

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ & ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
στα Χρηματοοικονομικά
Master of Science in Finance**

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**BITCOIN: ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΜΑ, ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΤΗΣ, Η' ΑΣΦΑΛΕΣ
ΚΑΤΑΦΥΓΙΟ; ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΑ**

Καρτερολιώτη Μαρία

Επιβλέπωντας Καθηγητής: Σταυρόγιαννης Σταύρος

Διατριβή υποβληθείσα στο Τμήμα Λογιστικής & Χρηματοοικονομικής του ΤΕΙ
Πελοποννήσου. Η παρούσα διατριβή αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την
απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος στα Χρηματοοικονομικά

Καλαμάτα, Οκτώβριος 2018

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΛΟΓΙΣΤΙΚΗΣ & ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ



**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
στα Χρηματοοικονομικά
Master of Science in Finance**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Σταυρόγιαννης Σταύρος
Καθηγητής, Τμήμα Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής
ΤΕΙ Πελοποννήσου

Γιακουμάτος Στέφανος
Καθηγητής, Τμήμα Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής
ΤΕΙ Πελοποννήσου

Σπηλιόπουλος Οδυσσέας
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Λογιστικής και Χρηματοοικονομικής
ΤΕΙ Πελοποννήσου

Η Καρτερολιώτη Μαρία

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι το Τμήμα Λογιστικής & Χρηματοοικονομικής μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη του Ιδρύματος, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Στους γονείς μου

«Bitcoin is a technological tour de force» - Bill Gates

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών στα «Χρηματοοικονομικά», του Τμήματος Λογιστικής & Χρηματοοικονομικής, της Σχολής Διοίκησης και Οικονομίας, του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πελοποννήσου, υπό την επίβλεψη του Καθηγητή Σταυρόγιαννη Σταύρου. Ως ελάχιστη δυνατή μνεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή μου για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, το οποίο ανταποκρίνεται στα επιστημονικά μου ενδιαφέροντα και τη συμπαράστασή του καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης.

Ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής, τους κυρίους Γιακουμάτο Στέφανο, Καθηγητή και Σπηλιόπουλο Οδυσσέα, Αναπληρωτή Καθηγητή για την αποτελεσματική συνεργασία τους και τη συνολική συμβολή τους στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Ευχαριστώ τους συμμετέχοντες στα συνέδρια στα οποία παρουσιάστηκαν τμήματα της εργασίας αυτής για τις χρήσιμες παρατηρήσεις και την ωφέλιμη κριτική τους. Τέλος, ευχαριστώ τους γονείς μου για την υπομονή και την υποστήριξή τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|--|------|
| Περίληψη στα Ελληνικά..... | VII |
| Περίληψη στα Αγγλικά (Abstract)..... | VIII |
| Κατάλογος Γραφημάτων..... | IX |
| Κατάλογος Πινάκων..... | X |
| Συνοτομογραφίες..... | XI |
| | |
| Εισαγωγή..... | 1 |
| | |
| Κεφάλαιο 1 Το κρυπτονόμισμα Bitcoin | 3 |
| 1.1 Ιστορία του Bitcoin | 3 |
| 1.2 Η τεχνολογία πίσω από το Bitcoin..... | 4 |
| 1.3 Παράδειγμα συναλλαγής | 6 |
| 1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Bitcoin | 7 |
| | |
| Κεφάλαιο 2 Επενδυτικά καταφύγια και η ταξινόμηση του Bitcoin | 11 |
| 2.1 Η σύγχρονη άποψη για τα επενδυτικά καταφύγια | 11 |
| 2.2 Bitcoin, χρυσός και δολάριο | 12 |
| | |
| Κεφάλαιο 3 Οικονομετρική Μεθοδολογία..... | 17 |
| 3.1 Διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα και αιτιότητα κατά Granger..... | 17 |
| 3.2 Θεωρία συνολοκλήρωσης κατά Engle – Granger:Το υπόδειγμα διόρθωσης σφάλματος (error correction model)..... | 22 |
| 3.3 Θεωρία συνολοκλήρωσης κατά Johansen..... | 23 |
| 3.4 Η αναπαράσταση δυναμικών συσχετίσεων κατά BEKK..... | 25 |
| Κεφάλαιο 4 Εμπειρική ανάλυση και αποτελέσματα..... | 27 |
| | |
| 4.1 Δεδομένα..... | 27 |
| 4.2 Περιγραφικά στατιστικά και στιλιζαρισμένη ανάλυση..... | 27 |
| 4.3 Έλεγχος μοναδιαίων ριζών και στασιμότητας..... | 36 |
| 4.4 Έλεγχος συνολοκλήρωσης κατά Engle-Granger και Johansen..... | 42 |
| 4.5 Έλεγχος βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger..... | 45 |
| 4.6 Δυναμικές συσχετίσεις αποδόσεων S&P500 και χρυσού | 46 |
| | |
| Συμπεράσματα | 50 |
| Βιβλιογραφία..... | 51 |

Περίληψη στα Ελληνικά

Στα πλαίσια του αντίκτυπου των τελευταίων κρίσεων στα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα και χρηματοοικονομικούς οργανισμούς, στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται ο ρόλος του Bitcoin σαν αντιστάθμισμα, διαφοροποιητής, ή ασφαλές καταφύγιο, σε σχέση με τον κυριότερο δείκτη του χρηματιστηρίου των ΗΠΑ, Standard & Poor's (S&P500).

Για την εμπειρική ανάλυση χρησιμοποιούνται υποδείγματα από δύο γνωστικά πεδία, τη χρηματοοικονομική οικονομετρία και τη χρηματοοικονομική μηχανική. Εφαρμόζονται διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα (VAR) και υποδείγματα διανυσματικής διόρθωσης σφάλματος (VECM) στο επίπεδο των τιμών, για να ελεγχθεί κατά πόσον οι σειρές είναι συνολοκληρωμένες και ως εκ τούτου εάν υπάρχει μακροχρόνια αιτιότητα κατά Granger. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει συνολοκλήρωση η ανάλυση συνεχίζεται στα ποσοστά των μεταβλητών ώστε να ελεγχθεί εάν υπάρχει βραχυχρόνια αιτιότητα κατά Granger.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα προαναφερθέντα υποδείγματα είναι στατικού χαρακτήρα και εξαρτώνται άμεσα από το χρονικό διάστημα προς μελέτη, εφαρμόζονται παράλληλα και πολυμεταβλητά υποδείγματα γενικευμένης αυτοπαλίνδρομης υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας, ώστε να εξεταστεί ο δυναμικός ρόλος των συσχετίσεων μεταξύ των αποδόσεων του Bitcoin και του δείκτη S&P500.

Τα αποτελέσματα των διανυσματικών αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων έδειξαν ότι δεν υπάρχει ούτε μακροχρόνια, ούτε βραχυχρόνια αιτιότητα Granger μεταξύ του Bitcoin και το δείκτη S&P500. Οι δυναμικές συσχετίσεις εμφανίζουν ένα εναλλασσόμενο πρόσημο μεταξύ θετικών και αρνητικών τιμών με πολύ μεγάλη συχνότητα, υποστηρίζοντας το ανωτέρω εύρημα.

Έτσι, το Bitcoin ταξινομείται στην κατηγορία του ασθενούς αντισταθμιστή καθώς φαίνεται ότι είναι απομονωμένο από μακροοικονομικές αλλαγές και θα μπορούσε να συμπεριληφθεί σε κάποιο χαρτοφυλάκιο για μείωση της έκθεσης στον κίνδυνο.

Λέξεις κλειδιά: Bitcoin, S&P500, αντιστάθμισμα, ασφαλές καταφύγιο, αιτιότητα Granger, δυναμικές υπό συνθήκη συσχετίσεις

Abstract

This diploma thesis analyzes the role of Bitcoin as a hedge, diversifier, or safe haven compared to the main index of the United States of America (US) stock market, Standard & Poor's (S&P500). The empirical analysis uses models from two scientific fields, financial econometrics, and financial engineering. Vector autoregressive (VAR) and vector error correction models (VECM) are applied in the prices levels in order to examine the existence of cointegration and any long-term Granger causality. In the case of no cointegration the analysis continues using the percentages of the variables to detect any short-term Granger causality.

Due to the fact that such models are static and depend on the time interval under consideration, dynamic models of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity (GARCH) are also incorporated, to examine the potential role of the correlations between Bitcoin and the index S&P500.

The results of both vector autoregressive models showed that there is not either long run or short run Granger causality between Bitcoin and S&P500. The results are also confirmed by highly oscillating dynamic conditional correlations between negative and positive values.

Thus Bitcoin can be classified as a weak hedge, an indication that it is totally detached from any macroeconomic event and it could be possibly used in a portfolio to reduce risk via portfolio diversification benefits.

Keywords: Bitcoin; S&P500, hedge, safe haven, Granger causality; dynamic conditional correlation

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Γράφημα 4.1: Τιμές του χρηματιστηριακού δείκτη S&P500 (κόκκινο χρώμα) και τις τιμές του Bitcoin (μπλε χρώμα) | 28 |
| Γράφημα 4.2: Κατανομή αποδόσεων για τον S&P500 (επάνω) και το Bitcoin (κάτω) | 31 |
| Γράφημα 4.3: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για τον S&P500 | 32 |
| Γράφημα 4.4: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για το Bitcoin | 34 |
| Γράφημα 4.5: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για τις αποδόσεις του S&P500 | 35 |
| Γράφημα 4.6: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για τις αποδόσεις του Bitcoin | 35 |
| Γράφημα 4.7 Συνδιακύμανση των αποδόσεων του S&P500 και Bitcoin | 48 |
| Γράφημα 4.8 Δυναμική συσχέτιση των αποδόσεων S&P500 και Bitcoin | 48 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| Πίνακας 4.1 Περιγραφικά στατιστικά των δεικτών υπό εξέταση και των αποδόσεών τους | 30 |
| Πίνακας 4.2: Συντελεστές αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για το δείκτη S&P500 | 33 |
| Πίνακας 4.3: Συντελεστές αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για το Bitcoin | 34 |
| Πίνακας 4.4: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για το S&P500 | 38 |
| Πίνακας 4.5: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για το Bitcoin | 39 |
| Πίνακας 4.6: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για τις αποδόσεις του S&P500 | 40 |
| Πίνακας 4.7: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για τις αποδόσεις του Bitcoin | 41 |
| Πίνακας 4.8: Έλεγχος συνολοκλήρωσης κατά Engle-Granger | 42 |
| Πίνακας 4.9: Έλεγχος συνολοκλήρωσης για τις πέντε περιπτώσεις κατά Johansen | 43 |
| Πίνακας 4.10: Επιλογή υστερήσεων σύμφωνα με τα τρία κριτήρια AIC, BIC, HQC | 45 |
| Πίνακας 4.11: Έλεγχος στατιστικής block-F για βραχυχρόνια αιτιότητα κατά Granger για τις αποδόσεις S&P500 και Bitcoin | 46 |
| Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα του διμεταβλητού υποδείγματος BEKK για τις αποδόσεις του S&P500 και του Bitcoin | 47 |

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

| | |
|--------|---|
| ΗΠΑ | Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής |
| AIC | Akaike Information Criterion |
| BIC | Bayesian (Schwarz) Information Criterion |
| ACF | Autocorrelation function, Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης |
| BTC | Bitcoin |
| FED | Federal Reserve |
| FTSE | Financial Times Stock Exchange |
| GARCH | Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity, Γενικευμένη αυτοπαλίνδρομη υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητα |
| GFC | Global Financial Crisis, Παγκόσμια Χρηματοπιστωτική Κρίση |
| HQC | Hannan-Quinn Information Criterion |
| PACF | Partial autocorrelation function, Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης |
| VAR | Vector AutoRegressive, Διανυσματικό αυτοπαλίνδρομο |
| VECM | Vector Error Correction Model, Διανυσματικό Υπόδειγμα Διόρθωσης Σφάλματος |
| S&P500 | Standard and Poor's 500 index, Χρηματιστηριακός Δείκτης S&P500 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την εμφάνιση νέων χρηματοοικονομικών μέσων και εργαλείων οδήγησε τις τελευταίες δεκαετίες τους οικονομικούς και χρηματοοικονομικούς δείκτες σε καινούργια συνεχόμενα μέγιστα. Αυτή η αύξηση, σε συνδυασμό με τη διεθνοποίηση των αγορών οδήγησε παράλληλα και σε αύξηση των διάφορων κινδύνων των χρηματοοικονομικών και χρηματοπιστωτικών συστημάτων. Οι επενδυτές επιθυμούν διαφοροποιημένα χαρτοφυλάκια, ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να υποστούν μεγάλες απώλειες σε περιόδους κρίσεων. Αυτό είναι ακόμα εφικτό επειδή οι διεθνείς χρηματιστηριακές αγορές δεν είναι ακόμα ολοκληρωμένες σε υψηλό επίπεδο (Bai and Green, 2010; Chandar et al., 2009; Francis et al., 2008), γεγονός όμως το οποίο μπορεί να προκαλέσει διάχυση της μόλυνσης στις αγορές σε περιόδους χρηματοοικονομικών κρίσεων. Σε μια τέτοια περίπτωση οι χρηματοοικονομικοί δείκτες μπορεί να συγκλίνουν έντονα, ακόμη και όταν τα υπάρχοντα μακροοικονομικά θεμελιώδη δεν δικαιολογούν τόσο ισχυρή αλληλεξάρτηση.

Το γεγονός ότι η είσοδος στον καινούργιο αιώνα συνοδεύτηκε από δύο κρίσεις, την dot.com (φούσκα διαδικτύου) και την παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση (Global Financial Crisis, GFC), παρακίνησε τους ερευνητές στην αναζήτηση ενός περιουσιακού στοιχείου το οποίο δεν κινείται παράλληλα με άλλα περιουσιακά στοιχεία στις περιόδους κρίσεων, διατηρώντας την αξία του. Το βασικό ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάστηκε στο χρυσό και στις επιρροές της αγοράς χρυσού (Carie κ.ά., 2005; Faugere και Van Erlach, 2005; Draper κ.ά., 2006; Lucey κ.ά., 2006; Tully και Lucey, 2007), ενώ οι Kaul και Sapp (2006) και οι Ranaldo και Soderlind (2007) ανέλυσαν την δυνατότητα κατάσταση του ασφαλούς καταφυγίου διαφόρων νομισμάτων.

Παρά το γεγονός ότι το Bitcoin εμφανίστηκε το 2009, τελευταία μόνο άρχισε να απασχολεί την επιστημονική κοινότητα σχετικά με τις ιδιότητές του ως επενδυτικό καταφύγιο. Αυτό είχε να κάνει με το γεγονός ότι οι βασικοί θεωρητικοί ορισμοί περί των ιδιοτήτων που θα πρέπει να έχει ένα περιουσιακό στοιχείο ώστε να

χαρακτηριστεί ως αντιστάθμισμα, διαφοροποιητής, ή ασφαλές καταφύγιο ολοκληρώθηκαν τελευταία (Baur και Lucey, 2010; Baur και McDermott, 2010; 2016). Οι πρώτες αναλύσεις της επενδυτικών ιδιοτήτων του Bitcoin σε σύγκριση με το χρυσό και το δολάριο έγιναν από τη Dyrhberg (2016α; 2016β), αλλά φάνηκε ότι τα αποτελέσματά της είναι αντικρουόμενα (Baur κ.ά., 2018).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της σχέσης του χρηματιστηριακού δείκτη S&P500 με την τιμή του Bitcoin και κατά πόσον αυτή η σχέση ικανοποιεί κάποιους από τους θεωρητικούς ορισμούς κατά Baur και Lucey (2010), Baur και McDermott (2010, 2016). Για την ανάλυση θα χρησιμοποιηθούν διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα (VAR) υποδείγματα και υποδείγματα διανυσματικής διόρθωσης σφάλματος (VECM) τα οποία επιτρέπουν την διερεύνηση της μακροχρόνιας ή βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger, καθώς και πολυμεταβλητά υποδείγματα γενικευμένης αυτοπαλίνδρομης υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας GARCH ώστε να μελετηθούν οι πιθανές αντιστροφές του πρόσημου των δυναμικών συσχετίσεων.

Η δομή της παρούσας εργασίας έχει ως εξής: στο **κεφάλαιο 1** γίνεται μια ιστορική αναδρομή του Bitcoin και της τεχνολογικής επανάστασης που επέφερε. Στο **κεφάλαιο 2** αναλύονται οι θέσεις των Baur και Lucey (2010), Baur και McDermott (2010, 2016) και τα αποτελέσματα της Dyrhberg (2016α; 2016β) και των Baur κ.ά. (2018). Στο **κεφάλαιο 3** αναπτύσσεται η οικονομετρική μεθοδολογία και τα υποδείγματα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την εργασία. Στο **κεφάλαιο 4** παρουσιάζονται και αναλύονται τα ερευνητικά αποτελέσματα και στο τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζονται τα **συμπεράσματα** των ευρημάτων της εργασίας και η σημασία τους για το ευρύτερο επενδυτικό κοινό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Το κρυπτονόμισμα Bitcoin

1.1. Ιστορία του Bitcoin

Το Bitcoin¹ είναι η πρώτη εφαρμογή μιας έννοιας η οποία λέγεται κρυπτονόμισμα (cryptocurrency) η οποία περιγράφηκε για πρώτη φορά το 1998 από τον Wei Dai σε μία λίστα αλληλογραφίας cypherpunks. Εκεί, αναπτύχθηκε η ιδέα μιας νέας μορφής χρημάτων η οποία θα χρησιμοποιούσε την κρυπτογραφία για τον έλεγχο της δημιουργίας και των συναλλαγών αυτής της νέας μορφής και όχι κάποια ανεξάρτητη κεντρική αρχή. Η πρώτη προδιαγραφή του Bitcoin και το τεκμήριο της έννοιας (proof of concept) δημοσιεύθηκε το 2009 σε μια λίστα αλληλογραφίας κρυπτογραφίας από τον Satoshi Nakamoto .

Η ανωνυμία του Satoshi έφερε στο προσκήνιο συχνά αδικαιολόγητες ανησυχίες, οι περισσότερες από τις οποίες συνδέονταν με τη μη-κατανόηση της έννοιας του ανοιχτού κώδικα του Bitcoin. Το πρωτόκολλο Bitcoin και το λογισμικό δημοσιεύονταν ανοιχτά και οποιοσδήποτε προγραμματιστής σε όλο τον κόσμο μπορούσε να αναθεωρήσει τον κώδικα, ή να παρουσιάσει μία δική του τροποποιημένη ή βελτιωμένη έκδοση του λογισμικού του Bitcoin. Έτσι έγινε κατανοητό διεθνώς ότι η επιρροή που είχε ο Satoshi Nakamoto περιοριζόταν στις αλλαγές που έκανε στο λογισμικό. Επειδή το λογισμικό δημοσιοποιείτο έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οποιονδήποτε, στην ουσία η δημοσιοποίηση αυτή πρακτικά έδειξε ότι ο Satoshi Nakamoto δεν είχε τον έλεγχο του Bitcoin.

Το δίκτυο του Bitcoin δεν ελέγχεται από ένα άτομο αλλά ελέγχεται από όλους τους χρήστες του Bitcoin σε όλο τον κόσμο. Οι προγραμματιστές βελτιώνουν το λογισμικό, αλλά δεν μπορούν να εκβάσουν μια αλλαγή στο πρωτόκολλο του Bitcoin, επειδή όλοι οι χρήστες είναι ελεύθεροι να επιλέξουν το λογισμικό και την έκδοση που θέλουν να χρησιμοποιήσουν. Προκειμένου να παραμείνουν συμβατές

¹ Η ιστορία του Bitcoin έχει αντληθεί κυρίως από το επίσημη ιστοσελίδα του bitcoin.org, η οποία μαζί με την www.coindesk.com και coinmarketcap.com αναφέρονται στη διεθνή αρθρογραφία. Η τελευταία πρόσβαση και στις τρεις ιστοσελίδες ήταν 15 Οκτωβρίου 2018.

μεταξύ τους οι εκδόσεις, όλοι οι χρήστες θα πρέπει να χρησιμοποιούν λογισμικό το οποίο υπακούει στους ίδιους κανόνες και για να μπορέσει να λειτουργήσει σωστά το Bitcoin απαιτείται μία πλήρη συναίνεση μεταξύ όλων των χρηστών. Έτσι δημιουργείται ένα ισχυρό κίνητρο ώστε και όλοι οι χρήστες και όλοι οι προγραμματιστές να τηρήσουν και να προστατεύσουν αυτή τη συναίνεση. Ο Satoshi Nakamoto αποχώρησε από το συγκεκριμένο έργο στα τέλη του 2010 χωρίς να έχουν αποκαλυφθεί πολλά πράγματα για την ταυτότητά του ή τον εαυτό του (εάν όντως υπήρχε ως φυσικό πρόσωπο). Παρόλα αυτά η κοινότητα έχει αναπτυχθεί πάρα πολύ από τότε με πάρα πολλούς προγραμματιστές που εργάζονται στο Bitcoin.

1.2. Η τεχνολογία πίσω από το Bitcoin

Το Bitcoin είναι ένα ψηφιακό νόμισμα, το οποίο δεν ελέγχεται από κάποια κεντρική αρχή. Χρησιμοποιεί την κρυπτογράφηση για τον έλεγχο των συναλλαγών για αυτό και ονομάζεται κρυπτονόμισμα. Δεν υπάρχει σε καμία φυσική μορφή κερμάτων ή χαρτονομισμάτων και δεν παράγεται ούτε ελέγχεται από κάποια συγκεκριμένη τράπεζα ή κυβέρνηση. Η παραγωγή του, η αποθήκευση του, η διακίνησή του, και όλες οι συναλλαγές με αυτό γίνονται αποκλειστικά σε ηλεκτρονική μορφή. Στην ουσία είναι ένα peer-to-peer σύστημα πληρωμών και ένα ψηφιακό συνάλλαγμα ανοιχτού κώδικα. Πρόκειται για έναν αλγόριθμο στον υπολογιστή ο οποίος παράγει νομίσματα με ένα συγκεκριμένο και απόλυτα αυτοματοποιημένο τρόπο. Το λογισμικό είναι ανοιχτού κώδικα (open source) που σημαίνει ότι ο πηγαίος κώδικας είναι διαθέσιμος σε όποιον θέλει να τον επεξεργαστεί. Τα Bitcoins χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και την μετάδοση αξίας μεταξύ των συμμετεχόντων του δικτύου. Οι χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του διαδικτύου χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο του Bitcoin. Τα Bitcoins μπορούν να αγοραστούν, να πωληθούν και να ανταλλάσσονται με άλλα νομίσματα σε εξειδικευμένες συναλλαγματικές ισοτιμίες.

Το Bitcoin χρησιμοποιεί την ασύμμετρη κρυπτογράφηση. Η ασύμμετρη κρυπτογράφηση έχει χρησιμοποιηθεί για την ασφαλή ψηφιακή μετάδοση και

προστασία των δεδομένων. Ο χρήστης είναι κάτοχος δύο ψηφιακών κλειδιών, ενός ιδιωτικού και ενός δημόσιου. Η αποστολή και επιβεβαίωση της συναλλαγής Bitcoins, επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης των δημόσιων και ιδιωτικών κλειδιών του αποστολέα και του παραλήπτη. Τα εν λόγω κλειδιά συχνά αποθηκεύονται σε ένα ψηφιακό πορτοφόλι στον υπολογιστή του κάθε χρήστη. Τα προσωπικά στοιχεία των συναλλασσομένων δεν φυλάσσονται πουθενά κάτι που το καθιστά πολύ ελκυστικό για αυτούς που επιθυμούν να διατηρήσουν την ανωνυμία τους.

Η κατανεμημένη βάση δεδομένων που περιλαμβάνει όλες τις συναλλαγές των Bitcoins είναι μια αλυσίδα από μπλοκ και ονομάζεται blockchain. Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει κανείς για να αποκτήσει Bitcoins ονομάζεται εξόρυξη (mining). Η διαδικασία της εξόρυξης είναι ουσιαστικά η προσπάθεια επίλυσης ολοένα και δυσκολότερων υπολογιστικών προβλημάτων και οι εξορύκτες (miners) χρησιμοποιούν υπέρ-υπολογιστές ή συστοιχίες υπολογιστών με τεράστια υπολογιστική ισχύ. Οι συναλλαγές ομαδοποιούνται κατά προσέγγιση κάθε δέκα λεπτά και οι ομάδες των μπλοκ δημιουργούν ένα αρχείο ιστορικού συναλλαγών το οποίο δεν αλλάζει. Κάθε φορά που δημιουργείται ένα νέο μπλοκ δημιουργείται αυτόματα και ένας αριθμός νέων Bitcoin τα οποία μοιράζονται σε αυτούς που θα έχουν λύσει τον αλγόριθμο ανάλογα με τη συνεισφορά του καθενός. Ο αλγόριθμος δημιουργείται πάντα τόσο δύσκολος να επιλυθεί ώστε όλη η υπολογιστική δύναμη των εξορυκτών που ασχολείται με λύση του να χρειάζεται κατά μέσο όρο 10 λεπτά για να τον λύσει. Έτσι, με τη πάροδο του χρόνου το σύστημα προσαρμόζει τη λύση του αλγορίθμου και τη κάνει όλο και πιο δύσκολη, μιας και με τη πρόοδο της τεχνολογίας και με την ενσωμάτωση νέων εξορυκτών αυξάνεται η συνολική υπολογιστική δύναμη που διατίθεται στη λύση του. Όσο μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής υπολογιστικής δύναμης διαθέσει κάποιος για τη λύση του αλγορίθμου τόσο μεγαλύτερο ποσοστό από τα καινούργια Bitcoin που δημιουργούνται θα πάρει. Εδώ όμως υπεισέρχεται και το γεγονός ότι όταν ένας εξορύκτης αναπόφευκτα φτάσει σε σημείο να καταναλώνει περισσότερα χρήματα σε ηλεκτρικό απ' όσα παράγει σε Bitcoin τότε δεν έχει νόημα να λειτουργεί πλέον και πρέπει να αντικατασταθεί.

Το νόμισμα αυτό φυλάσσεται σε ψηφιακά πορτοφόλια, δηλαδή στην ουσία σε έναν φάκελο στον υπολογιστή ή/και σε συστήματα Cloud. Για να μπορεί το νέο αυτό νόμισμα να είναι χρήσιμο σαν μέσο συναλλαγής πρέπει να διασφαλιστεί αφενός ότι θα κυκλοφορεί σταδιακά και αφετέρου ότι δεν θα αναπαράγεται σε άπειρη ποσότητα. Για να επιτευχθεί αυτό έχουν θεσπιστεί κάποιες κανόνες σύμφωνα με τους οποίους έχει προαποφασιστεί ότι θα κυκλοφορήσουν συνολικά 21.000.000 Bitcoins και μάλιστα με μειωμένο ρυθμό παραγωγής έως περίπου το 2140 οπότε και θα γίνει εξόρυξη στο τελευταίο.

1.3. Παράδειγμα συναλλαγής

Ο χρήστης Α επιθυμεί τη αποστολή Χ Bitcoin στον χρήστη Β. Για να είναι έγκυρη αυτή η συναλλαγή κατά τους κανόνες του δικτύου, πρέπει να αποδείξει ότι είναι κάτοχός τους και να υποδείξει στο δίκτυο σε ποιόν χρήστη επιθυμεί να μεταφερθούν. Η απόδειξη της κατοχής από τον χρήστη Α γίνεται με την «υπογραφή» με το ιδιωτικό κλειδί του, και η υπόδειξη της «διεύθυνσης» αποστολής είναι το δημόσιο κλειδί του χρήστη Β. Όλες οι συναλλαγές εκτελούνται άμεσα, και υποβάλλονται στο αποκεντρωμένο δίκτυο για επιβεβαίωση της εγκυρότητάς τους. Οι συναλλαγές ομαδοποιούνται σε μπλοκ βάσει των κανόνων του δικτύου, και οι επικρατέστερες με τη μεγαλύτερη εγκυρότητα ομάδες τοποθετούνται στη συνέχεια της αλυσίδας μπλοκ που ξεκινάει με την πρώτη συναλλαγή που έγινε το 2009 και φτάνει έως την πιο πρόσφατη. Το δίκτυο είναι σχεδιασμένο κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει μια τέτοια ομάδα συναλλαγών στην κορυφή της αλυσίδας περίπου κάθε δέκα λεπτά. Κάθε νέα ομάδα συναλλαγών που τοποθετείται στην κορυφή της αλυσίδας, επιβεβαιώνει όχι μόνο της συναλλαγές που περιέχονται σε αυτή, αλλά και την εγκυρότητα των προηγούμενων ομάδων, και άρα την εγκυρότητα όλων των συναλλαγών που έχουν εκτελεστεί έως την πρώτη. Όλη αυτή η αλυσίδα, όπως και η αλληλουχία όλων των συναλλαγών που έχουν εκτελεστεί έως τώρα, είναι δημοσίως διαθέσιμη και προσβάσιμη από οποιονδήποτε, με την μορφή των δημόσιων κλειδιών που έχουν ανταλλάξει Bitcoins αλλά και των ποσών που έχουν διακινηθεί μεταξύ τους. Έχοντας πλέον,

επιβεβαιωμένα την νέα ιδιοκτησία του ποσού X, ο χρήστης B με τη χρήση του ιδιωτικού του κλειδιού, μπορεί κατόπιν να αποστείλει αντίστοιχα το ποσό σε όποιον χρήστη επιθυμεί (γνωρίζει το δημόσιο κλειδί του). Κάθε χρήστης μπορεί να έχει σχεδόν απεριόριστο αριθμό δημόσιων και αντίστοιχων ιδιωτικών κλειδιών, ασφαλισμένα και υπό τον έλεγχό του (στον υπολογιστή ή στο κινητό του ή και σε πολλές άλλες ψηφιακές μορφές). Το σύνολο αυτών αποτελεί ένα είδος ψηφιακού πορτοφολιού του οποίου τα ιδιωτικά κλειδιά πρέπει να μείνουν κρυφά για την αποφυγή απώλειας των περιεχόμενων Bitcoin. Εφόσον το δημόσιο κλειδί παράγεται από το ιδιωτικό, και εφόσον το ιδιωτικό κλειδί είναι το μόνο μέσο που επιτρέπει μεταφορά των Bitcoin εκτός πορτοφολιού, αν ο χρήστης απολέσει ή αποκαλύψει το ιδιωτικό κλειδί του, ουσιαστικά χάνει την αποκλειστική κυριότητα των Bitcoin του.

1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του Bitcoin

Μερικά από τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει το Bitcoin και η χρήση του είναι τα εξής:

- Όλες οι συναλλαγές που έχουν εκτελεστεί στο δίκτυο είναι διαθέσιμες δημόσια και διαφανείς. Μπορεί οποιοσδήποτε να ελέγξει τις προηγούμενες συναλλαγές που έχουν πραγματοποιηθεί, το πλήθος των Bitcoin που έχουν μετακινηθεί, όπως και προς το που έχουν σταλεί.
- Τα Bitcoins και τα «πορτοφόλια» αποθήκευσης ή οι κωδικοί πρόσβασης σε αυτά είναι ουσιαστικά πάρα πολύ μικρά σε μέγεθος ανεξάρτητα από τον αριθμό των Bitcoin που περιέχουν. Μπορούν να αντιγραφούν ώστε να υπάρχουν αντίγραφα ασφαλείας σε περίπτωση καταστροφής των αρχικών. Όμως, αυτό δεν καλύπτει σε θέματα ασφάλειας καθώς εάν κάποιο από αυτά τα αντίγραφα παραβιαστεί, τα υπόλοιπα αντίγραφα θεωρούνται επίσης ότι είναι παραβιασμένα.
- Κάθε χρήστης μπορεί να δημιουργήσει διαμέσου του λογισμικού, πολλές διευθύνσεις ώστε να εκτελέσει τις συναλλαγές του. Αυτές οι διευθύνσεις είναι ψευδώνυμες, δεν έχουν δηλαδή κάποια άμεση σχέση με τα πραγματικά

στοιχεία ή την τοποθεσία του χρήστη, παρόλο που έχουν αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά ώστε να εντοπίζονται από το δίκτυο. Έτσι, μπορεί ο χρήστης να απεμπλέξει τις συναλλαγές του από τα προσωπικά του στοιχεία. Αυτό δεν συνεπάγεται εξ' ορισμού ανωνυμία συναλλαγών καθώς όλες οι συναλλαγές δημοσιεύονται. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο η χρήση Bitcoins δεν ενδείκνυται για συναλλαγές παράνομων δραστηριοτήτων, ιδιαίτερα μεγάλης κλίμακας, καθώς το ίχνος των συναλλαγών όχι μόνο δεν διαγράφεται με το πέρασμα του χρόνου, αλλά παραμένει διαθέσιμο για εξέταση από όλους, για πάντα.

- Ο χρήστης είναι ο μόνος που έχει την δυνατότητα να εκτελέσει συναλλαγές και εφόσον δεν έχει παραχωρήσει αυτό το δικαίωμα και έχει προστατεύσει την πρόσβαση στα Bitcoin του, είναι πρακτικά αδύνατο να κλαπούν από τρίτους (εφόσον η κρυπτογράφηση δεν παραβιαστεί).
- Οι συναλλαγές σε Bitcoin συμβαίνουν άμεσα και ανακοινώνονται ταυτόχρονα σε όλο το δίκτυο ανά τον πλανήτη. Αυτό δεν απαιτεί άλλες υποδομές πέρα από κάποια μορφή του δωρεάν λογισμικού σε υπολογιστή ή σε smartphone και σύνδεση στο διαδίκτυο.
- Η αλλαγή οιαδήποτε χαρακτηριστικού του λογισμικού ή των κανόνων του, έχει ουσιαστικά εφαρμογή μόνο όταν τις δεχτεί η κοινότητα που απαρτίζει το δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγονται κακόβουλες αλλαγές που θα μπορούσαν να αλλάξουν θεμελιωδώς το λογισμικό (καθώς η πλειοψηφία των χρηστών θα τις αναγνωρίσει και θα τις έχει απορρίψει), αλλά και μεγάλη ευελιξία και ταχύτητα αντίδρασης σε περίπτωση εντοπισμού σφαλμάτων ή απρόβλεπτων αστοχιών κατά τη λειτουργία.
- Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του Bitcoin είναι η αποκεντρωμένη φύση του δικτύου. Κάθε επιπλέον κόμβος του δικτύου το ενισχύει περισσότερο και αν προσβληθεί με κάποιο τρόπο, η λειτουργία του συνολικού δικτύου δεν επηρεάζεται ανάλογα. Η προσβολή ακόμα και πολύ μεγάλου μέρους των

υπολογιστών που απαρτίζουν το δίκτυο δεν θα επηρέαζε σε σημαντικό βαθμό τη λειτουργία του. Ο μόνος τρόπος να σταματήσει να δουλεύει το δίκτυο είναι να αποκοπούν όλοι οι υπολογιστές του δικτύου μεταξύ τους, με δυο λόγια να κοπεί το διαδίκτυο σε όλο τον πλανήτη. Ακόμα και τότε, όταν το διαδίκτυο επαναλειτουργήσει, το δίκτυο του Bitcoin θα συνεχίσει ακριβώς εκεί που σταμάτησε.

- Κάθε Bitcoin είναι υποδιαιρέσιμο έως 8 δεκαδικά ψηφία (έως 0,00000001) που ονομάζονται Satoshi, επιτρέποντας μικρο-συναλλαγές που δεν είναι δυνατές με άλλα μέσα ή συμβατικά νομίσματα. Η προσθήκη περισσότερων ακόμα δεκαδικών επαφίεται στην συναίνεση του δικτύου αν αυτό χρειαστεί στο μέλλον.
- Όλες οι συναλλαγές με Bitcoin είναι τελικές και μη αντιστρέψιμες. Αυτό έχει το επιπλέον πλεονέκτημα προς όσους διαθέτουν προϊόντα για Bitcoin ότι δεν είναι δυνατόν να ανακληθούν συναλλαγές. Αυτό συνήθως δίνει επιπλέον κίνητρα σε επιχειρήσεις να προσφέρουν τα προϊόντα τους σε χαμηλότερες τιμές, εξαιτίας της άμεσης και αμετάκλητης πληρωμής.

Μερικά μειονεκτήματα του Bitcoin είναι τα εξής:

- Υπάρχουν υπόνοιες ότι η διακύμανση της τιμής του Bitcoin οφείλεται και σε κερδοσκοπικά παιχνίδια το οποίο περιορίζει το ρόλο του ως διάφανη επένδυση.
- Το Bitcoin όπως έχει σχεδιαστεί δεν έχει κάποια εγγενή αξία όπως για παράδειγμα ο χρυσός ή άλλα πολύτιμα μέταλλα. Επειδή έχει θεωρηθεί αρκετές φορές σα φούσκα δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι κάποια στιγμή δεν θα εξανεμιστεί η αξία του

- Δεν υπάρχει κάποια κεντρική αρχή, όπως για παράδειγμα η ομοσπονδιακή τράπεζα των Ηνωμένων Πολιτειών ώστε να παρεμβαίνει στις διακυμάνσεις, στην προσφορά και την ζήτηση.
- Η εξόρυξή του απαιτεί υψηλή κατανάλωση ενέργειας και αντίστοιχα μεγάλη απαγωγή θερμότητας, δημιουργώντας έτσι σοβαρά προβλήματα όχι μόνο σχετικά με τη συντήρηση των υπολογιστών και την ψύξη τους αλλά για την γενικότερη επίδραση στο περιβάλλον.

Κεφάλαιο 2: Επενδυτικά καταφύγια και η ταξινόμηση του Bitcoin

2.1. Η σύγχρονη άποψη για τα επενδυτικά καταφύγια

Οι τελευταίες χρηματοοικονομικές κρίσεις οδήγησαν την επιστημονική κοινότητα στο να αναπτύξει βασικούς ορισμούς σχετικά με την ύπαρξη πιθανών καταφυγίων σε περίπτωση κρίσης, τα οποία θα προστάτευαν τα χαρτοφυλάκια των επενδυτών. Η πρόσφατη εμπειρία έπειτα από την κρίση .com έδειξε ότι σε αντίθεση με διάφορα άλλα χρηματοοικονομικά περιουσιακά στοιχεία η τιμή του χρυσού αυξήθηκε πολύ, γεγονός το οποίο συνδέθηκε με την πιθανή αύξηση της τιμής λόγω της κρίσεως. Παρά το γεγονός ότι ιστορικά ο χρυσός είχε συγκεκριμένη αξία λόγω των μοναδικών φυσικών και χημικών ιδιοτήτων, δεν υπήρχε κάποια θεωρητική προσέγγιση που να το εξηγεί.

Η πρώτη προσπάθεια ταξινόμησης, διαφοροποίησης των εννοιών και διάκρισης έγινε από τους Baur & Lucey (2010) οι οποίοι έθεσαν και τους βασικούς ορισμούς. Το θεωρητικό ερώτημα το οποίο είναι η βάση της γενικότερης συζήτησης σε αυτή την εργασία διατυπώνεται ως εξής: «Υπάρχει κάποιο ή κάποια περιουσιακά στοιχεία τα οποία μπορούν να προσθέσουν οι επενδυτές στα χαρτοφυλάκιά τους έτσι ώστε λόγω διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου να μειώνει τις απώλειες σε συγκεκριμένες περιόδους κρίσεων ή αναταραχής της αγοράς περισσότερο από ένα αντιστάθμισμα ή ένα διαφοροποιητή χαρτοφυλακίου;»

Στην περίπτωση αυτή, για να υπάρξει κάποια διαφοροποίηση των εννοιών και να γίνει διάκριση ενός ασφαλούς καταφύγιου από ένα αντιστάθμισμα και έναν διαφοροποιητή οι Baur & Lucey (2010) ορίζουν τις τρεις κάτωθι περιπτώσεις:

Αντιστάθμιστικό περιουσιακό στοιχείο (αντιστάθμισμα, hedge): Ένα αντιστάθμισμα είναι ένα περιουσιακό στοιχείο το οποίο είναι, κατά μέσο όρο, ασυσχέτιστο ή αρνητικά συσχετισμένο με κάποιο άλλο περιουσιακό στοιχείο ή χαρτοφυλάκιο.

Αυτή η περίπτωση επειδή ισχύει κατά μέσο όρο δεν είναι υποχρεωτικό να προστατέψει τον επενδυτή από πιθανές απώλειες καθώς σε περίοδο κρίσης το αντιστάθμισμα θα μπορούσε να είναι θετικά συσχετισμένο με το περιουσιακό στοιχείο ή χαρτοφυλάκιο και αρνητικά συσχετισμένο σε κανονικές περιόδους των χρηματοοικονομικών αγορών, οδηγώντας έτσι σε μία, κατά μέσο όρο, μηδενική ή αρνητική συσχέτιση.

Διαφοροποιητής (diversifier): Ως διαφοροποιητής ορίζεται ένα περιουσιακό στοιχείο το οποίο είναι θετικά συσχετισμένο (αλλά όχι απολύτως συσχετισμένο) με κάποιο άλλο περιουσιακό στοιχείο ή χαρτοφυλάκιο.

Ούτε σε αυτή την περίπτωση, παρόμοια με το αντιστάθμισμα, ένας διαφοροποιητής μπορεί να μειώσει τις απώλειες σε κάποια περίοδο κρίσης, καθώς η συνθήκη της θετικής συσχέτισης θα πρέπει να ικανοποιείται κατά μέσο όρο.

Ασφαλές καταφύγιο (safe haven): Ένα ασφαλές καταφύγιο ορίζεται σαν ένα περιουσιακό στοιχείο το οποίο είναι ασυσχέτιστο ή αρνητικά συσχετισμένο με κάποιο άλλο περιουσιακό στοιχείο ή χαρτοφυλάκιο σε περιόδους κρίσεων.

Η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περίπτωσης από το αντιστάθμισμα είναι η μη θετική συσχέτιση ενός περιουσιακού στοιχείου με κάποιο χαρτοφυλάκιο σε συνθήκες κρίσεων. Αυτή η ιδιότητα δεν επιβάλλει στη συσχέτιση να είναι θετική ή αρνητική κατά μέσο όρο, αλλά να είναι μηδενική ή αρνητική σε συγκεκριμένες περιόδους κρίσεων. Έτσι σε περιόδους κρίσης ο επενδυτής λιγοστεύει τις απώλειες επειδή η μείωση της αξίας του χαρτοφυλακίου ελαττώνεται λόγω της αύξησης του ασφαλούς καταφυγίου.

2.2. Bitcoin, χρυσός και δολάριο

Το βασικά οικονομετρικά υποδείγματα που χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά οι Baur & Lucey (2010) είναι,

$$r_{gold,t} = a + b_1 r_{stock,t} + b_2 r_{stock,t(q)} + c_1 r_{bond,t} + c_2 r_{bond,t(q)} + e_t \quad (2.1)$$

όπου υπάρχουν οι αποδόσεις μετοχών και ομολόγων ενώ το σύμβολο q αναφέρεται σε συγκεκριμένα ποσοστημόρια της κατανομής αποδόσεων. Χρησιμοποίησαν δεδομένα από τη βάση Morgan Stanley Capital International (MSCI) από το Νοέμβριο του 1995 έως το Νοέμβριο του 2005, αφήνοντας όμως έξω την κρίση GFC, και διαχώρισαν το αρχικό δείγμα σε τρία υποδείγματα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο χρυσός αποτελεί ένα, κατά μέσο όρο, ασφαλές καταφύγιο. Σαν δεύτερο στάδιο χρησιμοποιήθηκε ένα μονομεταβλητό υπόδειγμα (GARCH) (Bollerslev, 1987) όπως ακριβώς είχε χρησιμοποιηθεί από τους Carie et al. (2005)

$$r_{gold,t} = a + b_1 r_{stock,t} + b_2 r_{stock,t(q)} + c_1 r_{bond,t} + c_2 r_{bond,t(q)} + e_t \quad (2.2)$$

$$h_t = a e_{t-1}^2 + \gamma e_{t-1}^2 D(e_{t-1} < 0) + \beta h_{t-1} \quad (2.3)$$

όπου το D στην εξίσωση της διακύμανσης είναι μια ψευδομεταβλητή (Glosten κ.ά., 1993) η οποία παίρνει την τιμή 1 στην περίπτωση που η απόδοση είναι αρνητική και 0 διαφορετικά. Τα αποτελέσματα σε συμφωνία με το γραμμικό υπόδειγμα έδειξαν ότι ο χρυσός αποτελεί ένα ασφαλές καταφύγιο για τις ΗΠΑ.

Τα αποτελέσματα γενικεύτηκαν την ίδια περίπου περίοδο από τους Baur & McDermott (2010) χρησιμοποιώντας ένα δείγμα 30 ετών από το 1979 έως το 2009 για ένα υπόδειγμα 59 δεικτών του παγκόσμιου δείκτη χρησιμοποιώντας αντίστοιχες τεχνικές με την προηγούμενη εργασία τους επιβεβαιώνοντας τα προηγούμενα αποτελέσματα. Επιπροσθέτως ενίσχυσαν τους αρχικούς βασικούς ορισμούς τους ξεχωρίζοντας τις έννοιες του ασθενούς (ισχυρού) αντισταθμίματος, και του ασθενούς (ισχυρού) καταφύγιου ως εξής:

Ασθενές αντιστάθμισμα (weak hedge) είναι ένα περιουσιακό στοιχείο που δεν συσχετίζεται με το περιουσιακό στοιχείο αναφοράς ή χαρτοφυλάκιο αναφοράς κατά μέσο όρο. Σε αντίθεση, ένα **ισχυρό αντιστάθμισμα (strong hedge)** συσχετίζεται αρνητικά με το περιουσιακό στοιχείο ή το χαρτοφυλάκιο αναφοράς κατά μέσο όρο.

Ασθενές ασφαλές καταφύγιο (weak safe haven) είναι ένα περιουσιακό στοιχείο που δεν συσχετίζεται με το περιουσιακό στοιχείο αναφοράς ή χαρτοφυλάκιο αναφοράς σε συγκεκριμένες περιόδους κρίσεων.

Ένα **ισχυρό ασφαλές καταφύγιο (strong safe haven)** συσχετίζεται αρνητικά με το περιουσιακό στοιχείο ή το χαρτοφυλάκιο αναφοράς σε συγκεκριμένες περιόδους κρίσεων.

Τελευταία οι Baur & McDermott (2016) χρησιμοποίησαν ένα δείγμα από εν δυνάμει ασφαλή καταφύγια για μία περίοδο 44 ετών από το 1970 έως το 2013, χρησιμοποιώντας γραμμικά υποδείγματα αντίστοιχα της εργασίας Baur & Lucey (2010). Δείχθηκε ότι εκτός από το χρυσό, ασφαλή καταφύγια θα μπορούσε να είναι επίσης τα κρατικά ομόλογα των ΗΠΑ, το δολάριο ΗΠΑ καθώς και το Ελβετικό Φράγκο.

Παρά το γεγονός ότι το Bitcoin υπήρχε από το 2009 και επίσημα οι τιμές άρχισαν να καταγράφονται από την 1^η Ιουλίου 2013, δεν υπήρχε κάποια ανάλυση που να ερευνά κάποια πιθανή ταξινόμηση του Bitcoin σε σχέση είτε με κάποιο περιουσιακό στοιχείο είτε με το χρυσό. Η πρώτη εργασία έγινε πρόσφατα από την Dyhrberg (2016α) όπου διερεύνησε τις ιδιότητες του Bitcoin χρησιμοποιώντας υποδείγματα GARCH όπως και στις προηγούμενες εργασίες που σχετίζονταν με το χρυσό. Προσπάθησε να συνδέσει την απόδοση του Bitcoin με τα επιτόκια της FED, τις ισοτιμίες δολαρίου – ευρώ, δολαρίου Αγγλικής λίρας, το δείκτη FTSE, τα συμβόλαια μελλοντικής εκπλήρωσης για το χρυσό, και την τιμή του χρυσού.

$$\Delta \ln price_t = \beta_0 + \beta_1 \ln price_{t-1} + \beta_2 \ln price_{t-2} + \beta_3 Fed_{t-1} + \beta_4 USDEUR_{t-1} + \beta_5 USDGBP_{t-1} + \beta_6 FTSE_{t-1} + \beta_7 GoldFuture_{t-1} + \beta_8 GoldCash_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

$$\sigma_t^2 = \exp(\lambda_0 + \lambda_1 Fed_{t-1} + \lambda_2 USDEUR_{t-1} + \lambda_3 USDGBP_{t-1} + \lambda_4 FTSE_{t-1} + \lambda_5 GoldFuture_{t-1} + \lambda_6 GoldCash_{t-1}) + \alpha \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned}\Delta \ln price_t = & \beta_0 + \beta_1 \ln price_{t-1} + \beta_2 Fed_{t-1} + \beta_3 USDEUR_{t-1} + \beta_4 USDGBP_{t-1} \\ & + \beta_5 FTSE_{t-1} + \beta_6 GoldFuture_{t-1} + \beta_7 GoldCash_{t-1} + \varepsilon_t\end{aligned}\quad (2.6)$$

$$\begin{aligned}\ln \sigma_t^2 = & \lambda_0 + \lambda_1 Fed_{t-1} + \lambda_2 USDEUR_{t-1} + \lambda_3 USDGBP_{t-1} + \lambda_4 FTSE_{t-1} \\ & + \lambda_5 GoldFuture_{t-1} + \lambda_6 GoldCash_{t-1} + \alpha(\varepsilon_{t-1}/\sigma_{t-1}) \\ & + \gamma(|\varepsilon_{t-1}/\sigma_{t-1} - \sqrt{2/\pi}|) + \delta \ln(\sigma_{t-1}^2)\end{aligned}\quad (2.7)$$

Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι το Bitcoin έχει πολλές ομοιότητες τόσο με το χρυσό όσο και με το δολάριο. Ωστόσο, καθώς το Bitcoin είναι αποκεντρωμένο και σε μεγάλο βαθμό ανεξέλεγκτο, δεν θα είναι ποτέ ακριβώς όπως τα νομίσματα στην αγορά σήμερα. Οι περισσότερες πτυχές του Bitcoin είναι παρόμοιες με το χρυσό, καθώς διαθέτουν παρόμοιες δυνατότητες αντιστάθμισης. Επίσης κατέληξε ότι το Bitcoin ταξινομείται κάπου ανάμεσα σε ένα νόμισμα και ένα εμπόρευμα, λόγω του αποκεντρωμένου χαρακτήρα του και του περιορισμένου μεγέθους της αγοράς. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει ότι το Bitcoin είναι λιγότερο χρήσιμο από τα κυκλοφορούντα περιουσιακά στοιχεία. Η θέση του Bitcoin στην αγορά, κατά την Dyhrberg (2016α), κατατάσσεται μεταξύ του χρυσού και του δολαρίου, σε μια κλίμακα όπου το ένα άκρο είναι καθαρό μέσο αποθήκευσης αξίας και το άλλο άκρο είναι καθαρό μέσο συναλλαγής.

Η Dyhrberg (2016β) επανήλθε με ένα άλλο άρθρο εφαρμόζοντας την ίδια μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για το χρυσό εξετάζοντας διάφορες αντισταθμιστικές ιδιότητες του Bitcoin,

$$\Delta \ln price_t = \beta_0 + \beta_1 \ln price_{t-1} + \beta_2 \Delta \ln USDEUR_t + \beta_3 \Delta \ln USDEUR_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.8)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \lambda d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (2.9)$$

$$\Delta \ln price_t = \beta_0 + \beta_1 \ln price_{t-1} + \beta_2 \Delta \ln FTSE_t + \beta_3 \Delta \ln FTSE_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.10)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \lambda d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (2.11)$$

$$\Delta \ln price_t = \beta_0 + \beta_1 \ln price_{t-1} + \beta_2 \Delta \ln USDGBP_t + \beta_3 \Delta \ln USDGBP_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.12)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \lambda d_{t-1} \varepsilon_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 \quad (2.13)$$

Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι το Bitcoin μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αντιστάθμισμα έναντι μετοχών που ανήκουν στον Δείκτη της Financial Times (FTSE) και μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί παράλληλα με το χρυσό για να ελαχιστοποιήσει συγκεκριμένους κινδύνους της αγοράς. Έτσι, το Bitcoin διαθέτει μερικές από τις ίδιες δυνατότητες αντιστάθμισης όπως ο χρυσός και μπορεί να συμπεριληφθεί στην ποικιλία εργαλείων που διαθέτουν οι αναλυτές της αγοράς για να αντισταθμίσουν τον κίνδυνο που συνδέεται με την αγορά. Σχετικά με το δολάριο τα αποτελέσματα ήταν ασαφή καθώς οι συσχετίσεις είχαν πάρα πολύ μικρές τιμές.

Τελευταία οι Baur κ.α. (2018) χρησιμοποίησαν το ίδιο δείγμα και τα οικονομετρικά μοντέλα για την αναπαραγωγή των ευρημάτων και απέδειξαν ότι η ακριβής αναπαραγωγή δεν είναι δυνατή και ότι εναλλακτικές στατιστικές μέθοδοι παρέχουν πιο αξιόπιστα, αλλά πολύ διαφορετικά αποτελέσματα. Τα ευρήματα που βασίζονται στο αρχικό δείγμα και μια παρατεταμένη περίοδο δειγματοληψίας δείχνουν ότι το Bitcoin παρουσιάζει τελείως διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης, μεταβλητότητας και συσχέτισης σε σύγκριση με άλλα περιουσιακά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένου του χρυσού και του δολαρίου ΗΠΑ. Η αποκεντρωμένη εξόρυξη του Bitcoin και η απουσία στήριξης από οποιασδήποτε κυβέρνηση που υποστηρίζει την κρυπτογράφηση συμφωνεί με τα χαρακτηριστικά του χρυσού, ενώ η ιδέα ότι το Bitcoin είναι μέσο ανταλλαγής υποδηλώνει ότι μοιάζει περισσότερο με ένα νόμισμα. Ωστόσο, τα στοιχεία που παρουσιάστηκαν σε αυτό το άρθρο δείχνουν ότι το Bitcoin διαφέρει πολύ από το χρυσό και τα κλασικά νομίσματα, με το συμπέρασμα να είναι σε πλήρη αντίθεση με τα ευρήματα της Dyhrberg (2016α). Η οικονομετρική ανάλυση των Baur κ.α. (2018) δείχνει ότι το Bitcoin έχει μοναδικά χαρακτηριστικά κινδύνου-απόδοσης, ακολουθεί διαφορετική μεταβλητότητα σε σύγκριση με άλλα περιουσιακά στοιχεία και είναι χωρίς συσχετισμό με άλλα περιουσιακά στοιχεία.

Κεφάλαιο 3: Οικονομετρική Μεθοδολογία

3.1. Διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα και αιτιότητα κατά Granger

Στην κλασική οικονομετρία εάν θέλουμε να διαμορφώσουμε ένα υπόδειγμα οι μεταβλητές στην περίπτωση που υπάρχει μία εξίσωση διακρίνονται σε εξαρτημένες και ανεξάρτητες, ενώ στην περίπτωση που υπάρχει σύστημα εξισώσεων ή ταυτόχρονα προσδιοριζόμενες εξισώσεις, σε ενδογενείς και προκαθορισμένες. Οι προκαθορισμένες μεταβλητές μπορεί να είναι εξωγενείς ή ενδογενείς με χρονική υστέρηση (Κιντής, 2010 κεφ. 25). Οι εξαρτημένες και οι ενδογενείς μεταβλητές υπεισέρχονται στο αριστερό μέρος των εξισώσεων, ενώ οι ανεξάρτητες και προκαθορισμένες περιλαμβάνονται στο δεξιό μέρος των εξισώσεων. Μια τέτοια τυποποίηση σημαίνει ότι οι μεταβλητές που βρίσκονται στο αριστερό μέρος των εξισώσεων εξαρτώνται από τις τιμές των εξηρημένων ή/και ενδογενών μεταβλητών που βρίσκονται στο δεξί μέρος. Ένα οικονομετρικό υπόδειγμα συνήθως χρησιμοποιείται για να επαληθεύσει κάποια οικονομική θεωρία, συνεπώς η διάκριση των μεταβλητών στο ποιές θα είναι στο αριστερό ή στο δεξί μέρος των εξισώσεων θεωρείται δεδομένο, επειδή απλά και μόνο προβλέπεται από κάποια οικονομική θεωρία. Η εξάρτηση μιας μεταβλητής από κάποιες άλλες μεταβλητές δε συνεπάγεται κατ' ανάγκη αιτιώδη συνάφεια. Δηλαδή η ύπαρξη μιας σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών δεν αποδεικνύει την αιτιότητα ή την κατεύθυνση της επίδρασης.

Στην περίπτωση όμως της χρηματοοικονομικής οικονομετρίας είναι πάρα πολύ συνηθισμένο να χρησιμοποιούνται παλινδρομήσεις συστημάτων χρονολογικών σειρών (Gujatarati και Porter, 2017, κεφ. 17). Στην περίπτωση αυτή επειδή εμπλέκεται ο χρόνος η κατάσταση μπορεί να είναι διαφορετική. Ο Clive Granger (1969) έβαλε στο φιλοσοφικό επίπεδο την έννοια της αιτιότητας κατά Granger δηλώνοντας ότι:

«Ο χρόνος δεν τρέχει προς τα πίσω. Δηλαδή αν το γεγονός A συμβεί πριν το γεγονός B, τότε είναι δυνατόν το A να προκαλεί το B. Ωστόσο δεν είναι δυνατόν το B να προκαλεί το A. Με άλλα λόγια τα γεγονότα που έχουν συμβεί στο παρελθόν μπορούν να προκαλέσουν άλλα γεγονότα να συμβούν σήμερα. Τα μελλοντικά γεγονότα όμως όχι».

Αυτή είναι περίπου η ιδέα πίσω από τον λεγόμενο έλεγχο αιτιότητας κατά αλλά το ζήτημα της αιτιότητας είναι βαθιά φιλοσοφικό.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο στάσιμες μεταβλητές A και B και σχηματίζουμε ένα υπόδειγμα VAR,

$$A_t = C_A + \sum_{i=1}^p K_i \times A_{t-i} + \sum_{i=1}^p \Lambda_i \times B_{t-i} + u_{At} \quad (3.1)$$

$$B_t = C_B + \sum_{i=1}^p M_i \times A_{t-i} + \sum_{i=1}^p N_i \times B_{t-i} + u_{Bt} \quad (3.2)$$

όπου στην περίπτωση αυτή όλες οι μεταβλητές είναι και εξαρτημένες και ανεξάρτητες και p είναι ο αριθμός των υστερήσεων, όπου στη γενικότερη πρακτική θεωρείται ο ίδιος και για τις δύο μεταβλητές. Ανάλογα με τη στατιστική σημαντικότητα όλων των υστερήσεων σε κάθε άθροισμα διακρίνονται τέσσερις περιπτώσεις.

- **Μονόδρομη αιτιότητα κατά Granger από το B στο A** παρουσιάζεται αν οι εκτιμημένοι συντελεστές με υστέρηση Λ_i είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικοί από το μηδέν σαν σύνολο, ενώ οι εκτιμημένοι συντελεστές με υστέρηση M_i της A στη B δεν είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικοί από το μηδέν.
- **Μονόδρομη αιτιότητα κατά Granger από το A στο B** παρουσιάζεται αν οι εκτιμημένοι συντελεστές με υστέρηση M_i είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικοί από το μηδέν σαν σύνολο, ενώ οι εκτιμημένοι συντελεστές Λ_i της B στην A δεν είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικοί από το μηδέν.

- **Αμφίδρομη αιτιότητα κατά Granger το B στο A και από το A στο B** παρουσιάζεται αν όλοι οι εκτιμημένοι συντελεστές με υστέρηση L_i και M_i είναι στατιστικά σημαντικά διαφορετικοί από το μηδέν σαν σύνολο.
- Τέλος υπάρχει **ανεξαρτησία** δηλαδή δεν υπάρχει αιτιότητα κατά Granger όταν όλα τα σύνολα των συντελεστών με υστέρηση L_i και M_i δεν είναι στατιστικά σημαντικά σε καμία από τις παλινδρομήσεις.

Σύμφωνα με τον Granger δεδομένου ότι το μέλλον δεν μπορεί να προβλέψει το παρελθόν, εάν η μεταβλητή A προκαλεί κατά Granger τη μεταβλητή B τότε οι αλλαγές στην A θα πρέπει να προηγούνται των αλλαγών στην B. Εάν λοιπόν προσθέσουμε σε μία παλινδρόμηση της B με πιθανόν άλλες μεταβλητές και τις υστερήσεις της A, στην περίπτωση που βελτιώνεται σημαντικά η πρόβλεψη τότε μπορούμε να πούμε ότι η μεταβλητή A προκαλεί κατά Granger τη μεταβλητή B. Ο ίδιος ορισμός ισχύει και αντίστροφα εάν η μεταβλητή B προκαλεί κατά Granger τη μεταβλητή A. Η διαδικασία για την εφαρμογή του ελέγχου αιτιότητας κατά Granger έχει ως εξής (Κιντής, 2010 κεφ. 25):

- Παλινδρομούμε τις τρέχουσες τιμές της μεταβλητής A με όλες τις υστερήσεις της μεταβλητής A και πιθανόν άλλες μεταβλητές αν χρειάζεται αλλά δε συμπεριλαμβάνουμε τις υστερήσεις της μεταβλητής B. Αυτό είναι το περιορισμένο υπόδειγμα παλινδρόμησης.

$$A_t = C_A + \sum_{i=1}^p K_i \times A_{t-i} + u_{At} \quad (3.3)$$

Από την παλινδρόμηση σημειώνουμε το περιορισμένο άθροισμα τετραγώνων καταλοίπων RSS_R , όπου ο δείκτης R συμβολίζει το περιορισμένο υπόδειγμα (restricted).

- Παλινδρομούμε τις τρέχουσες τιμές της μεταβλητής A με όλες τις υστερήσεις της μεταβλητής A αλλά συμπεριλαμβάνουμε και όλες τις υστερήσεις A_i της μεταβλητής B.

$$A_t = C_A + \sum_{i=1}^p K_i \times A_{t-i} + \sum_{i=1}^p \Lambda_i \times B_{t-i} + u_{At} \quad (3.4)$$

Αυτό είναι το ελεύθερο (χωρίς περιορισμούς) υπόδειγμα παλινδρόμησης και σημειώνουμε το χωρίς περιορισμούς άθροισμα τετραγώνων καταλοίπων RSS_U , όπου ο δείκτης U συμβολίζει το ελεύθερο υπόδειγμα (unrestricted)

Η μηδενική υπόθεση είναι ότι οι όροι της μεταβλητής B με χρονική υστέρηση Λ_i δεν ανήκουν στην παλινδρόμηση, δηλαδή δεν είναι στατιστικά σημαντικές και ως εκ τούτου είναι,

$H_0: \Lambda_i = 0$ για $i = 1, 2, \dots, p$ όπου p είναι ο αριθμός των υστερήσεων.

Για να γίνει έλεγχος της υπόθεσης εφαρμόζεται ο έλεγχος F ,

$$F = \frac{(RSS_R - RSS_U)/p}{RSS_U/(p - k)} \quad (3.5)$$

η οποία ακολουθεί την κατανομή F με n και $(p - k)$ βαθμούς ελευθερίας, όπου n είναι ο αριθμός των υστερήσεων και k είναι ο αριθμός των παραμέτρων που εκτιμώνται στη ελεύθερη παλινδρόμηση. Εάν η υπολογιζόμενη τιμή της κατανομής F για όλες τις υστερήσεις Λ_i (**block-F-statistics**) υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή F στο επιλεγμένο επίπεδο σημαντικότητας απορρίπτουμε τη μηδενική υπόθεση και ως εκ τούτου οι υστερήσεις της μεταβλητής B είναι διάφορες του μηδενός και παραμένουν στην παλινδρόμηση. Αυτός είναι ένας διαφορετικός τρόπος να πούμε ότι η μεταβλητή B προκαλεί κατά Granger τη μεταβλητή A .

Πριν όμως ληφθεί υπόψη ο έλεγχος αιτιότητας κατά Granger θα πρέπει να αναφερθούν αρκετά θέματα όπως:

- Η εφαρμογή της αιτιότητας κατά Granger προϋποθέτει οι δύο μεταβλητές A και B είναι στάσιμες. Στην περίπτωση που οι μεταβλητές δεν είναι στάσιμες τα αποτελέσματα δεν ισχύουν, αλλά είναι αρκετά πιθανό οι πρώτες διαφορές των μεταβλητών να καταστήσει τις σειρές στάσιμες.
- Ο αριθμός των όρων με υστέρηση που θα εισαχθούν στους ελέγχους αιτιότητας είναι ένα σημαντικό πρακτικό ερώτημα. Μπορεί να ακολουθηθούν οι τιμές των κριτηρίων πληροφορίας, αλλά πρέπει όμως να προστεθεί ότι κατεύθυνση της αιτιότητας μπορεί να εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το πλήθος των όρων με υστέρηση που θα χρησιμοποιηθούν, ιδιαίτερα αν υπάρχουν πολλές σειρές στο VAR.
- Θεωρείται ότι οι όροι σφάλματος που εισέρχονται στον έλεγχο αιτιότητας είναι ασυσχέτιστοι. Εάν αυτό δεν ισχύει ίσως απαιτείται κάποιος κατάλληλος μετασχηματισμός διαφορετικά υπάρχει περίπτωση να προκληθεί νόθα αιτιότητα κατά Granger.
- Δεδομένου ότι το ενδιαφέρον αφορά στον έλεγχο αιτιότητας κατά Granger και λαμβάνοντας υπόψη ότι τα υποδείγματα VAR είναι αθεωρητικά, δεν χρειάζεται να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα και οι εκτιμημένοι συντελεστές των υποδειγμάτων ρητά. Για εξοικονόμηση χώρου αρκούν μόνο τα αποτελέσματα του ελέγχου F .

3.2. Θεωρία συνολοκλήρωσης κατά Engle – Granger: Το υπόδειγμα διόρθωσης σφάλματος (error correction model)

Η αναφερθείσα μεθοδολογία της προηγούμενης παραγράφου προϋποθέτει ότι οι σειρές είναι στάσιμες. Υπό αυτό το πλαίσιο, η αιτιότητα κατά Granger λέγεται ότι είναι βραχυχρόνια. Υπάρχει όμως μια περίπτωση όπου οι χρονολογικές σειρές (οικονομικού χαρακτήρα κυρίως και λιγότερο χρηματοοικονομικού) να εμφανίζεται αυτό που λέγεται μακροχρόνια αιτιότητα.

Αν ξεκινήσουμε από ένα αυτοπαλίνδρομο υπόδειγμα (Hendry και Juselius, 2000; 2001)

$$y_t = \theta_1 y_{t-1} + \delta_0 x_t + \delta_1 x_{t-1} + u_t \quad (3.6)$$

στην περίπτωση που υπάρχει μακροχρόνια αιτιότητα η μακροχρόνια τάση είναι σταθερή και ανεξάρτητη από το χρόνο,

$$y = \theta_1 y + \delta_0 x + \delta_1 x \Rightarrow \quad (3.7)$$

$$y(1 - \theta_1) = (\delta_0 + \delta_1)x \Rightarrow \quad (3.8)$$

$$y = \frac{\delta_0 + \delta_1}{(1 - \theta_1)} x. \quad (3.9)$$

Μπορούμε να τροποποιήσουμε το υπόδειγμα της εξίσωσης (3.8) ώστε να συμπεριληφθεί η μακροχρόνια τάση καταλήγοντας στην,

$$\Delta y_t = -(1 - \theta_1) \left(y_{t-1} - \frac{\delta_0 + \delta_1}{(1 - \theta_1)} x_{t-1} \right) + \delta_0 \Delta x_t + u_t. \quad (3.10)$$

Χρησιμοποιώντας καινούργιες σταθερές

$$a = 1 - \theta_1 \quad (3.11)$$

$$\beta_1 = \frac{\delta_0 + \delta_1}{1 - \theta_1} \quad (3.12)$$

καταλήγουμε στην

$$\Delta y_t = -a(y_{t-1} - \beta_1 x_{t-1}) + \delta_0 \Delta x_t + u_t \quad (3.13)$$

η οποία αποτελεί τη βασική θεώρηση του υποδείγματος διόρθωσης σφάλματος (error correction model, ECM) των Engle και Granger (1987), όπου το διάνυσμα στην παρένθεση είναι το σφάλμα της απόκλισης από τη μακροχρόνια τάση.

Αν οι μεταβλητές y_t και x_t είναι μη-στάσιμες $I(1)$ (ολοκληρωμένες πρώτης τάξης), τότε οι πρώτες διαφορές τους Δy_t και Δx_t είναι στάσιμες $I(0)$ (μηδενικής τάξης), οπότε το αριστερό μέλος της συνάρτησης είναι στάσιμο. Για να έχει νόημα η παραπάνω συνάρτηση θα πρέπει και το αριστερό μέλος να είναι στάσιμο. Συνεπώς ή οι σειρές είναι συνολοκληρωμένες (κοινή μακροχρόνια τάση) το οποίο σημαίνει ότι το σφάλμα στην παρένθεση είναι στάσιμο και ο συντελεστής a διάφορος του μηδενός, ή το σφάλμα στην παρένθεση είναι μη στάσιμο $I(1)$ και ο συντελεστής a είναι μηδέν οπότε οι σειρές δεν είναι συνολοκληρωμένες.

3.3. Θεωρία συνολοκλήρωσης κατά Johansen

Εάν οι μεταβλητές του υποδείγματος συνδέονται με ένα και μοναδικό διάνυσμα συνολοκλήρωσης τότε η εκτίμησή του μπορεί να γίνει με τη μέθοδο Engle – Granger των δύο σταδίων. Όταν όμως το διάνυσμα συνολοκλήρωσης που αντιστοιχεί στη μακροχρόνια τάση δεν είναι μοναδικό, όπως μπορεί να συμβαίνει στα πολυμεταβλητά υποδείγματα, τότε η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί γιατί δεν θα δώσει συνεπή αποτελέσματα για τα διανύσματα συνολοκλήρωσης λόγω προβλήματος στην ταυτοποίηση του υποδείγματος. Ο Johansen (1991) αντιμετώπισε το πρόβλημα της ταυτοποίησης μέσω ενός υποδείγματος VAR το οποίο εκφράζεται από τη σχέση (Κιντής, 2010, κεφ. 25),

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.14)$$

όπου y_t είναι το διάνυσμα $T \times 1$ μη στάσιμων $I(1)$ μεταβλητών το οποίο διατυπώνεται σε ένα υπόδειγμα VAR p τάξης και το Π είναι ένα πίνακας $p \times p$ των παραμέτρων με την οποία πολλαπλασιάζεται το διάνυσμα των υστερήσεων Y_{t-1} των ενδογενών μεταβλητών.

Εάν ο βαθμός (ή τάξη) του Π είναι μικρότερος του p δηλαδή $r(\Pi) < p$, τότε οι μεταβλητές είναι συνολοκληρωμένες. Ο βαθμός της μήτρας Π προσδιορίζει και τον αριθμό των σχέσεων ολοκλήρωσης. Ειδικότερα δε αν υπάρχουν p ενδογενείς μεταβλητές, κάθε μία από τις οποίες είναι μη-στάσιμη τότε υπάρχουν $p-1$ διανύσματα συνολοκλήρωσης.

Η υλοποίηση της συνολοκλήρωσης κατά Johansen θεωρεί πέντε περιπτώσεις ανάλογα με την ύπαρξη τάσεων και σταθερών στο διανυσματικό υπόδειγμα διόρθωσης σφάλματος (VECM) όπου η γενική περίπτωση είναι,

$$\Delta y_t = a(\beta' y_{t-1} + \mu + \rho t) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \gamma + \tau t + \varepsilon_t. \quad (3.15)$$

Πρώτη περίπτωση: Δεν υπάρχει τάση $\tau = 0, \rho = 0, \mu = 0, \gamma = 0$

Στην περίπτωση αυτή τα επίπεδα των τιμών δεν έχουν κάποια προσδιοριστική τάση και η εξίσωση συνολοκλήρωσης δεν έχει σταθερά

$$\Delta y_t = a(\beta' y_{t-1}) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.16)$$

Δεύτερη περίπτωση: Περιορισμένη σταθερά $\tau = 0, \rho = 0, \gamma = 0$

Στην περίπτωση αυτή τα επίπεδα των τιμών δεν έχουν κάποια προσδιοριστική τάση και η εξίσωση συνολοκλήρωσης έχει σταθερά

$$\Delta y_t = a(\beta' y_{t-1} + \mu) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3.17)$$

Τρίτη περίπτωση: Μη-περιορισμένη σταθερά $\tau = 0, \rho = 0$

Στην περίπτωση αυτή τα επίπεδα των τιμών έχουν γραμμική τάση και η εξίσωση συνολοκλήρωσης έχει σταθερά

$$\Delta y_t = a(\beta' y_{t-1} + \mu) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \gamma + \varepsilon_t \quad (3.18)$$

Τέταρτη περίπτωση: Περιορισμένη τάση $\tau = 0$

Στην περίπτωση αυτή και τα επίπεδα των τιμών και η εξίσωση συνολοκλήρωσης έχουν γραμμική τάση

$$\Delta y_t = a(\beta' y_{t-1} + \mu + \rho t) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \gamma + \varepsilon_t \quad (3.19)$$

Πέμπτη περίπτωση: Μη-περιορισμένη τάση

Στην περίπτωση αυτή τα επίπεδα των τιμών έχουν τετραγωνική τάση και η εξίσωση συνολοκλήρωσης έχει γραμμική τάση,

$$\Delta y_t = a(\beta' y_{t-1} + \mu + \rho t) + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \gamma + \tau t + \varepsilon_t \quad (3.20)$$

3.4. Η αναπαράσταση δυναμικών συσχετίσεων κατά BEKK

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα υποδείγματα VAR και VECM εξαρτώνται από τη χρονική περίοδο που θα μελετηθεί, σαν επόμενο βήμα δυναμικής προσέγγισης θα χρησιμοποιηθεί το δυναμικό πολυμεταβλητό υπόδειγμα GARCH στην πλήρη αναπαράσταση κατά BEKK (Engle και Kroner, 1995). Αυτό θα γίνει γιατί η ταξινόμηση κάποιου περιουσιακού στοιχείου εμπλέκει άμεσα τη συσχέτιση. Η

γενική περίπτωση ενός τέτοιου υποδείγματος λαμβάνοντας υπόψη ότι ο πίνακας συνδιακύμανσης δύο μεταβλητών είναι συμμετρικός ως προς τη διαγώνιο, στην περίπτωση δύο χρονολογικών σειρών η πλήρης αναπαράσταση ΒΕΚΚ δίνεται από,

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} h_{11,t} & h_{12,t} \\ h_{12,t} & h_{22,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{21} \\ 0 & c_{22} \end{bmatrix} + \\
 + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} + \\
 \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11,t-1} & h_{12,t-1} \\ h_{12,t-1} & h_{22,t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} & \quad (3.21)
 \end{aligned}$$

Η πλήρης αναπαράσταση κατά ΒΕΚΚ δεν υπάρχει στα περισσότερα λογισμικά. Υπάρχουν δύο απλοποιημένες περιπτώσεις, η διαγώνια αναπαράσταση όπου οι διαγώνιοι όροι είναι μηδέν,

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} h_{11,t} & h_{12,t} \\ h_{12,t} & h_{22,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{21} \\ 0 & c_{22} \end{bmatrix} + \\
 + \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} + \\
 \begin{bmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11,t-1} & h_{12,t-1} \\ h_{12,t-1} & h_{22,t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{bmatrix} & \quad (3.22)
 \end{aligned}$$

και στη βαθμωτή αναπαράσταση όπου οι διαγώνιοι συντελεστές είναι ίδιοι,

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} h_{11,t} & h_{12,t} \\ h_{12,t} & h_{22,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{21} \\ 0 & c_{22} \end{bmatrix} + \\
 + \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} + \\
 \begin{bmatrix} b & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11,t-1} & h_{12,t-1} \\ h_{12,t-1} & h_{22,t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} & \quad (3.23)
 \end{aligned}$$

Κεφάλαιο 4: Εμπειρική ανάλυση και αποτελέσματα

4.1. Δεδομένα

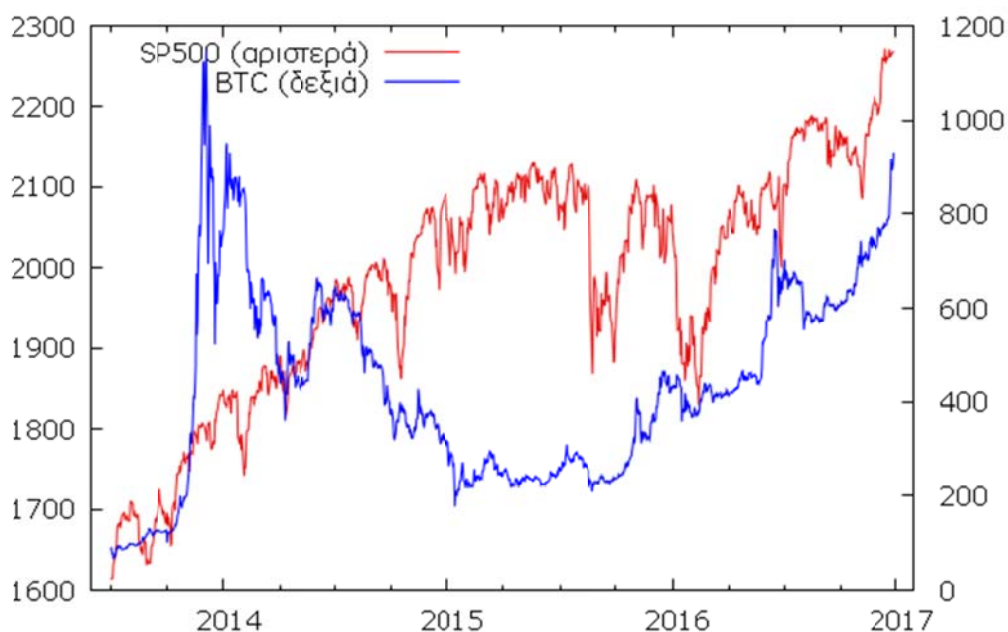
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη διπλωματική εργασία αντλήθηκαν από το finance.yahoo.com για τις τιμές κλεισίματος του δείκτη S&P500 και από τη σελίδα www.coindesk.com για τις τιμές κλεισίματος του BTC. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το BTC άρχισε να υπάρχει αρκετά νωρίτερα, ως ημερομηνία εκκίνησης τιμών θεωρούμε την 1^η Ιουλίου 2013 όπου ο δείκτης BPI ξεκίνησε. Χρησιμοποιούμε πλήρες δείγμα επτά ημερών καθώς το BTC διαπραγματεύεται συνεχώς και για τις τιμές του S&P500 το Σάββατο και την Κυριακή χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή (Dyhrberg, 2016a). Το δείγμα ξεκινά την 1^η Ιουλίου 2013 και τελειώνει στις 27 Δεκεμβρίου του 2016. Για την περίπτωση του S&P500 σε περίπτωση που τις καθημερινές κάποια τιμή λείπει είτε λόγω εορτής είτε για κάποιο άλλο λόγο, τότε χρησιμοποιείται η προηγούμενη τιμή κλεισίματος. Εάν θεωρήσουμε ότι η τιμή κλεισίματος των σειρών είναι P_t , οι αποδόσεις ορίζονται ως οι πρώτες λογαριθμικές διαφορές $r_t = (\ln P_t - \ln P_{t-1})$, πολλαπλασιασμένες επί 100 ώστε να γίνουν ποσοστά.

4.2. Περιγραφικά στατιστικά και στυλιζαρισμένη ανάλυση

Στο γράφημα 4.1 φαίνονται οι σειρές υπό μελέτη, ο χρηματιστηριακός δείκτης S&P500 (κόκκινο χρώμα, αριστερός άξονας) και η τιμή του BTC (μπλε χρώμα, δεξιός άξονας). Αυτό το διάστημα που μελετάται ο S&P500 συνεχίζει να ακολουθεί την ανοδική πορεία μετά την παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση του 2008-2009. Ενδιάμεσα μπορεί να διακρίνει κανείς διάφορες πτώσεις του δείκτη. Οι πτώσεις μέσα στο 2014 οφείλονται κυρίως στην πτώση της τιμής του πετρελαίου. Σύμφωνα με τις απόψεις διάφορων αναλυτών στα κανάλια του Reuters, CNBC κλπ, παρά το γεγονός ότι πολλοί θεώρησαν ότι η πτώση των τιμών του πετρελαίου είναι καλή είδηση για την οικονομία των ΗΠΑ, το πραγματικό ζήτημα που τέθηκε είναι ότι τα νέα ίσως είναι άσχημα για τη Ρωσία και συνεπώς, κακά νέα για την Ευρώπη επειδή

συνεργάζεται ενεργειακά με τη Ρωσία. Ως εκ τούτου τα προβλήματα στη Ρωσία μπορεί να διαχυθούν στην Ευρώπη η οποία είναι σημαντικός εμπορικός εταίρος για τις ΗΠΑ. Λαμβάνοντας υπόψη την ανοδική τάση του δολαρίου εκείνη την περίοδο η επόμενη ανησυχία είχε να κάνει με το πώς θα επηρεαστούν τα εταιρικά κέρδη στις ΗΠΑ σε περίπτωση ύφεσης των πολυεθνικών.

Γράφημα 4.1: Τιμές του χρηματιστηριακού δείκτη S&P500 (κόκκινο χρώμα) και της τιμής του BTC (μπλε χρώμα).



Η δεύτερη πτώση φαίνεται το 2015. Ο S&P500 απογοήτευσε σε μεγάλο βαθμό τους επενδυτές, κλείνοντας τη χρονιά κάτω από την τιμή που ξεκίνησε. Οι προκλήσεις που έπρεπε να ξεπεράσει ο S&P500 για να διατηρήσει τις απώλειές του υπό έλεγχο κατά το 2015 ήταν οι εξής: Οι τομείς με τις χειρότερες επιδόσεις του S&P500 το 2015 ήταν η ενέργεια και τα υλικά, και οι αιτίες ήταν προφανείς για τους επενδυτές οι οποίοι παρακολουθούσαν τις αγορές καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η πτώση των τιμών του αργού πετρελαίου συνέβαλε στην ήδη υπάρχουσα πίεση στην αγορά φυσικού αερίου και δημιούργησε απώλειες στα ενεργειακά αποθέματα, με αποτέλεσμα ο κλάδος να χάσει περίπου 23%. Ομοίως, τα αποθέματα υλικών μειώθηκαν περίπου κατά 10% καθώς οι τιμές τόσο των πολύτιμων μετάλλων όσο και των βασικών μετάλλων παρέμειναν υπό πίεση κατά το μεγαλύτερο μέρος του

έτους. Καθώς η ζήτηση για πρώτες ύλες από τους παγκόσμιους κατασκευαστές μειώθηκε εξαιτίας των υποτονικών οικονομιών πολλών σημαντικών αγορών σε όλο τον κόσμο, οι επιχειρήσεις εξόρυξης και μετάλλων έπρεπε να λάβουν δραστικά μέτρα για τη μείωση των δαπανών ώστε να παραμείνουν κερδοφόρες.

Η πτώση του 2016 οφείλεται σε δύο συμβάντα, στη μετάδοση της κρίσης της Κίνας τον Αύγουστο του 2015, και στην απόφαση του Cameron το Φεβρουάριο του 2016 να εξαγγείλει την ημερομηνία του δημοψηφίσματος σχετικά με το εάν θα έπρεπε να παραμείνει στην Ευρωζώνη ή όχι. Τα αποθέματα άρχισαν να πωλούνται σε όλο τον κόσμο λόγω της μεγάλης αστάθειας της χρηματιστηριακής αγοράς της Κίνας στις αρχές του 2016. Οι φόβοι για μια μεγαλύτερη από την αναμενόμενη επιβράδυνση στη δεύτερη μεγαλύτερη οικονομία παγκοσμίως αυξήθηκαν, γεγονός που είναι αρνητικό για αγορές όπως η Κίνα η οποία είναι ένας από τους μεγαλύτερους παράγοντες ανάπτυξης του κόσμου τα τελευταία χρόνια. Επίσης υπήρχε μεγάλη ανησυχία ότι οι κινεζικές αρχές χειροτερεύουν την κατάσταση με την προθυμία τους να υποτιμήσουν το εθνικό νόμισμα, σηματοδοτώντας μια ακόμα πιο αδύναμη οικονομική κατάσταση της Κίνας με πιθανό αντίκτυπο διάχυσης στις παγκόσμιες αγορές.

Όσον αφορά στο BTC, αρχικά δεν είχε ενδιαφέρον για τους αγοραστές παρόλα αυτά εμφάνισε μία απότομη άνοδο στο τέλος του 2013 και μία απότομη πτώση το πρώτο τρίμηνο του 2014. Η άνοδος της τιμής του BTC αποδίδεται σε δύο γεγονότα. Στις 11 Νοεμβρίου 2013, πραγματοποιήθηκε ακρόαση από το Κογκρέσο στην Επιτροπή Εσωτερικής Ασφάλειας και Κυβερνητικών Υποθέσεων για τη διερεύνηση των επιπτώσεων των εικονικών νομισμάτων και των κρυπτονομισμάτων στην πραγματική οικονομία. Και οι τρεις μαρτυρίες από τους υπαλλήλους της διοίκησης διαβεβαίωσαν ότι η χρήση του BTC ήταν νόμιμη και ότι δεν θα χρειαστούν νέα ή περαιτέρω ρυθμιστικά ζητήματα. Τελικά, οι περισσότεροι μάρτυρες υποστήριξαν αυτές τις απόψεις, ως αποτέλεσμα της προσεκτικής διπλωματίας από τους δικηγόρους της Bitcoin, και τα σχόλια για το Bitcoin ήταν εξαιρετικά θετικά. Παράλληλα, το Νοέμβριο του 2013 οι χρήστες του μεγαλύτερου χρηματιστηρίου του BTC, Mtgox, που χειρίζονταν το 70% των παγκόσμιων συναλλαγών, είχαν σοβαρά προβλήματα κατά την ανάληψη μετρητών, τα οποία αρκετές φορές

επεκτάθηκαν σε χρονικό διάστημα αρκετών εβδομάδων. Σύντομα, διαπιστώθηκε ότι, λόγω προβλήματος ασφαλείας, BTC αξίας 350 εκατομμυρίων δολαρίων είχαν κλαπεί και αφαιρεθεί από την κυκλοφορία. Κατά συνέπεια, το BTC άρχισε να διαπραγματεύεται στο Mtgox με ένα σημαντικό ασφάλιστρο των 200 δολαρίων κατά μέσο όρο αλλά ταυτόχρονα υπήρξε ξαφνική αύξηση της ρευστότητας. Αυτό αποδείχθηκε απάτη λόγω του γεγονότος ότι ένα BTC θα μπορούσε να διαπραγματεύεται δύο φορές στο σύστημα Mtgox, αλλά να υπολογίζεται μόνο μία φορά.

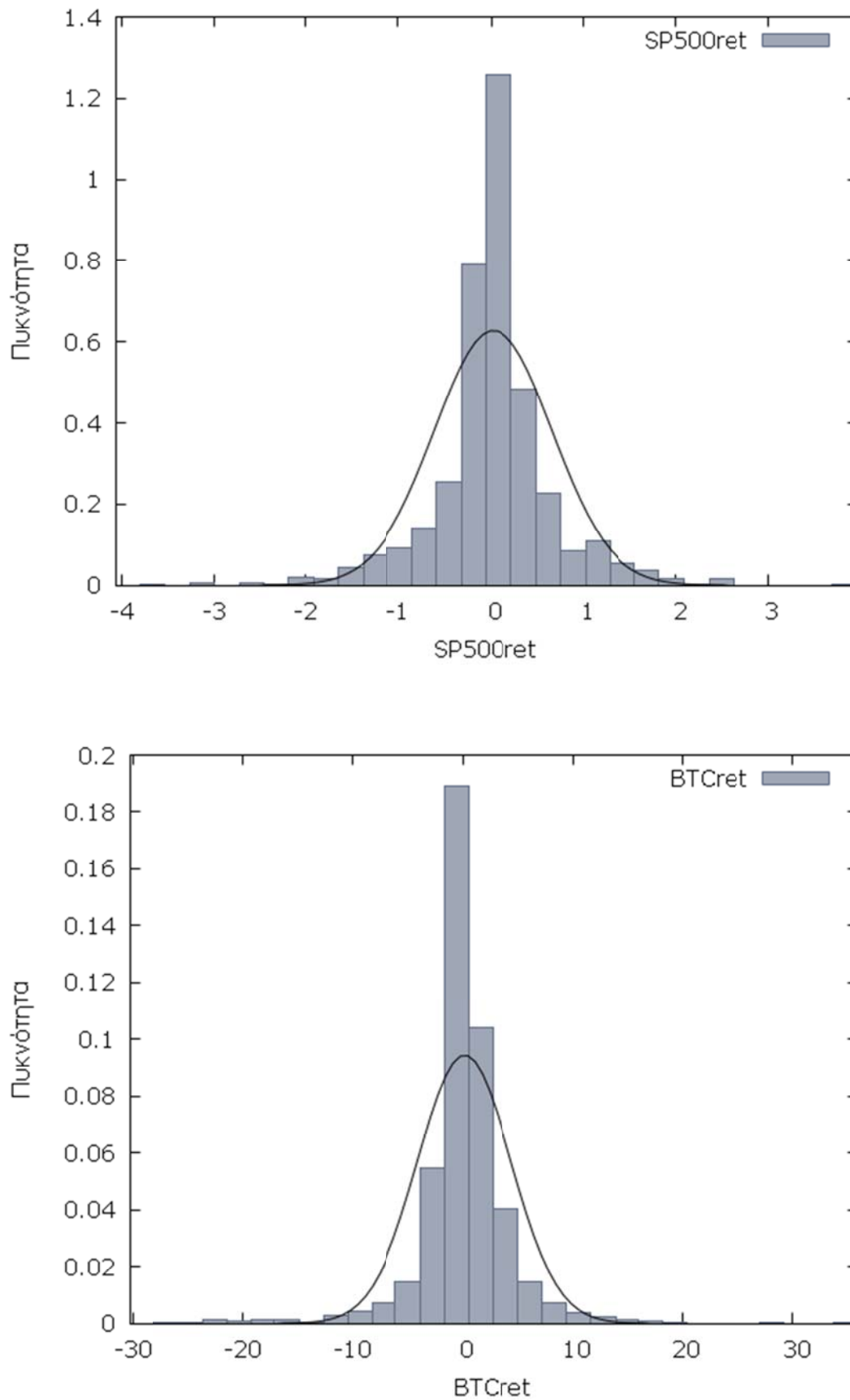
Στον Πίνακα 4.1 δείχνονται τα περιγραφικά στατιστικά για τα επίπεδα τιμών του δείκτη S&P500 και του BTC καθώς και για τις αποδόσεις των δύο σειρών υπό εξέταση (IdS&P500 και IdGold αντίστοιχα).

Πίνακας 4.1 Περιγραφικά στατιστικά των δεικτών υπό εξέταση και των αποδόσεών τους

| Στατιστικά μέτρα | S&P500 | BTC | IdS&P500 | IdBTC |
|----------------------------|----------|----------|-----------|----------|
| Μέσος | 1983.9 | 431.53 | 0.026665 | 0.18810 |
| Διάμεσος | 2019.4 | 416.97 | 0.0030551 | 0.14208 |
| Ελάχιστο | 1614.1 | 66.340 | -3.6581 | -26.962 |
| Μέγιστο | 2271.7 | 207.59 | 3.8291 | 34.777 |
| Τυπική απόκλιση | 147.69 | 473.18 | 0.63520 | 4.2256 |
| Συντελεστής μεταβλητότητας | 0.074447 | 0.48105 | 23.822 | 22.464 |
| Ασυμμετρία | -0.59715 | 0.42650 | -0.16721 | -0.27508 |
| Κύρτωση-3 | -0.42953 | -0.37852 | 4.8182 | 12.346 |
| 5% εκατοστημόριο | 1689.5 | 117.58 | -1.0444 | -5.6611 |
| 95% εκατοστημόριο | 2180.0 | 788.83 | 1.1181 | 6.0826 |
| Ενδοτεταρτημοριακό εύρος | 215.40 | 345.87 | 0.46416 | 2.6757 |

Χαρακτηριστικό των σειρών των αποδόσεων είναι η πολύ μεγάλη διαφορά στις τυπικές αποκλίσεις των αποδόσεων του BTC και του S&P500 το οποίο οφείλεται στις μεγάλες διακυμάνσεις της τιμής του BTC σε αντίθεση με την ομαλότερη μεταβολή των τιμών του S&P500. Στην ίδια λογική παρά το γεγονός ότι οι κατανομές των αποδόσεων είναι και οι δύο λεπτόκυρτες, οι αποδόσεις του BTC εμφανίζουν τριπλάσια κύρτωση από την αντίστοιχη του S&P500, τα ελάχιστα και τα μέγιστα των αποδόσεων των δύο σειρών έχουν πολύ μεγάλες διαφορές, οι οποίες αντανακλώνονται τόσο στα εκατοστημόρια όσο και στο ενδοτεταρτημοριακό εύρος.

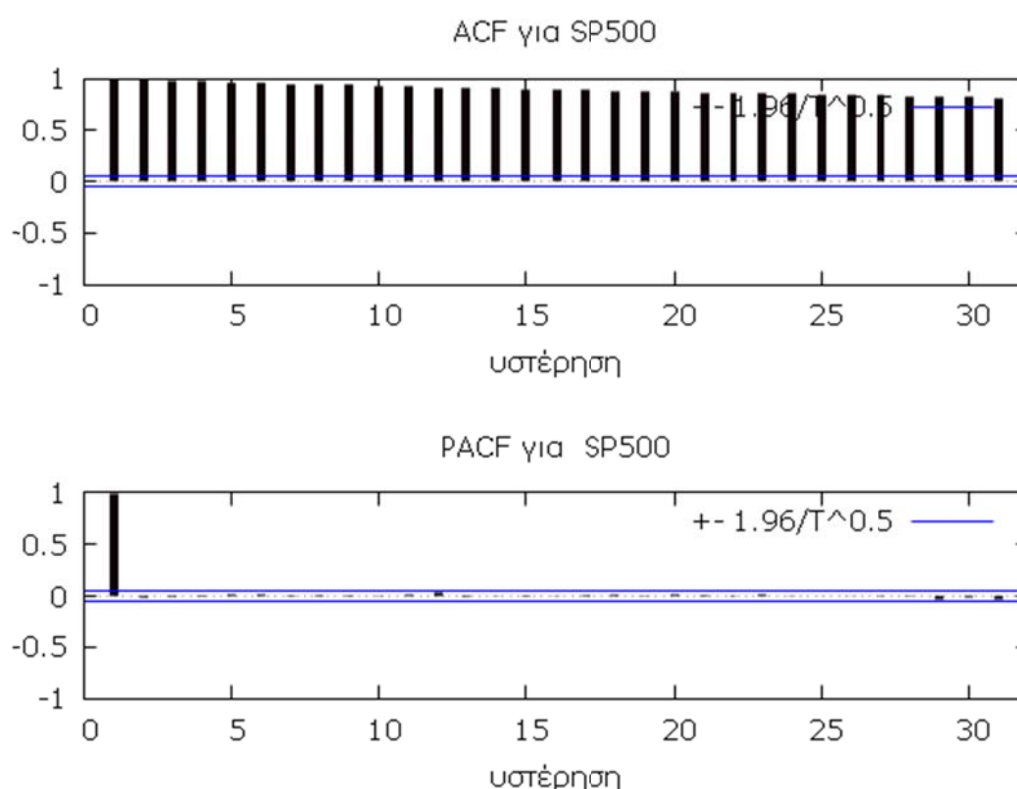
Γράφημα 4.2: Κατανομή αποδόσεων για τον S&P500 (επάνω) και το BTC (κάτω).



Το γράφημα 4.2 δείχνει ένα ιστόγραμμα της κατανομής των αποδόσεων του S&P500 (επάνω) και του BTC (κάτω) σε σύγκριση με την κανονική κατανομή (μαύρη γραμμή).

Στη συνέχεια εξετάζουμε τις συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για τις τιμές και των δύο σειρών. Στο γράφημα 4.3 δείχνεται η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για τον S&P500.

Γράφημα 4.3: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για τον S&P500.



Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης για τον S&P500 πέφτει πολύ αργά σε σχέση με τον αριθμό των υστερήσεων. Όλοι οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης είναι στατιστικά σημαντικοί, γεγονός το οποίο είναι μια πρώτη ένδειξη για πιθανή ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας λόγω της μεγάλης τιμής του συντελεστή της πρώτης υστερήσης 0.9925 (πίνακας 4.2). Η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης πρακτικά δείχνει ότι αν εξαιρεθεί η πρώτη υστερήση, οι συντελεστές των υπολοίπων υστερήσεων έχουν

μικρές τιμές και δεν είναι στατιστικά σημαντικές, γεγονός το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι πρώτες διαφορές ή οι πρώτες λογαριθμικές διαφορές πιθανόν να λύσουν το πρόβλημα της ύπαρξης μοναδιαίας ρίζας και να οδηγήσουν τη σειρά σε στασιμότητα. Ο πίνακας 4.2 δείχνει τις τιμές των συντελεστών αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για τον S&P500 όπου φαίνεται και εδώ η αργή πτώση και η στατιστική σημαντικότητα των συντελεστών για τη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης των επιπέδων των τιμών και αντίστοιχα γρήγορη πτώση των τιμών των συντελεστών στην περίπτωση της μερικής αυτοσυσχέτισης, όπου μόνο ο πρώτος όρος είναι στατιστικά σημαντικός.

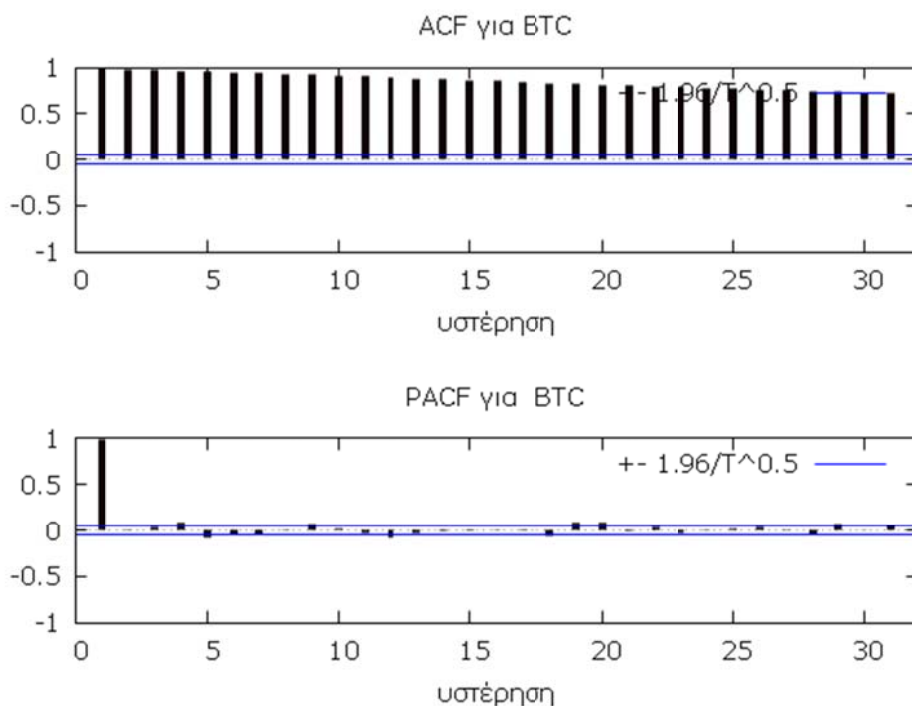
Πίνακας 4.2: Συντελεστές αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για το δείκτη S&P500

| Υστέρηση | ACF | PACF |
|----------|---------|---------|
| 1 | 0.9925* | 0.9925* |
| 2 | 0.9847* | -0.0103 |
| 3 | 0.9768* | -0.0081 |
| 4 | 0.9688* | 0.0223 |
| 5 | 0.9612* | 0.0196 |
| 6 | 0.9540* | 0.0098 |
| 7 | 0.9470* | 0.0097 |
| 8 | 0.9403* | 0.0117 |
| 9 | 0.9337* | 0.0096 |
| 10 | 0.9271* | -0.0040 |

Σημείωση: Το () υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%*

Αντίστοιχα αποτελέσματα ισχύουν και για την περίπτωση των επιπέδων των τιμών και των αποδόσεων του BTC. Στο γράφημα 4.4 δείχνονται οι συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για τα επίπεδα τιμών του BTC και στον πίνακα 4.3 οι τιμές των συντελεστών συναρτήσεων των υστερήσεων. Παρατηρείται και εδώ μία αργή πτώση της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης του BTC με μεγάλη τιμή του συντελεστή της πρώτης υστέρησης 0.9905, γρήγορη πτώση των τιμών των συντελεστών στην περίπτωση της μερικής αυτοσυσχέτισης, όπου εκτός από τον πρώτο όρο στατιστική σημαντικότητα εμφανίζουν αρκετοί επόμενοι όροι.

Γράφημα 4.4: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για το BTC.



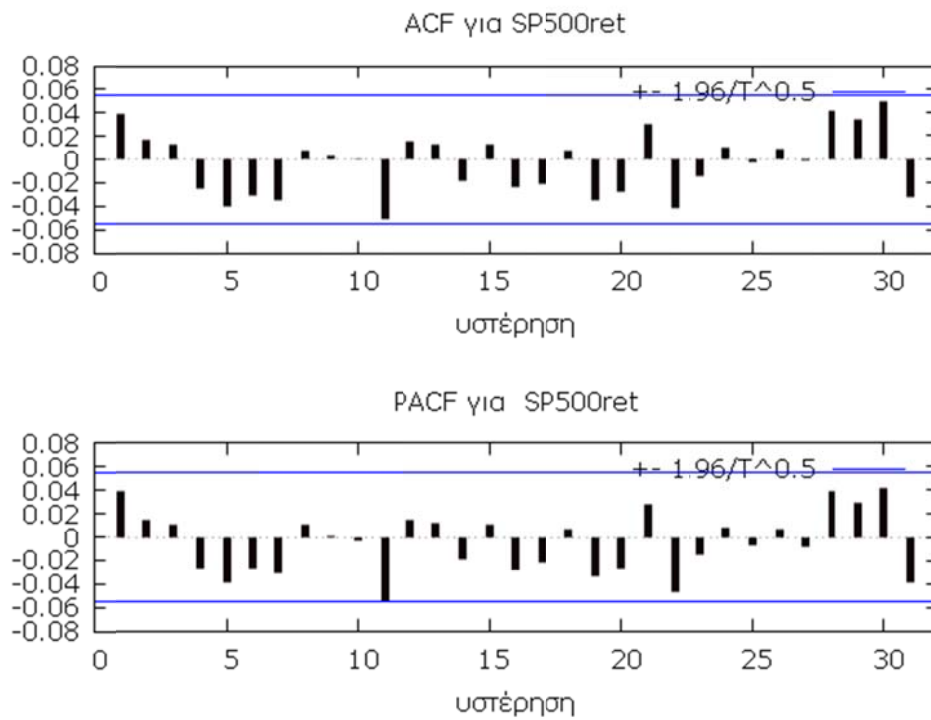
Πίνακας 4.3: Συντελεστές αυτοσυσχέτισης και μερικής αυτοσυσχέτισης για το BTC

| Υστέρηση | ACF | PACF |
|----------|---------|----------|
| 1 | 0.9905* | 0.9905* |
| 2 | 0.9812* | 0.0052 |
| 3 | 0.9727* | 0.0388 |
| 4 | 0.9657* | 0.0785* |
| 5 | 0.9573* | -0.0785* |
| 6 | 0.9479* | -0.0473* |
| 7 | 0.9376* | -0.0569* |
| 8 | 0.9279* | 0.0062 |
| 9 | 0.9194* | 0.0620* |
| 10 | 0.9115* | 0.0257 |

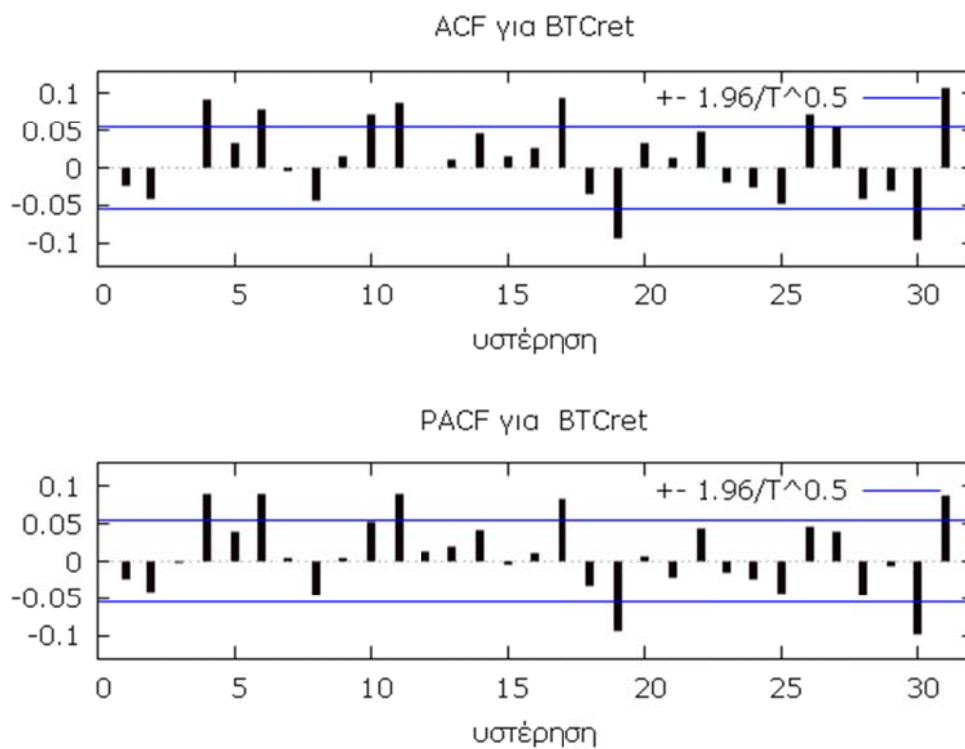
Σημείωση: Το (*) υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%

Στα γραφήματα 4.5 και 4.6 δείχνονται οι αντίστοιχες συναρτήσεις συσχέτισης για τις αποδόσεις του σειρών του S&P500 και BTC.

Γράφημα 4.5: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για τις αποδόσεις του S&P500.



Γράφημα 4.6: Συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης (επάνω) και μερικής αυτοσυσχέτισης (κάτω) για τις αποδόσεις του BTC.



Οι τιμές των συντελεστών παρότι είναι στατιστικά σημαντικές έχουν πολύ μικρές τιμές σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των επιπέδων των σειρών, ως εκ τούτου οι αποδόσεις των σειρών φαίνεται να είναι στάσιμες, γεγονός το οποίο θα εξεταστεί παραπέρα με οικονομετρικές τεχνικές.

4.3. Έλεγχος μοναδιαίων ριζών και στασιμότητας

Η βασική προϋπόθεση που θέτει το θεώρημα αναπαράστασης Granger είναι οι υπό εξέταση χρονολογικές σειρές να είναι στάσιμες. Σε περίπτωση όπου η στασιμότητα δεν ισχύει θα πρέπει να καθοριστεί το επίπεδο στο οποίο αυτές γίνονται στάσιμες. Για να ελέγξουμε εάν οι σειρές είναι στάσιμες ή εμφανίζουν μοναδιαία ρίζα θα χρησιμοποιηθούν οι έλεγχοι που προσφέρει το λογισμικό, ο επαυξημένος Dickey-Fuller (ADF), ο επαυξημένος Dickey-Fuller με τη μέθοδο γενικευμένων ελαχίστων τετραγώνων (ADF-GLS), η μέθοδος των Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) και ο έλεγχος Phillips-Perron (PP)². Θα ξεκινήσουμε χρησιμοποιώντας αρχικά μία μέγιστη υστέρηση 30 προς τα κάτω. Οι έλεγχοι θα πραγματοποιηθούν για τρεις περιπτώσεις, χωρίς σταθερό όρο, με σταθερό όρο, καθώς και με σταθερό όρο και τάση (σε όποιους ελέγχους είναι διαθέσιμες από το GRETl). Η εκκίνηση θα γίνει χρησιμοποιώντας αρχικά 30 υστερήσεις και οι έλεγχοι θα γίνουν ξεκινώντας από την μεγαλύτερη υστέρηση προς τα κάτω. Η επιλογή θα γίνει με τη χρήση τριών κριτηρίων, το Akaike (1974) (AIC), το Schwarz (1978) (BIC), και την t-στατιστική. Η αρχική προσέγγιση του Akaike³ όσον αφορά στο κριτήριό του ήταν ,

$$AIC = -2l(\hat{\theta}) + 2k \quad (4.1)$$

όπου $l(\hat{\theta})$ είναι η συνάρτηση μεγίστης πιθανοφάνειας που δίνεται από,

² Ο έλεγχος Phillips-Perron για μοναδιαία ρίζα δεν υπάρχει εγγενώς στο GRETl και χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο πακέτο PPtest 0.1 (2012-08-23) του Riccardo Lucchetti.

³ Το πρόβλημα του κριτηρίου Akaike σαν μέτρο σύγκρισης είναι οι πολλές παραλλαγές που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία και κυρίως σε βιβλία εκπαιδευτικού χαρακτήρα, όπως των Davidson και MacKinnon, του Greene και του Ramanathan (Gretl User's Guide, 2018).

$$l(\hat{\theta}) = -\frac{n}{2}(1 + \log 2\pi - \log n) - \frac{n}{2}SSR \quad (4.2)$$

όπου SSR είναι το άθροισμα των τετραγωνικών καταλοίπων (sum of squared residuals) και το k είναι ο αριθμός των συντελεστών της παλινδρόμησης, δηλαδή ο αριθμός των παραμέτρων που εκτιμήθηκαν. Αν αντικαταστήσουμε την εξίσωση (4.2) στην (4.1) καταλήγουμε στην έκφραση που χρησιμοποιείται στο λογισμικό GRETL,

$$AIC = n \log \frac{SSR}{n} + 2k + n(1 + \log 2\pi) \quad (4.3)$$

Αντίστοιχα, για τα υπόλοιπα κριτήρια τα αποτελέσματα της εργασίας εξήχθησαν χρησιμοποιώντας τους τύπους του GRETL, $BIC = -2l(\hat{\theta}) + k \log n$, και Hannan-Quinn (1979) (HQC) = $-2l(\hat{\theta}) + 2k \log \log n$.

Οι πίνακες 4.4 και 4.5 δείχνουν τα αποτελέσματα των ελέγχων μοναδιαίας ρίζας για τις περιπτώσεις των επιπέδων των τιμών για τον S&P500 (πίνακας 4.4) και το BTC (πίνακας 4.5). Στον πίνακα δείχνονται μια σειρά αποτελεσμάτων τα οποία ερμηνεύονται ως εξής:

Ο έλεγχος ADF για το επίπεδο τιμών του S&P500 δείχνει ότι η σειρά έχει μοναδιαία ρίζα, καθώς η μηδενική υπόθεση της ύπαρξης μοναδιαίας ρίζας δεν μπορεί να απορριφθεί λόγω των υψηλών τιμών της τιμής- p και στις τρεις περιπτώσεις (χωρίς σταθερό όρο, με σταθερό όρο, και με σταθερό όρο και τάση). Η ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας επιβεβαιώνεται από όλα τα κριτήρια πληροφορίας που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπροσθέτως, είναι κρίσιμο το υπόδειγμα του ελέγχου να είναι καλώς ορισμένο το οποίο σημαίνει ότι η αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων θα πρέπει να είναι μηδέν, το οποίο ισχύει αφού είναι μηδέν με ακρίβεια δύο δεκαδικών για όλα τα κριτήρια πληροφορίας.

Το κριτήριο ADF-GLS επίσης επιβεβαιώνει την ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας είτε με την τιμή $-p$ (με σταθερό όρο), είτε με τη στατιστική ελέγχου (με σταθερό όρο και τάση).

Το κριτήριο KPSS έχει σαν μηδενική υπόθεση ότι η σειρά είναι στάσιμη και ως εκ τούτου σύμφωνα με τον πίνακα 4.4 η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και η σειρά S&P500 έχει μοναδιαία ρίζα.

Τέλος, ο έλεγχος Phillips-Perron χρησιμοποιώντας το κριτήριο πληροφορίας AIC δείχνει ότι η σειρά S&P500 έχει μοναδιαία ρίζα και για τις τρεις περιπτώσεις.

Ένα κρίσιμο σημείο για τα υποδείγματα μοναδιαίας ρίζας το οποίο δείχνει ότι το αποτέλεσμα του ελέγχου είναι καλώς ορισμένα είναι η αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων να είναι μηδέν. Σε όλες τις περιπτώσεις η αυτοσυσχέτιση είναι μηδέν με ακρίβεια δύο δεκαδικών για όλα τα κριτήρια πληροφορίας.

Πίνακας 4.4: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για τον S&P500

| S&P500 | | | |
|---|----------|----------|--------------|
| ADF | AIC | BIC | t-statistics |
| Χωρίς σταθερό όρο (τιμή-p) | 0.9528 | 0.9528 | 0.966 |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.041 | 0.041 | -0.001 |
| Με σταθερό όρο (τιμή-p) | 0.2906 | 0.3169 | 0.5782 |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | -0.001 | 0.042 | -0.001 |
| Με σταθερό όρο και τάση (τιμή-p) | 0.09133 | 0.1206 | 0.2618 |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | -0.001 | 0.046 | 0.001 |
| <hr/> | | | |
| ADF-GLS | AIC | BIC | |
| Με σταθερό όρο (τιμή-p) | 0.8462 | 0.8462 | |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.041 | 0.041 | |
| Με σταθερό όρο και τάση (στατιστική ελέγχου) | -2.03494 | -2.03494 | |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.044 | 0.044 | |
| <hr/> | | | |
| KPSS (στατιστική ελέγχου) | | | |
| Με σταθερό όρο | 11.1726* | | |
| Με σταθερό όρο και τάση | 1.97409* | | |
| <hr/> | | | |
| PP | | | |
| Χωρίς σταθερό όρο (τιμή-p) | 0.9510 | | |
| Με σταθερό όρο (τιμή-p) | 0.3078 | | |
| Με σταθερό όρο και τάση (τιμή-p) | 0.1013 | | |

Σημείωση: Το () υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%, και οι αγκύλες συμβολίζουν τιμή-p.*

Ο πίνακας 4.5 δείχνει τα αποτελέσματα των ελέγχων για ύπαρξη μοναδιαίας ρίζας στο επίπεδο των τιμών του BTC. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι αντίστοιχη με

αυτή του προηγούμενου πίνακα και όλοι οι έλεγχοι ADF, ADF-GLS, PP δείχνουν ότι η μηδενική υπόθεση ότι οι σειρές έχουν μοναδιαία ρίζα δεν μπορεί να απορριφθεί. Όπως προαναφέρθηκε η μηδενική υπόθεση του ελέγχου KPSS είναι ότι η σειρά είναι στάσιμη και όπως φαίνεται στον πίνακα 4.5 η μηδενική υπόθεση δεν ισχύει και η σειρά του BTC έχει μοναδιαία ρίζα.

Πίνακας 4.5: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για το BTC

| BTC | | | |
|---|----------|----------|--------------|
| ADF | AIC | BIC | t-statistics |
| Χωρίς σταθερό όρο | 0.7763 | 0.7576 | 0.7763 |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.002 | 0.003 | 0.002 |
| Με σταθερό όρο | 0.4858 | 0.4529 | 0.4858 |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.002 | 0.004 | 0.002 |
| Με σταθερό όρο και τάση | 0.7546 | 0.7226 | 0.7546 |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.002 | 0.004 | 0.002 |
| ADF-GLS | | | |
| | AIC | BIC | |
| Με σταθερό όρο | 0.7153 | 0.6926 | |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.002 | 0.003 | |
| Με σταθερό όρο και τάση (στατιστική έλεγχου) | -1.49827 | -1.56653 | |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.002 | 0.004 | |
| KPSS (στατιστική έλεγχου) | | | |
| Με σταθερό όρο | 1.92206* | | |
| Με σταθερό όρο και τάση | 1.56029* | | |
| PP | | | |
| Χωρίς σταθερό όρο | 0.7594 | | |
| Με σταθερό όρο | 0.4796 | | |
| Με σταθερό όρο και τάση | 0.7351 | | |

Σημείωση: Το () υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%, και οι αγκύλες συμβολίζουν τιμή-p.*

Εφόσον οι σειρές παρουσιάζουν μοναδιαία ρίζα θα πρέπει να ελεγχθεί κατά πόσον οι αποδόσεις των σειρών είναι στάσιμες και ως εκ τούτου δε θα χρειαστεί παραπέρα διαφόριση. Σημειώνεται ότι το θεώρημα αναπαράστασης Granger ισχύει μόνο για στάσιμες σειρές $I(0)$. Στην περίπτωση όπου οι μεταβλητές στον έλεγχο του θεωρήματος Granger είναι $I(1)$ θα πρέπει να διαφοριστούν ώστε να γίνουν στάσιμες. Στην περίπτωση που οι αποδόσεις δεν είναι στάσιμες χρειάζεται παραπέρα διαφόριση γιατί στην περίπτωση αυτή τα επίπεδα των σειρών είναι $I(2)$.

Οι πίνακες 4.6 και 4.7 δείχνουν τα αποτελέσματα των ελέγχων μοναδιαίας για τις αποδόσεις του S&P500 (πίνακας 4.6) και αντίστοιχα για το BTC (πίνακας 4.7).

Πίνακας 4.6: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για τις αποδόσεις του S&P500
IdS&P500

| ADF | AIC | BIC | t-statistics |
|--------------------------|-------------|-------------|--------------|
| Χωρίς σταθερό όρο | 3.418e-024* | 3.418e-024* | 2.502e-024* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | -0.001 | -0.001 | 0.001 |
| Με σταθερό όρο | 2.031e-027* | 2.031e-027* | 4.736e-015* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | -0.001 | -0.001 | -0.001 |
| Με σταθερό όρο και τάση | 3.664e-084* | 3.664e-084* | 9.154e-015* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | -0.001 | -0.001 | -0.001 |

| ADF-GLS | AIC | BIC |
|---|-------------|-------------|
| Με σταθερό όρο | 1.346e-039* | 1.346e-039* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.000 | 0.000 |
| Με σταθερό όρο και τάση (στατιστική ελέγχου) | -19.6834* | -19.6834* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.000 | 0.000 |

KPSS (στατιστική ελέγχου)

| | |
|-------------------------|-----------|
| Με σταθερό όρο | 0.0766793 |
| Με σταθερό όρο και τάση | 0.0477178 |

PP

| | |
|-------------------------|---------|
| Χωρίς σταθερό όρο | 0.0000* |
| Με σταθερό όρο | 0.0000* |
| Με σταθερό όρο και τάση | 0.0000* |

Σημείωση: Το (*) υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%, και οι αγκύλες συμβολίζουν τιμή-p.

Πίνακας 4.7: Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας για τις αποδόσεις του BTC

| IdBTC | | | |
|---|-------------|-------------|--------------|
| ADF | AIC | BIC | t-statistics |
| Χωρίς σταθερό όρο | 5.696e-011* | 4.179e-018* | 5.696e-011* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Με σταθερό όρο | 6.35e-010* | 1.564e-020* | 6.35e-010* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| Με σταθερό όρο και τάση | 4.644e-009* | 7.444e-082* | 4.644e-009* |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.001 | 0.001 | 0.001 |
| <hr/> | | | |
| ADF-GLS | AIC | BIC | |
| Με σταθερό όρο | 0.03067* | 0.03067* | |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.000 | 0.000 | |
| Με σταθερό όρο και τάση (στατιστική ελέγχου) | -3.74778* | -3.74778* | |
| Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | 0.001 | 0.001 | |
| <hr/> | | | |
| KPSS (στατιστική ελέγχου) | | | |
| Με σταθερό όρο | 0.248747 | | |
| Με σταθερό όρο και τάση | 0.225015 | | |
| <hr/> | | | |
| PP | | | |
| Χωρίς σταθερό όρο | 0.0000* | | |
| Με σταθερό όρο | 0.0000* | | |
| Με σταθερό όρο και τάση | 0.0000* | | |

Σημείωση: Το () υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%, και οι αγκύλες συμβολίζουν τιμή-p.*

Σύμφωνα με τα προαναφερθέντα φαίνεται ότι οι αποδόσεις των σειρών επιλύουν το πρόβλημα της μοναδιαίας ρίζας. Σε όλες τις περιπτώσεις τα υποδείγματα των ελέγχων είναι καλώς ορισμένα και στις περισσότερες από τις περιπτώσεις η αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων είναι μηδέν με ακρίβεια τρίτου δεκαδικού.

4.4. Έλεγχος συνολοκλήρωσης κατά Engle-Granger και Johansen

Πριν προχωρήσουμε στην εξέταση της ύπαρξης πιθανής βραχυχρόνιας αιτιότητας μεταξύ του S&P500 και του BTC θα πρέπει να εξεταστεί κατά πόσον οι σειρές εμφανίζουν κοινή μακροχρόνια τάση. Σε περίπτωση που υπάρχει κοινή μακροχρόνια τάση τότε οι σειρές είναι συνολοκληρωμένες και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το θεώρημα αναπαράστασης Granger διότι παίρνοντας τις αποδόσεις χάνεται η μακροχρόνια τάση και η μακροχρόνια αιτιότητα και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν δεν είναι σωστά. Ο έλεγχος για συνολοκλήρωση θα γίνει με δύο τρόπους, κατά Engle-Granger και κατά Johansen. Στην περίπτωση του υποδείγματος Engle-Granger θα χρησιμοποιήσουμε τις τρεις βασικές περιπτώσεις ως προς το διάνυσμα συνολοκλήρωσης, χωρίς σταθερό όρο, με σταθερό όρο, και με σταθερό όρο και τάση, δηλαδή,

$$SP500_t = \beta \cdot BTC_t + u_t \quad (4.4)$$

$$SP500_t = a + \beta \cdot BTC_t + u_t \quad (4.5)$$

$$SP500_t = a + \gamma \cdot t + \beta BTC_t + u_t \quad (4.6)$$

Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή βέλτιστης τάξης υστέρησης θα γίνει χρησιμοποιώντας τα κριτήρια πληροφορίας και ο έλεγχος θα γίνει από τη μεγαλύτερη αρχική υστέρηση της τα κάτω.

Στον πίνακα 4.8 δείχνονται τα αποτελέσματα του ελέγχου κατά Engle-Granger για την ύπαρξη συνολοκλήρωσης.

Πίνακας 4.8: Έλεγχος συνολοκλήρωσης Engle-Granger

| Έλεγχος συνολοκλήρωσης | p-τιμή | Αυτοσυσχέτιση καταλοίπων | Στατιστική F |
|-------------------------|--------|--------------------------|-----------------------------|
| Χωρίς σταθερό όρο | 0.1962 | -0.002 | F(6, 1262) = 9.550 [0.0000] |
| Με σταθερό όρο | 0.4965 | 0.036 | - |
| Με σταθερό όρο και τάση | 0.1968 | -0.001 | - |

Σημείωση: Οι αγκύλες συμβολίζουν τιμή-p.

Η μηδενική υπόθεση είναι ότι τα κατάλοιπα των εξισώσεων 4.4-4.6 δεν είναι στάσιμα και ως εκ τούτου δεν υπάρχει συνολοκλήρωση μεταξύ των δύο σειρών. Είναι φανερό από της τιμές-ρ ότι η μηδενική υπόθεση δεν μπορεί να απορριφθεί το οποίο σημαίνει ότι οι σειρές δεν είναι συνολοκληρωμένες. Ο έλεγχος του πρώτου υποδείγματος (Εξ. 4.5) χρησιμοποίησε 6 υστερήσεις οι οποίες από την τιμή - ρ της στατιστικής F φαίνεται ότι είναι στατιστικά σημαντικές και η αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων είναι πρακτικά μηδέν με ακρίβεια περίπου τρίτου δεκαδικού.

Ο έλεγχος συνολοκλήρωσης κατά Engle-Granger θεωρεί είναι γνωστό ποια μεταβλητή είναι η ανεξάρτητη και ποια η εξαρτημένη. Στην πράξη αυτό δεν είναι πάντα δεδομένο και η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν θεωρείται τόσο ακριβής όσο του Johansen. Άρα θα εφαρμόσουμε και τη μεθοδολογία κατά Johansen για τον S&P500 και το BTC και για τις πέντε περιπτώσεις.

Πίνακας 4.9: Αποτελέσματα συνολοκλήρωσης S&P500 και BTC για τις πέντε περιπτώσεις κατά Johansen

Περίπτωση 1: Όχι σταθερά

| Βαθμός | Ιδιοτιμή | Έλεγχος Ίχνους | ρ-τιμή | Έλεγχος Lmax | ρ-τιμή |
|--------|----------|----------------|----------|--------------|----------|
| 0 | 0.003221 | 5.8148 | [0.4589] | 4.1136 | [0.6136] |
| 1 | 0.001333 | 1.7013 | [0.2254] | 1.7013 | [0.2252] |

Περίπτωση 2: Περιορισμένη σταθερά

| Βαθμός | Ιδιοτιμή | Έλεγχος Ίχνους | ρ-τιμή | Έλεγχος Lmax | ρ-τιμή |
|--------|----------|----------------|----------|--------------|----------|
| 0 | 0.004953 | 10.14 | [0.6318] | 6.3308 | [0.7496] |
| 1 | 0.002983 | 3.8088 | [0.4532] | 3.8088 | [0.4523] |

Περίπτωση 3: Μη-περιορισμένη σταθερά

| Βαθμός | Ιδιοτιμή | Έλεγχος Ίχνους | ρ-τιμή | Έλεγχος Lmax | ρ-τιμή |
|--------|----------|----------------|----------|--------------|----------|
| 0 | 0.003682 | 6.8457 | [0.6015] | 4.7025 | [0.7771] |
| 1 | 0.00168 | 2.1432 | [0.1432] | 2.1432 | [0.1432] |

Περίπτωση 4: Περιορισμένη τάση, μη-περιορισμένη σταθερά

| Βαθμός | Ιδιοτιμή | Έλεγχος Ίχνους | ρ-τιμή | Έλεγχος Lmax | ρ-τιμή |
|--------|----------|----------------|----------|--------------|----------|
| 0 | 0.007452 | 12.677 | [0.7633] | 9.5374 | [0.6734] |
| 1 | 0.00246 | 3.1399 | [0.8498] | 3.1399 | [0.8514] |

Περίπτωση 5: Μη-περιορισμένη τάση και σταθερά

| Βαθμός | Ιδιοτιμή | Έλεγχος Ίχνους | ρ-τιμή | Έλεγχος Lmax | ρ-τιμή |
|--------|----------|----------------|----------|--------------|----------|
| 0 | 0.007382 | 12.474 | [0.2803] | 9.4463 | [0.4579] |
| 1 | 0.002372 | 3.0276 | [0.0819] | 3.0276 | [0.0819] |

Σημείωση: Οι αγκύλες συμβολίζουν τιμή-ρ.

Τα αποτελέσματα του πίνακα 4.9 δείχνουν ότι δεν υπάρχει συνολοκλήρωση στις σειρές του S&P500 και του BTC για οποιαδήποτε από τις πέντε περιπτώσεις. Η ανάγνωση του πίνακα και για τις πέντε περιπτώσεις γίνεται βηματικά ως εξής:

Στην περίπτωση για παράδειγμα που θεωρούμε το υπόδειγμα χωρίς σταθερά, η πρώτη στήλη δείχνει το βαθμό συνολοκλήρωσης. Η μηδενική υπόθεση είναι ότι δεν υπάρχει κανένα διάνυσμα συνολοκλήρωσης, δηλαδή ο βαθμός ολοκλήρωσης των σειρών είναι μηδέν. Εάν η τιμή- p είναι μεγαλύτερη από 0.05 αποδεχόμαστε τη μηδενική υπόθεση και θεωρούμε ότι οι σειρές δεν είναι συνολοκληρωμένες.

Εάν η τιμή- p είναι μικρότερη από 0.05 τότε η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και θεωρούμε ότι υπάρχει ένα τουλάχιστον διάνυσμα συνολοκλήρωσης. Προχωρούμε στον επόμενο έλεγχο εάν ο βαθμός συνολοκλήρωσης είναι όντως ένα, όπου εδώ η μηδενική υπόθεση είναι ότι υπάρχει ένα διάνυσμα συνολοκλήρωσης. Εάν η τιμή- p είναι μεγαλύτερη από 0.05 υπάρχει ένα διάνυσμα συνολοκλήρωσης.

Σε περίπτωση που η τιμή- p είναι μικρότερη από 0.05 δηλαδή δεν υπάρχει τουλάχιστον ένα διάνυσμα συνολοκλήρωσης, αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν 2 διανύσματα συνολοκλήρωσης. Εφόσον έχουμε δύο σειρές δεν είναι δυνατόν να έχουμε δύο διανύσματα συνολοκλήρωσης και η εξήγηση είναι ότι οι σειρές είναι στάσιμες.

Χρησιμοποιώντας και τις δύο μεθοδολογίες κατά Engle-Granger και Johansen συμπεραίνουμε ότι οι σειρές δεν είναι συνολοκληρωμένες, και η παραπέρα ανάλυση θα πρέπει να γίνει στις πρώτες διαφορές ή στις πρώτες λογαριθμικές διαφορές (αποδόσεις).

4.5. Έλεγχος βραχυχρόνιας αιτιότητας

Εφόσον οι σειρές δεν είναι συνολοκληρωμένες θα χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα αναπαράστασης Granger για να ελέγξουμε για βραχυχρόνια αιτιότητα. Η ανάλυση ξεκινάει από την επιλογή υστερήσεων συναρτήσει διαφόρων κριτηρίων.

Πίνακας 4.10: Επιλογή υστερήσεων σύμφωνα με τα τρία κριτήρια AIC, BIC, HQC.

| Υστέρηση | Λογ.-πιθανοφάνεια | $\rho(LR)$ | AIC | BIC | HQC |
|----------|-------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | -4814.97446 | | 7.630997 | 7.647279* | 7.637115* |
| 2 | -4812.92077 | 0.39167 | 7.634079 | 7.666644 | 7.646315 |
| 3 | -4812.77463 | 0.99031 | 7.640182 | 7.689029 | 7.658536 |
| 4 | -4805.42771 | 0.00538 | 7.634882 | 7.700012 | 7.659354 |
| 5 | -4802.29616 | 0.18034 | 7.636257 | 7.71767 | 7.666847 |
| 6 | -4794.36222 | 0.0032 | 7.630027* | 7.727723 | 7.666736 |
| 7 | -4792.7039 | 0.5063 | 7.633735 | 7.747714 | 7.676562 |
| 8 | -4790.51911 | 0.35829 | 7.63661 | 7.766871 | 7.685554 |
| 9 | -4789.71431 | 0.80706 | 7.64167 | 7.788213 | 7.696732 |
| 10 | -4787.48303 | 0.34701 | 7.64447 | 7.807297 | 7.705651 |

Σημείωση: Το () υποδηλώνει τη βέλτιστη επιλογή υστέρησης για κάθε κριτήριο πληροφορίας.*

Σύμφωνα με τον πίνακα 4.10 το κριτήριο AIC προτείνει τη χρήση έξι υστερήσεων, ενώ τα κριτήρια BIC και HQC προτείνουν μία υστέρηση. Μπορούμε να ξεκινήσουμε την ανάλυση από μία υστέρηση όπως προτείνουν τα πιο φειδωλά κριτήρια και στη συνέχεια να επεκτείνουμε την ανάλυση στις 4 ή 6 υστερήσεις για επιβεβαίωση.

Ο πίνακας 4.11 δείχνει τα αποτελέσματα για τη βραχυχρόνια αιτιότητα των διανυσματικών αυτοπαλίνδρομων υποδειγμάτων για 1,4 και 6 υστερήσεις. Η μηδενική υπόθεση είναι ότι δεν υπάρχει βραχυχρόνια αιτιότητα κατά Granger και παρατηρούμε ότι κατά μέσο όρο δεν μπορεί να απορριφθεί για καμία από τις υστερήσεις που χρησιμοποιήθηκαν.

Ως εκ τούτου δεν υπάρχει βραχυχρόνια αιτιότητα κατά Granger ούτε από το BTC προς τον S&P500, ούτε αντίστροφα.

Πίνακας 4.11: Έλεγχος στατιστικής block-F για βραχυχρόνια αιτιότητα κατά Granger για τις αποδόσεις S&P500 και BTC.

| F-έλεγχοι μηδενικών περιορισμών: | | | |
|----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------|
| Εξίσωση IdS&P500 (1 υστέρηση) | αιτιότητα | block-F | p-τιμή |
| Όλες οι υστερήσεις της IdS&P500 | | $F(1, 1271) = 0.71895$ | 0.3966 |
| Όλες οι υστερήσεις της IdBTC | Id_BTC \rightarrow Id_S&P500 | $F(1, 1271) = 3.7518$ | 0.0530 |
| Εξίσωση IdBTC (1 υστέρηση) | | | |
| Όλες οι υστερήσεις της IdS&P500 | Id_S&P500 \rightarrow Id_BTC | $F(1, 1271) = 0.035913$ | 0.8497 |
| Όλες οι υστερήσεις της IdBTC | | $F(1, 1271) = 0.20040$ | 0.6545 |
| F-έλεγχοι μηδενικών περιορισμών: | | | |
| Εξίσωση IdS&P500 (4 υστερήσεις) | αιτιότητα | block-F | p-τιμή |
| Όλες οι υστερήσεις της IdS&P500 | | $F(4, 1262) = 0.44830$ | 0.7737 |
| Όλες οι υστερήσεις της IdBTC | Id_BTC \rightarrow Id_S&P500 | $F(4, 1262) = 1.1757$ | 0.3197 |
| Εξίσωση Id_BTC (4 υστερήσεις) | | | |
| Όλες οι υστερήσεις της IdS&P500 | Id_S&P500 \rightarrow Id_BTC | $F(4, 1262) = 1.0021$ | 0.4053 |
| Όλες οι υστερήσεις της IdBTC | | $F(4, 1262) = 3.3750$ | 0.0093 |
| F-έλεγχοι μηδενικών περιορισμών: | | | |
| Εξίσωση Id_S&P500 (6 υστερήσεις) | αιτιότητα | block-F | p-τιμή |
| Όλες οι υστερήσεις της IdS&P500 | | $F(6, 1256) = 0.42238$ | 0.8644 |
| Όλες οι υστερήσεις της IdBTC | Id_BTC \rightarrow Id_S&P500 | $F(6, 1256) = 1.2136$ | 0.2964 |
| Εξίσωση Id_BTC (6 υστερήσεις) | | | |
| Όλες οι υστερήσεις της IdS&P500 | Id_S&P500 \rightarrow Id_BTC | $F(6, 1256) = 0.69131$ | 0.6567 |
| Όλες οι υστερήσεις της IdBTC | | $F(6, 1256) = 4.4855$ | 0.0002 |

Σημείωση: Το (*) υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%.

4.6. Δυναμικές συσχετίσεις αποδόσεων S&P500 και BTC

Λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός, όπως προαναφέρθηκε, ότι τα διανυσματικά αυτοπαλίνδρομα υποδείγματα είναι στατικού χαρακτήρα, πέρα από την ύπαρξη ή όχι της μακροχρόνιας ή βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger, θα πρέπει να εξεταστεί και η δυναμική συσχέτιση των δύο αποδόσεων για να επιβεβαιωθεί η ταξινόμηση του BTC. Η αναπαράσταση του πολυμεταβλητού υποδείγματος BEKK, στην περίπτωση των δύο μεταβλητών είναι,

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} h_{11,t} & h_{12,t} \\ h_{12,t} & h_{22,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} c_{11} & 0 \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_{11} & c_{21} \\ 0 & c_{22} \end{bmatrix} + \\
+ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}' &\begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-1}^2 & \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} \\ \varepsilon_{1,t-1}\varepsilon_{2,t-1} & \varepsilon_{2,t-1}^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} + \\
\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}' &\begin{bmatrix} h_{11,t-1} & h_{12,t-1} \\ h_{12,t-1} & h_{22,t-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{4.7}$$

όπου $h_{ii,t}$ είναι η διακύμανση κάθε σειράς, $h_{ij,t}$ είναι η συνδιακύμανση και η δυναμική συσχέτιση υπολογίζεται ως $\rho_{12,t} = h_{12,t}/\sqrt{h_{11,t}h_{22,t}}$. Τα αποτελέσματα της εφαρμογής του υποδείγματος⁴ δείχνονται στον πίνακα 4.12 όπου θεωρούμε ότι οι αποδόσεις των δύο σειρών είναι $r_{1(2)} = \mu_{1(2)} + \varepsilon_{t1(2)}$, όπου οι υποδείκτες 1(2) αντιστοιχούν στον S&P500 και στο BTC αντίστοιχα.

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα του διμεταβλητού υποδείγματος BEKK για τις αποδόσεις του S&P500 και του BTC.

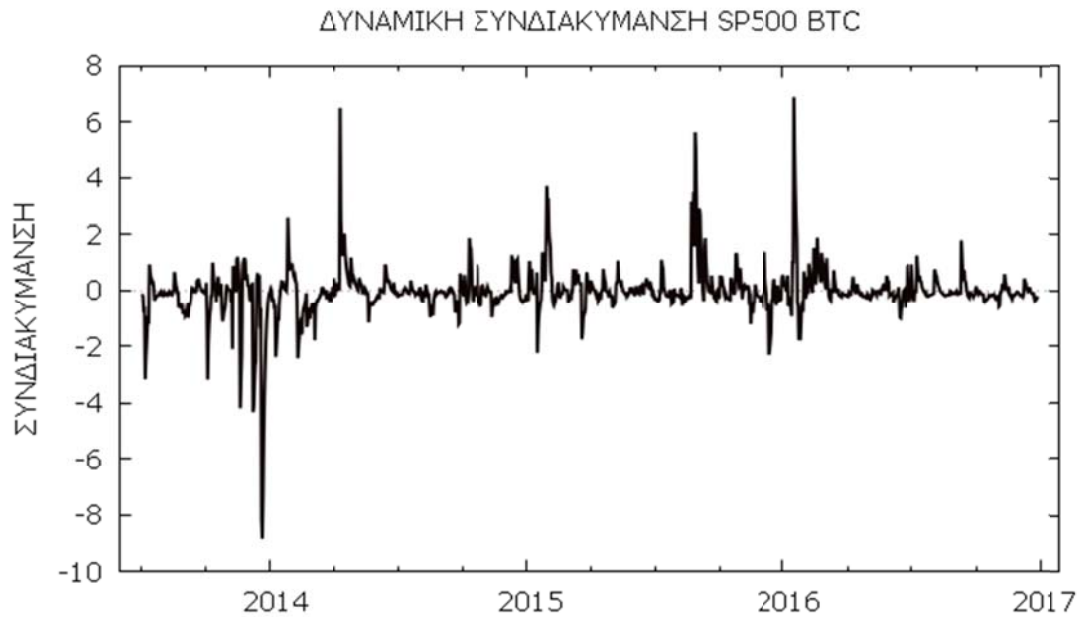
| Συντελεστής | Τιμή | Τυπικό σφάλμα | z-τιμή | p-τιμή |
|-------------|----------|---------------|---------|-----------|
| c_{11} | 0.206341 | 0.0468704 | 4.402 | 1.07e-05* |
| c_{21} | 0.166447 | 0.223165 | 0.7458 | 0.4558 |
| c_{22} | 0.793177 | 0.321845 | 2.464 | 0.0137* |
| b_{11} | 0.886624 | 0.044979 | 19.71 | 1.70E-86* |
| b_{12} | -0.36161 | 0.253809 | -1.425 | 0.1542 |
| b_{21} | 0.002182 | 0.003976 | 0.5489 | 0.5831 |
| b_{22} | 0.872612 | 0.06635 | 13.15 | 1.66E-39* |
| a_{11} | 0.327742 | 0.075967 | 4.314 | 1.60E-05* |
| a_{12} | 0.826006 | 0.56827 | 1.454 | 0.1461 |
| a_{21} | -0.00586 | 0.009296 | -0.6303 | 0.5285 |
| a_{22} | 0.472569 | 0.13611 | 3.472 | 0.0005* |

Σημείωση: Το (*) υποδηλώνει στατιστική σημαντικότητα σε επίπεδο 95%.

Τα αποτελέσματα δείχνουν σαφώς ότι μόνο τα διαγώνια στοιχεία των πινάκων είναι στατιστικά σημαντικά. Το γεγονός ότι όλα τα μη-διαγώνια στοιχεία δεν είναι στατιστικά σημαντικά σημαίνει ανεξαρτησία. Η συνδιακύμανση των αποδόσεων των δύο σειρών δείχνεται στο γράφημα 4.7. Φαίνεται ότι οι τιμές εναλλάσσονται μεταξύ θετικών και αρνητικών τιμών με μεγάλες αιχμές.

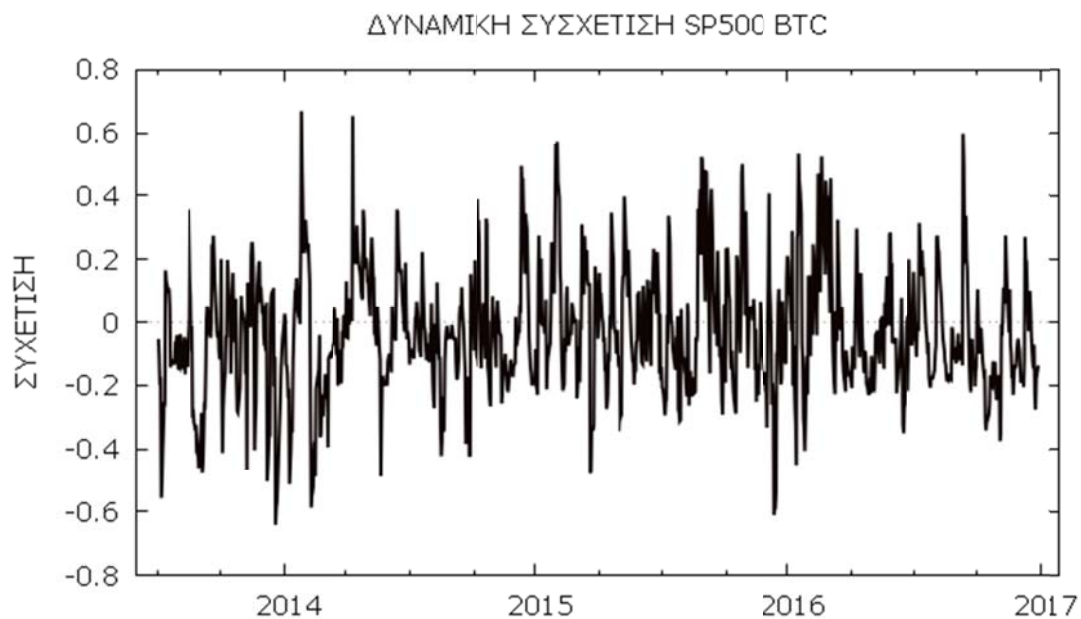
⁴ Το βαθμωτό υπόδειγμα κατά BEKK δεν υπάρχει εγγενώς στο GRETl και χρησιμοποιήθηκε το πρόσθετο πακέτο MGARCH 0.3 (2017-04-27) του Riccardo Lucchetti.

Γράφημα 4.7: Συνδιακύμανση των αποδόσεων του S&P500 και BTC.



Σε γενικές γραμμές πάντως, η συνδιακύμανση δεν προτιμάται σαν στατιστικό μέγεθος σε τέτοιες περιπτώσεις λόγω του γεγονότος ότι οι μέσες τιμές καθώς και οι αποκλίσεις από τις μέσες τιμές των σειρών μπορεί να είναι διαφορετικού μεγέθους ή κλίμακας, και το περισσότερο βάρος πέφτει στην ανάλυση των συσχετίσεων.

Γράφημα 4.8: Δυναμική συσχέτιση των αποδόσεων S&P500 και BTC.



Στο γράφημα 4.8 δείχνεται η συσχέτιση των αποδόσεων των δύο σειρών. Το πρόσημο της συσχέτισης των δύο σειρών φαίνεται επίσης ότι ακολουθεί πολύ μεγάλες εναλλαγές στο πρόσημό της. Αυτό επιβεβαιώνει την άποψη ότι το Bitcoin μπορεί να ταξινομηθεί ως ασθενές αντιστάθμισμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η σχέση του Bitcoin με τον κυριότερο δείκτη του χρηματιστηρίου των ΗΠΑ S&P500 και η ταξινόμησή του ως αντιστάθμισμα, διαφοροποιητής ή ασφαλές καταφύγιο.

Τα αρχικά υποδείγματα διανυσματικής αυτοπαλινδρόμησης και διόρθωσης σφάλματος δείχνουν ότι δεν υπάρχει συνολοκλήρωση μεταξύ των δύο σειρών, είτε μελετώντας τα κατά Engle-Granger είτε σύμφωνα με τη συνολοκλήρωση κατά Johansen. Αυτό αποκλείει την ύπαρξη μακροχρόνιας αιτιότητας κατά Granger και ως εκ τούτου, στη συνέχεια η ανάλυση έγινε στις αποδόσεις των δεικτών παίρνοντας τις πρώτες λογαριθμικές διαφορές. Τα αποτελέσματα των διανυσματικών αυτοπαλινδρομων υποδειγμάτων δεν δείχνουν την ύπαρξη βραχυχρόνιας αιτιότητας κατά Granger ως εκ τούτου υπάρχει ανεξαρτησία.

Στη συνέχεια για να ελεγχθεί η θεωρητική προσέγγιση των Baur και Lucey (2010), και Baur και McDermott (2010, 2016) και να ταξινομηθεί το Bitcoin βάσει της συσχέτισης εξετάστηκε η δυναμική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων των δύο δεικτών. Οι δυναμικές συσχετίσεις έχουν πολύ μεγάλη ταλάντωση γύρω από το μηδέν για όλο το διάστημα υπό μελέτη, γεγονός το οποίο σίγουρα ταξινομεί το Bitcoin ως ασθενές αντιστάθμισμα. Το βασικό πρόβλημα με τη συσχέτιση είναι αφενός μεν ότι λαμβάνει υπόψη το γραμμικό μόνο μέρος κάποιας σχέσης και κυριότερα, αφετέρου όπως λέει και το όνομά της δείχνει κάποια σχέση και όχι αιτιότητα.

Συνεπώς για την ταξινόμηση του Bitcoin χρειάζονται και οι δύο κατηγορίες υποδειγμάτων. Οι μεν δυναμικές συσχετίσεις είναι ένα δυναμικό υπόδειγμα αλλά δεν μπορεί να επιβεβαιώσει τυχόν βραχυχρόνια αιτιότητα, ενώ τα διανυσματικά αυτοπαλινδρομα μπορούν να δείξουν αιτιότητα αλλά κατά μέσο όρο στο χρονικό υπό ανάλυση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ

Κιντής Α. (2010), Σύγχρονη Οικονομετρική Ανάλυση - τόμος Β, Gutenberg, Αθήνα

Cottrell, A. and Lucchetti, R. (2018), Gretl User's Guide, March 2018.

Gujarati, D.N. και Porter, D.C. (2017), Οικονομετρία αρχές και εφαρμογές, Τζιόλας, Αθήνα.

ΑΡΘΡΟΓΡΑΦΙΑ

Akaike, H. (1974) A new look at the statistical model identification. IEEE Transactions on Automatic Control, AC-19, 716–723.

Bai, Y. and Green, C.J. (2010) International diversification strategies: revisited from the risk perspective. Journal of Banking and Finance, 34, 236–245.

Baur, D.G. and Lucey, B.M. (2010) Is Gold a Hedge or a Safe Haven? An Analysis of Stocks, Bonds and Gold. The Financial Review, 45, 217–229.

Baur, D.G. and McDermot, T.K. (2010) Is gold a safe haven? International evidence. Journal of Banking & Finance, 34, 1886–1898.

Baur, D.G. and McDermott, T.K.J. (2016) Why is gold a safe haven? Journal of Behavioral and Experimental Finance, 10, 63-71.

Baur, D.G., Dimpfl, T. and Kuck, K. (2018) Bitcoin, gold and the US dollar – A replication and extension. Finance Research Letters, 25, 103-110.

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

Capie, F., Mills, T.C. and Wood, G. (2005) Gold as a hedge against the dollar. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 15, 343–352.

Chandar, N., Patro, D.K. and Yezegel, A. (2009) Crises, contagion and cross-listings. *Journal of Banking and Finance*, 33, 1709–1729.

Draper, P., Faff, R.W. and Hillier, D. (2006) Do precious metals shine? An investment perspective. *Financial Analysts Journal*, 62, 98–106.

Dyhrberg, A., 2016 α . Bitcoin, gold and the dollar –A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*, 16, 85–92

Dyhrberg, A., 2016 β . Hedging capabilities of Bitcoin. Is it the virtual gold? *Finance Research Letters*, 16, 139–144.

Engle, R.F. and Granger, C.W.J. (1987) Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, 55, 251-276.

Engle, R.F. and Kroner, K.F. (1995) Multivariate simultaneous generalized ARCH. *Econometric Theory*, 11, 122–150.

Francis, B.B., Hasan, I. and Sun, X. (2008) Financial market integration and the value of global diversification: evidence for US acquirers in cross-border mergers and acquisitions. *Journal of Banking and Finance*, 32, 1522–1540.

Faugere, C. and Van Erlich, J. (2005) The price of gold: A global required yield theory. *Journal of Investing*, 14, 99–111.

Granger, C.W.J. (1969) Co-Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica* Vol. 37, No. 3, 424-438.

Glosten, L.R., Jagannathan, R. and Runkle, D. (1993) On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *Journal of Finance*, 48, 1779–1801.

Hannan, E.J. and Quinn, B.G. (1979) The determination of the order of an autoregression., *Journal of the Royal Statistical Society, B* 41, 190–195.

Hendry, D. and Juselius, K. (2000) Explaining Cointegration Analysis: Part 1. *The Energy Journal*, 21, 1-42.

Hendry, D. and Juselius, K. (2001) Explaining Cointegration Analysis: Part II. *The Energy Journal*, 2001, 22, 75-120.

Johansen, S. (1991) Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models. *Econometrica*, 59, 1551–1580.

Kaul, A. and Sapp, S. (2006) Y2K fears and safe haven trading of the U.S. dollar. *Journal of International Money and Finance*, 25, 760–779.

Lucey, B.M., Poti, V. and Tully, E. (2006) International portfolio formation, skewness and the role of gold. *Frontiers in Finance and Economics*, 3, 1–17.

Phillips, P.C.B. and Perron, P. (1988) Testing for a Unit Root in Time Series Regression. *Biometrika*, 75, 335–346.

Ranaldo, A. and Söderlind, P. (2007) Safe haven currencies. *Universität St. Gallen Discussion Paper*, No. 2007-22.

Schwarz, G. (1978) Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6, 461–464.

Tully, E. and Lucey, B.M. (2007) A power GARCH examination of the gold market.
Research in International Business and Finance, 21, 316–325.