R\text{-squared} 0,811$.

Πίνακας 4 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Ether

ETHER				
Στατιστική	Τιμή	df	p-value	Σημαντικότητα
t-statistic	2,0018	590	0,0458	5%
F-statistic	4,0074	(1, 590)	0,0458	5%
Likelihood Ratio	4,0141	1	0,0451	5%

Ο έλεγχος Omitted Variable Test για το ζεύγος ETH spot–future δείχνει ότι ο μη γραμμικός όρος $FUTURE_RETURN^2$ είναι στατιστικά σημαντικός σε επίπεδο 5% καθώς $F = 4.007$, $p = 0.0458$, ως εκ τούτου η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται, γεγονός που υποδηλώνει ότι η σχέση μεταξύ spot και futures αποδόσεων δεν είναι αυστηρά γραμμική, αλλά περιλαμβάνει μη γραμμικά στοιχεία.

Η θετική και στατιστικά σημαντική επίδραση του τετραγώνου των αποδόσεων υποδηλώνει ότι οι μεγάλες μεταβολές στα futures έχουν δυσανάλογη επίδραση στις spot αποδόσεις.

Δεδομένου ότι και οι τρεις στατιστικοί έλεγχοι απορρίπτουν τη μηδενική υπόθεση σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, τεκμηριώνεται ότι η $FUTURE_RETURN^2$ είναι στατιστικά σημαντική και η παράλειψή της συνιστά εξειδίκευση.

Ο συντελεστής 0,3658 στο $FUTURE_RETURN^2$ είναι στατιστικά σημαντικός (p-value 0,0458) και υποδεικνύει κυρτή σχέση, δηλαδή όταν οι αποδόσεις futures είναι ακραίες (θετικά ή αρνητικά), η spot αγορά αντιδρά δυσανάλογα.

Ωστόσο, τα p-values 0,0458 και 0,0451 είναι οριακά ελάχιστα κάτω από το 5%, ενώ σε επίπεδο 1% η μηδενική υπόθεση δεν απορρίπτεται.

Το γραμμικό μοντέλο με μόνο $FUTURE_RETURN$ είναι ισχυρό καθώς το $R\text{-squared} = 0,8096$ αλλά η προσθήκη του τετραγωνικού όρου βελτιώνει οριακά την εξειδίκευση του μοντέλου καθώς το αντίστοιχο $R\text{-squared}$ ανέρχεται σε 0,8108.

3.2.3 Ανάλυση Μεταβλητότητας

Στη παρούσα ενότητα επιχειρείται η μελέτη της μεταβλητότητας των αποδόσεων Spot και Futures του Bitcoin αλλά και της βάσης για την περίοδο του δείγματος.

Ως βάση ορίζεται η διαφορά της τιμής του συμβολαίου μελλοντικής εκπλήρωσης με την τιμή μετρητοίς, ήτοι $B = F - S$. Για κάθε συμβόλαιο που διαπραγματεύεται στην αγορά υφίσταται κι η αντίστοιχη βάση σε σχέση με την τιμή μετρητοίς.

Η βάση είναι συνάρτηση της διάρκειας του ΣΜΕ έως την λήξη του και η τιμή του ΣΜΕ συγκλίνει προς την τιμή μετρητοίς όσο το ΣΜΕ πλησιάζει στη λήξη του. Ωστόσο υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί παράγοντες που διαμορφώνουν τη βάση, όπως η προσφορά και η ζήτηση, συμπεριλαμβανομένης και της ρευστότητας, οι προσδοκίες για την εξέλιξη των τιμών μετρητοίς και ΣΜΕ, το κόστος συναλλαγών καθώς και τυχόν πληρωμές που αναμένονται από το υποκείμενο προϊόν ή χρηματοπιστωτικό τίτλο, ενώ είναι σύνηθες η βάση να είναι αρνητική, εφόσον οι πληρωμές που αναμένεται να καταβληθούν υπερβαίνουν το κόστος διατήρησης (Μυλωνάς, 2005).

Όταν η βάση είναι θετική, δηλαδή η τιμή του ΣΜΕ είναι μεγαλύτερη, τότε η θέση ονομάζεται Contango, ενώ όταν το Future είναι φθηνότερο η θέση ονομάζεται Backwardation και αποτελεί συνήθως δείγμα φόβου στην αγορά.

Μέσα από τον κυλιόμενο υπολογισμό της τυπικής απόκλισης των αποδόσεων, με rollover 24 ημερών, τόσο για τις τιμές Spot & Futures όσο για τη βάση, εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για την εξέλιξή τους και οι μεταβολές συνδέονται με μεγάλα γεγονότα που συνέβησαν την συγκεκριμένη περίοδο.

Αρχικά υπολογίστηκε η μεταβλητότητα της βάσης συνολικά για το διάστημα της έρευνας, αλλά και για 3 χρονικά διαστήματα που αφορούν τα έτη 2024, 2025, 2026. Επίσης η μεταβλητότητα αντιστοιχίζεται με τις μέγιστες μεταβλητότητες κάθε έτους, καθώς και με την συσχέτιση μεταξύ Spot & Future. Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα που παρατίθενται στον πίνακα 4, η συνολική μεταβλητότητα με μέτρο την τυπική απόκλιση, υπολογίζεται σε 0,98% που αντιστοιχεί σε 15,56% ετησιοποιημένη (1y std dev), ενώ εξετάζοντας κάθε έτος προκύπτει διαχρονική μείωση της μεταβλητότητας, η οποία διαμορφώνεται ετησιοποιημένη σε 13,49% το 2026 από 17,62% το 2024. Φθίνουσα πορεία παρατηρείται και στη μέγιστη μεταβλητότητα της βάσης, η οποία για το 2024 υπολογίστηκε σε 1,87% και αφορά το διάστημα 01/04/24 έως 26/04/24, ενώ για το 2025 και 2024 τα μέγιστα διαμορφώνονται σε μικρότερο ύψος. Η συσχέτιση παραμένει υψηλή διαχρονικά σε 0,9 και ενισχύεται κατά το τρέχον έτος σε 0,93. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον πίνακα 5.

Πίνακας 5 : Εξέλιξη Μεταβλητότητας Βάσης Bitcoin και Εξέλιξη Συντελεστή Συσχέτισης

Χρονικό Διάστημα	Volatility (std) Base	Volatility (1y std) Base	Max	Correlation
01/01/24 - 17/07/26	0,98%	15,56%		0,90
01/01/26 - 17/04/26	0,85%	13,49%	1,12%	0,93
01/01/25 - 31/12/25	0,87%	13,81%	1,46%	0,88
01/01/24 - 31/12/24	1,11%	17,62%	1,87%	0,90

Από τη μελέτη διακρίνονται κυρίως 4 περίοδοι έντονης μεταβλητότητας, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν προκειμένου να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης, όπως θα προκύψει από την εφαρμογή των μοντέλων.

Στη πρώτη περίοδο, που αφορά το διάστημα από 15/02/24 έως 05/04/24, στην οποία εντοπίστηκε η αιχμή της μεταβλητότητας 1,87%, έλαβε χώρα ένα από τα πιο ιστορικά γεγονότα που αφορούν το Bitcoin. Στις 14 Μαρτίου 2024, το Bitcoin έσπασε το προηγούμενο ρεκόρ του, φτάνοντας περίπου τα \$73.700, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί αισιοδοξία και στα futures οδηγώντας σε σημαντικό premium και κατ' επέκταση αύξηση της βάσης. Επίσης την ίδια περίοδο έλαβε χώρα το 4^ο Halving του Bitcoin, ενώ τον Ιανουάριο του ίδιου έτους η Αμερικανική SEC (Securities and Exchange Commission) ενέκρινε την έκδοση 11 νέων ETF σε Bitcoin, γεγονός που εκτίναξε από τη μια τη ζήτηση για αγορά Spot Bitcoin, από την άλλη πίεσε τις πωλήσεις σε Futures.

Η δεύτερη περίοδος αφορά το διάστημα 02/07/24 έως 05/09/24 που αποτέλεσε ένα από τα πιο έντονα διαστήματα για το Bitcoin, καθώς συνδυάστηκαν τρία μεγάλα γεγονότα :

Μεγάλη Προσφορά / Πωλήσεις καθώς, αφενός η γερμανική κυβέρνηση ρευστοποίησε 50.000 BTC, αφετέρου ξεκίνησαν οι αποπληρωμές δισεκατομμυρίων από το χρεοκοπημένο ανταλλακτήριο Mt. Gox, προκαλώντας φόβο για μαζική προσφορά στην αγορά².

Αρνητικές μακροοικονομικές εξελίξεις στις ΗΠΑ και στην Ιαπωνία και συγκεκριμένα η κατάρρευση του Ιαπωνικού Χρηματιστηρίου που προκάλεσε πανικό στις διεθνείς αγορές και οδήγησε το Bitcoin σε βουτιά με μαζικές ρευστοποιήσεις, καθώς και οι ανησυχίες για την πορεία των επιτοκίων της Fed και την υγεία της αμερικανικής οικονομίας.

Επίσης συνέπεσε αύξηση δυσκολίας του mining και πτώση των εσόδων των miners καθώς τα έσοδά τους έπεσαν από \$1,93 δις σε \$ 951 εκατ., αποτέλεσμα που συχνά οδηγεί στην πώληση Bitcoin προκειμένου να καλυφθεί το κόστος λειτουργίας³.

Η τρίτη περίοδος, 08/10/25 - 21/11/25, σημαδεύθηκε από μια μεγάλη κατάρρευση του Bitcoin από το ιστορικό υψηλό των \$126.000, λόγω υπερβολικής μόχλευσης, ενώ στις 10 Οκτωβρίου σημειώθηκε το μεγαλύτερο long squeeze στην ιστορία με ρευστοποιήσεις ύψους \$19 δις⁴. Επίσης η αβεβαιότητα που επήλθε από το κυβερνητικό shutdown στις ΗΠΑ, καθώς και η μακροοικονομική αβεβαιότητα από την ανακοίνωση νέων δασμών στην Κίνα

² <https://finance.yahoo.com/markets/crypto/articles/germany-sells-off-final-bitcoin-064941448.html>

³ <https://cryptonews.com/exclusives/bitcoin-in-july-what-lies-ahead-for-btc-price/>

⁴ <https://www.investing.com/analysis/bitcoin-prices-could-stabilize-as-market-searches-for-new-support-levels-200668467>

αλλά και οι ανακοινώσεις για έλεγχο των Κινέζικων Εξαγωγών πρώτων υλών προκάλεσαν ρευστοποιήσεις από risky assets⁵.

Η τέταρτη περίοδος, από 06/01/2026 έως 09/03/2026, χαρακτηρίστηκε από μια δεύτερη κατάρρευση της αγοράς Crypto, εν μέσω γεωπολιτικών αναταράξεων και σημαντικών ρευστοποιήσεων. Η εν γένει γεωπολιτική αστάθεια που εντάθηκε από την κρίση στη Μέση Ανατολή και η άνοδος της τιμής του πετρελαίου οδήγησε τους επενδυτές στην αναζήτηση ασφαλών καταφυγίων, με αποτέλεσμα σημαντικές ρευστοποιήσεις σε ριψοκίνδυνα προϊόντα, με τα Spot ETFs να καταγράφουν ρεκόρ εκροών⁶.

Τα αποτελέσματα για κάθε περίοδο παρατίθενται στον πίνακα 6 :

Πίνακας 6 : Εξέλιξη Μεταβλητότητας Spot / Futures / Base Bitcoin

Χρονικό Διάστημα	Volatility (std) Spot	Volatility (std) Future	Volatility (std) Base
15/02/24 - 05/04/24	4,31%	4,16%	1,56%
02/07/24 - 05/09/24	3,96%	4,13%	1,23%
08/10/25 - 21/11/25	2,74%	2,90%	1,13%
06/01/26 - 09/03/26	3,94%	3,97%	0,72%
27/10/25 - 05/02/26	3,39%	3,43%	0,66%

Και στις τέσσερις περιόδους η μεταβλητότητα είναι αυξημένη σε σχέση με την μεταβλητότητα της συνολικής περιόδου του δείγματος, η οποία υπολογίζεται σε 3,05% για τη Spot αγορά και 3,18% για την αγορά παραγώγων. Ιδιαίτερη ένταση παρατηρείται το 2026 καθώς και το 2024. Σημαντικό εύρημα αποτελεί η διαχρονική μείωση της μεταβλητότητας της βάσης, σε ποσοστό 41,6% από το 2024 στο 2026, γεγονός που αποτελεί ένδειξη ωρίμανσης της αγοράς και μπορεί να εξηγηθεί από τους κάτωθι παράγοντες :

Σύμφωνα με τους Babalos et al (2025) η μεταβλητότητα του Bitcoin μειώθηκε μετά την έγκριση των Spot ETFs τον Ιανουάριο του 2024, αυξάνοντας τη συσχέτιση του Bitcoin με παραδοσιακούς δείκτες όπως ο S&P 500. Καθώς η ρευστότητα αυξάνεται μέσω θεσμικών επενδυτών το arbitrage γίνεται πιο αποτελεσματικό και εξορθολογίζει τις τιμές, καθώς οι θεσμικοί παίκτες αγοράζουν Spot μέσω ETF και πουλάνε Futures στο CME, συμπιέζοντας τις αποκλίσεις.

⁵ <https://www.binance.com/en/square/post/31882440997769>

⁶ <https://www.binance.com/en/square/post/289068326767281>

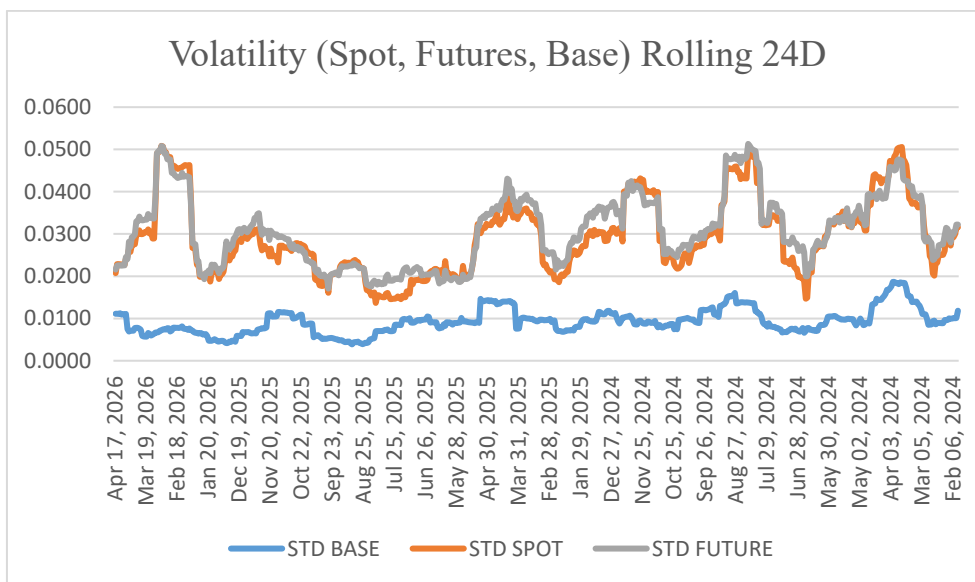
Επίσης, σε έκθεσή της, η S&P Global επιβεβαιώνει τη μακροπρόθεσμη πτωτική τάση της μεταβλητότητας του Bitcoin⁷.

Επιβεβαίωση των ανωτέρω προκύπτει και από μελέτη των Conlon et al (2024), τα αποτελέσματά της οποίας, μεταξύ άλλων, δείχνουν ότι οι αγορές futures του Bitcoin εμφανίζουν μια πιο οξεία αντίδραση στις απότομες ανόδους της μεταβλητότητας των παραδοσιακών αγορών παραγώγων, υποδηλώνοντας υψηλότερη αποτελεσματικότητα της αγοράς και πιθανή ευρεία υιοθέτηση του Bitcoin ως χρηματοοικονομικού περιουσιακού στοιχείου άρα ωρίμανση της αγοράς Futures του Bitcoin.

Από πρόσφατα στοιχεία προκύπτει ότι η μείωση της βάσης στην αγορά παραγώγων Κρυπτονομισμάτων στο CME σε επίπεδο Risk Free Rate έχει αποθαρρύνει τους θεσμικούς επενδυτές, καθώς οι ευκαιρίες arbitrage έχουν μειωθεί σημαντικά⁸.

Επίσης η μείωση της μεταβλητότητας συγκρίνεται και με προηγούμενες μελέτες όπως αυτές των Koulis and Kyriakopoulos (2021) και των Gupta and Chaudhary (2022), στις οποίες η μεταβλητότητα Spot και Future για τα έτη 2018-2022 ξεπερνούσε το 4%.

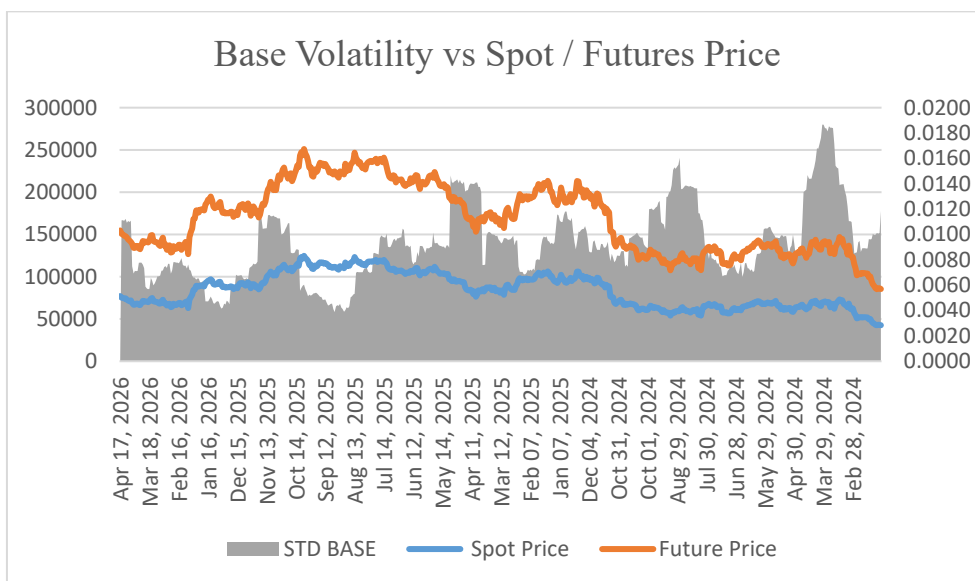
Στα διαγράμματα 6 και 7 αποτυπώνονται οι τυπικές αποκλίσεις σε rolling window 24 ημερών, καθώς και το volatility της βάσης σε σύγκριση με τις τιμές Spot και Future.



Γράφημα 5 : Εξέλιξη Κυλιόμενου Δείκτη Μεταβλητότητας 24 ημερών για Spot, Futures, Base

⁷ <https://www.spglobal.com/en/research-insights/special-reports/bitcoin-volatility-trends-deep-dive>

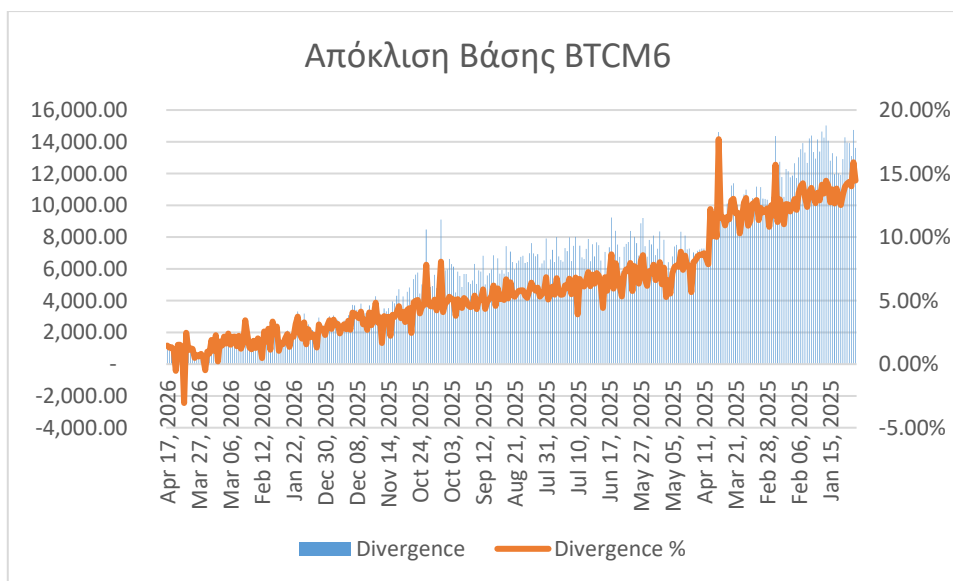
⁸ <https://phemex.com/news/article/cme-bitcoin-futures-open-interest-hits-14month-low-amid-basis-trade-unwinding-72091>



Γράφημα 6 : Εξέλιξη Μεταβλητότητας Βάσης vs Spot / Futures Prices

3.2.4 Back testing arbitrage στρατηγικών

Με σκοπό να διαπιστωθούν οι ευκαιρίες Arbitrage στην οικεία αγορά, αποτυπώθηκε και παρατίθεται στο διάγραμμα 7 η απόκλιση της βάσης κατά τη διάρκεια διαπραγμάτευσης του συμβολαίου BTCM6, το οποίο ξεκίνησε στις 27-12-24 και λήγει στις 26-06-26.



Γράφημα 7 : Μεταβολή Βάσης Bitcoin

Από το διάγραμμα παρατηρείται ότι στο μεγαλύτερο διάστημα η βάση βρισκόταν σε contango, ενώ από το ξεκίνημα του συμβολαίου έως και τον Απρίλιο του 2025, η απόκλιση ήταν σημαντική και ποσοστιαία κυμάνθηκε πάνω από 10%, στην αρχή δε η διαφορά κυμαινόταν σε επίπεδα 15%. Σταδιακά, η απόκλιση μειώνεται και καθώς πλησιάζει το συμβόλαιο στην λήξη του η βάση συγκλίνει, ωστόσο ακόμη και στο διάστημα πλησίον της λήξης παρουσιάστηκαν σημαντικά περιθώρια για arbitrage σε ποσοστό από 3% έως 3,5%.

Η εικόνα αυτή αναδεικνύει σημαντικές ευκαιρίες για basis arbitrage.

3.3 Εμπειρική Ανάλυση

Η μεθοδολογία της έρευνας θα βασιστεί στην χρήση τριών διαφορετικών οικονομετρικών μοντέλων, προκειμένου, αφενός να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητά τους στην εκτίμηση του συντελεστή αντιστάθμισης, αφετέρου να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την αντισταθμιστική ικανότητα των υπό μελέτη παραγώγων κρυπτοστοιχείων. Συγκεκριμένα θα γίνει χρήση της απλής παλινδρόμησης (OLS), η οποία σύμφωνα με την βιβλιογραφία σε ορισμένα περιβάλλοντα είναι επαρκής και σχετικά απλή στη χρήση, ενός υποδείγματος δυναμικού μοντέλου GARCH, καθώς σύμφωνα με τα διαθέσιμα ερευνητικά δεδομένα αυτά υπερτερούν έναντι των στατικών μοντέλων, καθώς λαμβάνουν υπόψη τη χρονική μεταβλητότητα και τις δομικές αλλαγές των αγορών, ενώ θα εφαρμοστεί και το οικονομετρικό μοντέλο παλινδρόμησης με το φίλτρο Kalman, το οποίο προσαρμόζεται και αυτό σε δομικές αλλαγές και έχει υψηλή αποτελεσματικότητα σε αγορές crypto.

3.3.1 Μεθοδολογικές Προσεγγίσεις

Η πρώτη προσέγγιση, της στατικής μεθόδου αντιστάθμισης, έχει ως βασική υπόθεση ότι ο συντελεστής αντιστάθμισης παραμένει σταθερός σε όλη την περίοδο. Οι βασικές μέθοδοι υπολογισμού περιλαμβάνουν τις κάτωθι οικονομετρικές προσεγγίσεις :

Γραμμική παλινδρόμηση (OLS) των μεταβολών της τιμής του υποκείμενου ως προς τις μεταβολές του παραγώγου,

Βέλτιστη αντιστάθμιση κατά Johnson (1960), η οποία αποτελεί την πρώτη συστηματική εφαρμογή του Minimum Variance Hedge Ratio,

Αντιστάθμιση βάσει delta για παράγωγα τύπου options, όπου ο συντελεστής αντιστάθμισης προκύπτει κυρίως από το μοντέλο Black–Scholes.

Βάσει της βιβλιογραφίας, παρότι απλές, οι στατικές μέθοδοι συχνά αδυνατούν να αποτυπώσουν τη χρονική μεταβλητότητα της συσχέτισης μεταξύ spot και futures.

Η δεύτερη μέθοδος, της δυναμική προσέγγισης, επιτρέπει στον συντελεστή αντιστάθμισης να μεταβάλλεται διαχρονικά, αντανακλώντας τις αλλαγές στη μεταβλητότητα και τη συσχέτιση.

Κύριες μέθοδοι είναι οι GARCH-based hedge ratios (Bollerslev, 1986), οι οποίες χρησιμοποιούν υποδείγματα GARCH, EGARCH, GJR-GARCH για εκτίμηση χρονικά μεταβαλλόμενης συνδιακύμανσης και παρέχουν υψηλότερη αποτελεσματικότητα σε περιόδους έντονης μεταβλητότητας, οι Multivariate GARCH (BEKK, DCC), καθώς και το DCC-GARCH (Engle, 2002) που επιτρέπει την δυναμική εκτίμηση συσχέτισης και είναι χρήσιμο σε αγορές όπου υφίσταται έντονη μεταβλητότητα στη συσχέτιση spot / futures.

Μια διαφορετική μέθοδος δυναμικής αντιστάθμισης αποτελεί το φίλτρο Kalman (Kalman Filter), το οποίο, σε αντίθεση με τα μοντέλα GARCH που εστιάζουν στη μεταβλητότητα, εστιάζει στην απευθείας παρακολούθηση της σχέσης των τιμών, προσφέροντας πιο άμεσες εκτιμήσεις για το hedge ratio, ενώ προσφέρει παράλληλα ομαλότερες εκτιμήσεις και προσαρμογή σε δομικές αλλαγές, καθώς ενημερώνεται αυτόματα από τα νέα δεδομένα της αγοράς.

3.3.2 Οικονομετρικά Μοντέλα

3.3.2.1 Απλή Ανάλυση Παλινδρόμησης (OLS)

Πρόκειται για το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που βασίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, το οποίο περιγράφει τη σχέση δύο μεταβλητών, εν προκειμένω των τιμών Spot και Futures με το κάτωθι υπόδειγμα :

$$\Delta S = a + \beta \Delta F + \varepsilon \text{ όπου}$$

ΔS η μεταβλητή της τιμής Spot, ΔF η τιμή Future, β η κλίση της γραμμής παλινδρόμησης που εν προκειμένω αποτελεί τον συντελεστή αντιστάθμισης, ενώ τα a και ε αποτελούν τη σταθερά και το σφάλμα, αντίστοιχα, της παλινδρόμησης.

Συνεπώς, η παράμετρος β της παλινδρόμησης που αποτελεί και τον συντελεστή αντιστάθμισης αποτελεί τον λόγο της συνδιακύμανσης των τιμών Spot / Future διά τη διακύμανση των τιμών Future, ήτοι :

$$\beta = \sigma_{\Delta S, \Delta F} / \sigma_{\Delta F}^2$$

3.3.2.2 Kalman Filter

Η χρήση του φίλτρου Kalman στην εκτίμηση του συντελεστή αντιστάθμισης βασίζεται στη θεώρηση ότι η σχέση μεταξύ spot και futures αποδόσεων δεν είναι στατική, αλλά εξελίσσεται διαχρονικά. Σε αντίθεση με το κλασικό στατικό OLS, το οποίο επιβάλλει έναν σταθερό συντελεστή αντιστάθμισης, το φίλτρο επιτρέπει στον συντελεστή αντιστάθμισης να μεταβάλλεται ομαλά στο χρόνο, αντανακλώντας τις μεταβολές στη δυναμική της αγοράς, τη μεταβλητότητα και τη συσχέτιση spot–futures.

Η μεθοδολογία βασίζεται στη διατύπωση ενός state–space model, το οποίο αποτελείται από δύο εξισώσεις: την εξίσωση παρατήρησης (measurement equation) και την εξίσωση κατάστασης (state equation).

Το φίλτρο Kalman βασίζεται σε δύο εξισώσεις:

A) Εξίσωση Παρατήρησης

$$y_t = \beta_t x_t + v_t$$

όπου:

- y_t είναι η απόδοση του spot,
- x_t είναι η απόδοση του futures,
- β_t είναι ο άγνωστος, χρονικά μεταβαλλόμενος συντελεστής αντιστάθμισης,
- $v_t \sim N(0, R)$ είναι ο θόρυβος παρατήρησης με διακύμανση R .

Η ανωτέρω εξίσωση εξηγεί τη σχέση των αποδόσεων της τιμής spot με τις αποδόσεις της τιμής futures βάσει ενός χρονικά μεταβαλλόμενου συντελεστή.

B) Εξίσωση Κατάστασης

$$\beta_t = \beta_{t-1} + w_t$$

όπου:

- $w_t \sim N(0, Q)$ είναι ο θόρυβος κατάστασης
- Q ελέγχει πόσο «γρήγορα» μπορεί να αλλάζει το hedge ratio

Αν το Q είναι μικρό $\rightarrow$ το hedge ratio αλλάζει αργά, ενώ αν το Q είναι μεγάλο $\rightarrow$ το hedge ratio αλλάζει γρήγορα

Στάδια Υπολογισμού

Πρόβλεψη του hedge ratio:

$$\beta_{t|t-1} = \beta_{t-1|t-1}$$

Πρόβλεψη της διακύμανσης:

$$P_{t|t-1} = P_{t-1|t-1} + Q$$

όπου:

- $P_{t|t-1}$: η προβλεπόμενη διακύμανση του β_t
- Q : διακύμανση θορύβου κατάστασης

Υπολογισμός κέρδους Kalman

$$K_t = \frac{P_{t|t-1}x_t}{x_t^2 P_{t|t-1} + R}$$

Το κέρδος Kalman καθορίζει τη στάθμιση που δίνει η νέα παρατήρηση και αποτελεί τον πιο σημαντικό τύπο, καθώς καθορίζει το βαθμό επιρροής της νέας μέτρησης (υψηλό K) έναντι της προηγούμενης πρόβλεψης (χαμηλό K).

Ενημέρωση του hedge ratio:

$$\beta_{t|t} = \beta_{t|t-1} + K_t(y_t - x_t\beta_{t|t-1})$$

Όπου :

$$y_t - x_t\beta_{t|t-1} = e_t$$

που αποτελεί το σφάλμα πρόβλεψης, ήτοι πόσο απέχει η πραγματική τιμή από αυτή που προβλέφθηκε.

Ενημέρωση της διακύμανσης:

$$P_{t|t} = (1 - K_t x_t)P_{t|t-1}$$

Ερμηνεία Παραμέτρων

R (Measurement Noise): Αν το R είναι μεγάλο, το K μικραίνει. Το φίλτρο θεωρεί την αγορά "θορυβώδη" και αλλάζει το β πολύ αργά.

Q (Process Noise): Αν το Q είναι μεγάλο, το P μεγαλώνει, άρα και το K . Το φίλτρο θεωρεί ότι η σχέση Spot και Futures αλλάζει γρήγορα και αντιδρά αμέσως.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, οι παράμετροι Q και R του υπολογίζονται συνήθως με βάση τη γραμμική παλινδρόμηση OLS και/ή με κριτήρια βελτιστοποίησης της αποτελεσματικότητας αντιστάθμισης. Συγκεκριμένα, η διακύμανση του R εκτιμάται συχνά ως η διακύμανση των καταλοίπων της παλινδρόμησης, ενώ η παράμετρος διακύμανσης Q επιλέγεται ως κλάσμα του R , ώστε ο συντελεστής αντιστάθμισης να μεταβάλλεται ομαλά στο χρόνο (Hatemi and Roca, 2006). Εναλλακτικά, ορισμένες μελέτες εκτιμούν τα Q και R μέσω μέγιστης πιθανοφάνειας ή χρησιμοποιώντας Solver, μεγιστοποιώντας την αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης.

Σύμφωνα με τους Hatemi and Roca (2006), όταν ο λόγος αντιστάθμισης μεταβάλλεται διαχρονικά, το Φίλτρο Kalman αποτελεί την καταλληλότερη μέθοδο, καθώς παράγει παραμέτρους με καλύτερες στατιστικές ιδιότητες. Ο υπολογισμός δε της εξέλιξης του συντελεστή αντιστάθμισης στο χρόνο, δίνει την δυνατότητα ανάλυσης της μεταβλητότητας του προϊόντος αντιστάθμισης, η οποία όταν είναι υψηλή συνεπάγεται μεγαλύτερα κόστη συναλλαγών λόγω της αναπροσαρμογής. Ως εκ τούτου, η συγκεκριμένη μέθοδος δίνει την δυνατότητα αξιολόγησης και σύγκρισης των διαθέσιμων προϊόντων αντιστάθμισης.

Συνεπώς, ο συντελεστής αντιστάθμισης μέσω υπολογισμού βάσει του φίλτρου Kalman Filter εξελίσσεται ομαλά στον χρόνο, με αποτέλεσμα να αποτυπώνει τις αλλαγές στη μεταβλητότητα της αγοράς και να προσαρμόζεται σε αυτές σε πραγματικό χρόνο. Επίσης δεν απαιτεί περίπλοκη υπολογιστική διαδικασία, ενώ μπορεί να συγκρίνει την μεταβλητότητα ανάμεσα σε διαφορετικά προϊόντα αντιστάθμισης.

3.3.2.3 Μοντέλα ARCH, GARCH και EGARCH

Οι περιορισμοί του μοντέλου της γραμμικής παλινδρόμησης ως προς την αποτύπωση της χρονικά μεταβαλλόμενης διακύμανσης όπου η διακύμανση των σφαλμάτων θεωρείται σταθερή (ομοσκεδαστικότητα), ώθησε τους μελετητές στην δημιουργία νέων οικονομετρικών υποδειγμάτων. Τα λεγόμενα αυτοπαλινδρομούμενα μοντέλα με δεσμευμένη ετεροσκεδαστικότητα έρχονται να λύσουν το πρόβλημα της

ετεροσκεδαστικότητα, δηλαδή του φαινομένου όπου η διακύμανση των αποδόσεων δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται με τον χρόνο.

Ο Engle (1982) παρουσίασε το μοντέλο ARCH(q), αναδεικνύοντας πρώτος το πρόβλημα της υπό συνθήκη μεταβλητότητας στα χρηματοοικονομικά δεδομένα, όπου η διακύμανση μεταβάλλεται στον χρόνο και εξαρτάται από τα τετράγωνα των προηγούμενων σφαλμάτων. Καθώς το αρχικό μοντέλο ARCH απαιτούσε συχνά αρκετά μεγάλο αριθμό υστερήσεων (q) για να αποτυπώσει τη δομή των δεδομένων, γεγονός που οδηγούσε σε προβλήματα εκτίμησης, ειδικά σε δεδομένα με έντονη και παρατεταμένη μεταβλητότητα, ο Bollerslev (1986) προχώρησε στη βελτίωση του υποδείγματος του Engle (1987) εισάγοντας τις υστερήσεις της ίδιας της διακύμανσης, περιγράφοντας αποτελεσματικά τη μακροχρόνια επιμονή της μεταβλητότητας με ελάχιστες παραμέτρους.

Το υπόδειγμα Arch(q) περιγράφεται από τον κάτωθι μαθηματικό τύπο :

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \dots + \alpha_q u_{t-q}^2$$

Όπου η υπό συνθήκη διακύμανση της διαταραχής u_t εξαρτάται από τα τετράγωνα των προηγούμενων σφαλμάτων:

$$u_t = \sigma_t \varepsilon_t, \varepsilon_t \sim i.i.d. (0,1)$$

με περιορισμούς: $\alpha_0 > 0$, $\alpha_i \geq 0$, ώστε $\sigma_t^2 > 0$

Το Υπόδειγμα GARCH(p,q) παίρνει την κάτωθι μαθηματική μορφή :

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i u_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

Με πιο διαδεδομένο μοντέλο το GARCH(1,1) όπου :

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

Η παράμετρος α_1 αποτυπώνει την άμεση επίδραση των πρόσφατων διαταραχών (ARCH effect), ενώ η παράμετρος β_1 βεκφράζει την επίμονη συμπεριφορά της διακύμανσης (GARCH effect). Η συνθήκη $\alpha + \beta < 1$ εξασφαλίζει τη στάσιμη συμπεριφορά της διαδικασίας.

Το μοντέλο GARCH και οι παραλλαγές του έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικές σε περιόδους υψηλής μεταβλητότητας και αποτελούν βασικά υποδείγματα αναφοράς στη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας.

Ενώ τα ARCH και GARCH μοντέλα είναι σε ένα βαθμό περιοριστικά, καθώς υποθέτουν ότι η υπό συνθήκη διακύμανση είναι συνάρτηση μόνο του μεγέθους των υστερήσεων του σφάλματος και όχι του προσήμου τους, υπόθεση η οποία καθίσταται περιοριστική ως προς τη σύλληψη και περιγραφή του «φαινομένου της μόχλευσης (leverage effect)», όπως αναλύθηκε από τον Black, (1976), ο Nelson (1991) πρότεινε, ως εναλλακτική στα κλασικά ARCH/GARCH, μια πιο γενική μορφή για την υπό συνθήκη μεταβλητότητα, το μοντέλο του Exponential GARCH - EGARCH(p,q), ως μοντέλο που περιγράφει σε πιο ρεαλιστική βάση τη δυναμική της μεταβλητότητας στις αποδόσεις χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων. Στο υπόδειγμα EGARCH, η υπό συνθήκη διακύμανση εκφράζεται σε λογαριθμική μορφή έτσι ώστε να είναι πάντα θετική, ενώ ο τέταρτος όρος της εξίσωσης επιτρέπει στο πρόσημο του σφάλματος να επηρεάζει την υπό συνθήκη διακύμανση, ούτως ώστε να μπορεί να διατυπωθεί το leverage effect που κατ' ουσίαν αξιολογεί εάν οι καθοδικές διαταραχές των τιμών ακολουθούνται από μεγαλύτερη μεταβλητότητα και αστάθεια από ό,τι οι ανοδικές διαταραχές.

Το μοντέλο αποτυπώνεται στην κάτωθι μαθηματική σχέση :

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \beta \ln(\sigma_{t-1}^2) + \alpha \left(\frac{|\varepsilon_{t-1}|}{\sigma_{t-1}} - E \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right| \right) + \gamma \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}}$$

όπου

- ο όρος ω είναι ο σταθερός όρος και καθορίζει τον μακροπρόθεσμο μέσο όρο,
- ο όρος β_i ελέγχει την επιμονή της μεταβλητότητας (volatility persistence). Αν η χθεσινή μεταβλητότητα ήταν υψηλή, τότε και η σημερινή τείνει να είναι υψηλή,
- ο όρος α_j υπολογίζει το μέγεθος (magnitude effect) των shocks. Μεγάλα shocks (θετικά ή αρνητικά) αυξάνουν τη μεταβλητότητα,
- ο όρος γ_j υπολογίζει την ασυμμετρία / leverage effect: αρνητικά shocks αυξάνουν τη μεταβλητότητα περισσότερο από θετικά ίδιου μεγέθους, όταν $\gamma_j < 0$ ενώ όταν $\gamma > 0$: τα θετικά shocks έχουν μεγαλύτερη επίδραση,
- ενώ ο όρος $E \left| \frac{\varepsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right|$ είναι σταθερά που εξαρτάται από την κατανομή που εφαρμόζεται για τα σφάλματα (π.χ. Κανονική Κατανομή, Κατανομή Student's t).

3.3.3 Εφαρμογή Μοντέλων

3.3.3.1 Αποτελέσματα μοντέλου Γραμμικής Παλινδρόμησης και έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας – Bitcoin

Η εξίσωση παλινδρόμησης παίρνει την εξής μορφή :

$$SPOT_RETURN = 0,8650 * FUTURES_RETURN + 0.0001652$$

Ο συντελεστής αντιστάθμισης υπολογίστηκε σε 0,865 και είναι στατιστικά σημαντικός όπως εξάγεται και από τον δείκτη p-value 0,0000, ενώ η σημαντικότητα του δείκτη επιβεβαιώνεται και από το υψηλό t-Statistic το οποίο ανέρχεται σε 50, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από 1,96 σε επίπεδο 5%.

Ο σταθερός όρος (C) είναι πολύ μικρός και στατιστικά μη σημαντικός καθώς p-value. 0,7614 > 0,05).

Το R-Squared ερμηνεύει το 81.15% της διακύμανσης των αποδόσεων Spot, ποσοστό που είναι αρκετά μεγάλο και καταδεικνύει το future ως κύριο προσδιοριστικό παράγοντα του Spot.

Επίσης από F-statistic 2549,11 με p-value 0,0000 επιβεβαιώνεται η συνολική σημαντικότητα του μοντέλου.

Η καλή ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου προκύπτει και από το τυπικό σφάλμα της παλινδρόμησης (0,01325), το οποίο είναι μικρότερο από την τυπική απόκλιση της εξαρτημένης μεταβλητής (0,03051).

Από τον έλεγχο Durbin-Watson με δείκτη 2,96, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από το 2, προκύπτει ύπαρξη αρνητικής αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα.

3.3.3.2 Αποτελέσματα μοντέλου Γραμμικής Παλινδρόμησης και έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας – Ether

Η εξίσωση παλινδρόμησης παίρνει την εξής μορφή :

$$SPOT_RETURN = 0,8678 * FUTURES_RETURN + 0,0000378$$

Ο συντελεστής αντιστάθμισης υπολογίστηκε σε 0,8678 και είναι στατιστικά σημαντικός όπως εξάγεται και από τον δείκτη p-value 0,0000, ενώ η σημαντικότητα του δείκτη επιβεβαιώνεται και από το υψηλό t-Statistic το οποίο ανέρχεται σε 50, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από 1,96 σε επίπεδο 5%.

Ο σταθερός όρος (C) είναι σχεδόν μηδενικός και στατιστικά μη σημαντικός καθώς $p\text{-value}$ $0,9610 > 0,05$).

Το R-Squared ερμηνεύει το 80,96% της διακύμανσης των αποδόσεων Spot, ποσοστό που είναι αρκετά μεγάλο και καταδεικνύει το future ως κύριο προσδιοριστικό παράγοντα του Spot.

Επίσης από F-statistic 2513,16 με $p\text{-value}$ 0,0000 επιβεβαιώνεται η συνολική σημαντικότητα του μοντέλου.

Η καλή ερμηνευτική ικανότητα του μοντέλου προκύπτει και από το τυπικό σφάλμα της παλινδρόμησης (0,01883), το οποίο είναι μικρότερο από την τυπική απόκλιση της εξαρτημένης μεταβλητής (0,04313).

Από τον έλεγχο Durbin-Watson με δείκτη 2,94, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από το 2, προκύπτει ύπαρξη αρνητικής αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα.

3.3.3.3 Αποτελέσματα μοντέλου Egarch και έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας – Bitcoin

Προκειμένου για την εκτίμηση του συντελεστή αντιστάθμισης μέσω του μοντέλου Egarch εφαρμόστηκε η κατανομή Student's t, καθώς αυτή αποτυπώνει πιο αποτελεσματικά δεδομένα που παρουσιάζουν συχνά «παχιές ουρές» (leptokurtosis). Όπως προκύπτει και από την εφαρμογή η παράμετρος των βαθμών ελευθερίας 3,72 με μηδενικό $p\text{-value}$ δικαιολογεί πλήρως τη χρήση της Student's t κατανομής καθώς η τιμή αυτή αποδεικνύει ότι τα κατάλοιπα δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, αλλά παρουσιάζουν ακραίες τιμές. Ο συντελεστής αντιστάθμισης υπολογίστηκε σε 0,868 και είναι στατιστικά σημαντικός όπως εξάγεται και από τον δείκτη $p\text{-value}$ 0,0000, ενώ η σημαντικότητα του δείκτη επιβεβαιώνεται και από το υψηλό z-Statistic το οποίο ανέρχεται σε 72, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από 1,96 σε επίπεδο 5%.

Το R-Squared διαμορφώνεται σε 81,13% που σημαίνει ότι το ποσοστό αυτό ερμηνεύει την διακύμανση των αποδόσεων Spot από τις αποδόσεις των Futures.

Η χρήση της Student's t οδήγησε σε σημαντική βελτίωση των κριτηρίων πληροφορίας Akaike και Schwarz σε σχέση με τα υποδείγματα κανονικής κατανομής.

Όσον αφορά στην Εξίσωση Διακύμανσης (Variance Equation) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

Από τον όρο C(4) ο οποίος έχει τιμή 0,90 και είναι στατιστικά σημαντικός ($p\text{-value} = 0,000$) προκύπτει ότι οι εντάσεις της αγοράς (μεγάλα σοκ) επιδρούν στην μεταβλητότητα και έχουν διάρκεια.

Η ασυμμετρία (Leverage Effect) του όρου C(5) με τιμή 0,1415 ($p\text{-value} 0,1030$) σε επίπεδο σημαντικότητας 5% δεν θεωρείται σημαντική. Αυτό σημαίνει εν προκειμένω ότι τα θετικά και τα αρνητικά νέα επηρεάζουν παρόμοια τη μεταβλητότητα.

Η εμμονή, όπως εκφράζεται από τον όρο C(6), η οποία παίρνει τιμή 0,0066 έχει πολύ υψηλό $p\text{-value} 0,9537$, γεγονός που σημαίνει ότι η μεταβλητότητα της προηγούμενης περιόδου δεν φαίνεται να επηρεάζει την επόμενη.

3.3.3.4 Αποτελέσματα μοντέλου Egarch και έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας – Ether

Ο συντελεστής αντιστάθμισης υπολογίστηκε σε 0,9063 και είναι στατιστικά σημαντικός όπως εξάγεται και από τον δείκτη $p\text{-value}=0,0000$, ενώ η σημαντικότητα του δείκτη επιβεβαιώνεται και από το υψηλό $z\text{-Statistic}$ το οποίο ανέρχεται σε 75, τιμή αρκετά μεγαλύτερη από 1,96 σε επίπεδο 5%.

Το R-Squared διαμορφώνεται σε 80,8% ποσοστό που είναι αρκετά μεγάλο και καταδεικνύει το future ως κύριο προσδιοριστικό παράγοντα του Spot.

Όσον αφορά στην Εξίσωση Διακύμανσης (Variance Equation) προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

Η παράμετρος C(3) που αποτελεί τη σταθερή διακύμανση είναι χαμηλή και στατιστικά σημαντική.

Η παράμετρος C(4) που εξετάζει το magnitude effect είναι σημαντική και δείχνει ότι μεγάλα shock αυξάνουν τη μεταβλητότητα.

Η παράμετρος της ασυμμετρίας C(5) είναι μη σημαντική καθώς $p=0.747$ δηλαδή θετικά και αρνητικά shocks επηρεάζουν παρόμοια τη μεταβλητότητα.

Η παράμετρος C(6) που αξιολογεί την επιμονή είναι και αυτή μη σημαντική ($p=0.148$), γεγονός που σημαίνει ότι εν προκειμένω οι περίοδοι πτώσης των τιμών δεν επιφέρουν μεγαλύτερη αναταραχή από τις περιόδους ανόδου.

3.3.3.5 Αποτελέσματα Μοντέλου Kalman - Bitcoin & Ether

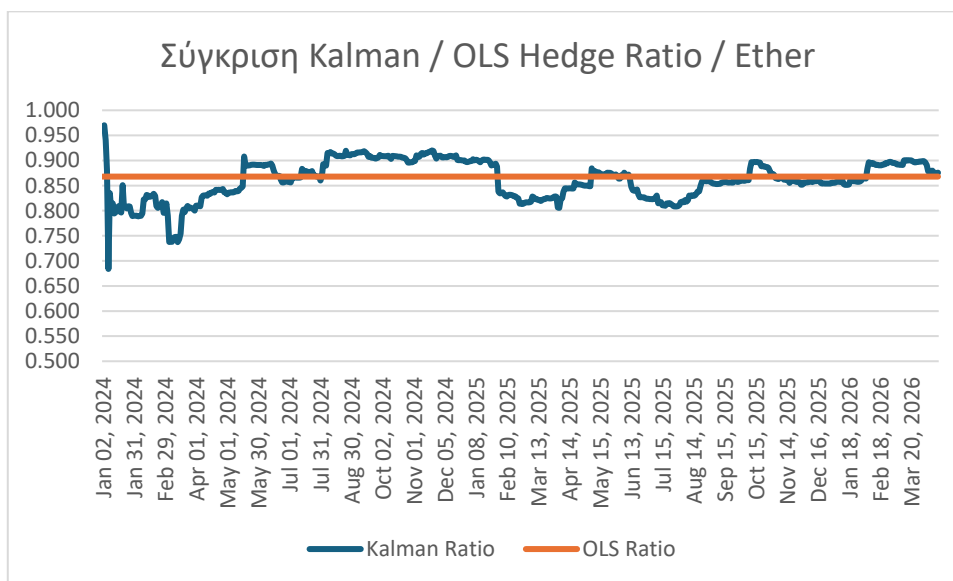
Ο υπολογισμός του μοντέλου Kalman επιτεύχθηκε μέσω της εφαρμογής του excel. Ο συντελεστής αντιστάθμισης υπολογίστηκε βάσει των ακόλουθων παραδοχών.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, οι παράμετροι Q και R του Φίλτρου Kalman, συνήθως βαθμονομούνται με βάση τη στατική παλινδρόμηση OLS ή και με κριτήρια βελτιστοποίησης της αποτελεσματικότητας αντιστάθμισης. Συγκεκριμένα, για την διακύμανση του σφάλματος παρατήρησης R , υιοθετείται συχνά η διακύμανση των καταλοίπων της παλινδρόμησης των δεδομένων, ενώ η διακύμανση της διαδικασίας κατάστασης Q επιλέγεται ως μικρό κλάσμα του R , ώστε ο συντελεστής αντιστάθμισης να μεταβάλλεται ομαλά στο χρόνο (Hatemi-J and Roca, 2006) ή υπολογίζεται μέσω της μεταβλητότητας των κυλιόμενων εκτιμήσεων του συντελεστή αντιστάθμισης μέσω παλινδρόμησης. Εναλλακτικά, ορισμένες μελέτες εκτιμούν τα Q και R μέσω μέγιστης πιθανοφάνειας ή βαθμονομούνται με χρήση Solver, με κριτήριο την μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας αντιστάθμισης.

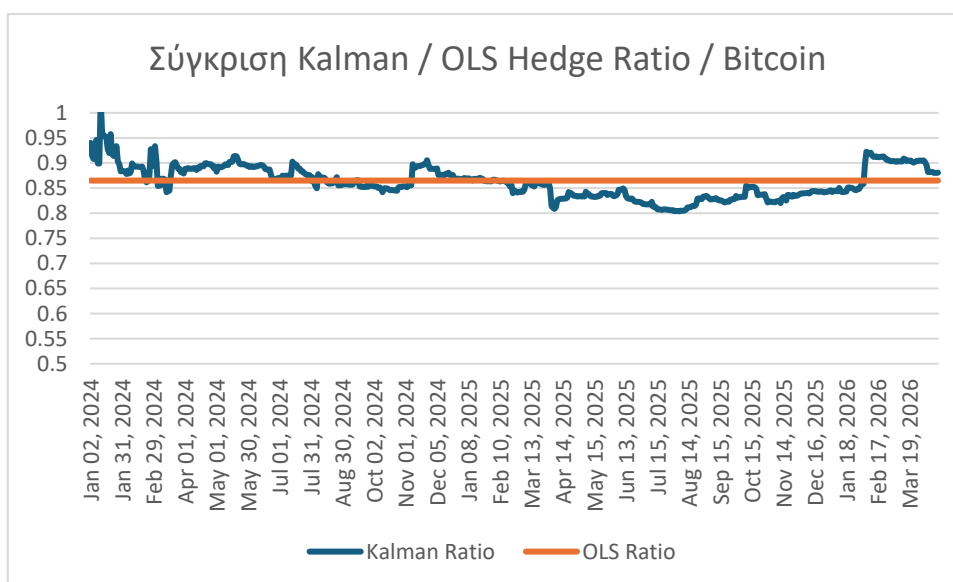
Εν προκειμένω, στην παρούσα εργασία η παράμετρος R εκτιμήθηκε μέσω της διακύμανσης των καταλοίπων της παλινδρόμησης, ενώ η παράμετρος Q βαθμονομήθηκε προκειμένου να αντικατοπτρίζει τον ρυθμό μεταβολής του συντελεστή αντιστάθμισης, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβλητότητα των rolling OLS εκτιμήσεων με παράθυρο 254 ημερών. Η επιλογή των παραμέτρων έγινε με κριτήριο τη μεγιστοποίηση της αποτελεσματικότητας αντιστάθμισης και την εξασφάλιση ομαλής αλλά ικανοποιητικής προσαρμογής στις αλλαγές.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, την κρίσιμη ημερομηνία 16-04-26, ο συντελεστής αντιστάθμισης υπολογίζεται για το Bitcoin σε 0,881 και για το Ether σε 0,876.

Στα διαγράμματα 8 και 9 παρατίθεται η εκτίμηση rolling του συντελεστή αντιστάθμισης μέσω Kalman, σε αντιπαραβολή με τον στατικό δείκτη όπως εξάγεται από την μέθοδο της παλινδρόμησης.



Γράφημα 8 : Σύγκριση KALMAN / OLS Hedge Ratio - Ether



Γράφημα 9 : Σύγκριση KALMAN / OLS Hedge Ratio - Bitcoin

Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι στο πρώτο τρίμηνο του 2026, κατά το οποίο η μεταβλητότητα ήταν αυξημένη και στα δύο Crypto, ο συντελεστής αντιστάθμισης αυξάνεται προς τη μονάδα, που σημαίνει ότι η βάση συγκλίνει προς την τιμή Spot.

3.4 Παρουσίαση Αποτελεσμάτων και μέτρηση της αποτελεσματικότητας αντιστάθμισης – Hedging Effectiveness

Ο λόγος αντιστάθμισης είναι η κατάλληλη ποσότητα συμβολαίων Futures που πρέπει να αποκτηθεί προκειμένου να αντισταθμίσει τις μεταβολές της τιμής του υποκείμενου περιουσιακού στοιχείου, ώστε να εξαλειφθεί ο κίνδυνος από την μεταβολή της αξίας της θέσης. Ο προσδιορισμός του λόγου αντιστάθμισης βασίζεται κυρίως στη σχέση εξάρτησης μεταξύ των τιμών BTC και futures.

Σύμφωνα με τον Μυλωνά (2005), η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης δεν επιτυγχάνεται μόνο μέσα από τον υπολογισμό του συντελεστή αντιστάθμισης, αλλά περιλαμβάνει και την παράμετρο της μεταβολής της βάσης. Ως βάση νοείται η διαφορά μεταξύ της προθεσμιακής τιμής και της τιμής μετρητοίς η οποία δίδεται από την κάτωθι σχέση :

$$B_t = F_t - S_t \text{ όπου } F = \text{Future Price και } S = \text{Spot Price}$$

Ως εκ τούτου, η αντιστάθμιση θεωρείται πλήρης όταν η θέση παραμένει ίδια μετά την αντιστάθμιση, ασχέτως των μεταβολών της τιμής.

Συνεπώς, η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης επιτυγχάνεται όταν μειώνεται η μεταβλητότητα του αντισταθμισμένης θέσης σε σχέση με τη μεταβλητότητα της μη αντισταθμισμένης θέσης και ορίζεται από την κάτωθι σχέση :

$$AA = 1 - \frac{HR * \sigma^2 B}{\sigma^2 S} \text{ όπου}$$

$HR = \text{Συντελεστής Αντιστάθμισης,}$

$\sigma^2 B = \text{η διακύμανση των μεταβολών της βάσης και}$

$\sigma^2 S = \text{η διακύμανση των μεταβολών της τιμής μετρητοίς}$

Υπολογισμός hedged portfolio

$$R_t^{hedged} = r_{spot,t} - h^* \cdot r_{futures,t}$$

3.4.1 Hedging Effectiveness

Για τα δυναμικά υποδείγματα GARCH, DCC και Kalman Filter δεν υφίσταται ο κλασικός συντελεστής προσδιορισμού R^2 ή adjusted R^2 , καθώς δεν βασίζονται σε στατική παλινδρόμηση. Αντίστοιχα, ωστόσο, η αποτελεσματικότητα αντιστάθμισης (Hedging Effectiveness) χρησιμοποιείται ως pseudo- R^2 και υπολογίζεται ως η μείωση της διακύμανσης του αντισταθμισμένου χαρτοφυλακίου σε σχέση με το μη αντισταθμισμένο και δίνεται από τον κάτωθι τύπο του Ederington :

$$HE = 1 - \frac{VAR(R_{hedged})}{VAR(R_{unhedged})}$$

Είναι γενικά αποδεκτό, τόσο στη διεθνή βιβλιογραφία αλλά και στην πρακτική της διαχείρισης κινδύνου, ότι συντελεστής αντιστάθμισης που κυμαίνεται από 0,80 έως 1,25 θεωρείται ιδιαίτερα αποτελεσματικός, ενώ η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης θεωρείται επίσης αποτελεσματική όταν ο σχετικός δείκτης είναι μεγαλύτερος από 80%.

Στο πλαίσιο αυτό υπολογίστηκε η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης για τα τρία μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 7 :

Πίνακας 7 : Σύνοψη Αποτελεσμάτων Μεθοδολογικών Προσεγγίσεων και Αποτελεσματικότητας

BITCOIN	OLS	EGARCH (1,1)	KALMAN FILTER
Hedge Ratio	0,865	0,8685	0,8808
R-Squared	0,8115	0,8113	
AIC	-5,8052	-6,0943	
Swartz	-5,7904	-6,0426	
Hedging Effectiveness	81,15%	81,15%	81,72%

ETHER	OLS	EGARCH (1,1)	KALMAN FILTER
Hedge Ratio	0,8678	0,9063	0,8758
R-Squared	0,8096	0,8080	
AIC	-5,1026	-5,3955	
Swartz	-5,0879	-5,3437	
Hedging Effectiveness	80,96%	80,80%	81,45%

Από τα αποτελέσματα παρατηρούνται τα εξής :

Όλα τα μοντέλα καταδεικνύουν ισχυρή σχέση ανάμεσα στη Spot και Future αγορά, ενώ ο συντελεστής αντιστάθμισης αποτυπώνει ικανοποιητικά τη σχέση, όπως προκύπτει και από το R-squared.

Καλύτερο Hedging παρέχει το φίλτρο Kalman, ωστόσο η εφαρμογή του απαιτεί συνεχή αναπροσαρμογή της θέσης, κάτι που προσθέτει κόστος συναλλαγών, ως εκ τούτου η εφαρμογή του, ειδικά σε μακροπρόθεσμους επενδυτές, δεν είναι σίγουρο ότι παρέχει αυξημένη ασφάλεια.

Η μέθοδος OLS παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα και είναι σχετικά απλή στη χρήση της. Το μοντέλο EGARCH παρόλο που είναι ανώτερο ως οικονομετρικό μοντέλο, εν προκειμένω δεν αποδίδει καλύτερα αποτελέσματα στο συγκεκριμένο δείγμα.

Η στατιστική αυτή συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί ως εξής : ενώ το μοντέλο EGARCH είναι θεωρητικά ανώτερο καθώς αποτυπώνει τη μεταβαλλόμενη διακύμανση, η πολυπλοκότητά του μπορεί να οδηγήσει σε υπερπροσαρμογή στα δεδομένα του δείγματος εκτίμησης, ενώ η OLS, εφόσον ο συντελεστής αντιστάθμισης παραμένει σχετικά σταθερός στο χρόνο, καταφέρνει να συλλάβει τον πυρήνα της σχέσης Spot-Futures χωρίς το «θόρυβο» των επιμέρους παραμέτρων της διακύμανσης. Σε περιόδους δε όπου η μεταβλητότητα της αγοράς δεν παρουσιάζει ακραίες εξάρσεις, ένας στατικός λόγος αντιστάθμισης μπορεί να αποδώσει αντίστοιχα ικανοποιητικά αποτελέσματα με έναν δυναμικό, ο οποίος ενδεχομένως και λόγω υπερ-προσαρμογής να αντιδρά υπερβολικά σε βραχυχρόνιες διακυμάνσεις.

Ωστόσο η συμβολή των μοντέλων ARCH / GARCH και KALMAN FILTER είναι αδιαμφισβήτητη σε φαινόμενα έντονης μεταβλητότητας και ακραίων γεγονότων, καθώς για την κατανόηση και ερμηνεία της μεταβλητότητας της αγοράς, ενώ το μοντέλο KALMAN ενημερώνεται άμεσα με τα νέα δεδομένα της αγοράς και μπορεί να ανιχνεύσει αλλαγές στη συσχέτιση των δύο περιουσιακών στοιχείων που μια απλή OLS θα αγνοούσε.

Για τους ανωτέρω λόγους θα ακολουθήσει περαιτέρω έλεγχος αποτελεσματικότητας μέσω out of sample back testing καθώς και σε Hedging Effectiveness σε περιόδους υψηλής μεταβλητότητας όπως αποτυπώθηκαν παραπάνω στην ενότητα της μεταβλητότητας.

3.4.2 Back Testing

Στη προηγούμενη ενότητα διαπιστώθηκε η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης, καθώς οι συντελεστές αντιστάθμισης που εξήχθησαν από τα μοντέλα, μείωσαν σημαντικά την μεταβλητότητα στο ιστορικό δείγμα. Στην παρούσα ενότητα θα επιχειρηθεί περαιτέρω έλεγχος προκειμένου να επιβεβαιωθεί η προβλεπτική τους ισχύ σε μελλοντικά στοιχεία εκτός δείγματος, μέσω της μεθόδου Out-of-Sample Backtesting.

Ως εκ τούτου, θα επαναληφθεί ο υπολογισμός του συντελεστή αντιστάθμισης, με διαχωρισμό του δείγματος σε δύο χρονικές περιόδους, ως εξής :

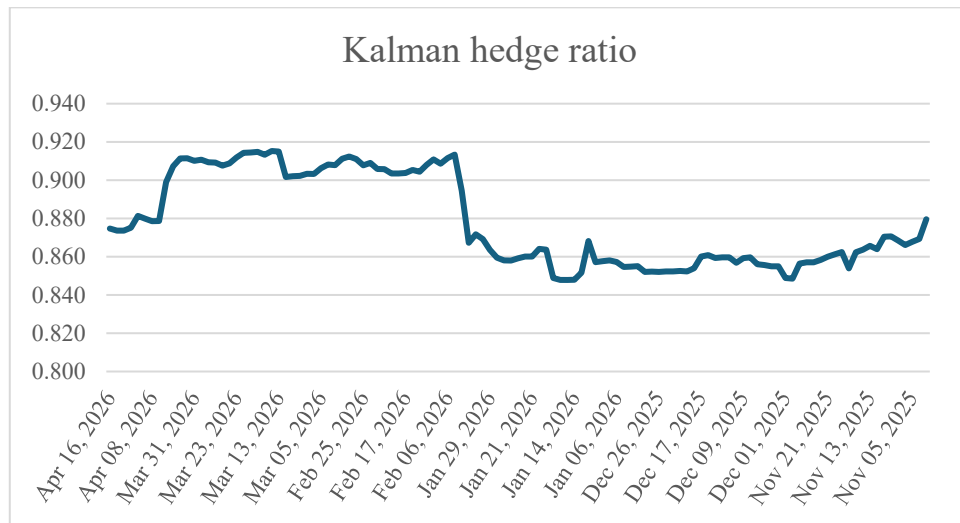
In-Sample (Estimation Period) 80%: ήτοι για την περίοδο από 01-01-24 έως και 31-10-24 (476 παρατηρήσεις)

Out-of-Sample (Testing Period) 20%: ήτοι για την περίοδο από 01-11-25 έως και 17-04-26 (117 παρατηρήσεις)

Ο συντελεστής αντιστάθμισης που θα χρησιμοποιηθεί στο back testing θα υπολογιστεί μέσω των μοντέλων απλής παλινδρόμησης και EGarch επίσης μέσω του Enviews και θα εφαρμοστεί για την περίοδο εκτός δείγματος ο συντελεστής αντιστάθμισης που υπολογίζεται για την περίοδο 01-01-24 έως 31-10-24.

Για την εφαρμογή του φίλτρου Kalman υιοθετήθηκε το Hedge Ratio που υπολογίζει το μοντέλο στις 03-11-25, το οποίο διαμορφώνεται σε 0,88.

Ωστόσο, το φίλτρο Kalman προσδίδει πιο αποτελεσματική αντιστάθμιση όταν γίνεται αναπροσαρμογή του χαρτοφυλακίου βάσει του κυλιόμενου συντελεστή αντιστάθμισης. Εν προκειμένω η εξέλιξη του για την περίοδο ελέγχου παρατίθεται στο διάγραμμα 10 :



Γράφημα 10 : Kalman Hedge Ratio - In Sample Period

Τα αποτελέσματα των τριών προσεγγίσεων παρατίθενται στους πίνακες 8 και 9 :

Πίνακας 8 : Out of Sample Back Testing Ethereum

Μέθοδος	Out-of-Sample Variance	Hedging Effectiveness (HE)
Unhedged (Spot)	0,001936	
OLS Hedged	0,0002971	84,65%
EGARCH Hedged	0,0002985	84,58%
KALMAN Filter Hedged	0,0002934	84,84%

Πίνακας 9 : Out of Sample Back Testing Bitcoin

Μέθοδος	Out-of-Sample Variance	Hedging Effectiveness (HE)
Unhedged (Spot)	0,000974	
OLS Hedged	0,0001256	87,11%
EGARCH Hedged	0,0001227	87,41%
KALMAN Filter Hedged	0,0001215	87,53%

Τα αποτελέσματα της out-of-sample ανάλυσης καταδεικνύουν ότι και οι τρεις μέθοδοι συγκλίνουν σε αρκετά υψηλά επίπεδα μείωσης του κινδύνου που υπερβαίνει το 80%, επιβεβαιώνοντας ότι οι προσεγγίσεις είναι εξαιρετικά αποτελεσματικές για την

αντιστάθμιση κινδύνου στη συγκεκριμένη αγορά. επιτυγχάνοντας μείωση της διακύμανσης του χαρτοφυλακίου κατά 84,66% (OLS), 84,45% (EGARCH) και 84,94% (Kalman).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι παρά τη στατιστική ανωτερότητα του μοντέλου EGARCH, στο συνολικό δείγμα out-of-sample η δοκιμή έδειξε ότι η απλή παλινδρόμηση OLS πέτυχε ελαφρώς καλύτερη ελαχιστοποίηση κινδύνου (Variance 0,000297 έναντι 0,000301), γεγονός που υποδηλώνει ότι για τη συγκεκριμένη περίοδο ελέγχου και εν γένει σε περιόδους χωρίς έντονη ασυμμετρία, η απλή δομή της OLS είναι πιο εύρωστη. Την καλύτερη επίδοση έχει επιτύχει το φίλτρο Kalman, ωστόσο προϋπόθεση του μοντέλου είναι η συνεχής αναπροσαρμογή του συντελεστή αντιστάθμισης, στρατηγική που οδηγεί σε κόστος συναλλαγών αλλά και παρακολούθησης που εν τοις πράγμασι είναι δύσκολο και κοστοβόρο να εφαρμοστεί.

Συμπερασματικά, η χρήση των συμβολαίων μελλοντικής εκπλήρωσης σε Κρυπτονομίσματα εξαλείφει το μεγαλύτερο μέρος του κινδύνου, καθιστώντας τις στρατηγικές αντιστάθμισης αποτελεσματικές για την προστασία χαρτοφυλακίων Κρυπτονομισμάτων από τις μεταβολές των τιμών.

3.4.3 Ιστορική Μελέτη Αποτελεσματικότητας

Μελετήθηκε η συμπεριφορά της αποτελεσματικότητας της αντιστάθμισης στις 4 περιόδους, οι οποίες όπως αναλύθηκε στη κεφάλαιο 1, χαρακτηρίζονται από έντονη μεταβλητότητα και καθοδικό κύκλο. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στους πίνακες 10 και 11 :

Πίνακας 10 : Ιστορική Μελέτη Αποτελεσματικότητας Αντιστάθμισης σε Περιόδους Υψηλής Μεταβλητότητας - Bitcoin

HISTORICAL HEDGING EFFECTIVENESS BITCOIN			
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	OLS	EGARCH	KALMAN
02/07/24 - 05/09/24	79,18%	79,17%	79,57%
08/10/25 - 21/11/25	74,46%	74,42%	75,07%
06/01/26 - 09/03/26	92,78%	92,84%	93,37%
27/10/25 - 05/02/26	91,31%	91,37%	92,06%

Πίνακας 11 : Ιστορική Μελέτη Αποτελεσματικότητας Αντιστάθμισης σε Περιόδους Υψηλής Μεταβλητότητας - Bitcoin

HISTORICAL HEDGING EFFECTIVENESS ETHER			
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	OLS	EGARCH	KALMAN
02/07/24 - 05/09/24	82,15%	82,73%	82,80%
08/10/25 - 21/11/25	80,78%	80,58%	81,13%
06/01/26 - 09/03/26	89,90%	89,98%	89,85%
27/10/25 - 05/02/26	88,50%	88,16%	88,64%

Παρατηρείται ότι για τις περιόδους με έντονη μεταβλητότητα, όπως στα έτη 2024 και 2025 η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης μειώνεται, ωστόσο παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα, με εξαίρεση το bitcoin, όπου η αποτελεσματικότητα την περίοδο Οκτωβρίου – Νοεμβρίου κατρακύλησε σε 75%.

Σημαντικό εύρημα με ερευνητικό ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός ότι κατά την τρέχουσα περίοδο καθοδικού κύκλου Ιανουαρίου – Μαρτίου 2026 η αποτελεσματικότητα βελτιώθηκε σημαντικά, γεγονός που δείχνει ότι οι τιμές Spot & Future συγκλίνουν.

4. Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη εξέτασε τον αντισταθμιστικό ρόλο των παραγώγων προϊόντων στις αγορές κρυπτοστοιχείων, εστιάζοντας στην αποτελεσματικότητά τους ως προϊόντων διαχείρισης κινδύνου μέσω της αντιστάθμισης με χρήση futures για τα δύο μεγαλύτερα κρυπτοστοιχεία, το Bitcoin και το Ether. Μέσω στατικών αλλά και δυναμικών οικονομετρικών μοντέλων εκτιμήθηκε και αξιολογήθηκε ο συντελεστής αντιστάθμισης, καθώς και η αποτελεσματικότητα του Hedging, όχι μόνο ως προς τη μείωση της συνολικής μεταβλητότητας, αλλά και ως προς τη διαχείριση του κινδύνου σε περιόδους αύξησης της μεταβλητότητας.

Σε σχέση με τα ερευνητικά ερωτήματα και βάσει των εμπειρικών αποτελεσμάτων προκύπτει ότι οι στρατηγικές αντιστάθμισης με CME Futures παρουσιάζουν υψηλή αποτελεσματικότητα στη μείωση της συνολικής διακύμανσης των αποδόσεων, τόσο για το Bitcoin όσο και για το Ether και αποτελούν αποτελεσματικά εργαλεία αντιστάθμισης για θεσμικούς επενδυτές και κατόχους Κρυπτονομισμάτων.

Από την out-of-sample ανάλυση προέκυψε ότι και οι τρεις μέθοδοι είναι εξαιρετικά αποτελεσματικές, επιτυγχάνοντας μείωση της διακύμανσης του χαρτοφυλακίου κατά ~ 84% για το Ether και κατά ~87% για το Bitcoin.

Η μελέτη σε περιόδους stress έδειξε ότι η αποτελεσματικότητα της αντιστάθμισης μειώνεται, ωστόσο στο πρόσφατο καθοδικό κύκλο που ξεκίνησε προς τα τέλη του 2025 φαίνεται οι διαδρομές spot και future να συγκλίνουν και αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί δείγμα ενηλικίωσης της αγοράς, αλλά και πεδίο για περαιτέρω μελέτη και ερμηνεία.

Ένα αξιοσημείωτο εύρημα της μελέτης είναι το γεγονός ότι η απλή παλινδρόμησης (OLS) στο out-of-sample δείγμα, δίνει εύρωστα αποτελέσματα με αποτελεσματικότητα αντίστοιχη των δυναμικών μοντέλων παρά την επιβεβαιωμένη ύπαρξη ARCH effects στα δεδομένα.

Το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης, δεδομένης της απλότητάς του και της ευχρηστίας του, φαίνεται να αποτυπώνει ικανοποιητικά τη σχέση Spot / Future, τόσο στο δείγμα ελέγχου όσο και στο out-of-sample, ειδικά σε πιο μακροχρόνιο ορίζοντα αποτελώντας ένα σημαντικό εργαλείο εκτίμησης του συντελεστή αντιστάθμισης. Παρά τον περιορισμό των προϋποθέσεων γραμμικότητας, το μοντέλο OLS κατάφερε να αποτυπώσει αποτελεσματικά τη σχέση τόσο του Bitcoin Spot / Future όσο και του Ether Spot / Future.

Το εύρημα αυτό ευθυγραμμίζεται με αρκετές μελέτες στην αγορά των παραγώγων κρυπτοστοιχείων και επιβεβαιώνει ότι τα futures αποτελούν αποτελεσματικά εργαλεία

αντιστάθμισης κινδύνου και η OLS εξίσου αποτελεσματική μέθοδο. Αυτό άλλωστε εξάγεται και από την υψηλή συσχέτιση 0,93 των αγορών Spot και Futures, η οποία εκφράζει και την σταδιακή ωρίμανση τους και δείχνει ότι τα παράγωγα λειτουργούν πλέον ως εργαλεία διαχείρισης κινδύνου και όχι ως αυτόνομες εστίες κερδοσκοπίας.

Από πρακτική σκοπιά, τα ευρήματα της εργασίας αναδεικνύουν τη σημασία της ανάπτυξης και ενίσχυσης ρυθμιζόμενων αγορών παραγώγων κρυπτοστοιχείων, όπως αυτές της CME και της Eurex. Η ύπαρξη οργανωμένων αγορών futures και options διευκολύνει τη θεσμική συμμετοχή και επιτρέπει την εφαρμογή προηγμένων στρατηγικών αντιστάθμισης κινδύνου, συμβάλλοντας δυνητικά στη σταθερότητα και στην ωρίμανση των αγορών κρυπτοστοιχείων.

Εν κατακλείδι, η παρούσα μελέτη ανοίγει τον δρόμο για μελλοντική έρευνα, η οποία θα μπορούσε να εστιάσει στη χρήση πιο σύνθετων option-based στρατηγικών, σε πολυστοιχειακά crypto χαρτοφυλάκια ή σε intraday δεδομένα υψηλής συχνότητας. Παρά τους περιορισμούς της, η εργασία αυτή προσφέρει εμπειρική τεκμηρίωση της δυνατότητας των παραγώγων προϊόντων να διαδραματίσουν ουσιαστικό ρόλο στη διαχείριση κινδύνου των κρυπτο-στοιχείων, όχι μόνο ως μέσα κερδοσκοπίας αλλά και ως βασικοί μηχανισμοί μεταφοράς και αντιστάθμισης κινδύνου.

Βιβλιογραφία / Αρθρογραφία

Alexander, C and Barbosa, A, 2006. The Impact of Electronic Trading and Exchange Traded Funds on the Effectiveness of Minimum Variance Hedging. *ICMA Centre Discussion Papers in Finance DP2006-04*.

Alexander, C. and Dakos, M., 2020. A critical investigation of cryptocurrency data and analysis. *Quantitative Finance*, 20(9), pp.1565–1583.

Alexander, C. and Heck, D.F., 2020. Price discovery in Bitcoin: The impact of CME futures. *Journal of Financial Stability*, 47, 100706.

Alexander, C., Choi, J., Park, H. and Sohn, S., 2021. Hedging cryptocurrency portfolios. *Journal of Futures Markets*, 41(2), pp.219–244.

Alexander, C., Deng, J. and Zou, B., 2021. Hedging with Bitcoin Futures: The Effect of Liquidation Loss Aversion and Aggressive Trading. *arXiv preprint arXiv:2101.01261*.

Augustin, P., Rubtsov, A., & Shin, D., 2023. The impact of derivatives on spot markets: Evidence from the introduction of bitcoin futures contracts. *Management Science*, 69(11), pp.6752-6776.

Babalos, V., Bouri, E. and Gupta, R., 2025. Does the introduction of US spot Bitcoin ETFs affect spot returns and volatility of major cryptocurrencies?. *Quarterly Review of Economics and Finance* 102 (2025) 102006

Baur, D.G. and Dimpfl, T., 2021. The volatility of Bitcoin and its role as a medium of exchange and a store of value. *Empirical Economics*, 61, pp.2663–2683.

Będowska-Sójka, B. and Kliber, A., 2021. Do Bitcoin futures reduce price volatility? Evidence from the CME market. *International Review of Financial Analysis*, 76, 101772.

Bell, D. E., & Krasker, W. S. (1986). Estimating hedge ratios. *Financial management*, pp.34-39.

Bollerslev, T., 1986. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), pp.307–327.

Bouri, E., Gupta, R., Tiwari, A.K. and Roubaud, D., 2017. Does Bitcoin hedge global uncertainty? Evidence from wavelet-based quantile-in-quantile regressions. *Finance Research Letters*, 23, pp.87–95.

Bouteska A. and Harasheh M., 2023. Bitcoin volatility and the introduction of bitcoin futures: A portfolio construction approach. *Finance Research Letters* 57, 104200

Butterworth, D., & Holmes, P., 2000. Ex ante hedging effectiveness of UK stock index futures contracts: Evidence for the FTSE 100 and FTSE Mid 250 contracts. *European Financial Management*, 6(4), pp.441-457.

- Butterworth, D., & Holmes, P., 2005. The hedging effectiveness of UK stock index futures contracts using an Extended Mean Gini approach: Evidence for the FTSE 100 and FTSE mid250 contracts. *Multinational Finance Journal*, 9(3/4), 131-160.
- Bystrom, H.N., 2003. The Hedging Performance of Electricity Futures on the Nordic Power Exchange. *Applied Economics*, 1, pp.1-11.
- Cecchetti, S.G., Cumby, R.E. and Figlewski, S., 1988. Estimation of the optimal futures hedge. *The Review of Economics and Statistics*, 70(4), pp.623–630.
- CF Benchmarks., 2025. Structural Drivers of Basis Yield in Cryptocurrency Markets: From Speculation to Institutional Maturity. *CF Benchmarks Research Report*.
- Chang, J. S., & Fang, H., 1990. An intertemporal measure of hedging effectiveness. *The Journal of Futures Markets (1986-1998)*, 10(3), 307.
- Chen, Y., Li, X. and Lin, H., 2021. Hedging Bitcoin futures: A comparison of static, dynamic and machine learning approaches. *Finance Research Letters*, 43, 101979.
- Chou, W.L., Dennis, K.K. and Lee, C.F., 1996. Hedging with the Nikkei Index Futures: The Conventional Model Versus the Error Correction Model. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 36, pp.495-505.
- Choudhry, T., 2004. Time-varying hedge ratios: Evidence from the FTSE-100 futures market. *Journal of Business Finance & Accounting*, 31(7–8), pp.1501–1525.
- CME Group., 2025. Crypto Catch-Up: Institutional Adoption and Market Liquidity Trends. *CME Education Series*.
- Conlon, T., Corbert, S. and Oxley, L., 2024. Investor Sentiment, Unexpected Inflation, and Bitcoin Basis Risk. *Journal of Futures Markets*, 44: pp. 1807–1831
- Copeland, L., & Zhu, Y., 2006. Hedging effectiveness in the index futures market. In *Nonlinear Financial Econometrics: Forecasting Models, Computational and Bayesian Models* (pp. 97-113). London: Palgrave Macmillan UK.
- Corbet, S., Goodell, J.W., Günay, S. and Katsiampa, P., 2020. Are cryptocurrencies a safe haven for equity markets? An international perspective from the COVID-19 pandemic. *Research in International Business and Finance*, 54, 101248.
- Corbet, S., Lucey, B., Peat, M. and Vigne, S.A., 2018. Bitcoin futures—What use are they? *Economics Letters*, 172, pp.23–27.
- Dangi, V., 2022. Estimation and effectiveness of optimal hedge ratios of cryptocurrencies based on static and dynamic methodologies. *Vision*, 09722629221135878.
- Deng, J., Pan, H., Zhang, S., & Zou, B., 2020. Minimum-variance hedging of Bitcoin inverse futures. *Applied Economics*, 52(58), pp.6320-6337.

- Ederington, L.H., 1979. The hedging performance of the new futures markets. *Journal of Finance*, 34, pp.157–170.
- Engle, R. and Granger, C., 1987. Cointegration and error correction: representation, estimation and testing, *Econometrica*, pp.251–276.
- Engle, R.F. and Kroner, K.F., 1995. Multivariate simultaneous generalized GARCH. *Econometric Theory*, 11(1), pp.122–150.
- Engle, R.F., 2002. Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate GARCH models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(3), pp.339–350.
- Feng, W., Wang, Y. and Zhang, Z., 2018. Can cryptocurrencies be a safe haven: A tail risk perspective analysis. *Applied Economics*, 50(44), pp.4745–4762.
- Figlewski, S., 1984. Hedging performance and basis risk in stock index futures. *The Journal of Finance*, 39(3), pp.657–669.
- Floros, C. and Vougas, D., 2004. Hedge Ratios in Greek Stock Index Futures Market. *Applied Financial Economics*, 14(15), pp.1125–1136.
- Floros, C. and Vougas, D., 2006. Hedging effectiveness in Greek Stock index futures market 1999–2001. *International Research Journal of Finance and Economics*, 5, pp.7–18.
- Fry, J. and Cheah, E.T., 2016. Negative bubbles and shocks in cryptocurrency markets. *International Review of Financial Analysis*, 47, pp.343–352.
- Ghosh, A. and Clayton, R., 1996. Hedging with International Stock Index Futures: An Intertemporal Error Correction Model. *Journal of Financial Research*, XIX, 4, pp.477–491
- Ghosh, A., 1993. Cointegration and error correction models: intertemporal causality between index and futures prices. *The Journal of Futures Market*, 13, pp.193–198
- Ghosh, A., 1993. Hedging with stock index futures: Estimation and forecasting with error correction model. *The Journal of Futures Markets*, 13(7), pp.743–752.
- Gjerde, O., 1987. Measuring hedging effectiveness in a traditional one-periodic portfolio framework. *The Journal of Futures Markets*, 19(4), 663.
- Grobys, K. and Sapkota, N., 2019. Cryptocurrencies and dynamic hedge ratios: Evidence from Bitcoin futures. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 63, 101133.
- Hale, G., Krishnamurthy, A., Kudlyak, M., & Shultz, P., 2018. How futures trading changed bitcoin prices. *FRBSF Economic Letter*, 12(1), pp.1–5.
- Harris, R. D., & Shen, J., 2003. Robust estimation of the optimal hedge ratio. *Journal of Futures Markets: Futures, Options, and Other Derivative Products*, 23(8), pp.799–816.

- Hatemi-J, A., & Roca, E., 2006. Calculating the optimal hedge ratio: constant, time varying and the Kalman Filter approach. *Applied Economics Letters*, 13(5), pp.293-299.
- Herbst, A. F., Kare, D. D., & Caples, S. C., 1989. Hedging effectiveness and minimum risk hedge ratios in the presence of autocorrelation: Foreign currency futures. *Journal of Futures Markets*, 9(3), 185-197.
- Hill, J. & Schneeweis, T., 1982. The Hedging Effectiveness Of Foreign Currency Futures. *Journal of Financial Research*, vol. 5(1), pages 95-104.
- Holmes, P., 1995. Ex ante hedge ratios and the hedging effectiveness of the FTSE-100 stock index futures contract. *Applied Economics Letters*, 2, pp. 56-59
- Jalan, A., Matkovskyy, R., & Urquhart, A., 2021. What effect did the introduction of Bitcoin futures have on the Bitcoin spot market?. *The European Journal of Finance*, 27(13), pp.1251-1281.
- Johnson, L.L., 1960. The theory of hedging and speculation in commodity futures. *The Review of Economic Studies*, 27(3), pp.139-151.
- Johnston, E. T., & McConnell, J. J. (1989). Requiem for a market: an analysis of the rise and fall of a financial futures contract. *Review of Financial Studies*, 2(1), 1-23.
- Kalman, R.E., 1960. A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering* 82(1), pp.35-45
- Katsiampa, P., 2017. Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models. *Economics Letters*, 158, pp.3-6.
- Kavussanos, M. G., Nomikos, N. K., 2000. Constant vs. time varying hedge ratios and hedging efficiency in the BIFFEX market. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 36(4), 229-248.
- Kawaller, I. G., Koch, P. D., & Koch, T. W., 1987. The temporal price relationship between S&P 500 futures and the S&P 500 index. *The Journal of Finance*, 42(5), pp.1309-1329.
- Kenourgios, D., Samitas, A., & Drosos, P., 2008. Hedge ratio estimation and hedging effectiveness: the case of the S&P 500 stock index futures contract. *International Journal of Risk assessment and management*, 9(1-2), pp.121-134.
- Klein, T., Thu, H.P. and Walther, T., 2018. Bitcoin is not the New Gold – A comparison of volatility, correlation, and portfolio performance. *International Review of Financial Analysis*, 59, pp.105-116.
- Köchling, G., Müller, J., & Posch, P. N., 2019. Does the introduction of futures improve the efficiency of Bitcoin?. *Finance Research Letters*, 30, pp.367-370.
- Koulis, A. and Kyriakopoulos, C., 2021. Hedge ratio estimation: A note on the Bitcoin future contract. *Bulletin of Applied Economics*, 8(2), pp.125-131.

- Kroner, K.F. and Sultan, J., 1993. Time-varying distributions and dynamic hedging with foreign currency futures. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(4), pp.535–551.
- Laws, J., & Thompson, J., 2005. Hedging effectiveness of stock index futures. *European Journal of Operational Research*, 163(1), pp.177-191.
- Lee, C. F., Wang, K., & Chen, Y. L., 2009. Hedging and optimal hedge ratios for international index futures markets. *Review of Pacific Basin Financial Markets and Policies*, 12(04), pp.593-610.
- Lence, S. H., 1995. The economic value of minimum-variance hedges. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(2), pp.353-364.
- Lien, D. and Tse, Y.K., 2002. Some recent developments in futures hedging. *Journal of Economic Surveys*, 16(3), pp.357–396.
- Lien, D., Tse, Y.K., and Tsui A.K.C., 2002. Evaluating the Hedging Performance of the Constant-Correlation GARCH Model. *Applied Financial Economics*, 12, 791-798.
- Lien, D., 1996. The Effect of the Cointegrating Relationship on Futures Hedging: A Note. *Journal of Futures Markets*, 16, pp.773-780.
- Liu, F., Packham, N., Lu, M. J., & Härdle, W. K. (2023). Hedging cryptos with Bitcoin futures. *Quantitative Finance*, 23(5), pp.819-841.
- Liu, Y. and Tsyvinski, A., 2021. Risks and returns of cryptocurrency. *The Review of Financial Studies*, 34(6), pp.2689–2727.
- Lypny, G. and Powalla, M., 1998. The hedging effectiveness of DAX futures. *The European Journal of Finance*, 4(4), pp.345–355.
- Makarov, I. and Schoar, A., 2020. Trading and arbitrage in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Economics*, 135(2), pp.293–319.
- Matsui, T., & Knottenbelt, W. J., 2023. Optimal hedge ratio estimation for bitcoin futures using kalman filter. In *2023 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)* (pp.1-5). IEEE.
- Moschini, G. and Myers, R., 2002. Testing for constant hedge ratios in commodity markets: a multivariate GARCH approach. *Journal of Empirical Finance*, 9 pp.589–603
- Mugerman, Y., Shachmurove, Y. and Shachmurove, E., 2022. Hedging Bitcoin with CME Bitcoin futures: An empirical analysis. *Journal of Futures Markets*, 42(3), pp.395–414.
- Myers, R.J. and Thompson, S.R., 1989. Generalized optimal hedge ratio estimation. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(4), pp.858–868.
- Μυλωνάς, Ν., 2005. Αγορές και Προϊόντα Παραγώγων. *Εκδόσεις Τυποθήκη*

- Nelson, B.D., 1991. Conditional Heteroskedasticity in Asset Returns: A New Approach. *The Econometric Society*, Vol. 59, No. 2, pp. 347-370
- Nelson, R. D., & Collins, R. A., 1985. A measure of hedging's performance. *The Journal of Futures Markets*, 5(1), 45.
- Pal, D., & Mitra, S. K., 2019. Hedging bitcoin with other financial assets. *Finance Research Letters*, 30, pp.30-36.
- Park, H. Y., & Bera, A. K., 1987. Interest-Rate Volatility, Basis Risk and Heteroscedasticity in Hedging Mortgages. *Real Estate Economics*, 15(2), pp.79-97.
- Park, T. H., & Switzer, L. N., 1995. Bivariate GARCH estimation of the optimal hedge ratios for stock index futures: A note. *The Journal of Futures Markets*, 15(1), 61.
- Polizu, C., Mata, M., Verma, P., Koutelidakis, Y., O'Neill, A. and Guanagnuolo, L., 2026. Bitcoin Volatility Trends: A Deep Dive into Market Dynamics and Risk. *S&P Global*
- Sebastião, H., & Godinho, P., 2020. Bitcoin futures: An effective tool for hedging cryptocurrencies. *Finance Research Letters*, 33, 101230.
- Selby, G. and Pilipczuk, M., 2025. Revisiting the Bitcoin Basis. *Cfbenchmarks*
- Shahzad, S.J.H., Bouri, E., Roubaud, D. and Kristoufek, L., 2019. Safe haven, hedge and diversification for G7 stock markets: Gold versus Bitcoin. *Economic Modelling*, 87, pp.212–224.
- Shi, M, Cheng, D., Islam, S. and Yang, Y., 2024. Exploring crypto derivatives. *Ernst & Young LLP*
- Silvennoinen, A. and Thorp, S., 2013. Financialization, crisis and commodity correlation dynamics. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 24, pp.42–65.
- Sim, A.B. and Zurbrugg, R., 2001. Dynamic Hedging Effectiveness in South Korean Index Futures and the Impact of the Asian Financial Crisis. *Asian Pacific Financial Markets*, 8, pp.237-238.
- Stenqvist, E. and Lönnö, J., 2017. Bitcoin volatility and CME futures: An empirical investigation. *Working Paper*, Stockholm School of Economics.
- Stoll, H. R., & Whaley, R. E., 1990. The dynamics of stock index and stock index futures returns. *Journal of Financial and Quantitative analysis*, 25(4), pp.441-468.
- The Block., 2026. CME Bitcoin futures activity slumps to 14-month low as basis trade unwind drains institutional demand. <https://www.theblock.co/post/396722/cme-bitcoin-futures-activity-slumps-to-14-month-low-as-basis-trade-unwind-drains-institutional-demand>

- Tiwari, A.K., Jana, R.K., Das, D. and Roubaud, D., 2018. Informational efficiency of Bitcoin—An extension. *Economics Letters*, 163, pp.106–109.
- Wang, G.J., Xie, C., Wen, D. and Zhao, L., 2019. When Bitcoin meets economic policy uncertainty: Hedging capability and price connectedness. *International Review of Financial Analysis*, 64, pp.52–65.
- Zakoian, J. M., 1994. Threshold heteroskedastic models. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18(5), 931–955.
- Zhou, J., 2015. Hedging performance of REIT index futures: A comparison of alternative hedge ratio estimation methods, *Economic Modelling* 52 (2016) 690–698
- Zi-Yi Guo, 2022. Risk management of Bitcoin futures with GARCH models, *Finance Research Letters*

Παράρτημα Α: «Πίνακες»

Πίνακας 12 : Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας Bitcoin Arch-LM (Engle's Test)

Heteroskedasticity Test: ARCH

F-statistic	113.8090	Prob. F(1,591)	0.0000
Obs*R-squared	95.75463	Prob. Chi-Square(1)	0.0000

Test Equation:

Dependent Variable: RESID^2

Method: Least Squares

Date: 06/28/26 Time: 13:51

Sample (adjusted): 1/02/2024 4/16/2026

Included observations: 593 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000104	1.73E-05	6.028325	0.0000
RESID^2(-1)	0.401657	0.037650	10.66813	0.0000

R-squared	0.161475	Mean dependent var	0.000175
Adjusted R-squared	0.160056	S.D. dependent var	0.000424
S.E. of regression	0.000388	Akaike info criterion	-12.86525
Sum squared resid	8.92E-05	Schwarz criterion	-12.85046
Log likelihood	3816.548	Hannan-Quinn criter.	-12.85949
F-statistic	113.8090	Durbin-Watson stat	1.837745
Prob(F-statistic)	0.000000		

Πίνακας 13 : Έλεγχος Ετεροσκεδαστικότητας Ether Arch-LM (Engle's Test)

Heteroskedasticity Test: ARCH

F-statistic	85.28805	Prob. F(1,590)	0.0000
Obs*R-squared	74.76887	Prob. Chi-Square(1)	0.0000

Test Equation:

Dependent Variable: RESID^2

Method: Least Squares

Date: 06/28/26 Time: 14:10

Sample (adjusted): 1/02/2024 4/16/2026

Included observations: 592 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	0.000228	3.44E-05	6.634475	0.0000
RESID^2(-1)	0.355404	0.038484	9.235153	0.0000

R-squared	0.126299	Mean dependent var	0.000354
Adjusted R-squared	0.124818	S.D. dependent var	0.000821
S.E. of regression	0.000768	Akaike info criterion	-11.50149
Sum squared resid	0.000348	Schwarz criterion	-11.48668
Log likelihood	3406.442	Hannan-Quinn criter.	-11.49572
F-statistic	85.28805	Durbin-Watson stat	1.878235
Prob(F-statistic)	0.000000		

Πίνακας 14 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Bitcoin

Omitted Variable Test				
Equation: UNTITLED				
Omitted Variables: FUTURES RETURN^2				
Specification: SPOT RETURN FUTURES RETURN C				
Null hypothesis: FUTURES RETURN^2 is not significant				
	Value	df	Probability	
t-statistic	2.155635	591	0.0315	
F-statistic	4.646761	(1, 591)	0.0315	
Likelihood ratio	4.652084	1	0.0310	
F-test summary:				
	Sum of Sq.	df	Mean Squares	
Test SSR	0.000812	1	0.000812	
Restricted SSR	0.104043	592	0.000176	
Unrestricted SSR	0.103232	591	0.000175	
LR test summary:				
	Value			
Restricted LogL	1726.149			
Unrestricted LogL	1728.475			
Unrestricted Test Equation:				
Dependent Variable: SPOT RETURN				
Method: Least Squares				
Date: 05/09/26 Time: 21:45				
Sample: 1/01/2024 4/16/2026				
Included observations: 594				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FUTURES_RETURN	0.865311	0.017081	50.65786	0.0000
C	-0.000423	0.000607	-0.696557	0.4864
FUTURES_RETURN^2	0.582988	0.270449	2.155635	0.0315
R-squared	0.813002	Mean dependent var		0.000938
Adjusted R-squared	0.812369	S.D. dependent var		0.030511
S.E. of regression	0.013216	Akaike info criterion		-5.809681
Sum squared resid	0.103232	Schwarz criterion		-5.787525
Log likelihood	1728.475	Hannan-Quinn criter.		-5.801052
F-statistic	1284.729	Durbin-Watson stat		2.935981
Prob(F-statistic)	0.000000			

Πίνακας 15 : Έλεγχος Παράλειψης Σημαντικών Μεταβλητών Ether

Omitted Variable Test

Equation: UNTITLED

Omitted Variables: FUTURE RETURN²

Specification: SPOT RETURN FUTURE RETURN C

Null hypothesis: FUTURE RETURN² is not significant

	Value	df	Probability
t-statistic	2.001842	590	0.0458
F-statistic	4.007371	(1, 590)	0.0458
Likelihood ratio	4.014131	1	0.0451

F-test summary:

	Sum of Sq.	df	Mean Squares
Test SSR	0.001415	1	0.001415
Restricted SSR	0.209693	591	0.000355
Unrestricted SSR	0.208278	590	0.000353

LR test summary:

	Value
Restricted LogL	1514.946
Unrestricted LogL	1516.953

Unrestricted Test Equation:

Dependent Variable: SPOT RETURN

Method: Least Squares

Date: 05/10/26 Time: 00:08

Sample: 1/01/2024 4/16/2026

Included observations: 593

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FUTURE RETURN	0.872343	0.017413	50.09824	0.0000
C	-0.000692	0.000853	-0.811353	0.4175
FUTURE RETURN ²	0.365762	0.182713	2.001842	0.0458
R-squared	0.810895	Mean dependent var	4.87E-05	
Adjusted R-squared	0.810254	S.D. dependent var	0.043133	
S.E. of regression	0.018789	Akaike info criterion	-5.106080	
Sum squared resid	0.208278	Schwarz criterion	-5.083895	
Log likelihood	1516.953	Hannan-Quinn criter.	-5.097439	
F-statistic	1264.977	Durbin-Watson stat	2.925528	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Γράφημα 11 : Αποτελέσματα Γραμμικής Παλινδρόμησης Bitcoin

Dependent Variable: SPOT RETURN

Method: Least Squares

Date: 05/09/26 Time: 21:09

Sample (adjusted): 1/01/2024 4/16/2026

Included observations: 594 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FUTURES RETURN	0.865052	0.017134	50.48869	0.0000
C	0.000165	0.000544	0.303746	0.7614
R-squared	0.811531	Mean dependent var	0.000938	
Adjusted R-squared	0.811213	S.D. dependent var	0.030511	
S.E. of regression	0.013257	Akaike info criterion	-5.805216	
Sum squared resid	0.104043	Schwarz criterion	-5.790446	
Log likelihood	1726.149	Hannan-Quinn criter.	-5.799464	
F-statistic	2549.108	Durbin-Watson stat	2.958474	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Γράφημα 12 : Αποτελέσματα Γραμμικής Παλινδρόμησης Ether

Dependent Variable: SPOT RETURN
Method: Least Squares
Date: 05/09/26 Time: 23:53
Sample (adjusted): 1/01/2024 4/16/2026
Included observations: 593 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FUTURE RETURN	0.867855	0.017312	50.13141	0.0000
C	3.78E-05	0.000774	0.048920	0.9610
R-squared	0.809610	Mean dependent var	4.87E-05	
Adjusted R-squared	0.809288	S.D. dependent var	0.043133	
S.E. of regression	0.018836	Akaike info criterion	-5.102684	
Sum squared resid	0.209693	Schwarz criterion	-5.087894	
Log likelihood	1514.946	Hannan-Quinn criter.	-5.096923	
F-statistic	2513.158	Durbin-Watson stat	2.939825	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Γράφημα 13 : Αποτελέσματα Μεθόδου Egarch Bitcoin

Dependent Variable: SPOT RETURN
Method: ML ARCH - Student's t distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 05/15/26 Time: 20:45
Sample (adjusted): 1/01/2024 4/16/2026
Included observations: 594 after adjustments
Convergence achieved after 42 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
LOG(GARCH) = C(3) + C(4)*ABS(RESID(-1))/@SQRT(GARCH(-1))) +
C(5)*RESID(-1)/@SQRT(GARCH(-1)) + C(6)*LOG(GARCH(-1))

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FUTURES RETURN	0.868588	0.012017	72.27848	0.0000
C	0.000574	0.000389	1.477455	0.1396
Variance Equation				
C(3)	-9.309486	0.988387	-9.418865	0.0000
C(4)	0.900123	0.167634	5.369560	0.0000
C(5)	0.141535	0.086793	1.630712	0.1030
C(6)	0.006634	0.114216	0.058086	0.9537
T-DIST. DOF	3.728772	0.697526	5.345713	0.0000
R-squared	0.811335	Mean dependent var	0.000938	
Adjusted R-squared	0.811016	S.D. dependent var	0.030511	
S.E. of regression	0.013264	Akaike info criterion	-6.094373	
Sum squared resid	0.104152	Schwarz criterion	-6.042676	
Log likelihood	1817.029	Hannan-Quinn criter.	-6.074239	
Durbin-Watson stat	2.960175			

\

Γράφημα 14 : Αποτελέσματα Μεθόδου Egarch Ether

Dependent Variable: SPOT RETURN
Method: ML ARCH - Student's t distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 05/16/26 Time: 00:04
Sample (adjusted): 1/01/2024 4/16/2026
Included observations: 593 after adjustments
Convergence achieved after 32 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
LOG(GARCH) = C(3) + C(4)*ABS(RESID(-1)/@SQRT(GARCH(-1))) +
C(5)*RESID(-1)/@SQRT(GARCH(-1)) + C(6)*LOG(GARCH(-1))

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FUTURE RETURN	0.906320	0.012053	75.19566	0.0000
C	-2.80E-05	0.000543	-0.051504	0.9589
Variance Equation				
C(3)	-7.120203	1.140810	-6.241358	0.0000
C(4)	0.920939	0.162029	5.683785	0.0000
C(5)	0.030770	0.095414	0.322485	0.7471
C(6)	0.201745	0.139568	1.445494	0.1483
T-DIST. DOF	4.045259	0.726598	5.567394	0.0000
R-squared	0.808017	Mean dependent var	4.87E-05	
Adjusted R-squared	0.807693	S.D. dependent var	0.043133	
S.E. of regression	0.018915	Akaike info criterion	-5.395516	
Sum squared resid	0.211447	Schwarz criterion	-5.343751	
Log likelihood	1606.770	Hannan-Quinn criter.	-5.375354	
Durbin-Watson stat	2.994912			

Πίνακας 16 : Αποτελέσματα OLS Bitcoin - Out of Sample

Dependent Variable: SPOT RETURN
Method: Least Squares
Date: 05/17/26 Time: 22:34
Sample: 1/01/2024 10/31/2025
Included observations: 476

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FUTURES_RETURN	0.852244	0.019929	42.76402	0.0000
C	0.000324	0.000631	0.512944	0.6082
R-squared	0.794160	Mean dependent var	0.001850	
Adjusted R-squared	0.793726	S.D. dependent var	0.030259	
S.E. of regression	0.013743	Akaike info criterion	-5.732384	
Sum squared resid	0.089524	Schwarz criterion	-5.714882	
Log likelihood	1366.307	Hannan-Quinn criter.	-5.725502	
F-statistic	1828.761	Durbin-Watson stat	2.940272	
Prob(F-statistic)	0.000000			

\

Πίνακας 17 : Αποτελέσματα Egarch Bitcoin - Out of Sample

Dependent Variable: SPOT_RETURN
Method: ML ARCH - Normal distribution (BFGS / Marquardt steps)
Date: 05/17/26 Time: 22:35
Sample: 1/01/2024 10/31/2025
Included observations: 476
Convergence achieved after 29 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)
 $\text{LOG}(\text{GARCH}) = \text{C}(3) + \text{C}(4) * \text{ABS}(\text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1))) + \text{C}(5) * \text{RESID}(-1) / @\text{SQRT}(\text{GARCH}(-1)) + \text{C}(6) * \text{LOG}(\text{GARCH}(-1))$

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FUTURES_RETURN	0.881799	0.012952	68.08418	0.0000
C	0.000433	0.000528	0.820282	0.4121

Variance Equation

C(3)	-8.662551	0.982671	-8.815312	0.0000
C(4)	0.668296	0.101740	6.568633	0.0000
C(5)	0.080494	0.068624	1.172969	0.2408
C(6)	0.066428	0.113080	0.587439	0.5569

R-squared	0.793176	Mean dependent var	0.001850
Adjusted R-squared	0.792740	S.D. dependent var	0.030259
S.E. of regression	0.013776	Akaike info criterion	-5.896198
Sum squared resid	0.089952	Schwarz criterion	-5.843693
Log likelihood	1409.295	Hannan-Quinn criter.	-5.875553
Durbin-Watson stat	2.972631		

Πίνακας 18 : Αποτελέσματα OLS Ether - Out of Sample

Dependent Variable: SPOT_RETURN
Method: Least Squares
Date: 05/17/26 Time: 22:37
Sample: 1/01/2024 10/31/2025
Included observations: 476

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
FUTURE_RETURN	0.865432	0.019888	43.51590	0.0000
C	0.000173	0.000881	0.196594	0.8442

R-squared	0.799800	Mean dependent var	0.000896
Adjusted R-squared	0.799378	S.D. dependent var	0.042921
S.E. of regression	0.019225	Akaike info criterion	-5.061043
Sum squared resid	0.175186	Schwarz criterion	-5.043541
Log likelihood	1206.528	Hannan-Quinn criter.	-5.054161
F-statistic	1893.633	Durbin-Watson stat	2.924496
Prob(F-statistic)	0.000000		

Πίνακας 19 : Αποτελέσματα Egarch Ether - Out of Sample

Dependent Variable: SPOT RETURN				
Method: ML ARCH - Student's t distribution (OPG - BHHH / Marquardt steps)				
Date: 05/17/26 Time: 23:37				
Sample: 1/01/2024 10/31/2025				
Included observations: 476				
Convergence achieved after 39 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)				
LOG(GARCH) = C(3) + C(4)*ABS(RESID(-1))/@SQRT(GARCH(-1))) + C(5)*RESID(-1)/@SQRT(GARCH(-1)) + C(6)*LOG(GARCH(-1))				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
FUTURE RETURN	0.903126	0.014147	63.84054	0.0000
C	-9.41E-05	0.000627	-0.150029	0.8807
Variance Equation				
C(3)	-6.539851	1.269267	-5.152464	0.0000
C(4)	0.926309	0.185201	5.001636	0.0000
C(5)	0.003847	0.110184	0.034915	0.9721
C(6)	0.270899	0.155595	1.741049	0.0817
T-DIST. DOF	4.143355	0.837543	4.947037	0.0000
R-squared	0.798253	Mean dependent var		0.000896
Adjusted R-squared	0.797827	S.D. dependent var		0.042921
S.E. of regression	0.019299	Akaike info criterion		-5.342533
Sum squared resid	0.176541	Schwarz criterion		-5.281277
Log likelihood	1278.523	Hannan-Quinn criter.		-5.318446
Durbin-Watson stat	2.970955			

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.