



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ
ΚΑΙ ΤΗ ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ”**

ΤΙΤΛΟΣ:

**“Δευτερογενείς επιπτώσεις μεταξύ του Bitcoin και άλλων επενδυτικών
στοιχείων και η επίδραση του COVID-19”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΝΑΣΤΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ: 09320026

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΤΣΑΜΠΟΞΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

Αθήνα, 2022

ΒΕΒΑΙΩΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία για τη λήψη του Μεταπτυχιακού Διπλώματος έχει συγγραφεί από εμένα προσωπικά και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει εγκριθεί στο πλαίσιο κάποιου άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό. Η εργασία αυτή έχοντας εκπονηθεί από εμένα, αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο».

Ευχαριστίες

Για την έως τώρα σταδιοδρομία μου θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου, που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε όλες τις επιλογές μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Ιωάννα και τους φίλους μου για την υπομονή τους. Χωρίς εσάς δεν θα μπορούσα να έχω φτάσει στο σημείο που βρίσκομαι σήμερα.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Κατσαμποξάκη Ιωάννη, του οποίου η τεχνογνωσία ήταν ανεκτίμητη στη διατύπωση των ερευνητικών ερωτημάτων και της μεθοδολογίας. Η συνεχής ανατροφοδότησή σας με ώθησε να οξύνω τη σκέψη μου και έφερε την εργασία μου σε υψηλότερο επίπεδο.

Τέλος, ευχαριστώ όλους εκείνους τους ανθρώπους που συντελούν στην λειτουργία του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του συγκεκριμένου μεταπτυχιακού προγράμματος.

Περίληψη

Κατά τη διάρκεια της πανδημίας, το Bitcoin έγινε μια εναλλακτική επένδυση αυξάνοντας ραγδαία την τιμή του. Με βάση αυτό, το Bitcoin μπορεί να παρέχει ένα ασφαλές περιβάλλον για τους επενδυτές που φοβούνται την αβεβαιότητα της αγοράς κατά τη διάρκεια τέτοιων κρίσεων. Η παρούσα εργασία διερευνά τη σχέση μεταξύ των σημαντικότερων κρυπτονομισμάτων, του Bitcoin και του Ethereum, και άλλων παραδοσιακών περιουσιακών στοιχείων, όπως ο χρυσός ή οι χρηματιστηριακοί δείκτες. Γίνεται χρήση διανυσματικών αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων (VAR), βάσει των οποίων εκτιμήθηκαν η αιτιότητα κατά Granger και οι γενικευμένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης. Αυτή η μεθοδολογία επιτρέπει την πλήρη κατανόηση τόσο της κατεύθυνσης όσο και της έντασης των πληροφοριών που μεταδίδονται μεταξύ των κρυπτονομισμάτων και άλλων περιουσιακών στοιχείων. Τα κύρια ευρήματα ισχύουν με ή χωρίς το επεισόδιο της πανδημίας COVID-19 και αποκαλύπτουν την αλληλεπίδραση της αναδυόμενης αγοράς κρυπτονομισμάτων με άλλες πρωτογενείς αγορές. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι σε σταθερές περιόδους δεν υπάρχει αλληλεξάρτηση μεταξύ των κρυπτονομισμάτων και άλλων παραδοσιακών αγορών. Παρ' όλα αυτά, σε περιόδους υψηλής μεταβλητότητας, οι επενδυτές επιδιώκουν να συμπεριλάβουν στα χαρτοφυλάκιά τους εναλλακτικά περιουσιακά στοιχεία και το Bitcoin μπορεί να είναι ένα από αυτά.

Abstract

During the pandemic, Bitcoin became an alternative investment by rapidly increasing its price. Based on it, Bitcoin may provide a safe environment for investors who fear market uncertainty during such crises. This paper investigates the interrelation between the most important cryptocurrencies, Bitcoin and Ethereum, and other traditional assets such as gold or Stock Indexes. A VAR modeling approach was used, upon which Granger causality and generalized impulse response functions were estimated. This methodology allows a full understanding of both the direction and the intensity of the information which is transmitted between cryptocurrencies and other assets. The main findings hold with or without the COVID-19 pandemic episode and reveal the interaction of the emerging cryptocurrency market with other primary markets. The results suggest that in stable periods, there is not interdependence between cryptocurrencies and other traditional markets. Nevertheless, in high volatility periods, investors are looking to include in their portfolios alternative assets, and Bitcoin might be one of them.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	2
1.1 Το Bitcoin και η τεχνολογία blockchain	2
1.2 Το Ethereum και τα Smart Contracts	3
1.3 Η ιστορία του Bitcoin	4
Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση	8
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία.....	11
3.1 Στασιμότητα στις χρονοσειρές	11
3.1.1 Augmented Dickey-Fuller Test.....	12
3.1.2 Phillips-Perron Test	13
3.2 Διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα (VAR)	13
3.3 Βέλτιστη υστέρηση	14
3.4 Συνολοκλήρωση σε χρονοσειρές.....	15
3.4.1 Μέθοδος Engle-Granger	16
3.4.2 Μέθοδος Johansen	17
3.4.3 Έλεγχος ίχνους	18
3.4.4 Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής	19
3.5 Αιτιότητα κατά Granger	19
3.5.1 Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger.....	20
3.6 Γενικευμένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης.....	22
Κεφάλαιο 4: Δεδομένα	23
Κεφάλαιο 5: Εμπειρικά αποτελέσματα	29
5.1 Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας.....	29
5.2 Εκτίμηση VAR(p)	30
5.3 Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen	31
5.4 Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger.....	34

5.5 Γενικευμένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης.....	36
5.6 Συνέπειες του Halving Effect	38
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	39
Βιβλιογραφία	40
Παράρτημα	44

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Κατάλογος πηγών δεδομένων.....	23
Πίνακας 2: Εκτίμηση των VAR(p) μοντέλων	30
Πίνακας 3: Έλεγχος ADF (2016-2020)	44
Πίνακας 4: Έλεγχος Phillips – Perron (2016-2020)	44
Πίνακας 5: Έλεγχος ADF (2020-2021)	44
Πίνακας 6: Έλεγχος Phillips – Perron (2020-2021)	45
Πίνακας 7: Έλεγχος ADF (09/03/2020-09/11/2020).....	45
Πίνακας 8: Έλεγχος Phillips – Perron (09/03/2020-09/11/2020).....	45
Πίνακας 9: Έλεγχος ADF (10/11/2020-01/10/2021).....	46
Πίνακας 10: Έλεγχος Phillips – Perron (10/11/2020-01/10/2021).....	46
Πίνακας 11: Έλεγχος ίχνους (2016-2020)	46
Πίνακας 12: Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής (2016-2020)	46
Πίνακας 13: Έλεγχος ίχνους (2020-2021)	47
Πίνακας 14: Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής (2020-2021)	47
Πίνακας 15: Έλεγχος ίχνους (10/11/2020-01/10/2021).....	47
Πίνακας 16: Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής (10/11/2020-01/10/2021).....	48
Πίνακας 17: Αιτιότητα κατά Granger (2016-2020).....	48
Πίνακας 18: Αιτιότητα κατά Granger (2020-2021).....	49
Πίνακας 19: Αιτιότητα κατά Granger (09/03/2020-09/11/2020)	50
Πίνακας 20: Αιτιότητα κατά Granger (10/11/2020-01/10/2021)	51

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Τιμή του Bitcoin (Πηγή: Yahoo Finance).....	5
Εικόνα 2: Εξέλιξη της τιμής του Bitcoin (Πηγή: Yahoo Finance)	6
Εικόνα 3: Τιμή του Bitcoin κατά τη διάρκεια του COVID-19 (Πηγή: Yahoo Finance)....	6
Εικόνα 4: Τιμή του Bitcoin (2016-2021).....	24
Εικόνα 5: Τιμή του Ethereum (2016-2021).....	24
Εικόνα 6: Τιμή του χρυσού (2016-2021)	25
Εικόνα 7: Τιμή του S&P 500 (2016-2021)	25
Εικόνα 8: Υποπερίοδοι της έρευνας	26
Εικόνα 9: Τιμή του Bitcoin (2020-2021).....	27
Εικόνα 10: Τιμή του Ethereum (2020-2021).....	27
Εικόνα 11: Τιμή του χρυσού (2020-2021)	27
Εικόνα 12: Τιμή του S&P 500 (2020-2021)	28
Εικόνα 13: Συνθήκη ευστάθειας (2016-2020)	32
Εικόνα 14: Συνθήκη ευστάθειας (2020-2021).....	32
Εικόνα 15: Συνθήκη ευστάθειας (09/03/2020-09/11/2020).....	33
Εικόνα 16: Συνθήκη ευστάθειας (10/11/2020-01/10/2021).....	33
Εικόνα 17: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (2016-2020).....	35
Εικόνα 18: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (2020-2021).....	35
Εικόνα 19: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (09/03/2020-09/11/2020)	35
Εικόνα 20: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (10/11/2020-01/10/2021)	36
Εικόνα 21: Γενικευμένες συναρτήσεις παλμικής απόκρισης (09/03/2020- 09/11/2020).....	38
Εικόνα 22: Γενικευμένες συναρτήσεις παλμικής απόκρισης (10/11/2020- 01/10/2021).....	38

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Το Bitcoin και η τεχνολογία blockchain

Τα κρυπτονομίσματα είναι άυλα περιουσιακά στοιχεία που αποθηκεύονται αποκεντρωμένα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ψηφιακές συναλλαγές, εξαλείφοντας την ανάγκη ύπαρξης ενός ενδιάμεσου φορέα, δηλαδή μιας κυβέρνησης ή οποιουδήποτε χρηματοπιστωτικού ιδρύματος. Με απλά λόγια μπορούμε να πούμε ότι το κρυπτόνμισμα είναι μια διαδικασία ανταλλαγής χρημάτων. Αυτά τα άυλα περιουσιακά στοιχεία δεν διοικούνται από καμία κεντρική αρχή και διατηρούνται από μια τεχνολογία που ονομάζεται "blockchain". Το "blockchain" αποθηκεύει όλες τις οικονομικές συναλλαγές που αφορούν τα κρυπτονομίσματα, συναλλαγές οι οποίες είναι αρκετά ασφαλείς λόγω της χρήσης ακραίας κρυπτογράφησης. Το πιο δημοφιλές παράδειγμα κρυπτονομίσματος είναι το Bitcoin, το οποίο είναι το πρώτο κρυπτόνμισμα που εισήχθη ποτέ. Ορισμένα άλλα παραδείγματα κρυπτονομισμάτων είναι το Ethereum, το XRP κ.λ.π.

Όπως υπογραμμίζει ο Nakamoto στην εργασία του (Nakamoto, 2008), το Bitcoin είναι "ένα P2P (peer-to-peer) ισοδύναμο ψηφιακού χρήματος", δηλαδή το πρώτο κρυπτόνμισμα που δημιουργήθηκε με βάση την τεχνολογία "blockchain". Το 2009, το Bitcoin κυκλοφόρησε δημόσια ως λογισμικό ανοικτού κώδικα και επί του παρόντος υπάρχουν περίπου 17 εκατομμύρια bitcoin που έχουν εξορυχθεί. Εκτιμάται ότι μέχρι το 2140 θα υπάρχουν 21 εκατομμύρια bitcoin, που είναι το πεπερασμένο ποσό που επιτρέπεται στο σύστημα.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι παρά το γεγονός ότι το Bitcoin θεωρήθηκε ένα απροσδόκητο και πρωτοφανές φαινόμενο, ορισμένοι οικονομολόγοι έχουν επισημάνει την ανάπτυξη αυτού του είδους των νομισμάτων στο μέλλον, πριν από την ύπαρξή τους. (Menger, 2002 [1909])

Τα περισσότερα κρυπτονομίσματα κατασκευάζονται με τη χρήση μιας διαδικασίας που ονομάζεται εξόρυξη. Η εξόρυξη δεν είναι τίποτα άλλο παρά ένας αλγόριθμος.

Πρόκειται για τη διαδικασία προσθήκης συναλλαγών στο βιβλίο blockchain. Παρόλα αυτά, δεν δημιουργούνται όλα τα κρυπτονομίσματα με εξόρυξη. Ορισμένα νομίσματα δημιουργούνται χρησιμοποιώντας διάφορες άλλες τεχνικές, όπως τα tokens.

Το Bitcoin halving είναι η διαδικασία μείωσης στο μισό των ανταμοιβών της εξόρυξης bitcoin μετά την εξόρυξη κάθε συνόλου 210.000 μπλοκ. Για κάθε 210.000 μπλοκ που εξορύσσονται, η ανταμοιβή για την εξόρυξη ενός μπλοκ μειώνεται στο μισό. Η ιστορία δείχνει ότι υπάρχει θετική συσχέτιση μεταξύ του bitcoin halving και της αύξησης της τιμής του bitcoin. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τιμή δεν επηρεάζεται μόνο από το halving και εξαρτάται από διάφορους άλλους παράγοντες. (Mariana et al., 2021)

1.2 Το Ethereum και τα Smart Contracts

Το Ethereum είναι ένα δίκτυο Blockchain που εισήγαγε μια ενσωματωμένη γλώσσα προγραμματισμού, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία διαφόρων αποκεντρωμένων εφαρμογών. Το δίκτυο Ethereum τροφοδοτείται από το δικό του κρυπτονόμισμα που ονομάζεται "ether". Το δίκτυο Ethereum είναι επί του παρόντος διάσημο για το γεγονός ότι επιτρέπει την υλοποίηση έξυπνων συμβολαίων. (V. Buterin, 2014).

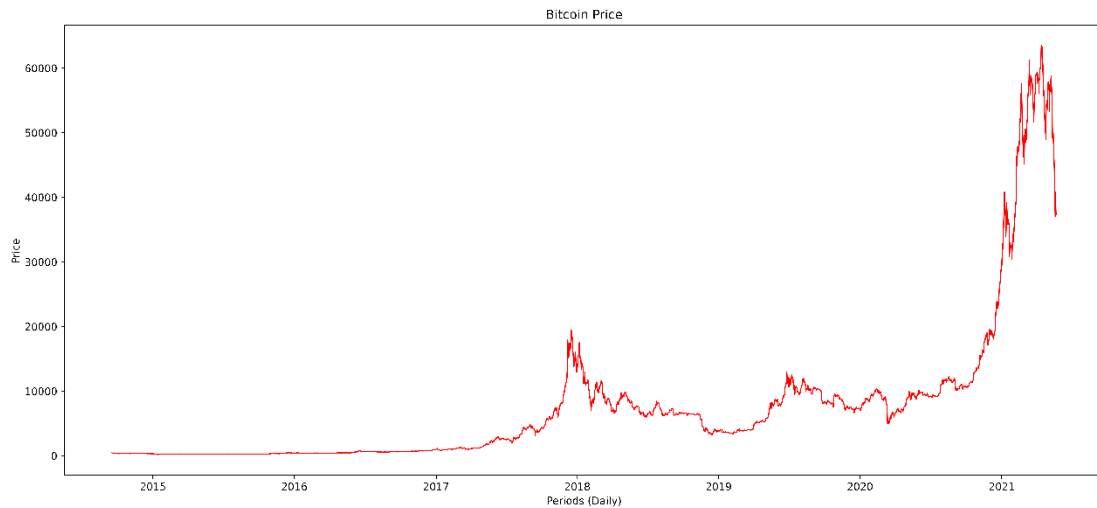
Τα "έξυπνα συμβόλαια" είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον κώδικα υπολογιστή που εκτελεί αυτόματα το σύνολο ή τμήματα μιας συμφωνίας και αποθηκεύεται σε μια πλατφόρμα που βασίζεται στο blockchain. Τα έξυπνα συμβόλαια είναι ένας τύπος λογαριασμού Ethereum. Αυτό σημαίνει ότι έχουν υπόλοιπο και μπορούν να στέλνουν συναλλαγές μέσω του δικτύου. Ωστόσο, δεν ελέγχονται από κάποιον χρήστη, αντίθετα αναπτύσσονται στο δίκτυο και εκτελούνται όπως έχουν προγραμματιστεί. Στη συνέχεια, οι λογαριασμοί χρηστών μπορούν να αλληλεπιδρούν με ένα έξυπνο συμβόλαιο υποβάλλοντας συναλλαγές που εκτελούν μια λειτουργία που ορίζεται στο έξυπνο συμβόλαιο. Τα έξυπνα συμβόλαια μπορούν να ορίζουν κανόνες, όπως ένα κανονικό συμβόλαιο, και να τους επιβάλλουν

αυτόματα μέσω του κώδικα. Τέλος, δεν μπορούν να διαγραφούν από προεπιλογή και οι αλληλεπιδράσεις με αυτά είναι μη αναστρέψιμες. (V. Buterin, 2014).

1.3 Η ιστορία του Bitcoin

Το Bitcoin δεν έχει μόνο μεγάλη ιστορία, αλλά και τη μεγαλύτερη κεφαλαιοποίηση της αγοράς σε αντίθεση με τα υπόλοιπα κρυπτονομίσματα. Για τους λόγους αυτούς, έχει χρησιμοποιηθεί ως αντιπρόσωπος των κρυπτονομισμάτων για το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας των ψηφιακών νομισμάτων. Σήμερα υπάρχουν διάφορες χρήσεις του Blockchain και καθώς πολλές από τις τεχνολογίες Blockchain είναι συγκεκριμένες, θα πρέπει κανείς να εκπαιδευτεί σχετικά με το πότε και πώς να το εφαρμόσει.

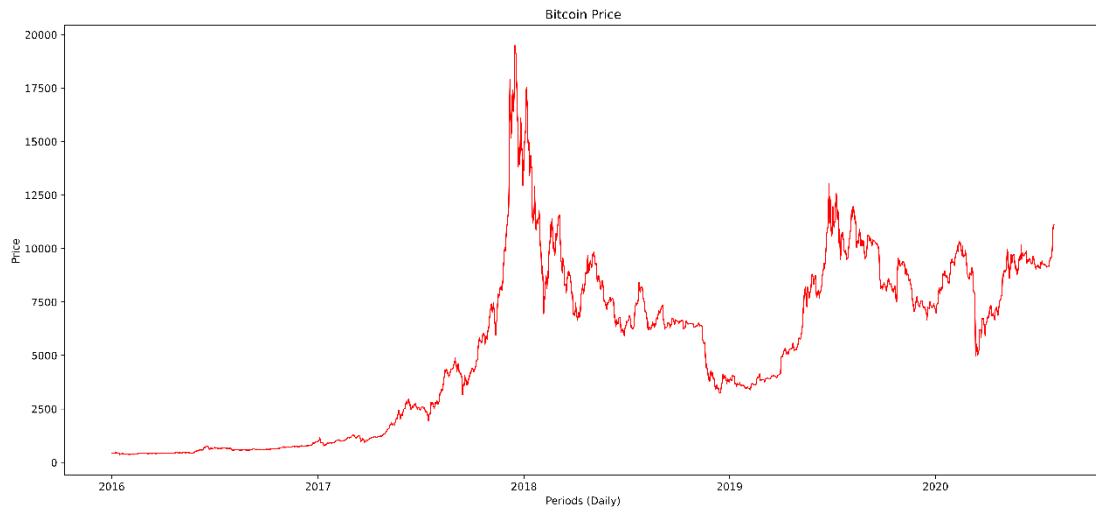
Από οικονομική άποψη, το Bitcoin δεν ήταν τόσο δημοφιλές τα πρώτα χρόνια μετά τη δημοσιοποίησή του και η τιμή του βρισκόταν σε χαμηλά επίπεδα. Η πρώτη άνοδος της τιμής του καταγράφηκε τον Ιούλιο του 2010, όταν η τιμή του αυξήθηκε εκατό φορές (από 0,0008 \$ σε 0,08 \$). Καθώς περνούσε ο καιρός, το Bitcoin λάμβανε μεγάλη φήμη, γεγονός που οδήγησε στην αύξηση της τιμής του. Έκτοτε, η τιμή του έχει αρκετά απρόβλεπτες και συνεχείς αυξήσεις και μειώσεις. Η "Εικόνα 1" δείχνει την αντίδραση της τιμής από το 2015 μέχρι σήμερα και με μια γρήγορη ματιά μπορεί κανείς να καταλάβει ότι πρόκειται για ένα εξαιρετικά ευμετάβλητο περιουσιακό στοιχείο.



Εικόνα 1: Τιμή του Bitcoin (Πηγή: Yahoo Finance)

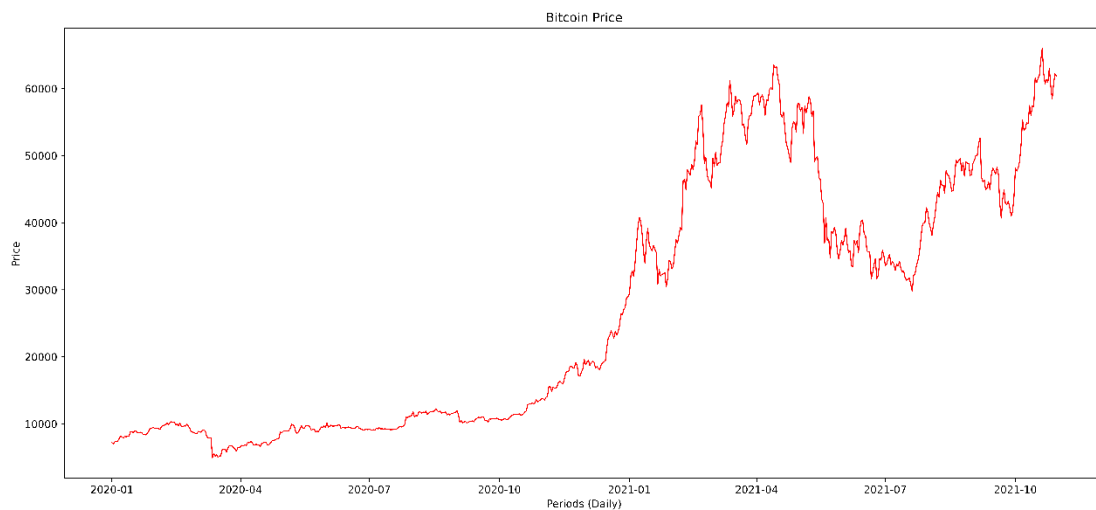
Η "Εικόνα 2" απεικονίζει μια περίοδο με σημαντικά περιστατικά σχετικά με το Bitcoin. Σε αυτήν την εικόνα, μπορεί κανείς να δει μια αρκετά ασταθή περίοδο κατά τη διάρκεια του 2017 και του 2018. Η έκρηξη της τιμής του ξεκίνησε τον Σεπτέμβριο του 2017 και μέχρι το τέλος Οκτωβρίου, η τιμή του έχει αυξηθεί πάνω από 6.000\$. Μέχρι το τέλος Νοεμβρίου, η τιμή του αυξήθηκε στα 10.000\$ και τελικά, στα μέσα Δεκεμβρίου η τιμή του Bitcoin έφτασε στο απότομο αποκορύφωμά της, διπλασιάζοντας την τιμή του στα 20.000\$. Έπειτα, μέσα σε ένα χρόνο, έχασε πάνω από το ήμισυ της αξίας του. Το 2019, η τιμή του Bitcoin ανέκαμψε φτάνοντας τα 12.500\$ τον Ιούλιο και μέχρι το τέλος του έτους, υποχώρησε και πάλι γύρω στα 7.000\$.

Εν μέσω της παγκόσμιας κρίσης υγείας COVID-19 το 2020, το Bitcoin καθώς και τα χρηματιστήρια παγκοσμίως υπέστησαν αρνητικό σοκ. Η τιμή του έπεσε από 10.364\$ στις 14/02/έτος σε 4.945\$ στις 16/03/2020. Το Bitcoin και γενικότερα η αγορά μετοχών ανέκαμψαν και η τιμή του bitcoin σημείωσε άνοδο στα 11.398\$ στις 31/07/2020.



Εικόνα 2: Εξέλιξη της τιμής του Bitcoin (Πηγή: Yahoo Finance)

Τέλος, στην "Εικόνα 3", υπάρχει μια πιο αναλυτική απεικόνιση της πορείας του κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Η τελευταία έκρηξη της τιμής του Bitcoin ξεκίνησε το φθινόπωρο του 2020 και έφτασε στο αποκορύφωμά της την άνοιξη του 2021.



Εικόνα 3: Τιμή του Bitcoin κατά τη διάρκεια του COVID-19 (Πηγή: Yahoo Finance)

Λόγω της ραγδαίας αύξησης της κεφαλαιοποίησης της αγοράς και της τεράστιας μεταβλητότητας των τιμών, οι οικονομολόγοι προσπάθησαν να ορίσουν τον όρο "κρυπτονόμισμα" σε ένα συγκεκριμένο οικονομικό πλαίσιο. Συγκεκριμένα, διάφορες επιστημονικές εργασίες χαρακτήρισαν το "Bitcoin" ως νόμισμα και κάποιες άλλες ως εμπόρευμα (Rutskiy et al. 2020). Ορισμένοι ειδικοί υποστήριξαν τεκμηριωμένα ότι το

σύστημα έκδοσης και απελευθέρωσης του Bitcoin, εγγυάται τη σπανιότητά του και μειώνει το κόστος των συναλλαγών σε ξένο νόμισμα (Böhme et al., 2015). Κάποιοι άλλοι δήλωσαν ότι το Bitcoin θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως επενδυτικό περιουσιακό στοιχείο ή ως εργαλείο αντιστάθμισης κινδύνου και να μειώσει σε μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο ενός χαρτοφυλακίου (Chu et al., 2017).

Ωστόσο, η βιβλιογραφία δεν μπορεί να προσδιορίσει με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά του Bitcoin, δεδομένου ότι έχει μοναδικά χαρακτηριστικά όσον αφορά τον κίνδυνο και τις επιδόσεις και είναι αρκετά ευμετάβλητο σε σχέση με διάφορα άλλα διαφορετικά περιουσιακά στοιχεία (Klein et al., 2018). Ως εκ τούτου, μπορεί κανείς να συνειδητοποιήσει ότι υπάρχει ένα κενό στη βιβλιογραφία όσον αφορά τη φύση του Bitcoin (Yermack, 2013).

Επομένως, είναι λογικό να αναρωτιέται κανείς γιατί οι επενδυτές μπορεί να προτιμούν να συμπεριλάβουν το Bitcoin στα χαρτοφυλάκιά τους αντί για άλλα περιουσιακά στοιχεία. Παρόλο που η βιβλιογραφία φαίνεται να υποδηλώνει διαφορετικές και αντίθετες απόψεις σχετικά με το θέμα αυτό, η πλειοψηφία των ερευνητών υποστηρίζει ότι το Bitcoin είναι ένα περιουσιακό στοιχείο το οποίο συνδέεται ή αποσυνδέεται πλήρως από την πραγματική οικονομία και την κεφαλαιαγορά. Από τη μία πλευρά, σύμφωνα με αυτή τη γνώμη, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι το Bitcoin μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο αντιστάθμισης κινδύνου στα επενδυτικά χαρτοφυλάκια. Από την άλλη πλευρά, οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το Bitcoin μπορεί να εξηγηθεί από ορισμένες μεταβλητές της οικονομικής αγοράς μέσω μιας ακολουθίας επιμέρους προσεγγίσεων. Η διαφωνία που υπάρχει στη βιβλιογραφία σχετικά με τη φύση του Bitcoin αποδεικνύει ότι απαιτείται πρόσθετη έρευνα για την ανακάλυψη των πραγματικών χαρακτηριστικών του. Επιπλέον, ενώ αποτελεί περιουσιακό στοιχείο για το ενδιαφέρον των επενδυτών, η πλειονότητα αυτών διστάζει να το χρησιμοποιήσει και να το συμπεριλάβει στα χαρτοφυλάκιά της λόγω της ασταθούς και απρόβλεπτης φύσης του.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Δεδομένου ότι το Bitcoin είναι μια πρόσφατη δημιουργία, υπήρξε αρχικά μικρό ενδιαφέρον για έρευνα στο συγκεκριμένο πεδίο. Τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει περισσότερες έρευνες που σχετίζονται με τη διαμόρφωση των τιμών του Bitcoin και τις βασικές αιτίες της ανάπτυξής του.

Γενικά, τα μοντέλα VAR έχουν χρησιμοποιηθεί για την εξέταση πιθανών σχέσεων μεταξύ διαφόρων χρονοσειρών. Προηγούμενες εργασίες έχουν εντοπίσει μια αιτιώδη σχέση μεταξύ του Bitcoin, του χρυσού και χρηματιστηριακών δεικτών, ιδίως του δείκτη S&P 500. Η κατανόηση της μεταβλητότητας του Bitcoin είναι σημαντική για τις κυβερνήσεις και τους επενδυτές. Η καλύτερη κατανόηση της μεταβλητότητάς του μπορεί να δημιουργήσει καλύτερους κανονισμούς για την επίσημη χρήση του σε διάφορες οικονομίες παγκοσμίως. Επιπλέον, με την κατανόηση αυτών των πτυχών του Bitcoin, θα μπορούσε να μειωθεί κάθε κίνδυνος και επένδυση που σχετίζεται με τη χρήση του. Με αυτόν τον τρόπο, οι επενδυτές θα μπορούσαν να εξετάσουν τη δυνατότητα, έχοντας κατά νου τη σχέση με τον S&P 500, τον χρυσό και τις κινήσεις της αγοράς, να το χρησιμοποιήσουν ως υποκατάστατο.

Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη βιβλιογραφία για την πρό πανδημική εποχή, συμπεραίνεται ότι οι αποδόσεις των κρυπτονομισμάτων έχουν χαμηλή έκθεση σε παραδοσιακά περιουσιακά στοιχεία όπως μετοχές, νομίσματα και εμπορεύματα κατά την περίοδο 2013-2018 (Liu et al., 2018). Ως αποτέλεσμα πρόσφατης έρευνας, διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχαν αιτιώδεις σχέσεις κατά granger μεταξύ του S&P 500 και του Bitcoin από το 2016 έως το 2018 (Ünvan, 2021). Διερευνήθηκε επίσης η παρουσία σχέσεων αιτιότητας μεταξύ της τιμής του χρυσού και της τιμής του Bitcoin. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ύπαρξη αιτιωδών σχέσεων δεν είναι σημαντική, χρησιμοποιώντας δεδομένα από το 2017 έως το 2019 (Deniz & Teker, 2020).

Άλλοι συγγραφείς, υπογραμμίζουν ότι το Bitcoin συνδέεται στενά με διάφορα παραδοσιακά περιουσιακά στοιχεία. Συγκεκριμένα, παρατηρείται μια αμφίδρομη

αιτιακή σχέση μεταξύ του Bitcoin και του δείκτη S&P 500 και μια μονόπλευρη σχέση μεταξύ Bitcoin και χρυσού με την πρώτη να προκαλεί κατά Granger τη δεύτερη (Jang et al., 2019). Μια παρόμοια εργασία που έχει διεξαχθεί, υπέδειξε μόνο μία αιτιώδη σχέση που κινείται από την τιμή του Bitcoin στον δείκτη S&P 500. Κατά συνέπεια, μια αλλαγή στις τιμές του Bitcoin φαίνεται να εξηγεί τον δείκτη S&P 500 (Erdas & Çağlar, 2018). Άλλες έρευνες αποκαλύπτουν ότι τα κρυπτονομίσματα εξηγούν την πραγματική οικονομία, δεδομένου ότι η δευτερογενής επίδραση της συναλλαγματικής ισοτιμίας του Bitcoin προκαλεί κατά Granger τον δείκτη S&P 500 (Chang et al., 2021). Ένα σημαντικό ερώτημα, επίσης, είναι οι συνδέσεις μεταξύ Bitcoin και Ethereum. Υπάρχουν πολλές έρευνες στη βιβλιογραφία που επικεντρώνονται στην ύπαρξη αυτών των ισχυρών σχέσεων. Συνολικά, τα αποτελέσματα μεταξύ του Bitcoin και του Ethereum υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχει ένα συγκεκριμένο μοτίβο ώστε το ένα κρυπτονόμισμα να οδηγεί στο άλλο (Sifat et al., 2019).

Επιπλέον, έχουν διεξαχθεί πρόσθετες έρευνες κατά τη διάρκεια της πανδημίας, με σκοπό τη διερεύνηση της σχέσης των μεταβλητών σε ασταθείς περιόδους. Συγκεκριμένα, η τιμή του Bitcoin και η σχέση του με τον χρυσό και τον δείκτη S&P 500 μελετήθηκαν κατά τους πρώτους μήνες της πανδημίας με τη χρήση VEC μοντέλων (Gunawan et al., 2021). Η τιμή του χρυσού προκαλεί τον δείκτη S&P 500 αλλά όχι το αντίθετο, η τιμή του χρυσού και του Bitcoin δεν προκαλούν η μία την άλλη. Τέλος, άλλοι διαπιστώνουν ότι τα δύο μεγαλύτερα κρυπτονομίσματα είναι κατάλληλα ως βραχυπρόθεσμα “ασφαλή καταφύγια”. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι ημερήσιες αποδόσεις τους τείνουν να συσχετίζονται αρνητικά με την απόδοση του S&P 500 κατά τη διάρκεια της πανδημίας (Mariana et al., 2021).

Η παρούσα εργασία προσπαθεί να επεκτείνει τα συμπεράσματα των παραπάνω ερευνών αναλύοντας τις δυναμικές σχέσεις μεταξύ του S&P 500, του χρυσού και της τιμής του Bitcoin και του Ethereum. Ως εκ τούτου, ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να:

- Ερευνήσει διάφορες οικονομικές μεταβλητές που θα μπορούσαν να επηρεάσουν και να επηρεαστούν από την τιμή του Bitcoin και τις βραχυπρόθεσμες κινήσεις του.
- Μελετήσει διαφορετικές χρονικές περιόδους με το διαχωρισμό της ερευνητικής περιόδου σε 3 υποπεριόδους, για τη διερεύνηση και ερμηνεία της επίδρασης του COVID-19 στις δυναμικές σχέσεις.

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία

Η παρούσα εργασία θα βασιστεί στη μεθοδολογία των διανυσματικών αυτοπαλίνδρομων μοντέλων (VAR), η οποία θα χρησιμοποιηθεί ώστε να προσδιοριστεί κάθε πιθανή σχέση μεταξύ του Bitcoin και ενός διαφορετικού τύπου περιουσιακού στοιχείου. Θα εφαρμοστούν έλεγχοι στατιστικής σημαντικότητας για τον έλεγχο της στασιμότητας των μεταβλητών (ADF Test- PP Test). Στη συνέχεια, κάθε μοντέλο VAR (p) θα προσαρμοστεί για κάθε περίοδο - η εκτίμηση του συντελεστή p θα βασίζεται στα γνωστά κριτήρια πληροφόρησης (AIC, BIC, HQ). Επιπλέον, εάν όλες οι μεταβλητές σε κάθε υποπερίπτωση είναι ολοκληρωμένες πρώτης τάξης I(1), θα πρέπει να αναλυθεί η πιθανή ύπαρξη συνολοκληρωμένων σχέσεων. Στην περίπτωση αυτή, αντί του υποδείγματος VAR, θα πρέπει να εκτιμηθεί ένα υπόδειγμα VECM. Η ύπαρξη συνολοκληρωμένων σχέσεων θα ελεγχθεί με τη μεθοδολογία του Johansen (έλεγχος ίχνους και μέγιστης ιδιοτιμής). Επιπλέον, θα ελεγχθεί και η ύπαρξη αιτιωδών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών για κάθε περίοδο, σύμφωνα με τον Granger. Τέλος, θα εξεταστεί ποιος είναι ο αντίκτυπος στην πορεία των ενδογενών μεταβλητών από μια αιφνίδια διαταραχή στην εξίσωση του συστήματος μέσω των γενικευμένων συναρτήσεων απρόσμενων διαταραχών.

3.1 Στασιμότητα στις χρονοσειρές

Η πλειονότητα των ερευνών έχει αποδείξει ότι οι χρονολογικές σειρές χαρακτηρίζονται από μη στασιμότητα. Σύμφωνα με τον Granger, η εκτίμηση μιας απλής παλινδρόμησης για την εκτίμηση μιας σχέσης μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών μπορεί να οδηγήσει, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, στο πρόβλημα της “ψευδούς παλινδρόμησης” (Granger & Newbold, 1974). Στις ψευδείς παλινδρομήσεις, ο συντελεστής συσχέτισης R^2 αυξάνεται εμφανώς. Η πιο δημοφιλής λύση σε αυτό το πρόβλημα είναι η λήψη πρώτων διαφορών στα δεδομένα ώστε να χαρακτηρίζονται από στασιμότητα.

Μια στάσιμη διαδικασία έχει την ιδιότητα ότι η μέση τιμή, η διακύμανση και η συνδιακύμανση δεν μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου. Μια μη στάσιμη χρονοσειρά μπορεί να έχει τάσεις, δηλαδή μεταβολές όσον αφορά τη μέση τιμή καθώς περνάει ο χρόνος. Ένας τρόπος για να εξαλειφθεί η μη στασιμότητα είναι η διαφοροποίηση των δεδομένων. Οι διαφορές συμβολίζονται με $I(d)$, όπου d είναι η τάξη ολοκλήρωσης. Υπάρχουν διάφοροι έλεγχοι όσον αφορά την παρουσία μοναδιαίας ρίζας σε χρονοσειρές. Το Augmented Dickey-Fuller Test και το Phillips Perron Test θα εφαρμοστούν στην παρούσα εργασία.

3.1.1 Augmented Dickey-Fuller Test

Το επαυξημένο τεστ Dickey-fuller είναι μια επαυξημένη έκδοση του απλού Dickey - Fuller για μεγαλύτερες και πιο περίπλοκες χρονοσειρές. (Said & Dickey, 1984). Συγκεκριμένα, η απλή μορφή Dickey-Fuller μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε αυτοπαλίνδρομα μοντέλα πρώτης τάξης $AR(1)$, ενώ η ADF είναι εφικτό να εφαρμοστεί σε αυτοπαλίνδρομες διαδικασίες υψηλότερης τάξης. Η διαδικασία ελέγχου για τον έλεγχο ADF είναι η ίδια με τον έλεγχο Dickey-Fuller, αλλά εφαρμόζεται στο υπόδειγμα

$$\Delta Y_t = \alpha + \beta_t + \gamma Y_{t-1} + \dots + \delta_{p-1} + \Delta Y_{t-1-p} + \varepsilon_t$$

, όπου α είναι μια σταθερά, β_t είναι ο συντελεστής της χρονικής τάσης, ρ η τάξη υστέρησης της αυτοπαλίνδρομης διαδικασίας.

Η μηδενική υπόθεση του ελέγχου ADF υποδηλώνει ότι υπάρχει μία μοναδιαία ρίζα και η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι δεν υπάρχει μοναδιαία ρίζα. Συγκεκριμένα, οι δύο αυτές υποθέσεις γράφονται ως εξής:

$$H_0 : \gamma = 0$$

$$H_1 : \gamma < 0$$

Και η τιμή του στατιστικού ελέγχου είναι:

$$DF_t = \frac{\hat{\gamma}}{SE(\hat{\gamma})}$$

Εάν το στατιστικό ελέγχου που υπολογίζεται είναι μικρότερο από την κρίσιμη τιμή, τότε απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση $\gamma = 0$ και δεν υπάρχει μοναδιαία ρίζα.

3.1.2 Phillips-Perron Test

Το Phillips-Perron Test προτάθηκε το 1988 και ελέγχει τη μηδενική υπόθεση ότι μια χρονοσειρά είναι ολοκληρωμένη τάξης 1 (Phillips & Perron, 1988). Βασίζεται στον έλεγχο Dickey-Fuller για τη μηδενική υπόθεση $\rho = 1$ στο:

$$\Delta Y_t = \rho Y_{t-1} - Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Η μηδενική υπόθεση είναι ότι η μεταβλητή περιέχει μοναδιαία ρίζα και η εναλλακτική υπόθεση είναι ότι η μεταβλητή δημιουργήθηκε από μια στάσιμη διαδικασία.

3.2 Διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα (VAR)

Τα πολυμεταβλητά υποδείγματα ταυτόχρονων εξισώσεων χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς για οικονομετρική ανάλυση όταν ο Sims υποστήριξε τα διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα (VAR) ως εναλλακτικές λύσεις (Sims, 1980). Τα μοντέλα VAR χρησιμοποιούνται, συνήθως για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις και για την ανάλυση της δυναμικής επίδρασης στις μεταβλητές. Συνήθως αντιμετωπίζουν όλες τις μεταβλητές ως εκ των προτέρων ενδογενείς ως συνάρτηση των p -υστερήσεων όλων των ενδογενών μεταβλητών του συστήματος. Με άλλα λόγια, τα διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα μοντέλα αποτελούν επέκταση του μονομεταβλητού μοντέλου AR και χρησιμοποιούνται για την καταγραφή κάθε πιθανής σχέσης μεταξύ μιας πλειονότητας μεταβλητών, σε ένα περιβάλλον που αλλάζει συνεχώς καθώς περνάει ο χρόνος. Ένα VAR(p) με μεταβλητές i μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$Y_t = C_0 + \sum_{j=1}^i C_j y_{t-j} + B_t x_t + u_t$$

, όπου C_0 και C_j είναι δύο πίνακες $i \times 1$, που αντιπροσωπεύουν τους συντελεστές των σταθερών και ενδογενών μεταβλητών αντίστοιχα, B_t αντιπροσωπεύει έναν $(k \times 1)$

πίνακα των συντελεστών των εξωγενών μεταβλητών και u_t είναι ο όρος σφάλματος. Όλοι αυτοί οι συντελεστές εκτιμώνται συχνά με την κοινή μέθοδο των συνήθων ελαχίστων τετραγώνων ή τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας.

Αξίζει να αναφερθεί ότι για την εκτίμηση ενός υποδείγματος VAR, εκτός από τους όρους σφάλματος, θα πρέπει να ικανοποιείται και η συνθήκη στασιμότητας. Ουσιαστικά, για να είναι το VAR στάσιμο, θα πρέπει οι ιδιοτιμές να βρίσκονται μέσα στο μοναδιαίο κύκλο.

3.3 Βέλτιστη υστέρηση

Όσον αφορά τη σειρά υστέρησης που θα επιλεγεί για την εκτίμηση κάθε υποδείγματος VAR (p), θα χρησιμοποιηθούν τα ακόλουθα 4 κριτήρια προκειμένου να δοθεί ένα μέσο για τη βέλτιστη επιλογή υποδείγματος:

- Κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC)
- Κριτήριο πληροφόρησης του Bayes (BIC)
- Κριτήριο πληροφοριών Hannan-Quinn (HQ)
- Δοκιμή λόγου πιθανοφάνειας (LR)

Το κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC) βασίζεται στη θεωρία της πληροφορίας. Η θεωρία της πληροφορίας είναι ένας κλάδος των εφαρμοσμένων μαθηματικών που σχετίζεται με τη μετάδοση, την επεξεργασία, την εξαγωγή και τη χρήση της πληροφορίας. Χρησιμοποιεί το AIC έτσι ώστε να μετρά τη σχετική ποιότητα των οικονομετρικών μοντέλων για ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων και να παρέχει στον ερευνητή πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα κάθε μοντέλου, σε σχέση με κάθε ένα από τα άλλα μοντέλα. Ως εκ τούτου, το AIC προσπαθεί να εξισορροπήσει την πολυπλοκότητα μεταξύ ενός δεδομένου υποδείγματος και της καλής προσαρμογής του, η οποία είναι ο στατιστικός όρος που περιγράφει πόσο καλά το υπόδειγμα "ταιριάζει" στα δεδομένα ή στο σύνολο των παρατηρήσεων.

Το Μπεϋζιανό κριτήριο πληροφορίας (BIC) είναι ένα κριτήριο για την επιλογή μοντέλου μεταξύ ενός πεπερασμένου συνόλου μοντέλων. Γενικά, τα μοντέλα με χαμηλότερο BIC προτιμώνται γενικά. Βασίζεται, εν μέρει, στη συνάρτηση πιθανοφάνειας και συνδέεται στενά με το κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC), το οποίο περιγράφηκε παραπάνω.

Το κριτήριο πληροφορίας Hannan-Quinn (HQC) είναι ένα κριτήριο για την επιλογή μοντέλων. Αποτελεί εναλλακτική λύση στο κριτήριο πληροφοριών Akaike (AIC) και στο κριτήριο πληροφοριών Bayes (BIC). Αξίζει να αναφερθεί ότι το HQC, όπως και το BIC, σε αντίθεση με το AIC, δεν είναι ασυμπτωτικά αποτελεσματικό.

Η δοκιμή λόγου πιθανοφάνειας (LR) αξιολογεί την καλή προσαρμογή δύο ανταγωνιστικών στατιστικών μοντέλων με βάση τον λόγο των πιθανοφανειών τους, συγκεκριμένα ενός που βρέθηκε με μεγιστοποίηση σε ολόκληρο τον χώρο παραμέτρων και ενός άλλου που βρέθηκε μετά την επιβολή κάποιου περιορισμού. Ο έλεγχος likelihood-ratio απαιτεί τα μοντέλα να είναι εμφωλευμένα - δηλαδή, το πιο σύνθετο μοντέλο μπορεί να μετασχηματιστεί στο απλούστερο μοντέλο επιβάλλοντας περιορισμούς στις παραμέτρους του πρώτου.

Για την παρούσα εργασία, οι εκτιμήσεις των υποδειγμάτων VAR (p) θα διεξαχθούν σύμφωνα με τα κριτήρια πληροφόρησης Akaike και τον έλεγχο Likelihood-ratio.

3.4 Συνολοκλήρωση σε χρονοσειρές

Η συνολοκλήρωση στις χρονολογικές σειρές αναφέρεται στο γεγονός ότι δύο ή περισσότερες μεταβλητές κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση μακροπρόθεσμα. Με άλλα λόγια, υπάρχει μια μακροχρόνια σχέση ισορροπίας των μεταβλητών, αλλά δεν υπάρχει βραχυχρόνια.

Οι Engle & Granger όρισαν ότι, δύο χρονοσειρές Y_t και X_t λέγεται ότι είναι συνολοκληρωμένες τάξης (d, b) όπου $0 \leq b \leq d$ αν και οι δύο χρονοσειρές είναι ολοκληρωμένες τάξης d και υπάρχει ένας γραμμικός συνδυασμός αυτών των δύο

χρονοσειρών, $\alpha_1 Y_t + \alpha_2 X_t$ ο οποίος είναι ολοκληρωμένος τάξης (d-b) (Engle & Granger, 1987).

Εάν $Y_t \sim I(d)$ και $X_t \sim I(d)$ τότε $Y_t, X_t \sim CI$ εάν $\alpha_1 Y_t + \alpha_2 X_t \sim I(d-b)$

, όπου CI είναι το σύμβολο της συνολοκλήρωσης. Το διάνυσμα $[\alpha_1, \alpha_2]$ ονομάζεται διάνυσμα συνολοκλήρωσης. Τελικά, αν οι μεταβλητές είναι στάσιμες, δηλαδή ολοκληρωμένες τάξης 0, μπορούμε να προχωρήσουμε στις συνήθεις τεχνικές παλινδρόμησης.

3.4.1 Μέθοδος Engle-Granger

Αυτή η μέθοδος ελέγχου συνολοκλήρωσης προτάθηκε από τον Engle & Granger, (1987). Για την εφαρμογή του ελέγχου θα πρέπει να εκτελέσει κανείς τα ακόλουθα βήματα:

1. Αναζητείται η τάξη ολοκλήρωσης των μεταβλητών Y_t και X_t με τη μεθοδολογία των μοναδιαίων ριζών. Εάν οι τάξεις ολοκλήρωσης είναι ίδιες, προχωρά κανείς στο επόμενο βήμα. Εάν δεν είναι της ίδιας τάξης ολοκλήρωσης, οι δύο μεταβλητές δεν είναι συνολοκληρωμένες.
2. Εάν οι μεταβλητές είναι της ίδιας τάξης, εκτιμάται η μακροχρόνια σχέση ισορροπίας με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS).

$$Y_t = a_0 + a_1 X_t + e_t$$

, όπου e_t είναι τα μακροπρόθεσμα σφάλματα ισορροπίας.

1. Για να είναι οι δύο μεταβλητές συνολοκληρωμένες, τα σφάλματα παλινδρόμησης πρέπει να είναι στάσιμα. Ως εκ τούτου, εφαρμόζουμε τον έλεγχο στασιμότητας Dickey Fuller (DF) ή τον έλεγχο Augmented Dickey Fuller (ADF), αφού πρώτα εκτιμήσουμε την ακόλουθη εξίσωση με OLS:

$$\Delta e_t = \gamma e_{t-1} + \sum_{j=1}^{p-1} (\Delta e_t - j) + ut$$

3. Για να συμπεράνουμε τη συνολοκλήρωση των δύο μεταβλητών, υποθέτουμε τις ακόλουθες υποθέσεις:

$H_0 : \gamma=0$, όταν δεν υπάρχει στασιμότητα στα κατάλοιπα

$H_1 : \gamma < 0$, όταν υπάρχει στασιμότητα στα κατάλοιπα

Η μηδενική υπόθεση της μη στασιμότητας απορρίπτεται όταν $t < \tau_\gamma$, όπου τ είναι η κρίσιμη τιμή του πίνακα που παρουσιάζουν οι Engle και Granger για τον έλεγχο της στασιμότητας των σφαλμάτων.

3.4.2 Μέθοδος Johansen

Η μέθοδος του Johansen είναι μια διαδικασία ελέγχου της συνολοκλήρωσης σε χρονοσειρές (Johansen, 1988). Είναι μια από τις πιο κοινές μεθόδους ελέγχου. Σε αντίθεση με τις παραπάνω, η μέθοδος αυτή βασίζεται στο διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα (VAR). Το VAR είναι ένα οικονομετρικό υπόδειγμα που εφαρμόζεται για την αποτύπωση των δυναμικών σχέσεων μεταξύ πολλαπλών χρονοσειρών. Ένα υπόδειγμα VAR χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύνολο μεταβλητών που μετρώνται κατά τη διάρκεια μιας περιόδου ως γραμμική συνάρτηση, μόνο των υστερήσεων τους. Τα περισσότερα υποδείγματα VAR εκτιμώνται ώστε να εφαρμόζονται συμμετρικές υστερήσεις, δηλαδή το ίδιο μήκος ισχύει για όλες τις μεταβλητές του υποδείγματος. Η μέθοδος Johansen βοηθά στην εύρεση του μέγιστου αριθμού σχέσεων συνολοκλήρωσης με βάση τις τεχνικές που χρησιμοποιεί. Πολλές εξισώσεις μπορούν να ελεγχθούν ταυτόχρονα, ενώ η μέθοδος Engle-Granger μπορεί να ελέγξει μόνο μία εξίσωση κάθε φορά. Η μέθοδος ξεκινά με ένα υπόδειγμα VAR και συγκεκριμένα:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + \dots + A_p y_{t-p} + e_t$$

, όπου θα θεωρήσουμε ως y_t έναν πίνακα ($n \times 1$) και A , έναν πίνακα ($n \times n$). Η παραπάνω εξίσωση μπορεί επίσης να γραφεί ως εξής:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-1} + e_t$$

, όπου $\Pi = \sum_{i=1}^p A_i - I$ και $\Gamma_i = -\sum_{j=t+1}^p A_j$

Εάν ο πίνακας Π είναι τάξης ίσης με $r < n$, τότε υπάρχουν $n \times r$ πίνακες α και β τάξης r , ώστε οι $\Pi = \alpha\beta'$ και $\beta' \gamma_t$ να είναι στάσιμοι. Η τάξη του πίνακα Π καθορίζει τον αριθμό των διανυσμάτων συνολοκλήρωσης που είναι ίσος με τον αριθμό των ιδιοτιμών που δεν είναι μηδενικές. Τα στοιχεία του πίνακα α είναι οι παράμετροι προσαρμογής στο διάνυσμα του υποδείγματος διόρθωσης σφάλματος. Κάθε στήλη του πίνακα β είναι ένα διάνυσμα συνολοκλήρωσης. Έτσι, εάν $r = 0$, δεν υπάρχουν σχέσεις συνολοκλήρωσης. Εάν το r είναι ίσο με τον αριθμό των μεταβλητών, τότε αυτές είναι στάσιμες και εάν $r < n$, τότε οι μεταβλητές είναι συνολοκληρωμένες.

Παρακάτω υπάρχουν δύο στατιστικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της σειράς του πίνακα. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο έλεγχος ίχνους και μέγιστης ιδιοτιμής (Johansen, 1988), για να διαπιστώσει αν υπάρχουν συνολοκληρωμένα διανύσματα μεταξύ των χρονολογικών σειρών που αναλύονται.

3.4.3 Έλεγχος ίχνους

Ο έλεγχος ίχνους εξετάζει τη μηδενική υπόθεση της ύπαρξης r διανυσμάτων συνολοκλήρωσης, με την εναλλακτική υπόθεση να υποθέτει ότι ο αριθμός αυτός μπορεί να είναι μεγαλύτερος από τον σχετικό αριθμό των μηδενικών.

$$H_0 : r = 0$$

$$H_1 : r \geq 1$$

Ελέγχουμε αν $\lambda_{\text{trace}}(r) >$ κρίσιμη τιμή. Συνέχιση με την επόμενη δοκιμή:

$$H_0 : r \leq 1$$

$$H_1 : r \geq 2$$

Δοκιμάζοντας και πάλι την τιμή του $\lambda_{\text{trace}}(r)$ μέχρι να βρεθεί ένα μη στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα. Ο αριθμός της σχετικής μηδενικής υπόθεσης είναι επίσης η σειρά του πίνακα.

$$\lambda_{\text{trace}}(r) = -T \sum_{i=r+1}^g \ln(1 - \hat{\lambda}_i) , \text{ όπου: } j = r+1, \dots, n \text{ και } r = 0, 1, 2, 3, \dots, n-1$$

3.4.4 Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής

Στην περίπτωση αυτή, αναλύεται η μηδενική υπόθεση ότι ο αριθμός των διανυσμάτων είναι ίσος με r , με την εναλλακτική υπόθεση να υποστηρίζει ότι ο αριθμός είναι $r+1$.

$$H_0 : r = 0$$

$$H_1 : r = 1$$

Ελέγχουμε εάν $\lambda_{\text{max}} >$ κρίσιμη τιμή. Συνεχίζουμε με την επόμενη δοκιμή:

$$H_0 : r \leq 1$$

$$H_1 : r = 2$$

δοκιμάζοντας εκ νέου την τιμή του λ_{max} μέχρι να βρεθεί ένα μη στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα. Ο αριθμός της σχετικής μηδενικής υπόθεσης είναι και η σειρά του πίνακα.

$$\lambda_{\text{max}}(r, r+1) = -T \log(1 - \lambda_{r+1})$$

3.5 Αιτιότητα κατά Granger

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, μια απλή παλινδρόμηση μπορεί να εκτιμήσει μια προφανή σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών. Μια στατιστικά σημαντική εκτίμηση, ωστόσο, δεν σημαίνει ότι υπάρχει αιτιώδης σχέση μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκε η αιτιότητα κατά Granger, η οποία είναι ένας στατιστικός έλεγχος

υποθέσεων για τον προσδιορισμό του κατά πόσον μια χρονοσειρά είναι χρήσιμη για την πρόβλεψη μιας άλλης (Granger, 1969).

Στις χρονολογικές σειρές είναι ενδιαφέρον να γνωρίζουμε αν οι μεταβολές σε μία από τις μεταβλητές επηρεάζουν τις μεταβολές σε άλλες μεταβλητές και να διερευνούμε την αιτιότητα, δηλαδή αν η αιτία είναι αμφίδρομη, αν είναι μονόδρομη ή αν δεν υπάρχει αιτιότητα.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε 2 χρονοσειρές X_t και Y_t . Όταν η καθυστερημένη και παρούσα τιμή της Y_t παρέχει κάποιες χρήσιμες πληροφορίες για την πρόβλεψη της X_{t+1} τη χρονική στιγμή t , λέγεται ότι η Y_t προκαλεί την X_t κατά Granger. Στο επόμενο μέρος, θα αναλυθεί πώς ελέγχεται η αιτιότητα κατά Granger.

3.5.1 Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger

Η μέθοδος που έχει επικρατήσει για τον έλεγχο της αιτιώδους σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών προτάθηκε από τον Granger, γνωστή και ως έλεγχος αιτιότητας κατά Granger. Ας υποθέσουμε πάλι ότι έχουμε δύο χρονοσειρές X_t και Y_t οι οποίες χαρακτηρίζονται από στασιμότητα και είναι οι εξής:

$$Y_t = \sum_{i=1}^m \alpha_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_i X_{t-i} + u_t$$
$$X_t = \sum_{i=1}^m \gamma_i X_{t-i} + \sum_{i=1}^m \delta_i Y_{t-i} + e_t$$

, όπου m είναι ο αριθμός των (υστερήσεων) σύμφωνα με τη μέθοδο επιλογής σειράς μοντέλου

Αυτές οι δύο εξισώσεις έχουν δύο αιτιώδεις σχέσεις ως εξής: Στην πρώτη σχέση η τιμή του Y τη χρονική στιγμή t είναι συνάρτηση της τιμής του με χρονική υστέρηση (Y_{t-i}), αλλά και της τιμής χρονικής υστέρησης του X . Στη δεύτερη εξίσωση, η τιμή του

Χ τη χρονική στιγμή t , είναι συνάρτηση της τιμής χρονικής υστέρησης του (X_{t-i}), αλλά και της τιμής χρονικής υστέρησης της Y . Στην περίπτωση αυτή, με τη βοήθεια του στατιστικού F , η στατιστική σημαντικότητα των συντελεστών β_i και δ_i και στις δύο εξισώσεις θα υπολογιστεί, ώστε να διαπιστωθεί αν υπάρχει ή όχι αιτιώδης σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

$$F = \frac{\frac{SSE^R - SSE^F}{m}}{\frac{SSE^F}{n - k}}$$

- SSR είναι το άθροισμα των τετραγώνων λόγω παλινδρόμησης. Είναι το άθροισμα των διαφορών μεταξύ της προβλεπόμενης τιμής και του μέσου όρου της εξαρτημένης μεταβλητής.
- SSE είναι το άθροισμα των τετραγώνων σφάλματος. Το σφάλμα είναι η διαφορά μεταξύ της παρατηρούμενης τιμής και της προβλεπόμενης τιμής.
- n είναι το μέγεθος του δείγματος (υπενθυμίζεται ότι πρέπει να είναι $m < n$)
- k είναι ο αριθμός των παραμέτρων χωρίς περιορισμό ($n - k$ βαθμοί ελευθερίας)

Τώρα, μετά τον έλεγχο και των δύο εξισώσεων, θα υπάρξουν τέσσερις περιπτώσεις που θα καθορίσουν την ύπαρξη αιτιώδους συνάφειας και την κατεύθυνσή της, δηλαδή αν είναι μονόδρομη ή αμφίδρομη.

- **Περίπτωση 1:** Οι συντελεστές β_i και δ_i είναι και οι δύο στατιστικά σημαντικοί ($\beta_i, \delta_i \neq 0$), οπότε υπάρχει αμφίδρομη αιτιώδης συνάφεια κατά Granger μεταξύ των μεταβλητών. Οι καθυστερημένες τιμές και των δύο συντελεστών βοηθούν στην πρόβλεψη του άλλου αντίστοιχα.
- **Περίπτωση 2:** Οι συντελεστές β_i και δ_i είναι και οι δύο στατιστικά σημαντικοί ($\beta_i = 0$), ενώ ο συντελεστής δ_i είναι στατιστικά σημαντικός ($\delta_i \neq 0$) οπότε σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μονόδρομη αιτιότητα σύμφωνα με τον Granger από το Y στο X . Οι καθυστερημένες τιμές του Y βοηθούν στην πρόβλεψη του X αλλά όχι το αντίθετο.

- **Περίπτωση 3:** Ο συντελεστής β_i στην πρώτη σχέση είναι στατιστικά σημαντικός ($\beta_i \neq 0$), ενώ ο συντελεστής δ_i δεν είναι στατιστικά σημαντικός ($\delta_i = 0$), οπότε στην περίπτωση αυτή υπάρχει μονόδρομη αιτιότητα σύμφωνα με τον Granger από το X στο Y. Οι καθυστερημένες τιμές του X βοηθούν στην πρόβλεψη του Y αλλά όχι το αντίστροφο.
- **Περίπτωση 4:** Οι συντελεστές β_i και δ_i δεν είναι στατιστικά σημαντικοί ($\beta_i = 0$, $\delta_i = 0$), οπότε δεν υπάρχει σχέση αιτιότητας κατά Granger μεταξύ αυτών των μεταβλητών.

3.6 Γενικευμένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης

Σε ένα σύστημα VAR, οι συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης μετρούν την επίδραση ενός σοκ σε μια ενδογενή μεταβλητή στην ίδια ή σε μια άλλη ενδογενή μεταβλητή μέσω της δυναμικής δομής του VAR (Lütkepohl, 2005). Η συνάρτηση απρόσμενης απόκρισης προσδιορίζει την επίδραση που έχει ένα τυχαίο σοκ σε μια δεδομένη χρονική στιγμή σε μια ενδογενή μεταβλητή σε έναν πεπερασμένο χρονικό ορίζοντα. Συνήθως, τα σοκ εκφράζονται σε όρους τυπικών αποκλίσεων. Ως εκ τούτου, η συνάρτηση απρόσμενης απόκρισης περιγράφει τις επιπτώσεις στις ενδογενείς μεταβλητές, για αρκετές μελλοντικές περιόδους, όταν οι διαταρακτικές συνθήκες αλλάζουν. Με άλλα λόγια, μέσω των συναρτήσεων απρόσμενης απόκρισης έχει κανείς μια ματιά στην απόκριση μιας μεταβλητής σε ένα απρόβλεπτο σοκ σε μια άλλη μεταβλητή. Ένα απρόβλεπτο σοκ σε μια μεταβλητή επηρεάζει άμεσα όχι μόνο την ίδια αλλά και τη μετάδοση στις άλλες ενδογενείς μεταβλητές του συστήματος, μέσω της δυναμικής δομής του υποδείγματος VAR.

Οι γενικευμένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης όπως περιγράφονται από τον Pesaran & Smith (1998) κατασκευάζει ένα ορθογώνιο σύνολο καινοτομιών που δεν εξαρτάται από τη διάταξη του VAR και σε αντίθεση με τις συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης για δομικά υποδείγματα.

Κεφάλαιο 4: Δεδομένα

Σε μια προσπάθεια να βρεθούν προσδιοριστικοί παράγοντες της αγοράς για τις αποδόσεις του Bitcoin, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα που περιλαμβάνουν μεταβλητές από τις μεγαλύτερες αγορές του κόσμου. Καθώς η αγορά κρυπτονομισμάτων λειτουργεί καθημερινά σε αντίθεση με τις υπόλοιπες αγορές, οι αργίες και τα Σαββατοκύριακα δεν λαμβάνονται υπόψη στο δείγμα. Οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν είναι το Bitcoin, το Ethereum, ο χρυσός και ο S&P 500 και παρουσιάζονται στον πίνακα 1 παρακάτω.

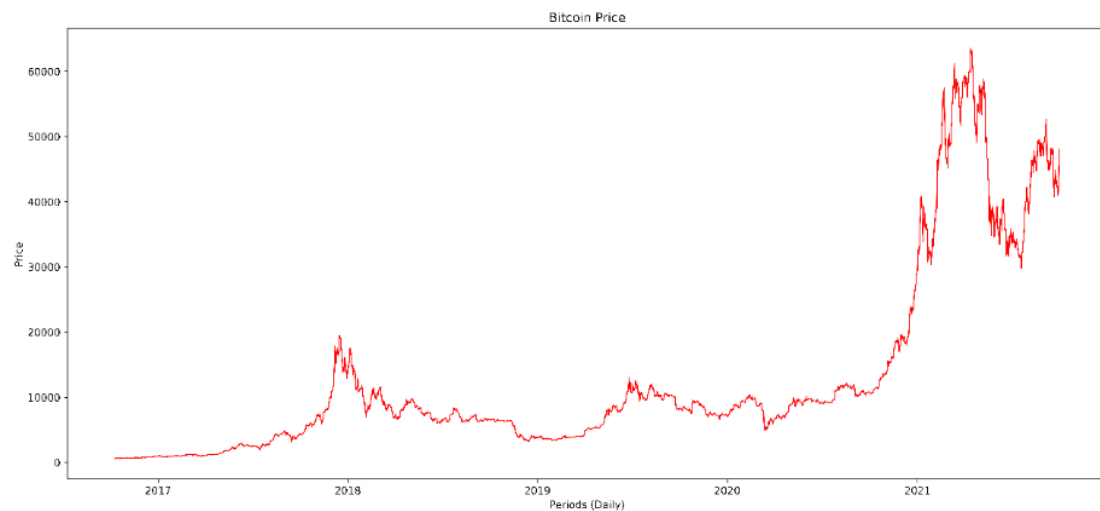
Μεταβλητές	Πηγή
Τιμή κλεισίματος Bitcoin	investing.com
Τιμή κλεισίματος Ethereum	investing.com
Τιμή δείκτη S&P 500	yahoofinance.com
Τιμή κλεισίματος χρυσού	yahoofinance.com

Πίνακας 1: Κατάλογος πηγών δεδομένων

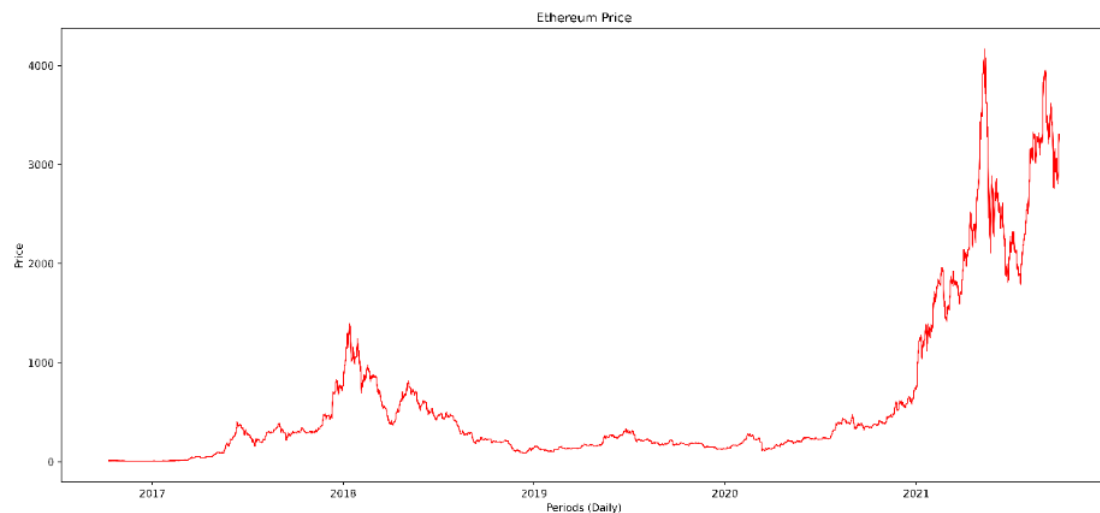
Υπάρχουν ήδη αρκετές μελέτες που εξετάζουν τη σχέση μεταξύ του Bitcoin και άλλων παραδοσιακών περιουσιακών στοιχείων, όπως ο χρυσός και ο S&P 500. Παρ' όλα αυτά, η παρούσα μελέτη περιλαμβάνει και το Ethereum, ένα κρυπτονόμισμα που καταλαμβάνει πλέον τη δεύτερη θέση σύμφωνα με την κεφαλαιοποίηση της αγοράς τον Οκτώμβριο του 2021.

Συγκεκριμένα, τα ημερήσια δεδομένα από 10/10/2016 έως 06/03/2020 αφορούν την πρώτη ερευνητική περίοδο και τα δεδομένα από 09/03/2020 έως 01/10/2021 τη δεύτερη. Όσον αφορά τον διαχωρισμό της περιόδου μελέτης, επιλέχθηκε ένα δείγμα με έναρξη ένα έτος μετά την εμφάνιση του Ethereum και μελετάται μέχρι το ξέσπασμα της πανδημίας. Όσον αφορά το δεύτερο, επιλέχθηκε ένα δείγμα που μελετά την επίδραση του COVID-19 στις μεταβλητές.

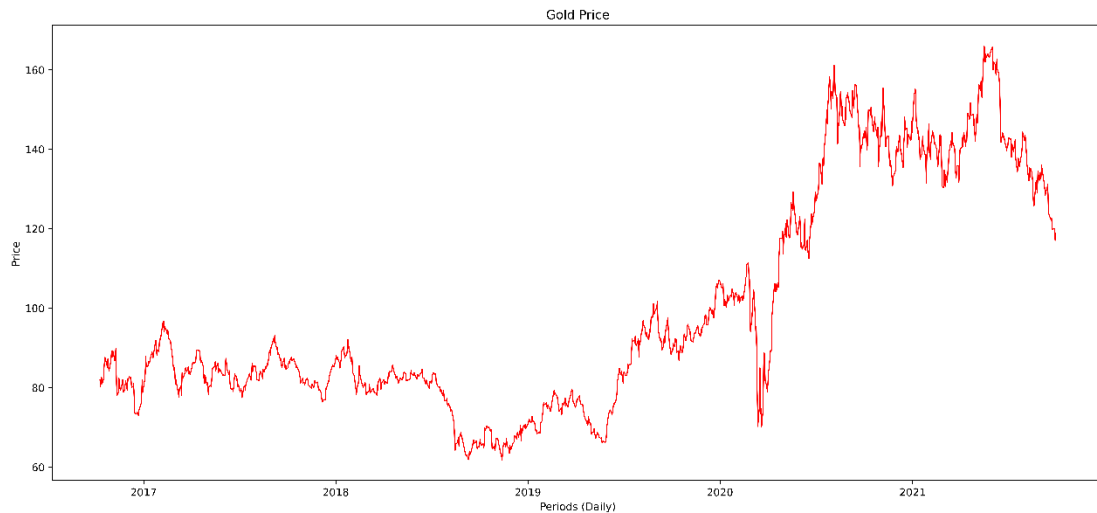
Εάν μια μεταβλητή δεν είναι στάσιμη, θα εφαρμοστούν οι πρώτες λογαριθμικές διαφορές για να μετατραπεί σε στάσιμη. Τα διαγράμματα 4-7 παρακάτω δείχνουν την εξέλιξη, σε πραγματικούς όρους, των τιμών κλεισίματος για τις επιλεγμένες μεταβλητές καθ' όλη τη διάρκεια του επιλεγμένου δείγματος.



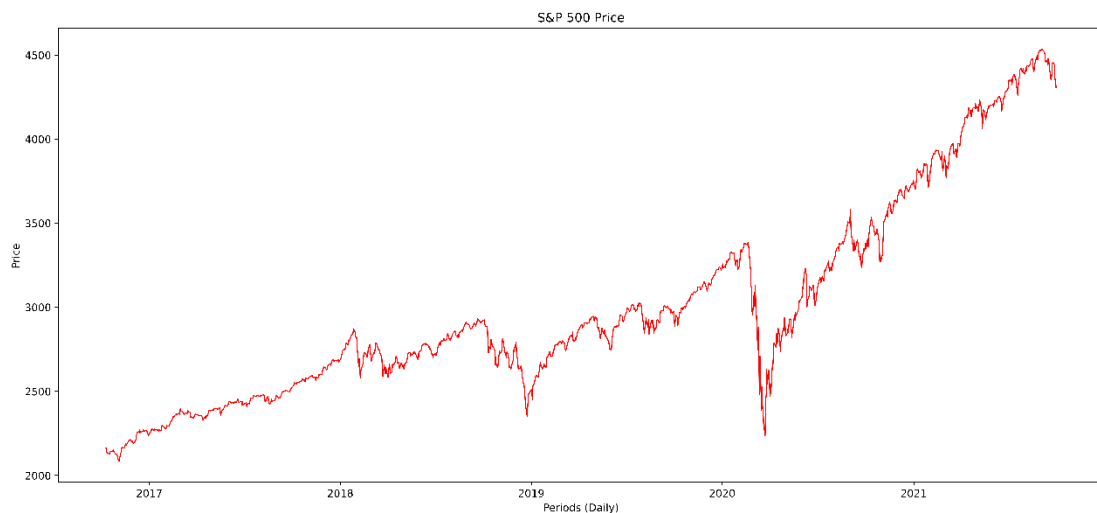
Εικόνα 4: Τιμή του Bitcoin (2016-2021)



Εικόνα 5: Τιμή του Ethereum (2016-2021)



Εικόνα 6: Τιμή του χρυσού (2016-2021)



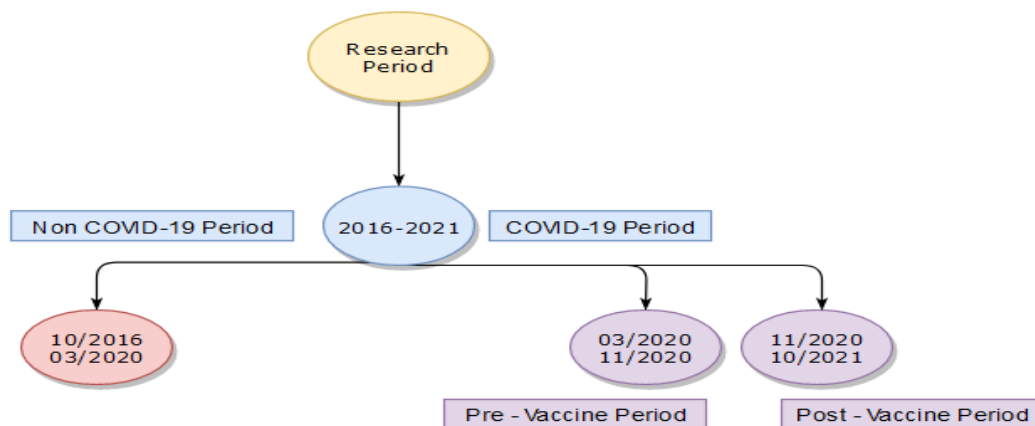
Εικόνα 7: Τιμή του S&P 500 (2016-2021)

Από αυτά τα διαγράμματα, υπάρχει αρχικά μια ανοδική τάση στις αρχές του 2018 τόσο για το Bitcoin όσο και για το Ethereum. Παρόμοια τάση, αν και σε μικρότερο βαθμό, παρατηρείται και στα άλλα δύο περιουσιακά στοιχεία κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Στη συνέχεια, οι αγορές φαίνεται να ακολουθούν διαγραμματικά μια εντελώς διαφορετική πορεία. Ειδικά στις αρχές του 2019, παρατηρείται μια ανοδική τάση στην αγορά χρυσού και στον δείκτη μετοχών, τάση που δεν παρατηρείται τόσο πολύ στην αγορά κρυπτονομισμάτων.

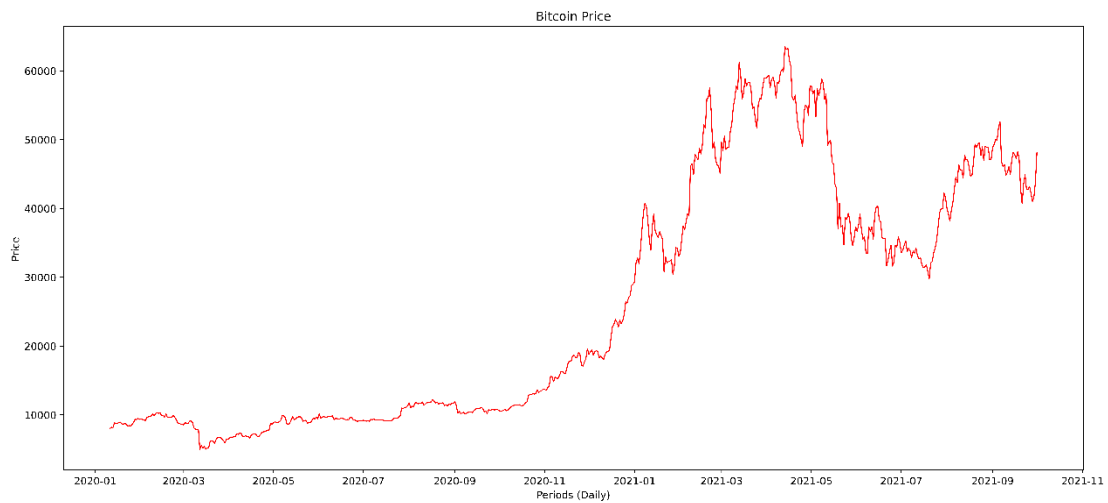
Επιπλέον, παρατηρείται μεγάλη πτώση των παραδοσιακών περιουσιακών στοιχείων με το ξέσπασμα του COVID-19, μια πτώση που παρατηρείται στην αγορά κρυπτονομισμάτων με πολύ μικρότερη ένταση. Τέλος, κατά την εμφάνιση της είδησης σχετικά με την επερχόμενη εφεύρεση του εμβολίου, δηλαδή στα τέλη του 2020, παρατηρείται τεράστια αύξηση τόσο στην αγορά κρυπτονομισμάτων όσο και στον χρηματιστηριακό δείκτη.

Τέλος, υπάρχει ένας πρόσθετος διαχωρισμός της δεύτερης περιόδου σε δύο περιόδους όπου μελετώνται οι χρονοσειρές κατά τη διάρκεια της πανδημίας, πριν και μετά την εμφάνιση του εμβολίου. Συγκεκριμένα, τα δεδομένα από 09/03/2020 έως 09/11/2020 αφορούν την πρώτη περίοδο μελέτης και από 10/11/2020 έως 01/10/2021 τη δεύτερη. Αυτό γίνεται προκειμένου να αναλυθεί καλύτερα και πληρέστερα η επίδραση της πανδημίας στις χρονοσειρές που μελετώνται. Αντίστοιχα συμπεράσματα προκύπτουν από τα παρακάτω διαγράμματα που εστιάζουν στο δεύτερο μέρος της μελέτης, το οποίο αφορά την πανδημία και τις συνέπειές της.

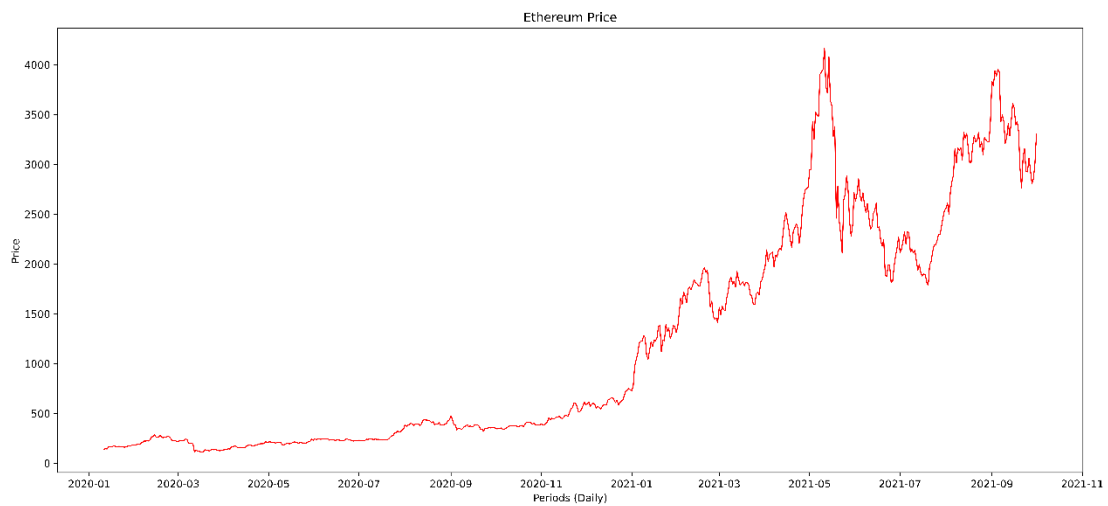
Το διάγραμμα 8 δείχνει τη συνολική περίοδο της έρευνας και τον διαχωρισμό της στις υποπεριόδους. Τα διαγράμματα 9-12 παρακάτω δείχνουν την εξέλιξη, σε πραγματικούς όρους, των τιμών κλεισίματος για τις επιλεγμένες μεταβλητές σε όλο το επιλεγμένο δείγμα των υποπεριόδων.



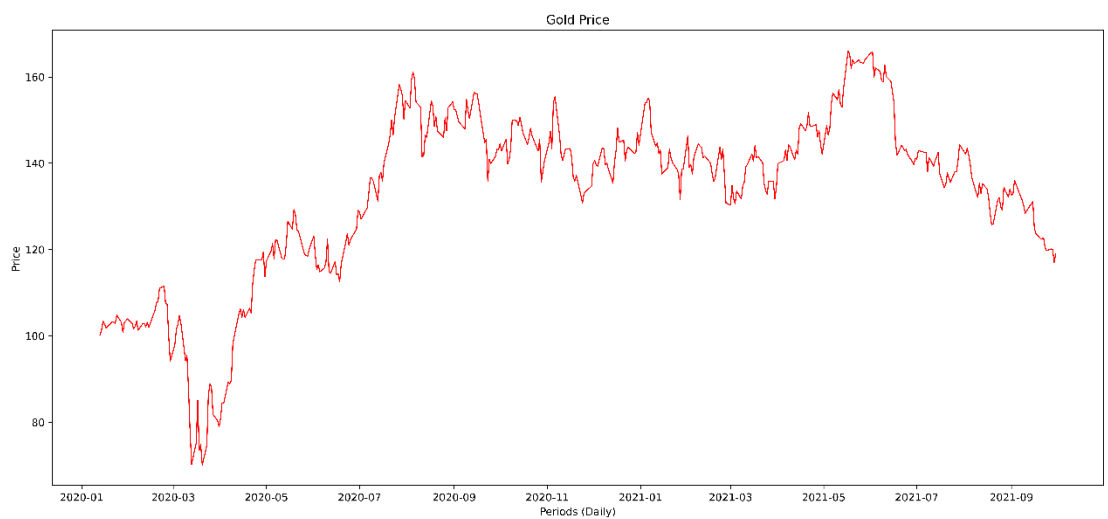
Εικόνα 8: Υποπεριόδοι της έρευνας



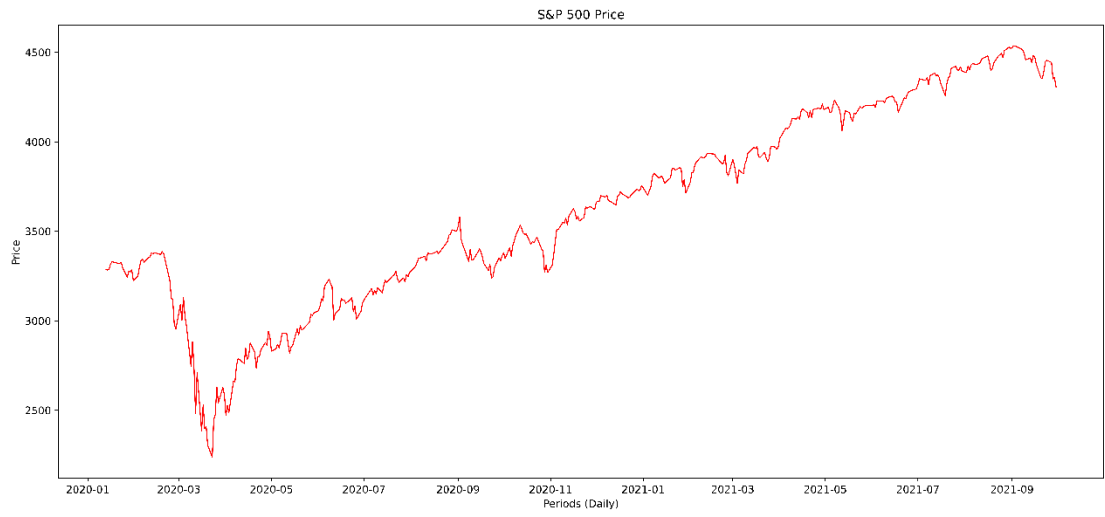
Εικόνα 9: Τιμή του Bitcoin (2020-2021)



Εικόνα 10: Τιμή του Ethereum (2020-2021)



Εικόνα 11: Τιμή του χρυσού (2020-2021)



Εικόνα 12: Τιμή του S&P 500 (2020-2021)

Κεφάλαιο 5: Εμπειρικά αποτελέσματα

Στο πρώτο στάδιο, η έρευνα επικεντρώθηκε στη μελέτη της περιόδου 2016-2020 και 2020-2021 για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη συμπεριφορά των μεταβλητών πριν και κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Τα αποτελέσματα της περιόδου 2020-2021, δηλαδή τα αποτελέσματα κατά τη διάρκεια της πανδημίας, οδήγησαν την έρευνα σε περαιτέρω μελέτη της περιόδου αυτής. Αυτό έγινε για να μελετηθεί αποτελεσματικότερα η περίοδος της μεταβλητότητας της αγοράς, χωρίζοντας την περίοδο σε δύο υποπεριόδους, πριν και μετά την εφεύρεση του εμβολίου. Ως εκ τούτου, στα ακόλουθα αποτελέσματα, θα μελετηθούν ταυτόχρονα η πρώτη περίοδος (2016-2020) και η δεύτερη περίοδος (2020-2021) και στη συνέχεια η έρευνα θα επικεντρωθεί μόνο στη δεύτερη περίοδο, χωρίζοντάς την σε υποπεριόδους.

5.1 Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας

Από τη γραφική αναπαράσταση των τιμών όλων των μεταβλητών παρατηρείται ότι πρόκειται για μη στάσιμες χρονοσειρές. Αυτό θα επιβεβαιωθεί με τη διενέργεια ελέγχων μοναδιαίας ρίζας, με τη βοήθεια του ελέγχου Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller Test) και του ελέγχου Phillips Perron, ως ανάλυση ευαισθησίας για τα αποτελέσματα ADF. Η μηδενική υπόθεση υποδηλώνει την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας, άρα η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη. Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης οδηγεί στην αποδοχή της στασιμότητας της χρονοσειράς.

Οι πίνακες 2-8 του παραρτήματος παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του ελέγχου ADF για την παρουσία μοναδιαίας ρίζας στη χρονοσειρά των λογαριθμικών τιμών κλεισίματος για κάθε περίοδο μελέτης. Οι τιμές των t-statistics είναι πάντα χαμηλότερες από τις κρίσιμες τιμές σε επίπεδα σημαντικότητας. Η μηδενική υπόθεση, σε όλες τις περιπτώσεις, δεν απορρίπτεται διότι η τιμή p είναι πάντα πολύ μεγαλύτερη από 0.05, οπότε συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι χρονοσειρές είναι μη στάσιμες. Αφού αποδειχθεί ότι οι χρονοσειρές είναι μη στάσιμες, για να βρεθεί η

σειρά ολοκλήρωσης θα εφαρμοστεί ο έλεγχος ADF στις πρώτες διαφορές των χρονοσειρών. Όπως παρουσιάζεται στους πίνακες που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι τιμές των t-statistics είναι πάντα πολύ χαμηλότερες από τις κρίσιμες τιμές στα επίπεδα σημαντικότητας. Τώρα, σε όλες τις περιπτώσεις η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται διότι η τιμή p είναι πάντα 0,000 και συνάγεται το συμπέρασμα ότι οι χρονοσειρές ολοκλήρωσης πρώτης τάξης είναι στάσιμες. Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν από τους ελέγχους Phillips Perron, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στους πίνακες 3-9 του παραρτήματος.

5.2 Εκτίμηση VAR(p)

Για την επιλογή του βέλτιστου αριθμού υστερήσεων στο υπόδειγμα VAR ως κριτήριο χρησιμοποιήθηκαν ο έλεγχος της μέγιστης πιθανοφάνειας (Likelihood Ratio Test) και το κριτήριο πληροφόρησης Akaike. Σύμφωνα με τον έλεγχο LR ο κατάλληλος αριθμός υστερήσεων είναι 2 για την περίοδο 2016-2020, ενώ ο βέλτιστος αριθμός υστερήσεων είναι 1 για την περίοδο 2020-2021 με βάση το κριτήριο AIC. Όσον αφορά τις υποπεριόδους, για την περίοδο προ εμβολίου, σύμφωνα με το AIC η βέλτιστη υστέρηση είναι 2 και για την περίοδο μετά εμβολίου 4, σύμφωνα με το τεστ LR. Τα αποτελέσματα για όλες τις υποπεριόδους παρουσιάζονται στον πίνακα 2. Συμπεραίνεται ότι όλα τα υποδείγματα VAR δεν έχουν ρίζες εκτός του μοναδιαίου κύκλου, οπότε όλα τα υποδείγματα πληρούν τη συνθήκη ευστάθειας, όπως παρουσιάζεται στα διαγράμματα 13-16.

Περίοδος	VAR	Στασιμότητα	Κριτήριο	Ευστάθεια συστήματος	Εξισώσεις συνολοκλήρωσης
2016-2020	VAR(2)	I(1)	AIC	Ναι	0
2020-2021	VAR(1)	I(1)	LR TEST	Ναι	0
(09/03/2020 - 09/11/2020)	VAR(2)	I(1)	AIC	Ναι	0
(10/11/2020 - 01/10/2021)	VAR(4)	I(1)	LR TEST	Ναι	0

Πίνακας 2: Εκτίμηση των VAR(p) μοντέλων

5.3 Έλεγχος συνολοκλήρωσης Johansen

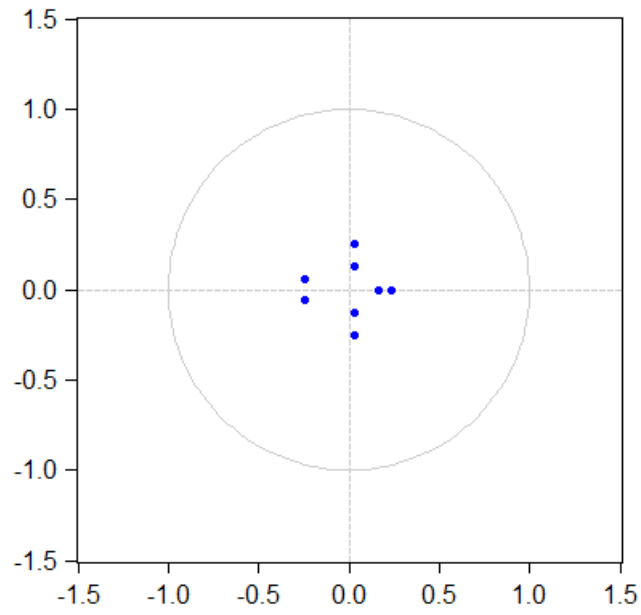
Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστεί η ύπαρξη μακροχρόνιας σχέσης ισορροπίας μεταξύ των υπό μελέτη μεταβλητών με τη μέθοδο Johansen. Για τον έλεγχο αυτό θα χρησιμοποιηθούν οι έλεγχοι ίχνους και μέγιστης ιδιοτιμής.

Για την ύπαρξη συνολοκλήρωσης, θα πρέπει να υπολογιστεί το στατιστικό ίχνος το οποίο αν είναι μεγαλύτερο από την κρίσιμη τιμή, τότε υπάρχει τουλάχιστον ένας βαθμός συνολοκλήρωσης στη χρονοσειρά. Στη συνέχεια, το στατιστικό ίχνος συγκρίνεται ξανά για να εξεταστεί αν υπάρχει άλλος ένας βαθμός συνολοκλήρωσης, μέχρι να βρεθεί ένα στατιστικά σημαντικό αποτέλεσμα, δηλαδή όταν το $\lambda_{\text{trace}} \geq$ κρίσιμη τιμή σε οποιοδήποτε επίπεδο σημαντικότητας.

Επιπλέον, ο έλεγχος της μέγιστης ιδιοτιμής είναι ίδιος με τον έλεγχο ίχνους, με τη μηδενική υπόθεση να υποστηρίζει ότι εάν η μέγιστη ιδιοτιμή είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή, τότε υπάρχει βαθμός συνολοκλήρωσης και ως εκ τούτου επιβεβαιώνεται ο έλεγχος ίχνους.

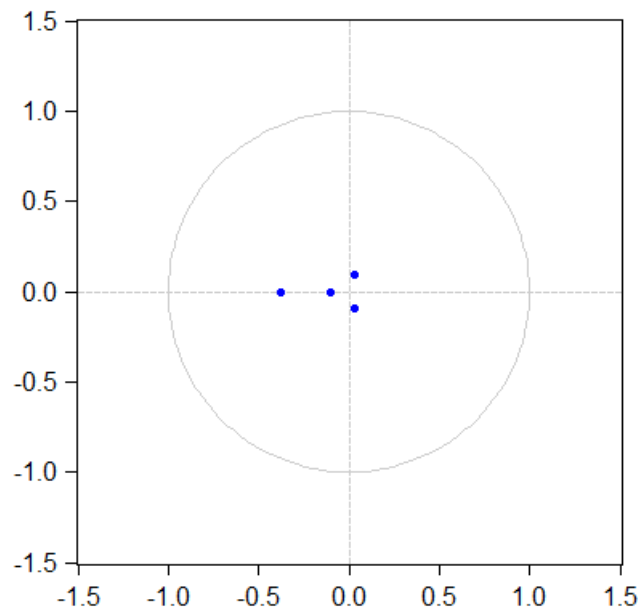
Εξάγοντας τα αποτελέσματα για τα στατιστικά στοιχεία ίχνους και μέγιστης ιδιοτιμής, συνάγεται το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει σχέση μακροχρόνιας ισορροπίας σε καμία χρονοσειρά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 11-16 του παραρτήματος.

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



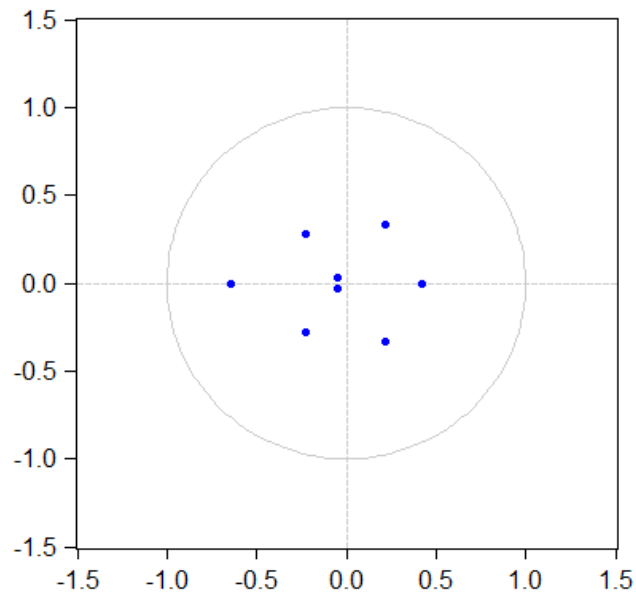
Εικόνα 13: Συνθήκη ευστάθειας (2016-2020)

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



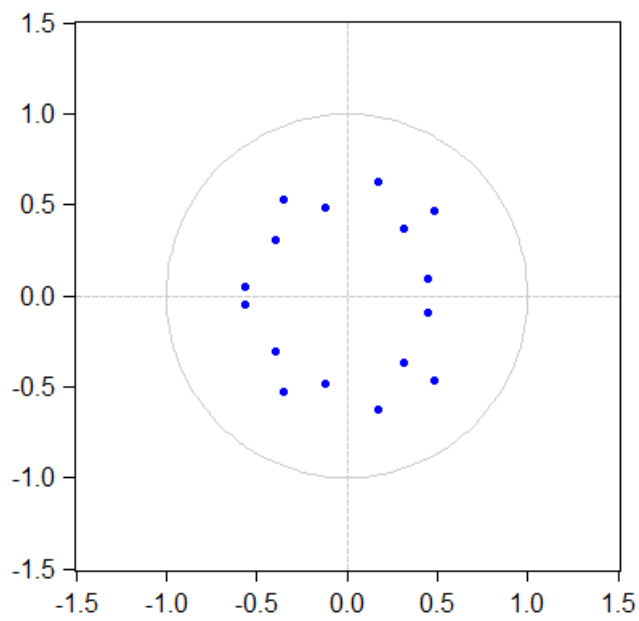
Εικόνα 14: Συνθήκη ευστάθειας (2020-2021)

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



Εικόνα 15: Συνθήκη ευστάθειας (09/03/2020-09/11/2020)

Inverse Roots of AR Characteristic Polynomial



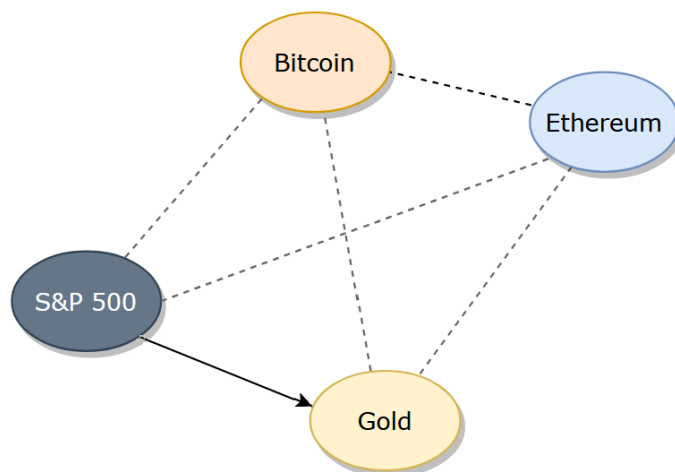
Εικόνα 16: Συνθήκη ευστάθειας (10/11/2020-01/10/2021)

5.4 Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger

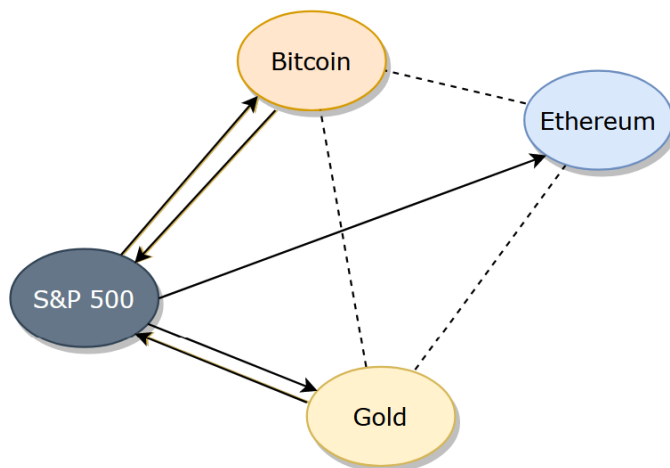
Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τους ελέγχους αιτιότητας κατά Granger, οι οποίοι εφαρμόστηκαν για τον εντοπισμό αιτιωδών σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών. Για να προχωρήσει ο έλεγχος αιτιότητας, όλες οι χρονοσειρές μετατράπηκαν σε στάσιμες. Μετά τους ελέγχους Augmented Dickey Fuller και Phillips Perron, συνάγεται το συμπέρασμα ότι όλες είναι ολοκληρωμένες τάξης 1 - $I(1)$. Για να χαρακτηριστούν οι χρονοσειρές από τη στασιμότητα, εφαρμόστηκαν οι πρώτες διαφορές. Τα αποτελέσματα των αιτιακών σχέσεων κατά Granger για κάθε περίοδο παρουσιάζονται στις εικόνες 17-20 παρακάτω καθώς και στους πίνακες 17-20 του παραρτήματος αντίστοιχα.

Συγκεκριμένα, για την πρώτη περίοδο μελέτης, παρατηρείται η ύπαρξη αιτιώδους σχέσης μεταξύ του χρυσού και του χρηματιστηριακού δείκτη. Δεν υπάρχει αιτιώδης σχέση μεταξύ ενός κρυπτονομίσματος και ενός παραδοσιακού περιουσιακού στοιχείου (Εικόνα 17). Αντίθετα, κατά τη δεύτερη περίοδο παρατηρούνται περισσότερες αιτιώδεις σχέσεις. Επιπλέον, υπάρχουν αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ κρυπτονομισμάτων και παραδοσιακών περιουσιακών στοιχείων, τόσο μονομερώς όσο και διμερώς. Συγκεκριμένα, υπάρχει αμφίδρομη αιτιώδης σχέση μεταξύ του Bitcoin και του S&P 500, αμφίδρομη αιτιώδης σχέση μεταξύ του χρυσού και του S&P 500, καθώς και μονόδρομη αιτιώδης σχέση από τον δείκτη μετοχών προς το Ethereum. (Εικόνα 18)

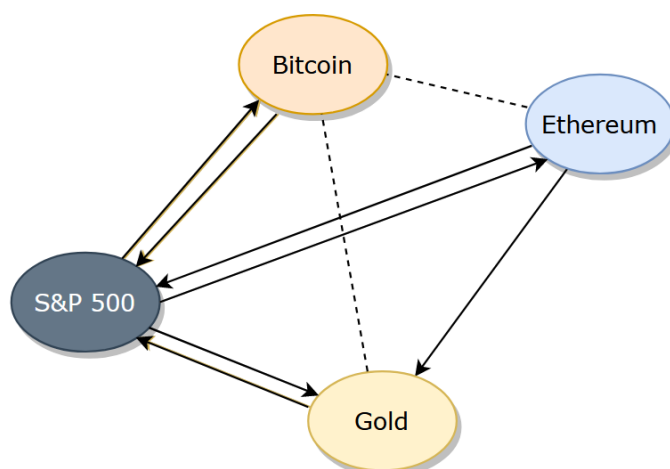
Τέλος, τα αποτελέσματα των ελέγχων για το διαχωρισμό της δεύτερης περιόδου, σε υποπεριόδους πριν και μετά το εμβόλιο, παρουσιάζονται παρακάτω. Κατά την περίοδο πριν από το εμβόλιο, παρατηρούνται επίσης πολλές αιτιώδεις σχέσεις, ιδίως μεταξύ των κρυπτονομισμάτων και του S&P 500 (Εικόνα 19). Ταυτόχρονα, κατά τη μελέτη της δεύτερης υποπεριόδου, δηλαδή της περιόδου μετά το εμβόλιο, οι αιτιώδεις σχέσεις παύουν να υφίστανται και επιστρέφει κανείς σε ένα περιβάλλον πριν από την πανδημία (Εικόνα 20).



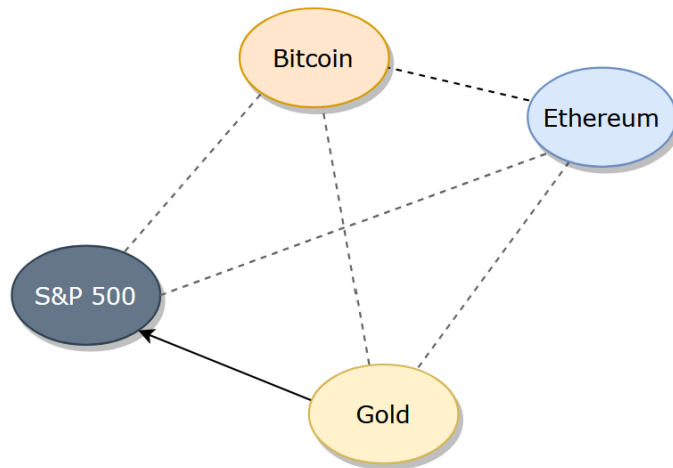
Εικόνα 17: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (2016-2020)



Εικόνα 18: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (2020-2021)



Εικόνα 19: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (09/03/2020-09/11/2020)



Εικόνα 20: Έλεγχος αιτιότητας κατά Granger (10/11/2020-01/10/2021)

5.5 Γενικευμένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης

Έχοντας υπόψη όλα αυτά τα στοιχεία, δεν θα πρέπει μόνο να διερευνήσει κανείς αν μια μεταβλητή προκαλεί μια άλλη μεταβλητή σε μεγαλύτερο βαθμό, αλλά και αν ένα σοκ σε μια μεταβλητή μπορεί να επηρεάσει κάθε μεταβλητή ξεχωριστά. Λόγω του γεγονότος ότι κατά τη μελέτη των υποπεριόδων, δηλαδή πριν και μετά το εμβόλιο, οι αιτιότητες κατά Granger παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές, θα εστιάσουμε σε αυτές τις υποπεριόδους προκειμένου να μελετηθούν οι Γενικευμένες Συναρτήσεις Παλμικής Απόκρισης. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν αμφίπλευρες αιτιώδεις σχέσεις Granger μεταξύ των κρυπτονομισμάτων και του S&P 500, ιδίως κατά την περίοδο πριν από το εμβόλιο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο επικεντρώνεται κανείς στη μελέτη των αποκρίσεων του Bitcoin και του Ethereum σε σοκ του S&P 500 πριν και μετά την εφεύρεση του εμβολίου. Η συνάρτηση απρόσμενης απόκρισης δείχνει τη δυναμική απόκριση σε αυτό το σοκ της μεταβλητής μεταβλητότητας του Bitcoin, με διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

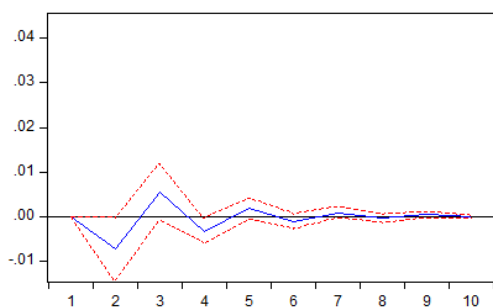
Μια περίοδος μεταφράζεται επομένως σε μια ημέρα (διαπραγμάτευσης), η οποία αποτελεί τον άξονα x . Ο άξονας y αντιστοιχεί στην καταγεγραμμένη πρώτη μονάδα διαφοράς της εν λόγω μεταβλητής. Ο παλμός αντιστοιχεί σε ένα σοκ μιας τυπικής απόκλισης στα κατάλοιπα της μεταβλητής που πλήττεται από ένα σοκ .

Όλες οι μεταβλητές μετασχηματίζονται και εκφράζονται σε καταγεγραμμένες πρώτες διαφορές. Στις ακόλουθες γραφικές παρουσιάσεις, αναζητούμε τη σημαντικότητα της επίδρασης του σοκ κάθε μεταβλητής για τις υποπεριόδους της έρευνάς μας, συμπεριλαμβανομένης της περιόδου προ εμβολίου και της περιόδου μετά εμβολίου. Ως εκ τούτου, σημαντική επίπτωση είναι εκείνη της οποίας το διάστημα εμπιστοσύνης δεν περιλαμβάνει τη μηδενική τιμή.

Η ερμηνεία της γενικευμένης απρόσμενης απόκρισης έχει ως εξής: εάν η ημερήσια τιμή του S&P 500 υποστεί ένα σοκ κατά μία τυπική απόκλιση σήμερα, τότε η ημερήσια τιμή του Bitcoin θα μειωθεί κατά περίπου 0,01% (εκφρασμένη σε καταγεγραμμένη πρώτη διαφορά) κατά την πρώτη περίοδο (ημέρα), δηλαδή αύριο (Εικόνα 21). Όπως μπορεί κανείς να δει από αυτό το παράδειγμα, η αύξηση είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 5%, καθώς και οι δύο διακεκομμένες γραμμές βρίσκονται πάνω από τον άξονα x. Η απρόσμενη απόκριση μηδενίζεται καθώς περνάει ο χρόνος- σχεδόν αμέσως μετά την περίοδο 10 σε όλες τις παρακάτω συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης.

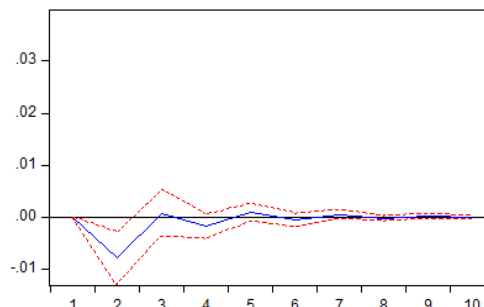
Τα αποτελέσματα των εκτιμώμενων γενικευμένων συναρτήσεων απρόσμενης απόκρισης, που προτάθηκαν για πρώτη φορά από τον Koop et al. (1996) και αναπτύχθηκε περαιτέρω από Pesaran & Smith (1998) παρεκκλίνουν από τις παραδοσιακές ορθογωνοποιημένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης που μελετήθηκαν από τον Sims, (1980) λόγω της εξάρτησής τους από τη διάταξη των μεταβλητών στο σύστημα VAR. Για την πλειονότητα των μεταβλητών, η γενικευμένη συνάρτηση απρόσμενης απόκρισης υποδεικνύει στατιστικά σημαντική επίδραση κατά την πρώτη περίοδο μετά τους κλυδωνισμούς. Στις επόμενες περιόδους, η απόκριση στη συνέχεια είτε φθίνει είτε ταλαντώνεται αργά με την πάροδο του χρόνου. Στις εικόνες 21-22 παρακάτω παρουσιάζονται οι συναρτήσεις παλμικής απόκρισης για τις επιλεγμένες μεταβλητές και η ερμηνεία τους.

Απόκριση του Ethereum στον S&P 500



Συμπεραίνεται ότι όταν η τιμή του S&P 500 δέχεται ένα σοκ μίας τυπικής απόκλισης, το Ethereum ανταποκρίνεται αρνητικά 2 ημέρες μετά το σοκ.

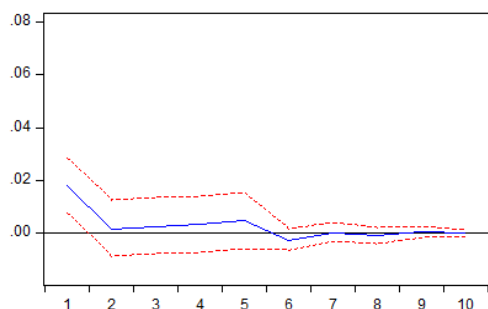
Απόκριση του Bitcoin στον S&P 500



Συμπεραίνεται ότι όταν η τιμή του S&P 500 δέχεται ένα σοκ μίας τυπικής απόκλισης, το Bitcoin ανταποκρίνεται αρνητικά 2 ημέρες μετά το σοκ.

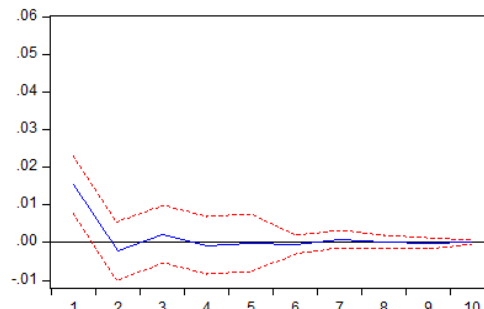
Εικόνα 21: Γενικευμένες συναρτήσεις παλμικής απόκρισης (09/03/2020-09/11/2020)

Απόκριση του Ethereum στον S&P 500



Συμπεραίνεται ότι όταν η τιμή του S&P 500 δέχεται ένα σοκ μίας τυπικής απόκλισης, το Ethereum ανταποκρίνεται θετικά την επόμενη ημέρα.

Απόκριση του Bitcoin στον S&P 500



Συμπεραίνεται ότι όταν η τιμή του S&P 500 δέχεται ένα σοκ μίας τυπικής απόκλισης, το Bitcoin ανταποκρίνεται θετικά την επόμενη ημέρα.

Εικόνα 22: Γενικευμένες συναρτήσεις παλμικής απόκρισης (10/11/2020-01/10/2021)

5.6 Συνέπειες του Halving Effect

Για να διερευνήσουμε αν ο πιθανός αντίκτυπος του Halving Effect του Bitcoin την 12^η Μαΐου 2020, (Crawley, 2020) επηρεάζει το αποτέλεσμα αυτής της μελέτης, συγκρίνουμε τις αποδόσεις του Bitcoin και του Ethereum. Μαθαίνουμε ότι η συσχέτισή τους πριν (κατά τη διάρκεια) της πανδημίας είναι 0,6444 (0,8739) αντίστοιχα. Δεδομένου ότι το Ethereum δεν αντιμετωπίζει μείωση κατά το ήμισυ, η

υψηλή συσχέτιση δείχνει ότι το Halving Effect του Bitcoin δεν θα επηρεάσει σημαντικά το αποτέλεσμα της παρούσας μελέτης. (Mariana et al., 2021)

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ανέλυσε την αιτιώδη σχέση μεταξύ των κρυπτονομισμάτων και δύο σημαντικών επενδυτικών περιουσιακών στοιχείων, μελετώντας ασφαλείς περιόδους χωρίς την πανδημία και πιο ευμετάβλητες περιόδους για να διερευνήσει και να ερμηνεύσει τον αντίκτυπο του COVID-19 στις δυναμικές σχέσεις που παρατηρήθηκαν μεταξύ των μεταβλητών. Επιπλέον, η περίοδος πανδημίας διαχωρίστηκε σε 2 υποπεριόδους για να αναλυθεί η επίδραση του εμβολίου της COVID-19. Συγκεκριμένα, κατά τη πρώτη περίοδο μελέτης (2016-2020) δεν παρατηρήθηκαν έντονες αιτιακές σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών. Βέβαια, παρατηρήθηκαν έντονες αιτιακές σχέσεις μεταξύ του S&P 500 και των 2 κρυπτονομισμάτων κατά την διάρκεια της πανδημίας, και ιδιαίτερα πριν την εμφάνιση του εμβολίου. Αυτές οι αιτιακές σχέσεις έπαψαν να υπάρχουν μετά την εμφάνιση του εμβολίου. Σύμφωνα με τους ελέγχους συνολοκλήρωσης, δεν παρατηρήθηκε κάποια μακροχρόνια σχέση ισορροπίας μεταξύ των μεταβλητών. Τέλος, σύμφωνα με τις συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης, παρατηρήθηκε κατά την περίοδο πριν την εμφάνιση του εμβολίου, τα 2 κρυπτονομίσματα να ανταποκρίνονται αρνητικά 2 ημέρες μετά από ένα τυχαίο σοκ στην τιμή του S&P 500. Κατά την περίοδο μετά εμβολίου, παρατηρήθηκε ότι αυτή η συμπεριφορά άλλαξε και τα 2 κρυπτονομίσματα ανταποκρίνονταν πλέον θετικά 1 ημέρα μετά από ένα αντίστοιχο σοκ στην τιμή του μετοχικού δείκτη. Τα αποτελέσματά συμφωνούν με τους Gunawan et al. (2021), Deniz & Temer (2020), Chang et al. (2021) και Mariana et al. (2021) και δείχνουν ότι δεν υπάρχει μακροχρόνια σχέση ισορροπίας μεταξύ των μεταβλητών, αλλά η αγορά των κρυπτονομισμάτων αλληλεπιδρά ενεργά βραχυπρόθεσμα με παραδοσιακές αγορές κατά τη διάρκεια της πανδημίας και ιδιαίτερα, κατά την περίοδο πριν από την εφεύρεση του εμβολίου. Επιπλέον, η μελέτη αυτή προσέφερε στοιχεία που υποστηρίζουν το Bitcoin ως βραχυπρόθεσμο μέσο αντιστάθμισης πέραν των μετοχών, ειδικά πριν από την εφεύρεση του εμβολίου, σύμφωνα με τις γενικευμένες συναρτήσεις απρόσμενης απόκρισης .

Βιβλιογραφία

- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). Bitcoin: Economics, technology, and governance. *Journal of Economic Perspectives*, 29(2), 213–238. <https://doi.org/10.1257/jep.29.2.213>
- Chang, C. Y., Lo, C. C., Cheng, J. C., Chen, T. L., Chi, L. Y., & Chen, C. C. (2021). Relationship between Bitcoin Exchange Rate and Other Financial Indexes in Time Series. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/8842877>
- Chu, J., Chan, S., Nadarajah, S., & Osterrieder, J. (2017). GARCH Modelling of Cryptocurrencies. *Journal of Risk and Financial Management*, 10(4), 17. <https://doi.org/10.3390/jrfm10040017>
- Crawley, J. (2020). Bitcoin halving: what does this mean and what will its effect be? Retrieved June 26, 2020, from <https://www.finextra.com/the-long-read/40/bitcoin-halving-what-does-this-mean-and-what-will-its-effect-be>
- Deniz, A., & Teker, D. (2020). Determinants of Cryptocurrency Market: An Analysis for Bitcoin, Ethereum and Ripple. *International Journal of Business and Social Science*, 11(11). <https://doi.org/10.30845/ijbss.v11n11p5>
- Engle, R. F., & Granger, ; C W J. (1987). Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. In *Econometrica* (Vol. 55, Issue 2). <https://doi.org/10.2307/1913236>
- Erdas, L., & Çağlar, A. E. (2018). Analysis of the relationships between Bitcoin and exchange rate, commodities and global indexes by asymmetric causality test Investigation EKC Hypothesis for Different Regions View project. <https://www.researchgate.net/publication/330224580>

Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods (Vol. 37, Issue 3). <https://doi.org/10.2307/1912791>

Granger, C. W. J., & Newbold, P. (1974). SPURIOUS REGRESSIONS IN ECONOMETRICS. In Journal of Econometrics (Vol. 2, Issue 6). North-Holland Publishing Company. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(74\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0304-4076(74)90034-7)

Gunawan, D., Sinurat, M., Cahyadi, L., & Ilham, R. N. (2021). Investigating the Dynamic Relationship Among JKSE, S&P 500, Cryptocurrencies and Gold Price After Covid-19 Outbreak. <https://dx.doi.org/10.2991/aebmr.k.210220.014>

Jang, S. M., Yi, E., Kim, W. C., & Ahn, K. (2019). Information flow between bitcoin and other investment assets. Entropy, 21(11). <https://doi.org/10.3390/e21111116>

Johansen, S. (1988). STATISTICAL ANALYSIS OF COINTEGRATION VECTORS. In Journal of Economic Dynamics and Control (Vol. 12). [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)

Koop, G., Hashem Pesaran, M., & Potter, S. M. (1996). Impulse response analysis in nonlinear multivariate models. In Journal of Econometrics (Vol. 74). [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(95\)01753-4](https://doi.org/10.1016/0304-4076(95)01753-4)

Klein, T., Pham Thu, H., & Walther, T. (2018). Bitcoin is not the New Gold-A Comparison of Volatility, Correlation, and Portfolio Performance. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3146845>

Liu, Y., Tsyvinski, A., Atkeson, A., Borri, N., Davila, E., Giglio, S., Goetzmann, W., Roach, S., & Shiller, R. (2018). Risks and Returns of Cryptocurrency. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3226952>

Lütkepohl, H. (2005). New Introduction to Multiple Time Series Analysis. Springer. [10.1007/978-3-540-27752-1](https://doi.org/10.1007/978-3-540-27752-1)

Mariana, C. D., Ekaputra, I. A., & Husodo, Z. A. (2021). Are Bitcoin and Ethereum safe-havens for stocks during the COVID-19 pandemic? *Finance Research Letters*, 38. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2020.101798>

Menger, C. (2002 [1909]). *Carl Menger and the Evolution of Payments Systems: From Barter to Electronic Money*. [10.1080/09672560802252347](https://doi.org/10.1080/09672560802252347)

Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. <https://bitcoin.org/bitcoin>

Pesaran, M. H., & Smith, R. P. (1998). *STRUCTURAL ANALYSIS OF COINTEGRATING VARs*. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00065>

Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a Unit Root in Time Series Regression (Vol. 75, Issue 2). <https://doi.org/10.2307/2336182>

Rutskiy, V., Javed, S., Azizam, S. H., Chudopal, N., Zhigalov, K., Kuzmich, R., ... & Tsarev, R. (2020, October). The Price Determinants of Bitcoin as a New Digital Form of Money. In *Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software* (pp. 784-792). Springer, Cham. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-63322-6_66

Said, S. E., & Dickey, D. A. (1984). Testing for Unit Roots in Autoregressive-Moving Average Models of Unknown Order (Vol. 71, Issue 3). <https://doi.org/10.2307/2336570>

Sifat, I. M., Mohamad, A., & Mohamed Shariff, M. S. bin. (2019). Lead-Lag relationship between Bitcoin and Ethereum: Evidence from hourly and daily data. *Research in International Business and Finance*, 50, 306–321. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.06.012>

Sims, C. A. (1980). Macroeconomics and Reality. In *Econometrica* (Vol. 48, Issue 1). <https://doi.org/10.2307/1912017>

Ünvan, Y. A. (2021). Impacts of Bitcoin on USA, Japan, China and Turkey stock market indexes: Causality analysis with value at risk method (VAR). *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 50(7), 1599–1614.
<https://doi.org/10.1080/03610926.2019.1678644>

V. Buterin, "A next-generation smart contract and decentralized application platform," white paper, 2014.

Yermack, D. (2013). NBER WORKING PAPER SERIES IS BITCOIN A REAL CURRENCY? AN ECONOMIC APPRAISAL Is bitcoin a real currency?
<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2361599>

Παράρτημα

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	-2.406661	0.1402	-29.37939	0.0000
Ethereum	-2.239641	0.1925	-28.24962	0.0000
S&P 500	-1.991482	0.2907	-31.24930	0.0000
Gold	0.263219	0.9763	-29.66696	0.0000

Πίνακας 3: Έλεγχος ADF (2016-2020)

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	-2.352620	0.1558	-29.51053	0.0000
Ethereum	-2.173431	0.2164	-28.59274	0.0000
S&P 500	-1.958847	0.3053	-31.23008	0.0000
Gold	0.293182	0.9779	-29.66696	0.0000

Πίνακας 4: Έλεγχος Phillips – Perron (2016-2020)

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	-0.884471	0.7927	-25.51606	0.0000
Ethereum	-0.621222	0.8627	-26.15586	0.0000
S&P 500	-2.031784	0.2732	-31.28334	0.0000
Gold	-2.439122	0.1317	-18.44768	0.0000

Πίνακας 5: Έλεγχος ADF (2020-2021)

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	-0.854106	0.8019	-24.93049	0.0000
Ethereum	-0.531459	0.8819	-25.78920	0.0000
S&P 500	-1.339881	0.6119	-33.85461	0.0000
Gold	-2.393835	0.1441	-18.59523	0.0000

Πίνακας 6: Έλεγχος Phillips – Perron (2020-2021)

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	-1.233902	0.6596	-25.27768	0.0000
Ethereum	-0.811237	0.8133	-23.25635	0.0000
S&P 500	-1.403462	0.5799	-23.13924	0.0000
Gold	-1.659117	0.4504	-13.08088	0.0000

Πίνακας 7: Έλεγχος ADF (09/03/2020-09/11/2020)

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	-0.466893	0.8936	-24.55168	0.0000
Ethereum	-0.590121	0.8687	-24.08399	0.0000
S&P 500	-1.015706	0.7476	-24.10907	0.0000
Gold	-1.657218	0.4514	-13.30509	0.0000

Πίνακας 8: Έλεγχος Phillips – Perron (09/03/2020-09/11/2020)

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	0.078634	0.9634	-14.15539	0.0000
Ethereum	0.291498	0.9774	-15.81629	0.0000
S&P 500	-0.032641	0.9536	-15.03829	0.0000
Gold	-2.137310	0.2304	-12.53135	0.0000

Πίνακας 9: Έλεγχος ADF (10/11/2020-01/10/2021)

Variables	Level		1 st difference	
	t-statistic:	p-value:	t-statistic:	p-value:
Bitcoin	-0.008002	0.9559	-14.15814	0.0000
Ethereum	0.491795	0.9861	-15.75959	0.0000
S&P 500	0.608575	0.9897	-15.63011	0.0000
Gold	-2.219386	0.2001	-12.42631	0.0000

Πίνακας 10: Έλεγχος Phillips – Perron (10/11/2020-01/10/2021)

Hypothesized	Trace		0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None	0.040379	39.40893	47.85613	0.2443
At most 1	0.029883	23.21057	29.79707	0.2359
At most 2	0.022331	11.28739	15.49471	0.1944
At most 3	0.006118	2.411858	3.841466	0.1204

Πίνακας 11: Έλεγχος ίχνους (2016-2020)

Hypothesized	Max-Eigen		0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None	0.040379	16.19836	27.58434	0.6489
At most 1	0.029883	11.92318	21.13162	0.5553
At most 2	0.022331	8.875528	14.26460	0.2967
At most 3	0.006118	2.411858	3.841466	0.1204

Πίνακας 12: Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής (2016-2020)

Hypothesized		Trace	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None	0.040379	39.40893	47.85613	0.2443
At most 1	0.029883	23.21057	29.79707	0.2359
At most 2	0.022331	11.28739	15.49471	0.1944
At most 3	0.006118	2.411858	3.841466	0.1204

Πίνακας 13: Έλεγχος ίχνους (2020-2021)

Hypothesized		Max-Eigen	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None	0.040379	16.19836	27.58434	0.6489
At most 1	0.029883	11.92318	21.13162	0.5553
At most 2	0.022331	8.875528	14.26460	0.2967
At most 3	0.006118	2.411858	3.841466	0.1204

Πίνακας 14: Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής (2020-2021)

Hypothesized		Trace	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None	0.100406	32.15217	47.85613	0.6038
At most 1	0.038642	11.30727	29.79707	0.9533
At most 2	0.012484	3.543765	15.49471	0.9368
At most 3	0.005411	1.068895	3.841466	0.3012

Πίνακας 15: Έλεγχος ίχνους (10/11/2020-01/10/2021)

Hypothesized		Trace	0.05	
No. of CE(s)	Eigenvalue	Statistic	Critical Value	Prob.**
None	0.100406	32.15217	47.85613	0.6038
At most 1	0.038642	11.30727	29.79707	0.9533
At most 2	0.012484	3.543765	15.49471	0.9368
At most 3	0.005411	1.068895	3.841466	0.3012

Πίνακας 16: Έλεγχος μέγιστης ιδιοτιμής (10/11/2020-01/10/2021)

Null Hypothesis (H ₀)	p-value
Gold → Bitcoin	0.6496
Bitcoin → Gold	0.8967
S&P 500 → Bitcoin	0.3752
Bitcoin → S&P 500	0.3164
Ethereum → Bitcoin	0.5650
Bitcoin → Ethereum	0.2483
Gold → Ethereum	0.8349
Ethereum → Gold	0.6364
Gold → S&P 500	0.5753
S&P 500 → Gold	0.0013
Ethereum → S&P 500	0.3318
S&P 500 → Ethereum	0.0998

Πίνακας 17: Αιτιότητα κατά Granger (2016-2020)

Null Hypothesis (H₀)	p-value
Gold → Bitcoin	0.4063
Bitcoin → Gold	0.3114
S&P 500 → Bitcoin	0.0075
Bitcoin → S&P 500	0.0334
Ethereum → Bitcoin	0.0521
Bitcoin → Ethereum	0.9959
Gold → Ethereum	0.7916
Ethereum → Gold	0.6965
Gold → S&P 500	0.0009
S&P 500 → Gold	0.0200
Ethereum → S&P 500	0.1505
S&P 500 → Ethereum	0.0392

Πίνακας 18: Αιτιότητα κατά Granger (2020-2021)

Null Hypothesis (H₀)	p-value
Gold → Bitcoin	0.8200
Bitcoin → Gold	0.4315
S&P 500 → Bitcoin	0.0073
Bitcoin → S&P 500	0.0001
Ethereum → Bitcoin	0.8524
Bitcoin → Ethereum	0.2781
Gold → Ethereum	0.7153
Ethereum → Gold	0.0287
Gold → S&P 500	0.0000
S&P 500 → Gold	0.0180
Ethereum → S&P 500	0.0002
S&P 500 → Ethereum	0.0297

Πίνακας 19: Αιτιότητα κατά Granger (09/03/2020-09/11/2020)

Null Hypothesis (H₀)	p-value
Gold → Bitcoin	0.7672
Bitcoin → Gold	0.1572
S&P 500 → Bitcoin	0.8583
Bitcoin → S&P 500	0.4311
Ethereum → Bitcoin	0.9604
Bitcoin → Ethereum	0.9814
Gold → Ethereum	0.2513
Ethereum → Gold	0.1173
Gold → S&P 500	0.0189
S&P 500 → Gold	0.8986
Ethereum → S&P 500	0.6741
S&P 500 → Ethereum	0.7971

Πίνακας 20: Αιτιότητα κατά Granger (10/11/2020-01/10/2021)

