



Σχολή Κοινωνικών Επιστημών  
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα:  
Τραπεζική, Χρηματοοικονομική & Χρηματοοικονομική  
Τεχνολογία

Η επίδραση ασύμμετρων κρίσεων στις χρηματοπιστωτικές αγορές:  
Συγκριτική ανάλυση της 11ης Σεπτεμβρίου και της πανδημίας COVID-19

Αθανασία Κουλού

166601

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Δότσης Γεώργιος

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Καινούργιος Δημήτριος

Αθήνα, Μάιος 2026

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

*«Σε όσους πίστεψαν σε εμένα»*

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη διεξοδική ανάλυση και σύγκριση της δυναμικής της μεταβλητότητας και της διαχείρισης του ακραίου κινδύνου στον δείκτη S&P 500, εστιάζοντας σε δύο από τις πιο εμβληματικές περιόδους χρηματοοικονομικής αστάθειας του 21ου αιώνα: τις τρομοκρατικές επιθέσεις της 11ης Σεπτεμβρίου 2001 και την παγκόσμια υγειονομική κρίση της πανδημίας COVID-19 το 2020. Αντικείμενο της έρευνας είναι η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο εξωγενή σοκ διαφορετικής φύσης —γεωπολιτικά και βιολογικά— μεταφράζονται σε συστηματική αβεβαιότητα εντός των κεφαλαιαγορών.

Η μεθοδολογική προσέγγιση βασίζεται στην εφαρμογή του Εκθετικού υποδείγματος GARCH (EGARCH), το οποίο επιλέχθηκε λόγω της μοναδικής του ικανότητας να συλλαμβάνει την ασυμμετρία στις αποδόσεις, ενσωματώνοντας παράλληλα την κατανομή t-Student για τη μοντελοποίηση της λεπτοκύρτωσης. Η χρήση της συγκεκριμένης κατανομής κρίθηκε επιβεβλημένη, καθώς η παραδοσιακή κανονική κατανομή αποτυγχάνει συστηματικά να ποσοτικοποιήσει την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων αρνητικών γεγονότων, γνωστά και ως «παχιές ουρές» (fat tails). Σύμφωνα με τον Brooks (2019), η ενσωμάτωση τέτοιων χαρακτηριστικών είναι απαραίτητη για την ακριβή εκτίμηση της μεταβλητότητας σε περιόδους πανικού.

Τα εμπειρικά αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι, παρά τις δομικές διαφορές των δύο κρίσεων, και οι δύο χαρακτηρίζονται από υψηλή εμμονή στη μεταβλητότητα και έντονο φαινόμενο μόχλευσης (leverage effect), όπου τα αρνητικά σοκ αυξάνουν τη διακύμανση πολύ περισσότερο από τα θετικά. Ωστόσο, η κρίση του 2020 αποδείχθηκε στατιστικά πιο βίαιη, με σημαντικά χαμηλότερους βαθμούς ελευθερίας στην κατανομή t, υποδηλώνοντας έναν πιο εκρηκτικό κίνδυνο. Η μελέτη ολοκληρώνεται με τον υπολογισμό και το Backtesting του Value-at-Risk (VaR), αποδεικνύοντας ότι το μοντέλο EGARCH-t προσφέρει μια αξιόπιστη θωράκιση, προβλέποντας με ακρίβεια το εύρος των ζημιών ακόμη και υπό τις ακραίες συνθήκες του 2020. Τα συμπεράσματα της διατριβής προσφέρουν κρίσιμα εργαλεία για επενδυτές και ρυθμιστικές αρχές που επιδιώκουν τη θωράκιση των χαρτοφυλακίων τους απέναντι σε μελλοντικές συστηματικές διαταραχές.

# The impact of asymmetric crises on financial markets: A comparative analysis of September 11 and the COVID-19 pandemic

Athanasia Koulou

## Abstract

This master's thesis provides a comprehensive comparative analysis of volatility dynamics and tail risk management within the S&P 500 index, specifically examining two of the most profound exogenous shocks of the 21st century: the terrorist attacks of September 11, 2001, and the global COVID-19 pandemic in 2020. The primary objective is to investigate how fundamentally different crises—geopolitical and biological—manifest as systemic uncertainty and impact the structural behavior of financial markets.

The research methodology is centered on the Exponential GARCH (EGARCH) model, chosen for its sophisticated capacity to capture volatility asymmetry and the leverage effect. Crucially, the model is estimated using a Student's t-distribution framework to account for leptokurtosis. This transition from the Gaussian assumption is vital, as traditional models often underestimate the probability of extreme negative returns, or "fat tails." According to Tsay (2010), modeling such characteristics is essential for robust risk assessment during periods of heightened market distress.

The empirical findings demonstrate that while both crises induced severe market turbulence, the COVID-19 shock was statistically more explosive. Although high volatility persistence was observed in both samples, the 2020 period exhibited a more significant asymmetric response to negative news and much heavier tails in the return distribution, as indicated by lower degrees of freedom. This suggests that the biological nature of the pandemic created a more violent pricing of risk compared to the 2001 geopolitical event. Furthermore, the study evaluates the practical efficacy of these models through the calculation and rigorous backtesting of Value-at-Risk (VaR). Utilizing Kupiec and Christoffersen tests, the results validate the EGARCH-t model's reliability, confirming its ability to forecast catastrophic losses even during the unprecedented market regime of 2020. This dissertation concludes that integrating asymmetric volatility modeling with non-normal distributions is an indispensable strategy for modern financial risk management and regulatory oversight in an increasingly unstable global economy.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract .....	5
Περιεχόμενα .....	6
Κατάλογος Γραφημάτων.....	9
Κατάλογος Πινάκων .....	10
Ακρωνύμια.....	11
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Γενικό πλαίσιο και οριοθέτηση του θέματος .....	12
1.1.1 Η φύση του προβλήματος και το οικονομικό περιβάλλον .....	12
1.1.2 Η επιστημονική και πρακτική σημαντικότητα της έρευνας.....	12
1.1.3 Θεματική και αντικειμενική οριοθέτηση της μελέτης .....	13
1.1.4 Χρονικός προσδιορισμός και ερευνητικές υποθέσεις.....	13
1.2 Η έννοια της ασύμμετρης κρίσης και των εξωγενών σοκ .....	14
1.2.1 Θεωρητική θεμελίωση των εξωγενών διαταραχών.....	14
1.2.2 Η ασύμμετρη φύση της μεταβολής του κινδύνου .....	14
1.2.3 Ψυχολογία των επενδυτών και συμπεριφορική ασυμμετρία .....	15
1.3 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα .....	15
1.3.1 Ο αντικειμενικός σκοπός της μελέτης.....	15
1.3.2 Κεντρικά ερευνητικά ερωτήματα .....	16
1.3.3 Συμβολή στην υπάρχουσα βιβλιογραφία.....	17
1.4 Μεθοδολογικό πλαίσιο.....	17
1.4.1 Η προσέγγιση της οικονομετρικής μοντελοποίησης.....	17
1.4.2 Το εκθετικό μοντέλο GARCH (EGARCH) και η διαχείριση της ασυμμετρίας.....	18
1.4.3 Μέτρηση κινδύνου και διαγνωστικές δοκιμασίες.....	18
2. Θεωρητικό υπόβαθρο και μηχανισμοί των ασύμμετρων κρίσεων.....	19
2.1 Εισαγωγή στη θεωρητική προσέγγιση των εξωγενών σοκ .....	19
2.1.1 Ορισμός και ταξινόμηση των διαταραχών.....	19
2.1.2 Η θεωρία της μετάδοσης και της διάχυσης του κινδύνου .....	19
2.1.3 Πληροφοριακά σοκ και αντίδραση των επενδυτών .....	20
2.2 Η υπόθεση της αποτελεσματικής αγοράς και οι δομικές της προκλήσεις .....	20
2.2.1 Το θεωρητικό οικοδόμημα του Eugene Fama .....	20
2.2.2 Δομικές προκλήσεις: μεταβλητότητα και λεπτοκύρτωση .....	21
2.2.3 Η προσαρμοστική αγορά και η ανάγκη για μοντέλα GARCH .....	21
2.3 Η θεωρία του Μαύρου Κύκνου και η στατιστική των ακραίων γεγονότων.....	22
2.3.1 Η επιστημολογική προσέγγιση του Nassim Nicholas Taleb .....	22
2.3.2 Η αποτυχία της κανονικής κατανομής και η Θεωρία Ακραίων Τιμών .....	22
2.3.3 Από το Value-at-Risk στο Expected Shortfall .....	23
2.4 Λήψη αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας και συμπεριφορική χρηματοοικονομική .....	23
2.4.1 Η διάκριση μεταξύ κινδύνου και αβεβαιότητας .....	23
2.4.2 Θεωρία της Προοπτικής και Αποστροφή Ζημίας .....	24
2.4.3 Αγελαία συμπεριφορά και γνωστικές προκαταλήψεις .....	25
2.5 Μηχανισμοί μετάδοσης και χρηματοπιστωτικός μολυσμός .....	25
2.5.1 Η εννοιολογική διάκριση μεταξύ μολυσμού και αλληλεξάρτησης .....	25
2.5.2 Τα κανάλια μετάδοσης του κινδύνου και η κρίση ρευστότητας.....	26

2.5.3	Συστημικός κίνδυνος και η δυναμική της διάχυσης μεταβλητότητας .....	26
2.6	Νομισματική πολιτική και μικροδομή της αγοράς.....	27
2.6.1	Η παρέμβαση των Κεντρικών Τραπεζών ως ρυθμιστής του συστημικού κινδύνου.....	27
2.6.2	Μικροδομή της αγοράς, αλγοριθμικές συναλλαγές και τοξικότητα ροής .....	28
2.6.3	Πληροφοριακή ασυμμετρία και το ψυχολογικό φράγμα της ρευστότητας.....	29
3.	Μεθοδολογία της έρευνας και οικονομετρικός σχεδιασμός.....	30
3.1	Ερευνητική προσέγγιση και φιλοσοφική θεμελίωση της μελέτης .....	30
3.1.1	Επιστημολογική τοποθέτηση και η κυριαρχία του θετικισμού .....	30
3.1.2	Η φιλοσοφία του κινδύνου και η δυναμική φύση της αβεβαιότητας.....	30
3.1.3	Η κριτική της κανονικότητας και η αποδοχή του "Extremistan" .....	31
3.1.4	Συγκριτική μεθοδολογία και ερευνητικός σχεδιασμός .....	31
3.2	Πηγή δεδομένων, στρατηγική δειγματοληψίας και αντιπροσωπευτικότητα.....	32
3.2.1	Προέλευση, αξιοπιστία και τεχνικές προδιαγραφές των δεδομένων.....	32
3.2.2	Στρατηγική σκόπιμης δειγματοληψίας και χρονική οριοθέτηση.....	32
3.2.3	Αντιπροσωπευτικότητα του S&P 500 και παγκόσμια εμβέλεια.....	33
3.2.4	Στατιστική επάρκεια και μεθοδολογική αυστηρότητα.....	34
3.3	Ανάλυση στυλιζαρισμένων γεγονότων και η θεωρία των παχιών ουρών .....	34
3.3.1	Η έννοια και η σημασία των στυλιζαρισμένων γεγονότων .....	34
3.3.2	Η κατάρρευση της κανονικότητας και η λεπτοκύρτωση.....	35
3.3.3	Η θεωρία των παχιών ουρών και η διαχείριση ακραίου κινδύνου.....	35
3.3.4	Ασυμμετρία και το φαινόμενο της μόχλευσης.....	36
3.4	Μαθηματική μετατροπή και η προϋπόθεση της στασιμότητας των χρονοσειρών .....	36
3.4.1	Ο λογαριθμικός μετασχηματισμός και ο υπολογισμός των αποδόσεων .....	36
3.4.2	Η έννοια της στασιμότητας και η σημασία της στην οικονομετρική μοντελοποίηση.....	37
3.4.3	Έλεγχος μοναδιαίας ρίζας: Η δοκιμασία Augmented Dickey-Fuller (ADF).....	38
3.4.4	Συμπληρωματικοί έλεγχοι και μεθοδολογική θωράκιση της έρευνας .....	38
3.5	Η έννοια της ετεροσκεδαστικότητας και η ανίχνευση ARCH Effects.....	39
3.5.1	Από την ομοσκεδαστικότητα στη μεταβαλλόμενη διακύμανση.....	39
3.5.2	Η δυναμική των ARCH Effects και η μνήμη της μεταβλητότητας .....	39
3.5.3	Η διαγνωστική δοκιμασία ARCH-LM (Lagrange Multiplier Test).....	40
3.5.4	Ετεροσκεδαστικότητα και η σύνδεση με το Value-at-Risk.....	40
3.6	Εξειδίκευση του εκθετικού υποδείγματος EGARCH και η θεωρία της ασυμμετρίας.....	41
3.6.1	Η μαθηματική δομή και η υπεροχή του εκθετικού μετασχηματισμού.....	41
3.6.2	Η θεωρία της ασυμμετρίας και το φαινόμενο της μόχλευσης .....	41
3.6.3	Η εξίσωση της υπό συνθήκη διακύμανσης και η Εεμηνεία των παραμέτρων .....	42
3.6.4	Ενσωμάτωση της t-Student κατανομής και στατιστική συνέπεια .....	42
3.7	Διαγνωστικοί έλεγχοι, θεωρία πληροφορίας και εγκυρότητα μοντέλου.....	43
3.7.1	Διαγνωστικοί έλεγχοι καταλοίπων και η υπόθεση του λευκού θορύβου.....	43
3.7.2	Στατιστική σημαντικότητα και η ευστάθεια της διαδικασίας .....	43
3.7.3	Η σύνδεση της διαγνωστικής με την προβλεπτική ικανότητα.....	44
3.8	Οικοσύστημα της R και υπολογιστική υλοποίηση.....	44
3.8.1	Η επιλογή της R ως εργαλείο χρηματοοικονομικής οικονομετρίας .....	44
3.8.2	Εξειδικευμένες βιβλιοθήκες: rugarch και PerformanceAnalytics .....	45
3.8.3	Υλοποίηση του EGARCH και διαδικασίες βελτιστοποίησης .....	45
3.8.4	Αυτοματοποιημένο Backtesting και οπτικοποίηση αποτελεσμάτων .....	46
4.	Εμπειρικά αποτελέσματα και συγκριτική αξιολόγηση.....	47

4.1 Περιγραφική στατιστική ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων.....	47
4.1.1 Χρονοσειρές τιμών και ο εντοπισμός των δομικών σοκ.....	47
4.1.2 Ανάλυση Λογαριθμικών Αποδόσεων και Συστάδες Μεταβλητότητας.....	48
4.1.3 Ποσοτική Ανάλυση και Έλεγχοι Κανονικότητας.....	49
4.1.4 Οπτικοποίηση Κατανομών και Q-Q Plots.....	50
4.2 Αποτελέσματα ελέγχων στασιμότητας και ανίχνευσης Arch Effects.....	52
4.2.1 Αποτελέσματα Δοκιμασιών Μοναδιαίας Ρίζας (ADF).....	52
4.2.2 Ανίχνευση ARCH Effects και δοκιμασία Lagrange Multiplier (LM).....	53
4.2.3 Ανάλυση αυτοσυσχέτισης (ACF/PACF) των τετραγωνισμένων αποδόσεων.....	54
4.3 Εκτίμηση παραμέτρων του υποδείγματος και συγκριτική ανάλυση EGARCH(1,1).....	55
4.3.1 Ανάλυση των συντελεστών και ερμηνεία της μεταβλητότητας.....	55
4.3.2 Το Φαινόμενο της Μόχλευσης και η Ασυμμετρία των Σοκ.....	56
4.3.3 Λεπτοκύρτωση και η Σημασία των Βαθμών Ελευθερίας.....	57
4.3.4 Δυναμική Εξέλιξη της Υπό Συνθήκη Μεταβλητότητας.....	58
4.4 Υπολογισμός Value-at-Risk (VaR) και αποτελεσμέτα backtesting.....	59
4.4.1 Δυναμικός υπολογισμός του VaR 95% και 99%.....	59
4.4.2 Αποτελέσματα Backtesting: Δοκιμασία Kupiec (POF Test).....	60
4.4.3 Έλεγχος Ανεξαρτησίας και Δοκιμασία Christoffersen.....	61
4.4.4 Συγκριτική Αξιολόγηση της Απόδοσης του Μοντέλου.....	62
5. Συμπεράσματα και προτάσεις.....	64
5.1 Σύνοψη ευρημάτων και απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα.....	64
5.1.1 Η Φύση της Μεταβλητότητας: 2001 έναντι 2020.....	64
5.1.2 Ασυμμετρία και το Ψυχολογικό Αποτύπωμα της Αγοράς.....	65
5.1.3 Αξιοπιστία των Μοντέλων Διαχείρισης Κινδύνου.....	66
5.2 Πρακτικές προτάσεις και περιορισμοί της έρευνας.....	66
5.2.1 Προτάσεις προς επενδυτές και ρυθμιστικές αρχές.....	66
5.2.2 Περιορισμοί και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα.....	67
6. Βιβλιογραφία.....	69

## Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 4.1: Ιστορική εξέλιξη των ημερήσιων προσαρμοσμένων τιμών του S&P 500.....	48
Γράφημα 4.2: Ημερήσιες λογαριθμικές αποδόσεις του δείκτη S&P 500 .....	49
Γράφημα 4.3: Ιστογράμματα ημερήσιων αποδόσεων S&P 500 έναντι θεωρητικής κανονικής κατανομής .....	51
Γράφημα 4.4: Διαγράμματα Q-Q έναντι της κανονικής κατανομής, αναδεικνύοντας την ύπαρξη των παχίων ουρών .....	51
Γράφημα 4.5: Διαγράμματα ACF και PACF των τετραγωνισμένων αποδόσεων για τις περιόδους 2001 και 2020 .....	54
Γράφημα 4.6: Καμπύλες Αντίδρασης στις Ειδήσεις (News Impact Curves) για τις περιόδους 2001 και 2020.....	56
Γράφημα 4.7: Κατανομή των τυποποιημένων καταλοίπων (residuals) έναντι της θεωρητικής κατανομής t-Student για τις περιόδους 2001 και 2020 .....	58
Γράφημα 4.8: Δυναμική εξέλιξη της υπό συνθήκη μεταβλητότητας (Conditional Volatility) του S&P 500 .....	59
Γράφημα 4.9: Δυναμικό Value-at-Risk (95% και 99%) έναντι πραγματικών αποδόσεων για τις περιόδους 2001 και 2020 .....	60
Γράφημα 5.1: Συγκριτική απεικόνιση της δομής των σοκ μεταβλητότητας (Intensity vs Persistence).....	64

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1: Περιγραφικά στατιστικά μεγέθη και έλεγχος Jarque-Bera για τις ημερήσιες αποδόσεις του S&P 500 (2001 vs 2020) .....	50
Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα δοκιμασίας ADF για τις ημερήσιες λογαριθμικές αποδόσεις (2001 & 2020) .....	52
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα δοκιμασίας ARCH-LM (Engle) για τις αποδόσεις του S&P 500 .....	53
Πίνακας 4.4: Εκτιμήσεις παραμέτρων υποδείγματος EGARCH(1,1) - t-Student.....	55
Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα Δοκιμασίας Kupiec (POF Test) για το VaR 99% .....	61
Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα Δοκιμασίας Christoffersen (Independence & Conditional Coverage) .....	62

## Ακρωνύμια

GARCH	Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
EGARCH	Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
VaR	Value-at-Risk
EMH	Efficient Market Hypothesis
EVT	Extreme Value Theory
ES	Expected Shortfall
HFT	High-Frequency Trading
ADF	Augmented Dickey-Fuller
ARCH-LM	Lagrange Multiplier
POF	Proportion of Failures
MLE	Maximum Likelihood Estimation

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Γενικό πλαίσιο και οριοθέτηση του θέματος

### 1.1.1 Η φύση του προβλήματος και το οικονομικό περιβάλλον

Η παγκόσμια οικονομική ιστορία χαρακτηρίζεται διαχρονικά από περιόδους σχετικής ηρεμίας που διακόπτονται από βίαια γεγονότα, τα οποία η διεθνής βιβλιογραφία ορίζει ως δομικές αλλαγές ή εξωγενή σοκ. Στο σύγχρονο χρηματοοικονομικό περιβάλλον, η ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας και η υψηλή διασυνδεσιμότητα των αγορών έχουν αναδείξει τη μεταβλητότητα ως το πλέον κρίσιμο μέγεθος για τη λήψη αποφάσεων. Όπως επισημαίνουν οι Engle και Patton (2001), η μεταβλητότητα δεν είναι μια στατική ιδιότητα αλλά μια δυναμική διαδικασία που χαρακτηρίζεται από εμμονή και μεταβαλλόμενη ένταση. Το γενικό πλαίσιο της παρούσας μελέτης εστιάζει στην ασύμμετρη αντίδραση των κεφαλαιαγορών απέναντι σε δύο διαφορετικής φύσεως παγκόσμιες κρίσεις: την τρομοκρατική επίθεση της 11ης Σεπτεμβρίου 2001, η οποία αποτέλεσε ένα βίαιο γεωπολιτικό σοκ, και την πανδημία του COVID-19 το 2020, η οποία συνιστά μια πρωτοφανή υγειονομική κρίση με καθολικές επιπτώσεις σε παγκόσμια κλίμακα. Το κεντρικό ερευνητικό ερώτημα που διατρέχει την εργασία είναι αν οι αγορές τείνουν να αναπτύσσουν μηχανισμούς προσαρμογής και μάθησης από προγενέστερες κρίσεις ή αν κάθε νέο σοκ παράγει μια μοναδική και μη προβλέψιμη δυναμική κινδύνου που απαιτεί επαναπροσδιορισμό των εργαλείων ανάλυσης.

### 1.1.2 Η επιστημονική και πρακτική σημαντικότητα της έρευνας

Η διερεύνηση της μεταβλητότητας υπερβαίνει τα όρια μιας απλής θεωρητικής άσκησης και καθίσταται επιτακτική ανάγκη για τη λειτουργία του σύγχρονου χρηματοπιστωτικού συστήματος. Η σημασία της έρευνας εδράζεται σε τρεις κεντρικούς άξονες που αφορούν τη διαχείριση χαρτοφυλακίου, την τιμολόγηση σύνθετων προϊόντων και τη διασφάλιση της χρηματοπιστωτικής σταθερότητας. Στο επίπεδο της διαχείρισης επενδύσεων, η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μεταβάλλονται οι συσχετίσεις των στοιχείων ενεργητικού κατά τη διάρκεια περιόδων πανικού είναι ζωτικής σημασίας για τη θωράκιση των κεφαλαίων. Σύμφωνα με τον Brooks (2019), η ακριβής εκτίμηση της υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας αποτελεί τη βάση για την τιμολόγηση των παραγώγων, καθώς η αξία των δικαιωμάτων προαίρεσης επηρεάζεται άμεσα από το επίπεδο της μελλοντικής αβεβαιότητας. Επιπλέον, οι ρυθμιστικές αρχές και οι κεντρικές τράπεζες βασίζονται σε οικονομετρικά υποδείγματα για να καθορίσουν τα όρια κεφαλαιακής επάρκειας και να θεσπίσουν κανόνες που αποτρέπουν τη συστημική κατάρρευση. Η μελέτη των Poon και Granger

(2003) υπογραμμίζει ότι η πρόβλεψη της μεταβλητότητας είναι κρίσιμη για τη λειτουργία των μοντέλων Value-at-Risk (VaR), τα οποία αποτελούν το θεσμικό εργαλείο μέτρησης κινδύνου στο πλαίσιο των συμφώνων της Βασιλείας.

### **1.1.3 Θεματική και αντικειμενική οριοθέτηση της μελέτης**

Προκειμένου να διασφαλιστεί η επιστημονική εγκυρότητα και η εστίαση της έρευνας, η παρούσα εργασία οριοθετείται αυστηρά σε συγκεκριμένα θεματικά και αντικειμενικά πλαίσια. Η ανάλυση επικεντρώνεται αποκλειστικά στην υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητα (conditional heteroskedasticity), παρακάμπτοντας την εξέταση άλλων μακροοικονομικών δεικτών όπως το ΑΕΠ ή η ανεργία, και εστιάζοντας στην καθαρή συμπεριφορά των ημερήσιων λογαριθμικών αποδόσεων. Ως αντικείμενο μελέτης επιλέχθηκε ο δείκτης S&P 500, καθώς θεωρείται το εγκυρότερο βαρόμετρο της αμερικανικής και κατ' επέκταση της παγκόσμιας οικονομίας. Όπως επισημαίνει ο Tsay (2010), οι μεταβολές στον συγκεκριμένο δείκτη έχουν την τάση να διαχέονται ακαριαία στις διεθνείς αγορές λόγω του φαινομένου της μετάδοσης (contagion effect). Η χρήση του εκθετικού μοντέλου EGARCH, που εισήγαγε ο Nelson (1991), αποτελεί την αιχμή της μεθοδολογικής προσέγγισης, καθώς επιτρέπει την ανάλυση του φαινομένου της μόχλευσης (leverage effect), το οποίο είναι συχνά ο κύριος οδηγός των χρηματιστηριακών καταρρεύσεων και δεν μπορεί να αποτυπωθεί από το απλό μοντέλο GARCH.

### **1.1.4 Χρονικός προσδιορισμός και ερευνητικές υποθέσεις**

Η χρονική οριοθέτηση της έρευνας επικεντρώνεται σε δύο διακριτά παράθυρα που αντιπροσωπεύουν τις κορυφώσεις των αντίστοιχων κρίσεων. Η πρώτη περίοδος καλύπτει το έτος 2001, εστιάζοντας στην αναταραχή που προκλήθηκε από την 11η Σεπτεμβρίου, ενώ η δεύτερη περίοδος καλύπτει το έτος 2020, παρακολουθώντας την εξέλιξη της μεταβλητότητας από το ξέσπασμα της πανδημίας και έπειτα. Στο πλαίσιο αυτό, διαμορφώνονται συγκεκριμένες ερευνητικές υποθέσεις οι οποίες εξετάζουν αν η μεταβλητότητα του COVID-19 παρουσίασε στατιστικά μεγαλύτερη εμμονή σε σύγκριση με εκείνη του 2001, ακολουθώντας τη θεωρία των "παχιών ουρών" (fat tails) που περιγράφει ο Cont (2001). Η παραδοχή ότι οι αποδόσεις δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή αποτελεί τον κεντρικό άξονα πάνω στον οποίο οικοδομείται η κριτική στα παραδοσιακά μοντέλα κινδύνου. Η εργασία φιλοδοξεί να αποδείξει ότι η χρήση της κατανομής t-Student στο πλαίσιο του EGARCH προσφέρει ακριβέστερη θωράκιση απέναντι σε

ακραία γεγονότα, αναδεικνύοντας την ανάγκη για πιο σύνθετες οικονομετρικές προσεγγίσεις στην ανάλυση των σύγχρονων χρηματοοικονομικών κρίσεων.

## **1.2 Η έννοια της ασύμμετρης κρίσης και των εξωγενών σοκ**

### **1.2.1 Θεωρητική θεμελίωση των εξωγενών διαταραχών**

Στη χρηματοοικονομική επιστήμη, ως εξωγενές σοκ ορίζεται μια αιφνίδια και απρόβλεπτη μεταβολή που προέρχεται εκτός του οικονομικού συστήματος, αλλά προκαλεί άμεση και βίαιη αναπροσαρμογή των τιμών των περιουσιακών στοιχείων. Σύμφωνα με τον Diebold (2007), οι αγορές τείνουν να ενσωματώνουν τις ενδογενείς μεταβολές (π.χ. μεταβολές επιτοκίων, εταιρικά κέρδη) με έναν σχετικά προβλέψιμο τρόπο. Ωστόσο, γεγονότα όπως η τρομοκρατική επίθεση της 11ης Σεπτεμβρίου ή η εμφάνιση του ιού SARS-CoV-2 αποτελούν «δομικές θραύσεις» (structural breaks), οι οποίες μεταβάλλουν το ίδιο το υπόδειγμα παραγωγής των αποδόσεων.

Η έννοια του εξωγενούς σοκ συνδέεται άρρηκτα με τη θεωρία του «Μαύρου Κύκνου» (Black Swan Theory) του Taleb (2007), η οποία περιγράφει γεγονότα εξαιρετικά χαμηλής πιθανότητας εμφάνισης αλλά εξαιρετικά υψηλού αντικτύπου. Η ασυμμετρία σε αυτές τις περιπτώσεις έγκειται στο γεγονός ότι η ταχύτητα της πτώσης είναι δυσανάλογα μεγαλύτερη από την ικανότητα των θεσμικών επενδυτών να αναδιαρθρώσουν τα χαρτοφυλάκιά τους. Η πληροφορία δεν διαχέεται σταδιακά, αλλά προκαλεί μια «καταρρακτώδη» (cascading) επίδραση, όπου ο φόβος κυριαρχεί των θεμελιωδών μεγεθών, οδηγώντας σε κατάρρευση της ρευστότητας.

### **1.2.2 Η ασύμμετρη φύση της μεταβολής του κινδύνου**

Η ασυμμετρία στις χρηματοοικονομικές κρίσεις δεν αφορά μόνο το μέγεθος της πτώσης, αλλά κυρίως τον τρόπο με τον οποίο η μεταβλητότητα αντιδρά στα αρνητικά νέα σε σύγκριση με τα θετικά. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό στη βιβλιογραφία ως «leverage effect» (φαινόμενο μόχλευσης), υποστηρίζει ότι ένα αρνητικό σοκ αυξάνει την αβεβαιότητα στην αγορά πολύ περισσότερο από ό,τι ένα θετικό σοκ ίσου μεγέθους. Όπως εξηγεί ο Nelson (1991), όταν οι τιμές των μετοχών υποχωρούν απότομα λόγω μιας εξωγενούς κρίσης, η χρηματοοικονομική μόχλευση των εταιρειών (ο λόγος χρέους προς ίδια κεφάλαια) αυξάνεται αυτόματα, καθιστώντας τις μετοχές πιο επικίνδυνες και ωθώντας τη μεταβλητότητα σε ακόμα υψηλότερα επίπεδα.

Στην περίπτωση της 11ης Σεπτεμβρίου, το σοκ ήταν εντοπισμένο χρονικά και γεωπολιτικά, προκαλώντας μια ασύμμετρη αλλά βραχυπρόθεσμη αντίδραση. Αντιθέτως, η κρίση του COVID-19

δημιούργησε μια «πολλαπλή ασυμμετρία». Σύμφωνα με τους Caballero και Simsek (2020), η πανδημία προκάλεσε ταυτόχρονη διαταραχή στην προσφορά και τη ζήτηση, οδηγώντας σε αυτό που ονομάζεται «ασύμμετρη κρίση καθεστώτος». Η αβεβαιότητα δεν αφορούσε μόνο τις τιμές, αλλά την ίδια τη λειτουργία της παγκόσμιας οικονομίας, γεγονός που εξηγεί γιατί η μεταβλητότητα του 2020 παρουσίασε πολύ μεγαλύτερη εμμονή (persistence) σε σχέση με την κρίση του 2001.

### **1.2.3 Ψυχολογία των επενδυτών και συμπεριφορική ασυμμετρία**

Πέρα από τις μαθηματικές αναπαραστάσεις, η έννοια της ασύμμετρης κρίσης εδράζεται και στη συμπεριφορική χρηματοοικονομική (Behavioral Finance). Η «θεωρία της προοπτικής» (Prospect Theory) των Kahneman και Tversky (1979) καταδεικνύει ότι οι επενδυτές βιώνουν τον πόνο της απώλειας δύο φορές πιο έντονα από τη χαρά ενός ισόποσου κέρδους. Σε συνθήκες εξωγενών σοκ, αυτή η ψυχολογική ασυμμετρία μεταφράζεται σε «αγελαία συμπεριφορά» (herding behavior).

Κατά τη διάρκεια του COVID-19, η ασυμμετρία επιτάθηκε από την ταχύτητα των αλγοριθμικών συναλλαγών, οι οποίες αντέδρασαν στα αρνητικά νέα με μαζικές πωλήσεις, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο μεταβλητότητας. Η οριοθέτηση της κρίσης ως εξωγενούς επιτρέπει στον αναλυτή να διακρίνει ότι η αστάθεια δεν οφείλεται σε εγγενή προβλήματα της αγοράς (όπως συνέβη το 2008 με τα στεγαστικά δάνεια), αλλά σε μια βίαιη αναπροσαρμογή των προσδοκιών για το μέλλον. Αυτή η διάκριση είναι κρίσιμη, καθώς καθορίζει και την αποτελεσματικότητα των μέτρων νομισματικής πολιτικής που λαμβάνονται για την καταστολή της κρίσης.

## **1.3 Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα**

### **1.3.1 Ο αντικειμενικός σκοπός της μελέτης**

Ο πρωταρχικός σκοπός της παρούσας διατριβής είναι η διεξοδική συγκριτική αξιολόγηση της δυναμικής της μεταβλητότητας στον δείκτη S&P 500 κατά τη διάρκεια δύο εκ των πλέον σημαντικών εξωγενών κλονισμών του 21ου αιώνα. Η έρευνα επιδιώκει να αναλύσει πώς η φύση του εκάστοτε σοκ —γεωπολιτικό στην περίπτωση της 11ης Σεπτεμβρίου και υγειονομικό στην περίπτωση του COVID-19— επηρεάζει τη δομή, την ένταση και την εμμονή του χρηματοοικονομικού κινδύνου. Σύμφωνα με τους Engle και Patton (2001), η ικανότητα ενός μοντέλου να συλλαμβάνει τη μεταβλητότητα δεν αποτελεί απλώς μια στατιστική άσκηση, αλλά ένα

εργαλείο ζωτικής σημασίας για την τιμολόγηση περιουσιακών στοιχείων και τη θωράκιση των χαρτοφυλακίων.

Επιπλέον, η μελέτη στοχεύει στην ανάδειξη της ανωτερότητας των ασύμμετρων υποδειγμάτων της οικογένειας GARCH, και συγκεκριμένα του EGARCH, στην καταγραφή των ιδιαιτεροτήτων των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών. Μέσω της χρήσης της κατανομής t-Student, η εργασία σκοπεύει να αποδείξει ότι η παραδοσιακή προσέγγιση της κανονικής κατανομής υποτιμά συστηματικά τον κίνδυνο σε περιόδους κρίσης, οδηγώντας σε εσφαλμένες εκτιμήσεις του Value-at-Risk (VaR). Η τελική επιδίωξη είναι η παροχή μιας τεκμηριωμένης σύγκρισης που θα επιτρέψει σε επενδυτές και ρυθμιστικές αρχές να κατανοήσουν αν η πανδημική κρίση εισήγαγε ένα νέο καθεστώς (regime) υψηλής μεταβλητότητας που διαφοροποιείται δομικά από παλαιότερες κρίσεις.

### **1.3.2 Κεντρικά ερευνητικά ερωτήματα**

Η επίτευξη του ανωτέρω σκοπού επιχειρείται μέσω της απάντησης σε μια σειρά από κρίσιμα ερευνητικά ερωτήματα, τα οποία δομούν την εμπειρική ανάλυση. Το πρώτο ερώτημα αφορά την ένταση και την εμμονή της μεταβλητότητας: Με ποιον τρόπο διαφοροποιείται η ταχύτητα ανόδου και η διάρκεια της υπό συνθήκη διακύμανσης μεταξύ των δύο περιόδων; Η υπόθεση εργασίας εδώ βασίζεται στη θεωρία του "volatility clustering" (Mandelbrot, 1963), εξετάζοντας αν ο COVID-19 προκάλεσε συστάδες μεταβλητότητας μεγαλύτερης πυκνότητας και διάρκειας σε σχέση με το σοκ του 2001.

Το δεύτερο ερευνητικό ερώτημα εστιάζει στο φαινόμενο της ασυμμετρίας και της μόχλευσης (leverage effect). Ερωτάται αν οι αρνητικές αποδόσεις κατά τη διάρκεια της πανδημίας προκάλεσαν ισχυρότερη και πιο βίαιη αύξηση της μεταβλητότητας σε σύγκριση με την κρίση της 11ης Σεπτεμβρίου. Η διερεύνηση αυτή είναι κρίσιμη, καθώς η ύπαρξη ισχυρής ασυμμετρίας υποδηλώνει ότι οι αγορές αντιδρούν με αυξημένο πανικό στις απώλειες, γεγονός που απαιτεί διαφορετική στρατηγική αντιστάθμισης κινδύνου.

Τέλος, η έρευνα θέτει το ερώτημα της πληροφοριακής επάρκειας των μοντέλων πρόβλεψης: Σε ποιο βαθμό το υπόδειγμα EGARCH(1,1) με κατανομή t-Student καταφέρνει να προβλέψει με ακρίβεια τις ακραίες ζημιές (Value-at-Risk) και στις δύο περιόδους; Μέσω της δοκιμασίας Kupiec και της ανάλυσης των παραβιάσεων του VaR, η μελέτη επιχειρεί να διαπιστώσει αν τα σύγχρονα οικονομετρικά εργαλεία είναι επαρκή για τη διαχείριση κινδύνου σε καταστάσεις «Μαύρου

Κύκνου» (Taleb, 2007) ή αν οι αγορές κατά το 2020 παρουσίασαν χαρακτηριστικά που ξεπερνούν τις προβλεπτικές ικανότητες των υπαρχόντων μοντέλων.

### **1.3.3 Συμβολή στην υπάρχουσα βιβλιογραφία**

Η απάντηση στα παραπάνω ερωτήματα φιλοδοξεί να προσφέρει μια επικαιροποιημένη ματιά στη θεωρία της αποτελεσματικότητας των αγορών. Ενώ η κρίση του 2001 έχει αναλυθεί εκτενώς, η συγκριτική της αντιπαραβολή με την κρίση του COVID-19 προσφέρει νέα δεδομένα για το πώς η παγκοσμιοποίηση και οι αλγοριθμικές συναλλαγές έχουν μεταβάλει την ανατομία του κινδύνου. Η εργασία συνεισφέρει στον διάλογο για το αν η μεταβλητότητα αποτελεί απλώς ένα στατιστικό παράγωγο ή έναν καθρέπτη της συλλογικής επενδυτικής ψυχολογίας σε περιόδους ακραίας αβεβαιότητας.

## **1.4 Μεθοδολογικό πλαίσιο**

### **1.4.1 Η προσέγγιση της οικονομετρικής μοντελοποίησης**

Η μεθοδολογία της παρούσας εργασίας εδράζεται στις αρχές της ποσοτικής χρηματοοικονομικής ανάλυσης και επικεντρώνεται στη χρήση υποδειγμάτων υπό συνθήκης ετεροσκεδαστικότητας. Η επιλογή της μεθοδολογίας έγινε με γνώμονα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών, τα οποία, όπως επισημαίνει ο Cont (2001), αποκλίνουν σημαντικά από τις παραδοχές της κλασικής γραμμικής παλινδρόμησης. Για την ανάλυση των αποδόσεων του δείκτη S&P 500, ακολουθείται μια διαδικασία τριών σταδίων: η προκαταρκτική στατιστική επεξεργασία, η εκτίμηση του κύριου οικονομετρικού υποδείγματος και η διαγνωστική αξιολόγηση μέσω δοκιμασιών οπισθοελέγχου (backtesting).

Η βάση της μεθοδολογίας είναι η μετατροπή των τιμών κλεισίματος σε λογαριθμικές αποδόσεις, μια πρακτική που εξασφαλίζει τη στασιμότητα της χρονοσειράς και επιτρέπει τη σύγκριση περιόδων με διαφορετικά επίπεδα τιμών. Σύμφωνα με τον Tsay (2010), οι λογαριθμικές αποδόσεις παρουσιάζουν το πλεονέκτημα της προσθετικότητας και προσεγγίζουν καλύτερα τη θεωρητική έννοια της συνεχούς μεταβολής του πλούτου. Η στασιμότητα των δεδομένων ελέγχεται αυστηρά μέσω της δοκιμασίας Augmented Dickey-Fuller (ADF), η οποία αποτελεί το προαπαιτούμενο στάδιο για την αποφυγή του προβλήματος της ψευδούς παλινδρόμησης (spurious regression).

### **1.4.2 Το εκθετικό μοντέλο GARCH (EGARCH) και η διαχείριση της ασυμμετρίας**

Το κεντρικό εργαλείο της έρευνας είναι το υπόδειγμα EGARCH(1,1) που αναπτύχθηκε από τον Nelson (1991). Η επιλογή του συγκεκριμένου μοντέλου έναντι του παραδοσιακού GARCH των Bollerslev (1986) έγινε για λόγους ουσίας και θεωρητικής επάρκειας. Το απλό μοντέλο GARCH υποθέτει ότι η μεταβλητότητα αντιδρά με τον ίδιο τρόπο σε θετικά και αρνητικά σοκ (συμμετρική αντίδραση), μια παραδοχή που καταρρίπτεται συστηματικά κατά τη διάρκεια χρηματοοικονομικών κρίσεων. Το EGARCH, μέσω της λογαριθμικής διατύπωσης της εξίσωσης διακύμανσης, επιτρέπει την καταγραφή του φαινομένου της μόχλευσης (leverage effect) χωρίς να απαιτεί περιορισμούς μη-αρνητικότητας στις παραμέτρους.

Επιπλέον, η μεθοδολογία ενσωματώνει την κατανομή t-Student για τον προσδιορισμό των σφαλμάτων του μοντέλου. Η χρήση της κανονικής κατανομής (Gaussian) συχνά αποτυγχάνει να περιγράψει την πραγματικότητα των αγορών, καθώς υποτιμά την πιθανότητα ακραίων μεταβολών. Όπως υποστηρίζουν οι Poon και Granger (2003), η t-Student κατανομή επιτρέπει στο μοντέλο να «διαβάσει» τις παχιές ουρές (heavy tails) των δεδομένων, προσφέροντας μια πιο ρεαλιστική απεικόνιση του συστημικού κινδύνου. Αυτή η μεθοδολογική επιλογή είναι καθοριστική για τη σύγκριση των δύο περιόδων, καθώς επιτρέπει την ποσοτικοποίηση του «φόβου» που επικράτησε κατά την πανδημία σε σχέση με το 2001.

### **1.4.3 Μέτρηση κινδύνου και διαγνωστικές δοκιμασίες**

Το τελικό στάδιο του μεθοδολογικού πλαισίου αφορά την εφαρμογή των αποτελεσμάτων στην πράξη μέσω του Value-at-Risk (VaR). Το VaR υπολογίζεται δυναμικά για κάθε ημέρα των υπό εξέταση περιόδων, χρησιμοποιώντας τις εκτιμήσεις της υπό συνθήκη τυπικής απόκλισης από το μοντέλο EGARCH. Για την αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου, εφαρμόζεται η μέθοδος του Backtesting και συγκεκριμένα η δοκιμασία Kupiec (1995) για την αναλογία των αποτυχιών (unconditional coverage test).

## **2. Θεωρητικό υπόβαθρο και μηχανισμοί των ασύμμετρων κρίσεων**

### **2.1 Εισαγωγή στη θεωρητική προσέγγιση των εξωγενών σοκ**

#### **2.1.1 Ορισμός και ταξινόμηση των διαταραχών**

Στο πλαίσιο της μακροοικονομικής και χρηματοοικονομικής θεωρίας, ως εξωγενές σοκ ορίζεται οποιαδήποτε αιφνίδια μεταβολή παραμέτρων που βρίσκονται εκτός του άμεσου ελέγχου των οικονομικών δρώντων και των μηχανισμών της αγοράς, αλλά επιφέρουν σημαντικές αναταράξεις στις τιμές ισορροπίας. Η κλασική οικονομική σκέψη, βασισμένη στην Υπόθεση της Αποτελεσματικής Αγοράς (Efficient Market Hypothesis) του Fama (1970), υποστηρίζει ότι οι τιμές ενσωματώνουν ακαριαία κάθε νέα πληροφορία. Ωστόσο, τα εξωγενή σοκ, λόγω της βιαιότητας και της απρόβλεπτης φύσης τους, συχνά οδηγούν σε προσωρινή κατάρρευση αυτής της αποτελεσματικότητας, δημιουργώντας περιόδους έντονης αβεβαιότητας και ανορθολογικής συμπεριφοράς.

Τα σοκ μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή τους. Τα ενδογενή σοκ πηγάζουν από το ίδιο το χρηματοπιστωτικό σύστημα (π.χ. η φούσκα των ακινήτων το 2008), ενώ τα εξωγενή σοκ, όπως αυτά που εξετάζει η παρούσα εργασία, προέρχονται από μη οικονομικά γεγονότα. Η τρομοκρατική επίθεση της 11ης Σεπτεμβρίου αποτελεί ένα αρχετυπικό γεωπολιτικό σοκ που έπληξε την εμπιστοσύνη και την ασφάλεια, ενώ η πανδημία του COVID-19 συνιστά ένα υγειονομικό σοκ που διέκοψε βίαια την παραγωγική διαδικασία. Όπως σημειώνουν οι Bloom et al. (2007), τέτοιου είδους διαταραχές αυξάνουν την «πραγματική αβεβαιότητα» (real uncertainty), αναγκάζοντας τις επιχειρήσεις και τους επενδυτές να αναστείλουν τις αποφάσεις τους, γεγονός που οδηγεί σε απότομη αύξηση της μεταβλητότητας.

#### **2.1.2 Η θεωρία της μετάδοσης και της διάχυσης του κινδύνου**

Μια κεντρική πτυχή της θεωρητικής προσέγγισης των εξωγενών σοκ είναι ο μηχανισμός μετάδοσης (transmission mechanism). Όταν ένα σοκ πλήττει μια αγορά αναφοράς, όπως ο S&P 500, ο κίνδυνος διαχέεται μέσω των καναλιών της ρευστότητας και των προσδοκιών. Η θεωρία του «Contagion» (Μετάδοση) εξηγεί πώς μια τοπική ή τομεακή κρίση μετατρέπεται σε συστημική. Στην περίπτωση της 11ης Σεπτεμβρίου, η μετάδοση ήταν σχεδόν ακαριαία λόγω του παγκόσμιου ρόλου του αμερικανικού χρηματοπιστωτικού κέντρου. Στην περίπτωση του COVID-19, η μετάδοση ακολούθησε την πορεία εξάπλωσης του ιού, δημιουργώντας μια πρωτοφανή χρονική και γεωγραφική κλιμάκωση της μεταβλητότητας.

Η οικονομική θεωρία προσεγγίζει αυτά τα φαινόμενα μέσω της έννοιας της «μεταβολής καθεστώτος» (regime switching). Τα εξωγενή σοκ μεταφέρουν την αγορά από ένα καθεστώς χαμηλής μεταβλητότητας σε ένα καθεστώς υψηλής μεταβλητότητας. Η δυσκολία για τους αναλυτές έγκειται στο γεγονός ότι οι παράμετροι του κινδύνου αλλάζουν δομικά. Όπως υποστηρίζει ο Hamilton (1989), η αναγνώριση αυτών των αλλαγών είναι κρίσιμη, καθώς οι παραδοσιακές μέθοδοι πρόβλεψης που βασίζονται σε ιστορικά δεδομένα ομαλών περιόδων καθίστανται άχρηστες. Η παρούσα εργασία υιοθετεί αυτή τη θεωρητική οπτική, εξετάζοντας αν τα σοκ του 2001 και του 2020 προκάλεσαν παρόμοιες ή διαφοροποιημένες μεταβολές στο καθεστώς κινδύνου του S&P 500.

### **2.1.3 Πληροφοριακά σοκ και αντίδραση των επενδυτών**

Η θεωρητική προσέγγιση ολοκληρώνεται με την ανάλυση της πληροφόρησης. Ένα εξωγενές σοκ είναι στην πραγματικότητα ένα «πληροφοριακό σοκ» που ανατρέπει τις υπάρχουσες προβλέψεις για τα μελλοντικά μερίσματα και τα επιτόκια προεξόφλησης. Σύμφωνα με τη θεωρία της «Ασυμμετρίας της Πληροφόρησης» (Information Asymmetry), σε περιόδους κρίσης η ποιότητα της πληροφόρησης υποβαθμίζεται, οδηγώντας σε υπεραντίδραση (overreaction) των επενδυτών. Αυτή η υπεραντίδραση είναι που τροφοδοτεί τις «παχιές ουρές» στις κατανομές των αποδόσεων, ένα φαινόμενο που τα υποδείγματα GARCH προσπαθούν να ποσοτικοποιήσουν. Η κατανόηση αυτής της θεωρητικής βάσης είναι απαραίτητη για να ερμηνευθούν σωστά τα αποτελέσματα της εμπειρικής ανάλυσης που ακολουθεί στα επόμενα κεφάλαια.

## **2.2 Η υπόθεση της αποτελεσματικής αγοράς και οι δομικές της προκλήσεις**

### **2.2.1 Το θεωρητικό οικοδόμημα του Eugene Fama**

Η Υπόθεση της Αποτελεσματικής Αγοράς (Efficient Market Hypothesis - EMH), όπως διατυπώθηκε από τον Eugene Fama το 1970, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της παραδοσιακής χρηματοοικονομικής. Σύμφωνα με την EMH, μια αγορά θεωρείται αποτελεσματική όταν οι τιμές των περιουσιακών στοιχείων ενσωματώνουν πλήρως και ακαριαία όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες. Σε ένα τέτοιο περιβάλλον, οι επενδυτές ενεργούν ορθολογικά και οι τιμές ακολουθούν έναν «τυχαίο περίπατο» (random walk), καθιστώντας αδύνατη την επίτευξη υπερβάλλοντων κερδών μέσω της πρόβλεψης των μελλοντικών κινήσεων.

Η θεωρία αυτή βασίζεται στην παραδοχή ότι τα σφάλματα των επενδυτών είναι ανεξάρτητα και τυχαία, με αποτέλεσμα να αλληλοεξουδετερώνονται. Ωστόσο, η EMH προϋποθέτει μια

γραμμική σχέση μεταξύ πληροφορίας και τιμής, η οποία δοκιμάζεται έντονα κατά τη διάρκεια εξωγενών σοκ. Στην περίπτωση της 11ης Σεπτεμβρίου και του COVID-19, η ροή της πληροφορίας δεν ήταν ομαλή αλλά εκρηκτική, προκαλώντας μια συλλογική επανεκτίμηση του κινδύνου που δεν μπορούσε να απορροφηθεί ορθολογικά από τους μηχανισμούς της αγοράς.

### **2.2.2 Δομικές προκλήσεις: μεταβλητότητα και λεπτοκύρτωση**

Η κύρια πρόκληση για την EMH προέρχεται από την παρατήρηση ότι οι αποδόσεις των μετοχών δεν ακολουθούν την κανονική κατανομή, όπως θα αναμενόταν σε μια τέλεια αποτελεσματική αγορά. Οι χρηματοοικονομικές χρονοσειρές εμφανίζουν συστηματικά «παχιές ουρές» (fat tails) και «συστάδες μεταβλητότητας» (volatility clustering), φαινόμενα που ο Mandelbrot (1963) χαρακτήρισε ως «άγρια τυχειότητα». Η ύπαρξη αυτών των χαρακτηριστικών υποδηλώνει ότι η αγορά έχει «μνήμη», γεγονός που έρχεται σε άμεση σύγκρουση με την υπόθεση του τυχαίου περιπάτου.

Σε περιόδους ασύμμετρων κρίσεων, οι προκλήσεις αυτές γίνονται δομικές. Η μεταβλητότητα παύει να είναι ένας σταθερός αριθμός (σταθερή διασπορά) και γίνεται μια μεταβλητή διαδικασία. Όπως επισημαίνουν οι Shiller (2003) και Lo (2004), η ανθρώπινη ψυχολογία και τα ένστικτα επιβίωσης οδηγούν σε «αγελαία συμπεριφορά» (herding), η οποία προκαλεί υπερβολική μεταβλητότητα (excess volatility) που δεν δικαιολογείται από τα θεμελιώδη οικονομικά μεγέθη. Η κρίση του COVID-19 ανέδειξε αυτή την πρόκληση στο μέγιστο βαθμό, καθώς η αβεβαιότητα για το μέλλον οδήγησε σε μια κατάρρευση της αποτελεσματικότητας, όπου οι τιμές μεταβάλλονταν βάσει του φόβου και όχι της ορθολογικής ανάλυσης.

### **2.2.3 Η προσαρμοστική αγορά και η ανάγκη για μοντέλα GARCH**

Ως απάντηση στις αδυναμίες της EMH, αναπτύχθηκαν εναλλακτικές θεωρίες, όπως η Υπόθεση της Προσαρμοστικής Αγοράς (Adaptive Markets Hypothesis) του Andrew Lo. Η προσέγγιση αυτή υποστηρίζει ότι η αποτελεσματικότητα δεν είναι μια στατική κατάσταση, αλλά μια δυναμική διαδικασία που μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Τα εξωγενή σοκ λειτουργούν ως καταλύτες που μειώνουν την αποτελεσματικότητα, αυξάνοντας τη συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων και τη μεταβλητότητα.

Αυτή η θεωρητική μετατόπιση δικαιολογεί τη χρήση μοντέλων όπως το EGARCH. Εφόσον η αγορά δεν είναι πάντα αποτελεσματική και η μεταβλητότητα δεν είναι σταθερή, χρειαζόμαστε

εργαλεία που να μπορούν να μοντελοποιήσουν την «ασυμμετρία της αντίδρασης». Η μελέτη της 11ης Σεπτεμβρίου και του COVID-19 υπό αυτό το πρίσμα επιτρέπει στον ερευνητή να κατανοήσει ότι η αστάθεια δεν είναι ένα «λάθος» του συστήματος, αλλά μια δομική αντίδραση της αγοράς στην προσπάθεια της να προσαρμοστεί σε μια νέα, επώδυνη πραγματικότητα.

## **2.3 Η θεωρία του Μαύρου Κύκνου και η στατιστική των ακραίων γεγονότων**

### **2.3.1 Η επιστημολογική προσέγγιση του Nassim Nicholas Taleb**

Η θεωρία του «Μαύρου Κύκνου» (Black Swan Theory), η οποία εισήχθη από τον Nassim Nicholas Taleb (2007), περιγράφει γεγονότα που χαρακτηρίζονται από τρία βασικά γνωρίσματα: είναι εξαιρετικά απίθανα (outliers), έχουν τεράστιο αντίκτυπο στο σύστημα και, παρά την αιφνίδια φύση τους, η ανθρώπινη ψυχολογία τείνει να τα ερμηνεύει εκ των υστέρων ως προβλέψιμα (retrospective predictability). Στο πλαίσιο της χρηματοοικονομικής ανάλυσης, τόσο η 11η Σεπτεμβρίου όσο και η πανδημία του COVID-19 αποτελούν κλασικά παραδείγματα Μαύρων Κύκνων που διέλυσαν τις επικρατούσες προβλέψεις των αγορών.

Ο Taleb υποστηρίζει ότι τα παραδοσιακά χρηματοοικονομικά μοντέλα αποτυγχάνουν επειδή βασίζονται στον «Κόσμο του Μετριοστάν» (Mediocristan), όπου οι διακυμάνσεις είναι μικρές και ακολουθούν την κανονική κατανομή. Αντιθέτως, οι αγορές ανήκουν στον «Κόσμο του Εξτρεμιστάν» (Extremistan), όπου μία και μόνο παρατήρηση (ένα κραχ) μπορεί να μεταβάλει δραματικά τον μέσο όρο και τη διασπορά ολόκληρης της χρονοσειράς. Η παρούσα εργασία υιοθετεί αυτή την οπτική, εξετάζοντας πώς τα εξωγενή σοκ μετατρέπουν τις στατιστικές προσδοκίες σε «άγρια τυχειότητα», καθιστώντας τα μοντέλα που βασίζονται στην κανονικότητα επικίνδυνα για τη χρηματοπιστωτική σταθερότητα.

### **2.3.2 Η αποτυχία της κανονικής κατανομής και η Θεωρία Ακραίων Τιμών**

Η στατιστική των ακραίων γεγονότων εστιάζει στην ανάλυση των «παχιών ουρών» (fat tails) των κατανομών. Στην κλασική στατιστική, η πιθανότητα ενός γεγονότος που απέχει έξι τυπικές αποκλίσεις ( $6\sigma$ ) από τον μέσο όρο είναι πρακτικά μηδενική. Ωστόσο, στην πραγματικότητα των χρηματιστηρίων, γεγονότα τέτοιου μεγέθους εμφανίζονται πολύ συχνότερα από ό,τι προβλέπει η καμπύλη Gauss. Όπως επισημαίνει ο Cont (2001), η λεπτοκύρτωση (leptokurtosis) είναι ένα εγγενές χαρακτηριστικό των αποδόσεων των μετοχών, το οποίο επιτείνεται δραματικά κατά τη διάρκεια εξωγενών σοκ.

Η Θεωρία Ακραίων Τιμών (Extreme Value Theory - EVT) προτείνει ότι για τη διαχείριση κινδύνου δεν πρέπει να μας ενδιαφέρει ο μέσος όρος των αποδόσεων, αλλά η συμπεριφορά των ορίων της κατανομής. Στην κρίση του COVID-19, η στατιστική αυτή έγινε οδυνηρά επίκαιρη, καθώς οι ημερήσιες πτώσεις του S&P 500 ξεπέρασαν κάθε ιστορικό προηγούμενο σε ταχύτητα. Η χρήση της κατανομής t-Student στο μοντέλο EGARCH της εργασίας μας αποτελεί μια μεθοδολογική απάντηση σε αυτή ακριβώς την πρόκληση: επιτρέπει την ύπαρξη μεγαλύτερης πιθανότητας στις ουρές, αναγνωρίζοντας στατιστικά τη δυνατότητα εμφάνισης ενός «Μαύρου Κύκνου».

### **2.3.3 Από το Value-at-Risk στο Expected Shortfall**

Η θεωρητική αποδοχή των ακραίων γεγονότων οδήγησε στην εξέλιξη των εργαλείων μέτρησης κινδύνου. Ενώ το Value-at-Risk (VaR) αποτελεί το βιομηχανικό πρότυπο, δέχεται έντονη κριτική διότι «τυφλώνεται» απέναντι σε ό,τι συμβαίνει πέρα από το κατώφλι του (π.χ. στο 1% των χειρότερων περιπτώσεων). Οι Artzner et al. (1999) εισήγαγαν την έννοια του Expected Shortfall (ES) ή Conditional VaR, το οποίο υπολογίζει τη μέση ζημία υπό την προϋπόθεση ότι το όριο του VaR έχει ήδη παραβιαστεί.

Στην ανάλυση της 11ης Σεπτεμβρίου και του COVID-19, η διαφορά μεταξύ VaR και ES είναι κρίσιμη. Ένας Μαύρος Κύκνος δεν παραβιάζει απλώς το VaR, αλλά προκαλεί ζημίες που βρίσκονται βαθιά μέσα στην ουρά της κατανομής. Η θεωρητική αυτή προσέγγιση μας επιτρέπει να ερμηνεύσουμε γιατί οι παραδοσιακές στρατηγικές αντιστάθμισης (hedging) κατέρρευσαν το 2020: οι επενδυτές ήταν προετοιμασμένοι για τον κίνδυνο του Mediocristan, αλλά ήρθαν αντιμέτωποι με τη στατιστική του Extremistan. Η εργασία ολοκληρώνει αυτό το θεωρητικό σκέλος υποστηρίζοντας ότι η μόνη βιώσιμη προσέγγιση στη σύγχρονη οικονομετρία είναι η ενσωμάτωση της ασυμμετρίας και της κύρτωσης ως δομικών στοιχείων της ανάλυσης.

## **2.4 Λήψη αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας και συμπεριφορική χρηματοοικονομική**

### **2.4.1 Η διάκριση μεταξύ κινδύνου και αβεβαιότητας**

Η παραδοσιακή χρηματοοικονομική θεωρία συχνά συγχέει τις έννοιες του κινδύνου και της αβεβαιότητας. Ωστόσο, στην καρδιά των κρίσεων της 11ης Σεπτεμβρίου και του COVID-19 βρίσκεται η διάκριση του Frank Knight (1921). Ο κίνδυνος αναφέρεται σε καταστάσεις όπου οι

πιθανότητες των αποτελεσμάτων είναι γνωστές (Mediocristan), ενώ η αβεβαιότητα αφορά καταστάσεις όπου οι ίδιες οι πιθανότητες είναι άγνωστες ή μη υπολογίσιμες (Extremistan). Σε περιόδους εξωγενών σοκ, οι αγορές μεταπίπτουν από το καθεστώς του υπολογίσιμου κινδύνου στο καθεστώς της «Knightian Αβεβαιότητας».

Αυτή η μετάβαση προκαλεί παράλυση στους μηχανισμούς λήψης αποφάσεων. Όπως υποστηρίζουν οι Caballero και Krishnamurthy (2008), όταν οι επενδυτές αντιμετωπίζουν αβεβαιότητα, τείνουν να υιοθετούν την προσέγγιση της «χειρότερης δυνατής περίπτωσης» (worst-case scenario), οδηγώντας σε μαζικές ρευστοποιήσεις περιουσιακών στοιχείων. Αυτή η συμπεριφορά εξηγεί γιατί η μεταβλητότητα εκτοξεύεται ακαριαία: δεν οφείλεται σε μεταβολή των θεμελιωδών μεγεθών, αλλά σε μια απότομη αύξηση της αποστροφής προς την αβεβαιότητα, η οποία μεταφράζεται σε «ασφάλιστρο κινδύνου» (risk premium) που οι επενδυτές απαιτούν για να παραμείνουν στην αγορά.

#### **2.4.2 Θεωρία της Προοπτικής και Αποστροφή Ζημίας**

Η Συμπεριφορική Χρηματοοικονομική (Behavioral Finance) προσφέρει μια πιο ρεαλιστική ερμηνεία της ασυμμετρίας που παρατηρούμε στα μοντέλα EGARCH μέσω της «Θεωρίας της Προοπτικής» (Prospect Theory) των Kahneman και Tversky (1979). Η κεντρική παραδοχή είναι ότι η ψυχολογική αντίδραση στη ζημία είναι πολύ πιο έντονη από την αντίδραση στο ισόποσο κέρδος. Στις χρηματιστηριακές κρίσεις, αυτή η «Αποστροφή Ζημίας» (loss aversion) προκαλεί πανικόβλητες πωλήσεις (panic selling), οι οποίες αυξάνουν τη μεταβλητότητα πολύ περισσότερο από ό,τι μια θετική είδηση θα την μείωνε.

Κατά τη διάρκεια της πανδημίας του 2020, η αποστροφή ζημίας λειτούργησε σε παγκόσμια κλίμακα. Οι επενδυτές, αντιμέτωποι με μια πρωτοφανή απειλή, αντέδρασαν μεροληπτικά υπέρ της ασφάλειας των μετρητών. Το γεγονός αυτό δημιούργησε μια «αρνητική ανάδραση» (negative feedback loop): οι τιμές έπεφταν, ο πανικός αυξανόταν, η αποστροφή ζημίας ενεργοποιούσε νέες πωλήσεις και η μεταβλητότητα παρέμενε σε ακραία επίπεδα για παρατεταμένο διάστημα. Το μοντέλο EGARCH, μέσω της παραμέτρου της ασυμμετρίας, καταφέρνει να «φωτογραφίσει» ακριβώς αυτή την ψυχολογική δυναμική, αποδεικνύοντας ότι ο κίνδυνος είναι σε μεγάλο βαθμό παράγωγο της ανθρώπινης αντίδρασης στην απειλή.

### 2.4.3 Αγελαία συμπεριφορά και γνωστικές προκαταλήψεις

Ένα άλλο κρίσιμο φαινόμενο στη λήψη αποφάσεων υπό πίεση είναι η «αγελαία συμπεριφορά» (herding behavior). Όταν η αβεβαιότητα είναι υψηλή, το άτομο τείνει να εγκαταλείπει την προσωπική του ανάλυση και να ακολουθεί τις πράξεις του πλήθους. Στις αγορές, αυτό μετατρέπεται σε «συνωστισμό» (crowding) στις ίδιες συναλλαγές, γεγονός που εξαφανίζει τη ρευστότητα και προκαλεί βίαιες αναπροσαρμογές τιμών. Ο Shiller (2015) περιγράφει αυτό το φαινόμενο ως «παράλογη έξαρση» (irrational exuberance) στην άνοδο και «παράλογο πανικό» στην πτώση.

Η «προκατάληψη της διαθεσιμότητας» (availability bias) παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο: οι επενδυτές υπερεκτιμούν την πιθανότητα ενός κραχ επειδή οι μνήμες από προηγούμενες κρίσεις (όπως η 11η Σεπτεμβρίου ή το 2008) είναι έντονες. Κατά τον COVID-19, η συνεχής ροή αρνητικών ειδήσεων ενίσχυσε αυτή την προκατάληψη, διατηρώντας τη μεταβλητότητα σε υψηλά επίπεδα. Η εργασία ολοκληρώνει αυτό το κεφάλαιο υποστηρίζοντας ότι η κατανόηση της συμπεριφορικής χρηματοοικονομικής είναι απαραίτητη για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων του VaR, καθώς τα στατιστικά «breaches» (παραβιάσεις) είναι συχνά το αποτέλεσμα μιας αγοράς που έχει πάψει να λειτουργεί ορθολογικά και κινείται με γνώμονα τα ένστικτα της μάζας.

## 2.5 Μηχανισμοί μετάδοσης και χρηματοπιστωτικός μολυσμός

### 2.5.1 Η εννοιολογική διάκριση μεταξύ μολυσμού και αλληλεξάρτησης

Στη διεθνή χρηματοοικονομική βιβλιογραφία, η σαφής διάκριση μεταξύ της απλής αλληλεξάρτησης και του καθαρού μολυσμού αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την ορθή ερμηνεία των κρίσεων. Η αλληλεξάρτηση περιγράφει τις σταθερές και μόνιμες διασυνδέσεις μεταξύ των αγορών που υφίστανται κατά τη διάρκεια ομαλών περιόδων, αντικατοπτρίζοντας τις θεμελιώδεις οικονομικές σχέσεις, το διακρατικό εμπόριο και τις μακροχρόνιες επενδυτικές ροές. Αντιθέτως, ο χρηματοπιστωτικός μολυσμός (financial contagion) ορίζεται ως η σημαντική και απότομη αύξηση των δεσμών αυτών αμέσως μετά από ένα σοκ σε μια αγορά αναφοράς, όπως ο δείκτης S&P 500. Σύμφωνα με την Forbes (2012), ο μολυσμός υποδηλώνει ότι η μετάδοση της κρίσης υπερβαίνει αυτό που θα δικαιολογούσαν οι οικονομικοί δεσμοί, εισερχόμενη στη σφαίρα του συλλογικού πανικού και της κατάρρευσης της ρευστότητας.

Στην περίπτωση της 11ης Σεπτεμβρίου, ο μολυσμός είχε έντονο γεωπολιτικό και ψυχολογικό χαρακτήρα, καθώς η επίθεση στην καρδιά του αμερικανικού χρηματοπιστωτικού

συστήματος προκάλεσε άμεση ανατιμολόγηση του κινδύνου παγκοσμίως λόγω της αβεβαιότητας για τη διεθνή ασφάλεια. Κατά την πανδημία του COVID-19, η μετάδοση ακολούθησε την ταχύτητα της βιολογικής εξάπλωσης του ιού, δημιουργώντας μια πρωτοφανή ταυτόχρονη κατάρρευση των αποδόσεων σε παγκόσμια κλίμακα, η οποία ενισχύθηκε από την καθολική παύση της οικονομικής δραστηριότητας. Η διάκριση αυτή είναι κρίσιμη, καθώς ο μολυσμός υποδηλώνει μια δομική θραύση (structural break) στις συσχετίσεις των αγορών, καθιστώντας τα παραδοσιακά μοντέλα διαφοροποίησης χαρτοφυλακίου προσωρινά ανενεργά.

### **2.5.2 Τα κανάλια μετάδοσης του κινδύνου και η κρίση ρευστότητας**

Η μετάδοση των διαταραχών κατά τη διάρκεια ενός εξωγενούς σοκ πραγματοποιείται μέσα από συγκεκριμένα και πολυεπίπεδα κανάλια, με το κανάλι της ρευστότητας να κατέχει κεντρικό ρόλο. Όταν οι θεσμικοί επενδυτές υφίστανται εκτεταμένες ζημιές σε μια κεντρική αγορά όπως οι ΗΠΑ, αναγκάζονται συχνά να ρευστοποιήσουν θέσεις σε άλλες αγορές προκειμένου να καλύψουν τις κεφαλαιακές τους ανάγκες, τα margin calls ή τις απαιτήσεις των πελατών τους για εξαγορές μεριδίων. Αυτή η διαδικασία των «αναγκαστικών πωλήσεων» (fire sales) δημιουργεί μια αλυσιδωτή αντίδραση, μεταφέροντας την πίεση των τιμών από τον S&P 500 σε ολόκληρο το παγκόσμιο σύστημα, ακόμα και σε οικονομίες που δεν σχετίζονται άμεσα με το αρχικό σοκ.

Παράλληλα, το κανάλι της πληροφόρησης και των προσδοκιών λειτουργεί ως καταλύτης διάχυσης. Ένα βίαιο σοκ θεωρείται σήμα για επερχόμενη επιδείνωση των παγκόσμιων συνθηκών, οδηγώντας στο φαινόμενο της «φυγής προς την ποιότητα» (flight to quality). Σε αυτή την κατάσταση, τα κεφάλαια εγκαταλείπουν μαζικά τις μετοχές για να αναζητήσουν καταφύγιο σε ασφαλή περιουσιακά στοιχεία, όπως τα αμερικανικά κρατικά ομόλογα ή ο χρυσός. Η συμπεριφορά αυτή επιτείνει την πτώση των δεικτών και τροφοδοτεί τη μεταβλητότητα. Στην κρίση του COVID-19, προστέθηκε και το κανάλι των εφοδιαστικών αλυσίδων, όπου η διακοπή της παραγωγής σε μια περιοχή μεταφράστηκε ακαριαία σε χρηματοοικονομικό κίνδυνο για τις πολυεθνικές εταιρείες του S&P 500, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο μεταξύ πραγματικής οικονομίας και κεφαλαιαγορών.

### **2.5.3 Συστημικός κίνδυνος και η δυναμική της διάχυσης μεταβλητότητας**

Ο χρηματοπιστωτικός μολυσμός εκδηλώνεται στα οικονομετρικά υποδείγματα μέσω της διάχυσης της μεταβλητότητας (volatility spillover), όπου η «νευρική» μιας αγοράς μεταδίδεται

και ενσωματώνεται στη διακύμανση άλλων δεικτών. Η θεωρία του συστημικού κινδύνου υποστηρίζει ότι η υψηλή διασυνδεσιμότητα του σύγχρονου συστήματος λειτουργεί ως αγωγός που επιτρέπει στον κίνδυνο να αυτοτροφοδοτείται και να αποκτά εμμονή στον χρόνο. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η χρήση του υποδείγματος EGARCH επιτρέπει την καταγραφή αυτής της εμμονής, αναδεικνύοντας πώς ο μολυσμός αυξάνει την πυκνότητα των συστάδων μεταβλητότητας (volatility clusters).

Η κατανόηση αυτών των μηχανισμών είναι απαραίτητη για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων μας, καθώς αποδεικνύεται ότι οι παχιές ουρές της κατανομής το 2020 ήταν αποτέλεσμα ενός καθολικού και πολυκαναλικού μολυσμού, ο οποίος διήρκεσε πολύ περισσότερο από το σοκ του 2001. Η ανάλυση καταλήγει στο ότι ο μολυσμός μετατρέπει μια εξωγενή διαταραχή σε μια συστημική απειλή που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με παραδοσιακά μέσα. Η ικανότητα των αγορών να απορροφούν τέτοια σοκ εξαρτάται πλέον από τη συλλογική αντίδραση των επενδυτών και την ταχύτητα με την οποία οι πληροφορίες για τον μολυσμό ενσωματώνονται στις τιμές, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της συνεχούς παρακολούθησης των συσχετίσεων σε περιόδους ακραίας αβεβαιότητας.

## **2.6 Νομισματική πολιτική και μικροδομή της αγοράς**

### **2.6.1 Η παρέμβαση των Κεντρικών Τραπεζών ως ρυθμιστής του συστημικού κινδύνου**

Η νομισματική πολιτική λειτουργεί ως ο απόλυτος «σταθεροποιητής» ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, ως ο καταλύτης της ψυχολογίας των επενδυτών κατά τη διάρκεια ακραίων εξωγενών σοκ. Σύμφωνα με τον Mishkin (2011), οι παρεμβάσεις των Κεντρικών Τραπεζών, με κυρίαρχη την Ομοσπονδιακή Τράπεζα των ΗΠΑ (Federal Reserve), δεν στοχεύουν απλώς στη ρύθμιση του πληθωρισμού, αλλά στην άμεση διασφάλιση της λειτουργικότητας των αγορών μέσω της παροχής άφθονης ρευστότητας. Κατά την κρίση του 2001, η Fed αντέδρασε με μια σειρά επιθετικών μειώσεων των επιτοκίων, προσπαθώντας να ανακόψει τη διάχυση του πανικού που προκάλεσε το γεωπολιτικό σοκ. Ωστόσο, στην κρίση του COVID-19 το 2020, η απάντηση μεταβλήθηκε ριζικά, περνώντας από τα συμβατικά εργαλεία σε μη συμβατικές πολιτικές, όπως η απεριόριστη Ποσοτική Χαλάρωση (Quantitative Easing) και η στήριξη των αγορών εταιρικών ομολόγων.

Η θεωρητική έννοια του «Fed Put», δηλαδή της πεποίθησης ότι η Κεντρική Τράπεζα θα παρέμβει πάντα για να θέσει ένα κατώτατο όριο στις τιμές των μετοχών, επηρεάζει άμεσα την υπό

συνθήκη μεταβλητότητα που καταγράφεται στα μοντέλα GARCH. Όταν οι επενδυτές αντιλαμβάνονται ότι η παρέμβαση είναι επαρκής, η παράμετρος εμμονής της μεταβλητότητας τείνει να αποκλιμακώνεται. Αντιθέτως, αν υπάρχει αμφιβολία για την αποτελεσματικότητα των μέτρων, η αβεβαιότητα εδραιώνεται, οδηγώντας σε αυτό που ο Brunermeier (2009) ονομάζει «παγίδα ρευστότητας και μεταβλητότητας», όπου οι αγορές παραμένουν σε καθεστώς υψηλού κινδύνου παρά τις ενέσεις κεφαλαίων. Η ανάλυση της νομισματικής πολιτικής αποδεικνύει ότι η μεταβλητότητα δεν είναι μόνο παράγωγο του σοκ, αλλά και της εμπιστοσύνης των δρώντων προς τους θεσμικούς εγγυητές του συστήματος.

### **2.6.2 Μικροδομή της αγοράς, αλγοριθμικές συναλλαγές και τοξικότητα ροής**

Η μικροδομή της αγοράς (Market Microstructure) προσφέρει τη «μικροσκοπική» οπτική των συναλλαγών, εξετάζοντας πώς οι εντολές αγοράς και πώλησης αλληλεπιδρούν στο επίπεδο του order book για να διαμορφώσουν την τελική τιμή. Στο σύγχρονο περιβάλλον του S&P 500, η κυριαρχία των αλγοριθμικών συναλλαγών υψηλής συχνότητας (High-Frequency Trading - HFT) έχει μετασηματίσει τη δυναμική των τιμών. Ο Hasbrouck (2007) επισημαίνει ότι ενώ οι αλγόριθμοι παρέχουν ρευστότητα σε ομαλές περιόδους, σε περιόδους ακραίων σοκ τείνουν να αποσύρονται μαζικά ή να αντιδρούν με τρόπο που εντείνει την πτώση. Το 2020, η ταχύτητα με την οποία η μεταβλητότητα εκτινάχθηκε οφείλεται εν μέρει στην «τοξικότητα της ροής των εντολών» (order flow toxicity).

Όταν οι αλγόριθμοι των ειδικών διαπραγματευτών (market makers) αντιλαμβάνονται ότι διαπραγματεύονται με επενδυτές που κατέχουν προνομιακή ή καταστροφική πληροφορία για την εξέλιξη της πανδημίας, διευρύνουν ακαριαία το bid-ask spread ή παύουν εντελώς να παρέχουν τιμές. Αυτή η «εξάτμιση της ρευστότητας» (liquidity evaporation) οδηγεί σε βίαιες αναπροσαρμογές, γνωστές ως flash crashes, όπου οι τιμές μπορούν να καταρρεύσουν και να ανακάμψουν μέσα σε λίγα λεπτά. Η σύγκριση μεταξύ 2001 και 2020 αναδεικνύει αυτή τη δομική διαφορά: το 2001 η αγορά είχε ακόμα «ανθρώπινα» αντανάκλαστικά, ενώ το 2020 η ψηφιακή μικροδομή επέτρεψε στον πανικό να διαδοθεί με ταχύτητες φωτός, δημιουργώντας τις ακραίες κορυφώσεις (spikes) που παρατηρούνται στην εμπειρική μας ανάλυση.

### 2.6.3 Πληροφοριακή ασυμμετρία και το ψυχολογικό φράγμα της ρευστότητας

Η διεύρυνση του bid-ask spread κατά τη διάρκεια των κρίσεων δεν είναι απλώς ένα τεχνικό ζήτημα, αλλά μια αντανάκλαση της πληροφοριακής ασυμμετρίας. Σε συνθήκες εξωγενών σοκ, η αβεβαιότητα για την πραγματική αξία των περιουσιακών στοιχείων αυξάνεται δραματικά. Οι διαπραγματευτές, φοβούμενοι ότι θα βρεθούν στη λάθος πλευρά μιας συναλλαγής, αυξάνουν το κόστος συναλλαγής ως ασφάλιστρο κινδύνου. Όπως αναφέρει η O'Hara (1995), η μικροδομή της αγοράς είναι ο καθρέπτης της διαδικασίας «ανακάλυψης της τιμής» (price discovery).

Στην περίπτωση του COVID-19, η ανακάλυψη αυτής της τιμής ήταν εξαιρετικά επίπονη, καθώς οι παραδοσιακοί δείκτες αποτίμησης κατέρρευσαν. Το αποτέλεσμα ήταν μια αγορά «ρηχή», όπου ακόμα και μικρές εντολές πώλησης προκαλούσαν δυσανάλογα μεγάλες μεταβολές στην τιμή. Αυτή η ευαισθησία είναι που τροφοδοτεί την ετεροσκεδαστικότητα και τις παχιές ουρές της κατανομής. Η ενότητα αυτή καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η μεταβλητότητα του S&P 500 είναι το τελικό προϊόν μιας σύγκρουσης: από τη μία πλευρά οι Κεντρικές Τράπεζες προσπαθούν να «επιβάλουν» την ηρεμία μέσω του χρήματος, και από την άλλη η μικροδομή της αγοράς εκθέτει την ανασφάλεια του συστήματος μέσα από τα κενά στη ρευστότητα και την ταχύτητα των αλγορίθμων.

### **3. Μεθοδολογία της έρευνας και οικονομετρικός σχεδιασμός**

#### **3.1 Ερευνητική προσέγγιση και φιλοσοφική θεμελίωση της μελέτης**

##### **3.1.1 Επιστημολογική τοποθέτηση και η κυριαρχία του θετικισμού**

Η παρούσα διατριβή εδράζεται επιστημολογικά στις αρχές του λογικού θετικισμού, μια προσέγγιση που αποτελεί το θεμέλιο της σύγχρονης χρηματοοικονομικής οικονομετρίας και της ποσοτικής ανάλυσης. Σύμφωνα με τους Saunders, Lewis και Thornhill (2019), η κεντρική παραδοχή αυτής της φιλοσοφικής σχολής είναι ότι η πραγματικότητα των χρηματοπιστωτικών αγορών είναι αντικειμενική, εξωτερική ως προς τον παρατηρητή και μπορεί να κατανοηθεί πλήρως μέσω της εμπειρικής μέτρησης και της στατιστικής ανάλυσης. Στο πλαίσιο της μελέτης του δείκτη S&P 500, οι τιμές των μετοχών και οι αποδόσεις τους δεν αντιμετωπίζονται ως τυχαία μεγέθη, αλλά ως φορείς συμπυκνωμένης πληροφορίας που αντικατοπτρίζουν τις συλλογικές προσδοκίες, τους φόβους και τις αντιδράσεις εκατομμυρίων επενδυτών παγκοσμίως. Η επιλογή της ποσοτικής προσέγγισης είναι συνειδητή, καθώς επιδιώκει να απομονώσει την υποκειμενική ερμηνεία των γεγονότων και να προσφέρει μια αυστηρή, μαθηματικά τεκμηριωμένη ανατομία των κρίσεων. Η ερευνητική στρατηγική ακολουθεί την παραγωγική μέθοδο, όπως περιγράφεται από τον Popper (1959), ξεκινώντας από τη γενική θεωρία της υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας και των εξωγενών διαταραχών, προκειμένου να καταλήξει σε συγκεκριμένες, ελέγξιμες υποθέσεις σχετικά με τη δυναμική της μεταβλητότητας κατά την 11η Σεπτεμβρίου και την πανδημία του COVID-19.

##### **3.1.2 Η φιλοσοφία του κινδύνου και η δυναμική φύση της αβεβαιότητας**

Η φιλοσοφική θεμελίωση της μελέτης απαιτεί μια ριζική επαναξιολόγηση της έννοιας του κινδύνου, μετατοπίζοντας την ανάλυση από τη στατική στην δυναμική του μορφή. Ενώ η κλασική χρηματοοικονομική θεωρία, επηρεασμένη από τα υποδείγματα ισορροπίας, αντιμετώπιζε τον κίνδυνο ως μια σταθερή και αμετάβλητη παράμετρο, η παρούσα εργασία ευθυγραμμίζεται με τη θεωρία της μεταβαλλόμενης μεταβλητότητας. Η φιλοσοφική παραδοχή πίσω από τη χρήση των μοντέλων GARCH, που εισήγαγε ο Bollerslev (1986), και η μετέπειτα εξέλιξή τους στο EGARCH από τον Nelson (1991), είναι ότι οι αγορές διαθέτουν μνήμη, γεγονός που σημαίνει ότι η αβεβαιότητα του παρελθόντος καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την επικινδυνότητα του μέλλοντος. Αυτή η ιστορικότητα των δεδομένων, την οποία αναλύει εκτενώς ο Tsay (2010), ανατρέπει την ιδέα των απόλυτα αποτελεσματικών αγορών που ξεχνούν ακαριαία κάθε πληροφορία, αναδεικνύοντας αντίθετα τη σημασία των συστάδων μεταβλητότητας. Στο πλαίσιο αυτό, ο

κίνδυνος δεν θεωρείται ένα εξωτερικό σφάλμα του συστήματος, αλλά ένα ενδογενές χαρακτηριστικό της δυναμικής του, το οποίο εντείνεται βίαια κατά τη διάρκεια εξωγενών σοκ. Η μελέτη εστιάζει ακριβώς σε αυτή την εξελικτική πορεία της αβεβαιότητας, θεωρώντας ότι η κατανόηση της δομής της μνήμης των αγορών αποτελεί το κλειδί για την ανάλυση της συστημικής ευστάθειας.

### **3.1.3 Η κριτική της κανονικότητας και η αποδοχή του "Extremistan"**

Μια από τις πιο κρίσιμες πτυχές της ερευνητικής φιλοσοφίας που υιοθετείται είναι η επιστημολογική απόρριψη της κανονικής κατανομής ως επαρκούς εργαλείου για την περιγραφή ακραίων καταστάσεων. Η μελέτη ενσωματώνει την κριτική σκέψη σχετικά με την τυραννία της καμπύλης Gauss, αποδεχόμενη, όπως υποστηρίζει ο Taleb (2007), ότι οι χρηματοπιστωτικές αγορές ανήκουν σε αυτό που ονομάζεται Extremistan. Σε αυτόν τον κόσμο, τα σπάνια και ακραία γεγονότα, όπως μια τρομοκρατική επίθεση ή μια παγκόσμια υγειονομική κρίση, δεν είναι απλά στατιστικά παράδοξα, αλλά οι κύριοι διαμορφωτές της ιστορικής εξέλιξης των αγορών. Η επιλογή της κατανομής t-Student και η χρήση του εκθετικού υποδείγματος GARCH αντικατοπτρίζουν τη φιλοσοφική δέσμευση στην αναγνώριση των παχιών ουρών και της ασυμμετρίας, έννοιες που θεμελίωσε ο Mandelbrot (1963). Αποδεχόμαστε επιστημονικά ότι η ανθρώπινη αντίδραση στον φόβο και τη ζημία είναι δυσανάλογα πιο έντονη από την αντίδραση στην ευφορία και το κέρδος, μια παραδοχή που μετατρέπει την οικονομετρική ανάλυση από μια στεγνή μαθηματική άσκηση σε μια ρεαλιστική μελέτη της ανθρώπινης και συστημικής συμπεριφοράς υπό πίεση.

### **3.1.4 Συγκριτική μεθοδολογία και ερευνητικός σχεδιασμός**

Ο ερευνητικός σχεδιασμός της διατριβής ολοκληρώνεται μέσω της συγκριτικής μεθόδου, η οποία, σύμφωνα με τον Bryman (2016), επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων που υπερβαίνουν την απλή περιγραφή μιας περιόδου. Η παράλληλη εξέταση δύο ετερόκλητων αλλά εξίσου βίαιων εξωγενών σοκ, όπως αυτά του 2001 και του 2020, αποσκοπεί στον εντοπισμό δομικών ομοιοτήτων στον τρόπο με τον οποίο ο δείκτης S&P 500 απορροφά και ενσωματώνει την ακραία πληροφορία. Η μεθοδολογική πορεία είναι αυστηρά δομημένη, ξεκινώντας από την επαλήθευση των στατιστικών ιδιοτήτων των δεδομένων, συνεχίζοντας με την εκτίμηση των παραμέτρων του EGARCH για την αποκάλυψη της εμμονής και της ασυμμετρίας, και καταλήγοντας στην αξιολόγηση του κινδύνου μέσω του Value-at-Risk. Αυτή η ολοκληρωμένη προσέγγιση διασφαλίζει

ότι η μελέτη δεν περιορίζεται στην καταγραφή της μεταβλητότητας, αλλά προσφέρει μια βαθιά κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την επιβίωση των χρηματοοικονομικών συστημάτων απέναντι σε απρόβλεπτες και καταστροφικές διαταραχές.

### **3.2 Πηγή δεδομένων, στρατηγική δειγματοληψίας και αντιπροσωπευτικότητα**

#### **3.2.1 Προέλευση, αξιοπιστία και τεχνικές προδιαγραφές των δεδομένων**

Η διασφάλιση της ποιότητας και της ακεραιότητας των πρωτογενών δεδομένων αποτελεί την κρισιμότερη ίσως βαθμίδα της οικονομετρικής ανάλυσης, καθώς η αξιοπιστία των εκτιμήσεων του μοντέλου EGARCH εξαρτάται άμεσα από την καθαρότητα της εισερχόμενης πληροφορίας. Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες προσαρμοσμένες τιμές κλεισίματος (adjusted closing prices) του δείκτη S&P 500. Η επιλογή των προσαρμοσμένων τιμών είναι επιβεβλημένη, καθώς, όπως υπογραμμίζει ο Hull (2018), λαμβάνουν υπόψη εταιρικές πράξεις όπως τα μερίσματα, οι διασπάσεις μετοχών (stock splits) και οι επαναγορές, διασφαλίζοντας έτσι ότι οι υπολογιζόμενες αποδόσεις αντικατοπτρίζουν την πραγματική οικονομική μεταβολή της αξίας και όχι τεχνικές αναπροσαρμογές της αγοράς.

Η άντληση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε από διεθνώς αναγνωρισμένες και αυστηρά ελεγχόμενες βάσεις χρηματοοικονομικών πληροφοριών, όπως το Yahoo Finance και το Bloomberg Terminal, ενώ για την επαλήθευση της ακρίβειας έγινε διασταύρωση με τη βάση δεδομένων FRED (Federal Reserve Economic Data) της Federal Reserve Bank του St. Louis. Η χρήση ημερήσιας συχνότητας δειγματοληψίας κρίθηκε ως η πλέον ενδεδειγμένη, καθώς οι εξωγενείς διαταραχές που εξετάζονται προκαλούν ακαριαίες και βίαιες αντιδράσεις στους επενδυτές. Σύμφωνα με τον Tsay (2010), η χρήση δεδομένων χαμηλότερης συχνότητας, όπως εβδομαδιαίων ή μηνιαίων, θα οδηγούσε αναπόφευκτα στο φαινόμενο της «στατιστικής εξομάλυνσης» (smoothing), αποκρύπτοντας τις ακραίες ημερήσιες διακυμάνσεις που αποτελούν τον πυρήνα της μελέτης των παχιών ουρών και της λεπτοκύρτωσης.

#### **3.2.2 Στρατηγική σκόπιμης δειγματοληψίας και χρονική οριοθέτηση**

Η στρατηγική δειγματοληψίας που υιοθετείται στην εργασία ακολουθεί τις αρχές της σκόπιμης ή κριτικής δειγματοληψίας (purposive/critical case sampling). Όπως περιγράφεται από τους Saunders, Lewis και Thornhill (2019), αντί για μια τυχαία επιλογή χρονικών διαστημάτων, η έρευνα επικεντρώνεται με ακρίβεια σε δύο ιστορικά ορόσημα που χαρακτηρίζονται από ακραία

αβεβαιότητα και αυτό που συχνά ονομάζεται «Knightian αβεβαιότητα». Η πρώτη περίοδος οριοθετείται γύρω από το έτος 2001, εστιάζοντας στο γεωπολιτικό σοκ των τρομοκρατικών επιθέσεων της 11ης Σεπτεμβρίου, ένα γεγονός που προκάλεσε την πρωτοφανή τετραήμερη διακοπή των συναλλαγών στα αμερικανικά χρηματιστήρια και μια ριζική αναθεώρηση του παγκόσμιου ασφαλιστρου κινδύνου.

Η δεύτερη περίοδος καλύπτει το έτος 2020, το οποίο σημαδεύτηκε από την εμφάνιση της πανδημίας του COVID-19, προσφέροντας ένα μοναδικό πεδίο μελέτης για τον τρόπο με τον οποίο ένα μη οικονομικό, βιολογικό αίτιο μετατρέπεται σε συστημικό χρηματοοικονομικό κίνδυνο. Η επιλογή δύο τόσο ετερόκλητων σε φύση γεγονότων επιτρέπει τη διεξαγωγή μιας βαθιάς συγκριτικής ανάλυσης, η οποία, σύμφωνα με τον Bryman (2016), στοχεύει να αναδείξει αν οι μηχανισμοί μετάδοσης της μεταβλητότητας και οι ασύμμετρες αντιδράσεις των επενδυτών αποτελούν καθολικά χαρακτηριστικά των κρίσεων ή αν διαφοροποιούνται ανάλογα με την προέλευση του σοκ. Η χρονική έκταση των δειγμάτων επιλέχθηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει επαρκή αριθμό παρατηρήσεων πριν και μετά το σοκ, διασφαλίζοντας τη στατιστική ισχύ των εκτιμήσεων και την ικανότητα του μοντέλου να καταγράψει τη μετάβαση μεταξύ διαφορετικών καθεστώτων μεταβλητότητας.

### **3.2.3 Αντιπροσωπευτικότητα του S&P 500 και παγκόσμια εμβέλεια**

Η αντιπροσωπευτικότητα της έρευνας θωρακίζεται μέσω της επιλογής του δείκτη S&P 500 ως κύριου αντικείμενου ανάλυσης. Ο S&P 500 δεν αποτελεί απλώς μια καταγραφή της αμερικανικής κεφαλαιαγοράς, αλλά λειτουργεί ως το υπέρτατο βαρόμετρο της παγκόσμιας επενδυτικής ψυχολογίας και της παγκόσμιας οικονομικής υγείας. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία της Standard & Poor's (2020), ο δείκτης περιλαμβάνει τις 500 κορυφαίες εταιρείες σε όρους κεφαλαιοποίησης, καλύπτοντας περίπου το 80% της συνολικής χρηματιστηριακής αξίας των ΗΠΑ και αποτελεί το υποκείμενο περιουσιακό στοιχείο για αναρίθμητα χρηματοοικονομικά παράγωγα και επενδυτικά προϊόντα παγκοσμίως.

Όπως τεκμηριώνουν οι Campbell, Lo και MacKinlay (1997), η συμπεριφορά του S&P 500 κατά τη διάρκεια κρίσεων επηρεάζει αλυσιδωτά τη ρευστότητα και την εμπιστοσύνη τόσο στις αναδυόμενες όσο και στις αναπτυγμένες αγορές μέσω των καναλιών του χρηματοπιστωτικού μολυσμού. Κατά συνέπεια, τα συμπεράσματα που εξάγονται από την ανάλυση αυτού του δείκτη διαθέτουν εξαιρετικά υψηλή εξωτερική εγκυρότητα, καθώς οι μηχανισμοί ασυμμετρίας, το

φαινόμενο της μόχλευσης και οι παχιές ουρές που εντοπίζονται εδώ, τείνουν να αντικατοπτρίζονται με παρόμοια ή και εντονότερη ένταση στο σύνολο του διεθνούς χρηματοπιστωτικού οικοσυστήματος, καθιστώντας την παρούσα μελέτη ένα κρίσιμο εργαλείο για την κατανόηση της παγκόσμιας συστημικής ευστάθειας.

### **3.2.4 Στατιστική επάρκεια και μεθοδολογική αυστηρότητα**

Για τη διασφάλιση της μέγιστης στατιστικής επάρκειας, ο αριθμός των παρατηρήσεων σε κάθε υποδείγμα έχει επιλεγεί προσεκτικά ώστε να υπερκαλύπτει τις απαιτήσεις σύγκλισης των αλγορίθμων μέγιστης πιθανοφάνειας που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα EGARCH. Η διαδικασία μετασχηματισμού των αυτούσιων τιμών σε λογαριθμικές αποδόσεις εξασφαλίζει την απαραίτητη στασιμότητα της χρονοσειράς. Όπως εξηγεί ο Brooks (2019), ο μετασχηματισμός αυτός επιτρέπει την εφαρμογή των οικονομετρικών ελέγχων χωρίς τον κίνδυνο ψευδών συσχετίσεων και διευκολύνει τη μελέτη των μεταβολών σε ποσοστιαία βάση.

Επιπλέον, η δειγματοληπτική στρατηγική περιλαμβάνει τον αυστηρό καθαρισμό των δεδομένων από ελλείπουσες τιμές και την αντιμετώπιση ακραίων παρατηρήσεων που δεν σχετίζονται με τα υπό μελέτη σοκ. Σύμφωνα με τον Hamilton (1994), η μεθοδολογική αυτή αυστηρότητα είναι που εγγυάται ότι η ανάλυση βασίζεται σε ένα στιβαρό και καθαρό σύνολο δεδομένων. Η στρατηγική αυτή επιτρέπει στην εργασία να προχωρήσει στο στάδιο της μοντελοποίησης με τη βεβαιότητα ότι τα εμπειρικά ευρήματα θα είναι στατιστικά σημαντικά και θα προσφέρουν μια έγκυρη και αδιάσειστη βάση για τη διατύπωση συμπερασμάτων σχετικά με τη διαχείριση ακραίου κινδύνου σε περιβάλλοντα υψηλής πίεσης.

## **3.3 Ανάλυση στυλιζαρισμένων γεγονότων και η θεωρία των παχιών ουρών**

### **3.3.1 Η έννοια και η σημασία των στυλιζαρισμένων γεγονότων**

Τα στυλιζαρισμένα γεγονότα (stylized facts) αναφέρονται σε στατιστικές ιδιότητες που εμφανίζονται με αξιοσημείωτη συνέπεια σε ένα ευρύ φάσμα χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων και χρονικών περιόδων, καταρρίπτοντας συχνά τις απλοϊκές παραδοχές της γραμμικής στατιστικής. Όπως επισημαίνει ο Cont (2001), ενώ οι αποδόσεις των δεικτών όπως ο S&P 500 παρουσιάζουν ελάχιστη ή καθόλου αυτοσυσχέτιση —γεγονός που συνάδει με την ασθενή μορφή της αποτελεσματικότητας της αγοράς— οι απόλυτες ή τετραγωνισμένες αποδόσεις εμφανίζουν ισχυρή και μακροχρόνια αυτοσυσχέτιση.

Το φαινόμενο αυτό οδηγεί άμεσα στη συστάδα μεταβλητότητας (volatility clustering), μια έννοια που εισήγαγε ο Mandelbrot (1963), όπου οι περίοδοι υψηλής διακύμανσης τείνουν να διαδέχονται η μία την άλλη. Κατά τη διάρκεια της κρίσης του 2001 και της πανδημίας του 2020, η μεταβλητότητα δεν αυξήθηκε απλώς στιγμιαία, αλλά παρέμεινε σε εξαιρετικά υψηλά επίπεδα για παρατεταμένο διάστημα. Αυτό καταδεικνύει ότι τα εξωγενή σοκ διαθέτουν μια εσωτερική δυναμική και μνήμη που επηρεάζει τη μελλοντική αβεβαιότητα, καθιστώντας τα μοντέλα της οικογένειας GARCH απαραίτητα για την ορθή μοντελοποίηση του κινδύνου.

### **3.3.2 Η κατάρρευση της κανονικότητας και η λεπτοκύρτωση**

Μια από τις πιο καλά τεκμηριωμένες ιδιότητες των αποδόσεων του S&P 500 είναι η λεπτοκύρτωση (leptokurtosis). Η κλασική χρηματοοικονομική θεωρία συχνά υποθέτει ότι οι αποδόσεις ακολουθούν την Κανονική Κατανομή (Gaussian distribution), η οποία χαρακτηρίζεται από συντελεστή κύρτωσης ίσο με 3. Στην πραγματικότητα όμως, ειδικά σε περιόδους ακραίων εξωγενών σοκ, ο συντελεστής κύρτωσης εκτινάσσεται σε πολύ υψηλότερες τιμές.

Σύμφωνα με τον Tsay (2010), αυτό το φαινόμενο υποδηλώνει ότι οι αποδόσεις συγκεντρώνονται περισσότερο γύρω από τον μέσο όρο, αλλά ταυτόχρονα παρουσιάζουν πολύ πιο συχνές και ακραίες τιμές (outliers) από αυτές που θα προέβλεπε μια καμπύλη Gauss. Αυτή η στατιστική ανωμαλία είναι που δημιουργεί τις παχιές ουρές (fat tails) στην κατανομή των αποδόσεων. Η ύπαρξη αυτών των ουρών καθιστά τα σπάνια γεγονότα —όπως το κραχ που ακολούθησε την 11η Σεπτεμβρίου ή το sell-off του Μαρτίου 2020— πολύ πιο πιθανά από ό,τι υποθέτουν τα παραδοσιακά μοντέλα διαχείρισης κινδύνου, οδηγώντας συχνά σε καταστροφικές υποεκτιμήσεις των πιθανών ζημιών.

### **3.3.3 Η θεωρία των παχιών ουρών και η διαχείριση ακραίου κινδύνου**

Η θεωρία των παχιών ουρών (fat-tailed distributions) αποτελεί την επιστημονική απάντηση στην αποτυχία της παραδοχής της κανονικότητας κατά τη διάρκεια συστημικών κρίσεων. Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, η ύπαρξη παχιών ουρών σημαίνει ότι η πιθανότητα εμφάνισης αρνητικών αποδόσεων που βρίσκονται τρεις ή τέσσερις τυπικές αποκλίσεις μακριά από τον μέσο όρο είναι σημαντικά αυξημένη.

Όπως υποστηρίζει ο Taleb (2007), οι παραδοσιακές μέθοδοι διαχείρισης κινδύνου αποτυγχάνουν επειδή αγνοούν τα γεγονότα που βρίσκονται στις ουρές της κατανομής. Κατά τη

διάρκεια της πανδημίας του COVID-19, οι αγορές βίωσαν διαδοχικές ημέρες με πτώση άνω του 7%, γεγονότα που υπό την παραδοχή της κανονικότητας θα έπρεπε να συμβαίνουν μία φορά σε χιλιάδες χρόνια. Η ενσωμάτωση της κατανομής t-Student στο μοντέλο EGARCH επιτρέπει στην έρευνα να μοντελοποιήσει αυτές τις ουρές με ακρίβεια. Η παράμετρος των βαθμών ελευθερίας ( $\nu$ ) γίνεται το μέσο μέτρησης αυτής της παχύτητας: όσο μικρότερη είναι η τιμή του  $\nu$ , τόσο πιο παχιές είναι οι ουρές και τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ακραίων ζημιών, γεγονός που καθιστά τον υπολογισμό του Value-at-Risk (VaR) πολύ πιο ρεαλιστικό και αξιόπιστο για έναν θεσμικό επενδυτή.

### 3.3.4 Ασυμμετρία και το φαινόμενο της μόχλευσης

Πέρα από την κύρτωση, ένα άλλο κρίσιμο στυλιζαρισμένο γεγονός που εξετάζει η μελέτη είναι η αρνητική ασυμμετρία (negative skewness) και το φαινόμενο της μόχλευσης (leverage effect). Όπως τεκμηριώθηκε αρχικά από τον Black (1976), η μεταβλητότητα των μετοχών τείνει να αυξάνεται πολύ περισσότερο μετά από μια πτώση των τιμών παρά μετά από μια ισόποση άνοδο. Αυτό συμβαίνει επειδή οι αρνητικές αποδόσεις αυξάνουν τον φόβο και την αβεβαιότητα, οδηγώντας σε πανικόβλητες πωλήσεις και περαιτέρω αστάθεια.

Σύμφωνα με τον Brooks (2019), στις περιόδους που εξετάζει η εργασία, το φαινόμενο αυτό είναι διάχυτο: η 11η Σεπτεμβρίου προκάλεσε μια ασύμμετρη αύξηση της μεταβλητότητας που διήρκεσε εβδομάδες, ενώ η αβεβαιότητα του COVID-19 δημιούργησε έναν βρόχο αρνητικής ανάδρασης. Η αναγνώριση αυτής της ασυμμετρίας μέσω του EGARCH επιτρέπει στη μελέτη να διαχωρίσει την αντίδραση της αγοράς στα κακά νέα έναντι των καλών νέων, προσφέροντας μια βαθύτερη κατανόηση της μικροδομής του κινδύνου σε περιβάλλοντα ακραίας πίεσης. Η ενότητα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι τα στυλιζαρισμένα αυτά γεγονότα δεν είναι απλές στατιστικές περιέργειες, αλλά οι θεμελιώδεις δυνάμεις που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα των μοντέλων πρόβλεψης κινδύνου.

## 3.4 Μαθηματική μετατροπή και η προϋπόθεση της στασιμότητας των χρονοσειρών

### 3.4.1 Ο λογαριθμικός μετασχηματισμός και ο υπολογισμός των αποδόσεων

Πριν από την εφαρμογή οποιουδήποτε εξελεγμένου οικονομετρικού υποδείγματος της οικογένειας GARCH, είναι τεχνικά και μεθοδολογικά απαραίτητο να πραγματοποιηθεί η

μαθηματική μετατροπή των αυτούσιων τιμών του δείκτη S&P 500 σε λογαριθμικές αποδόσεις (log-returns). Όπως εξηγεί αναλυτικά ο Brooks (2019), η χρήση των λογαριθμικών αποδόσεων προτιμάται συστηματικά έναντι των απλών ποσοστιαίων μεταβολών στην ανάλυση χρηματοοικονομικών χρονοσειρών για δύο βασικούς λόγους. Πρώτον, οι λογαριθμικές αποδόσεις προσφέρουν το πλεονέκτημα της χρονικής προσθετικότητας (time-additivity), επιτρέποντας στον ερευνητή να υπολογίζει την απόδοση μιας ευρύτερης περιόδου ως το άθροισμα των επιμέρους ημερήσιων αποδόσεων. Δεύτερον, οι αποδόσεις αυτές τείνουν να παρουσιάζουν στατιστικές ιδιότητες που προσεγγίζουν περισσότερο την κανονικότητα σε μικρά χρονικά διαστήματα, γεγονός που διευκολύνει τη μαθηματική επεξεργασία. Μαθηματικά, η απόδοση υπολογίζεται ως ο φυσικός λογάριθμος του πηλίκου της τιμής κλεισίματος της τρέχουσας ημέρας προς την τιμή της προηγούμενης ημέρας. Σύμφωνα με τον Tsay (2010), αυτός ο μετασχηματισμός εξουδετερώνει τις μακροχρόνιες τάσεις (trends) που ενυπάρχουν στις τιμές των μετοχών, μετατρέποντας μια μη στάσιμη χρονοσειρά σε μια στοχαστική διαδικασία που ταλαντεύεται γύρω από έναν σταθερό μέσο όρο, γεγονός που αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για την αξιοπιστία των προβλέψεων μεταβλητότητας και την αποφυγή μεροληπτικών εκτιμήσεων.

### **3.4.2 Η έννοια της στασιμότητας και η σημασία της στην οικονομετρική μοντελοποίηση**

Η στασιμότητα (stationarity) αποτελεί την κρισιμότερη ίσως προϋπόθεση για την εγκυρότητα και την επαναληψιμότητα της ανάλυσης χρονοσειρών. Μια χρονοσειρά θεωρείται ασθενώς στάσιμη (weakly stationary) όταν τα στατιστικά της μεγέθη, δηλαδή ο μέσος όρος, η διακύμανση και η αυτοδιακύμανσή της, παραμένουν σταθερά και αμετάβλητα στον χρόνο. Όπως επισημαίνει ο Hamilton (1994), εάν μια χρονοσειρά δεν παρουσιάζει στασιμότητα, οι παραδοσιακοί έλεγχοι στατιστικής σημαντικότητας και οι συντελεστές παλινδρόμησης καθίστανται άκυροι, οδηγώντας στο σοβαρό σφάλμα της ψευδούς παλινδρόμησης (spurious regression). Σε ένα τέτοιο σενάριο, οι μεταβλητές φαίνεται να σχετίζονται μεταξύ τους λόγω της κοινής τους τάσης και όχι λόγω μιας πραγματικής οικονομικής σύνδεσης. Στην περίπτωση των κρίσεων του 2001 και του 2020, η διασφάλιση της στασιμότητας είναι αυτή που επιτρέπει στο μοντέλο EGARCH να λειτουργήσει ορθά και να διακρίνει αν οι απότομες μεταβολές οφείλονται σε μια μόνιμη δομική αλλαγή του συστήματος ή σε παροδικά σοκ μεταβλητότητας που θα εκτονωθούν στον χρόνο. Χωρίς την πλήρωση αυτής της προϋπόθεσης, οποιαδήποτε προσπάθεια υπολογισμού του Value-at-

Risk θα βασιζόταν σε μια ασταθή και επιστημονικά έωλη βάση, καθιστώντας τα αποτελέσματα της εργασίας αναξιόπιστα για τη λήψη αποφάσεων.

### 3.4.3 Έλεγχοι μοναδιαίας ρίζας: Η δοκιμασία Augmented Dickey-Fuller (ADF)

Η εμπειρική επαλήθευση της στασιμότητας των δεδομένων πραγματοποιείται μέσω αυστηρών στατιστικών δοκιμασιών, με επικρατέστερη και διεθνώς αναγνωρισμένη τη δοκιμασία Augmented Dickey-Fuller (ADF). Η δοκιμασία αυτή, η οποία βασίζεται στην πρωτοποριακή εργασία των Dickey και Fuller (1979), εξετάζει τη μηδενική υπόθεση ότι η χρονοσειρά περιέχει μια μοναδιαία ρίζα (unit root), γεγονός που θα σήμαινε ότι η σειρά είναι μη στάσιμη και ακολουθεί έναν «τυχαίο περίπατο». Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, η εφαρμογή του ελέγχου ADF στις λογαριθμικές αποδόσεις του S&P 500 είναι το πρώτο βήμα της ανάλυσης και αναμένεται να οδηγήσει σε κατηγορηματική απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης σε επίπεδο σημαντικότητας 1%. Όπως υποστηρίζουν οι Gujarati και Porter (2009), η απόρριψη της μοναδιαίας ρίζας επιβεβαιώνει στατιστικά ότι οι αποδόσεις διαθέτουν την ιδιότητα της επανόδου στον μέσο όρο (mean reversion). Αυτή η ιδιότητα είναι καθοριστική, καθώς επιτρέπει τη χρήση των υστερημένων τιμών των σφαλμάτων για την πρόβλεψη της μελλοντικής διακύμανσης. Με αυτόν τον τρόπο, η σύγκριση των δύο περιόδων αποκτά στέρεες βάσεις, διασφαλίζοντας ότι οι διαφορές που παρατηρούνται στη μεταβλητότητα μεταξύ της 11ης Σεπτεμβρίου και της πανδημίας δεν είναι προϊόν στατιστικών τεχνουργημάτων αλλά αντικατοπτρίζουν την πραγματική δυναμική των τιμών.

### 3.4.4 Συμπληρωματικοί έλεγχοι και μεθοδολογική θωράκιση της έρευνας

Για τη μεγιστοποίηση της μεθοδολογικής αυστηρότητας και την εξάλειψη κάθε αμφιβολίας σχετικά με τη φύση των δεδομένων, η μελέτη συχνά πλαισιώνει τον έλεγχο ADF με συμπληρωματικές δοκιμασίες, όπως ο έλεγχος Phillips-Perron (PP) ή ο έλεγχος KPSS. Σύμφωνα με τον Zivot (2006), η χρήση πολλαπλών ελέγχων στασιμότητας είναι απαραίτητη, ειδικά όταν τα δεδομένα παρουσιάζουν έντονη ετεροσκεδαστικότητα και δομικές αλλαγές (structural breaks), καταστάσεις που είναι σύμφυτες με τις περιόδους χρηματοοικονομικού πανικού που μελετώνται. Ο έλεγχος Phillips-Perron θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμος σε αυτό το πλαίσιο, καθώς είναι πιο ανθεκτικός σε περιπτώσεις όπου τα σφάλματα παρουσιάζουν αυτοσυσχέτιση ή δεν είναι ανεξάρτητα κατανομημένα. Η ολοκλήρωση αυτής της ενότητας αναδεικνύει ότι η μαθηματική προετοιμασία των δεδομένων δεν αποτελεί μια απλή τυπική διαδικασία, αλλά μια αναγκαία

επιστημονική συνθήκη για τη μετατροπή των ακατέργαστων τιμών σε ένα αξιόπιστο σύνολο πληροφοριών. Με αυτή τη στρατηγική, η εργασία θωρακίζεται πλήρως απέναντι σε στατιστικές ασυνέπειες, προετοιμάζοντας το έδαφος για την ανίχνευση των ARCH effects και την τελική εκτίμηση του υποδείγματος EGARCH, που θα οδηγήσει στα τελικά συμπεράσματα της σύγκρισης.

### **3.5 Η έννοια της ετεροσκεδαστικότητας και η ανίχνευση ARCH Effects**

#### **3.5.1 Από την ομοσκεδαστικότητα στη μεταβαλλόμενη διακύμανση**

Στην κλασική στατιστική ανάλυση και στα παραδοσιακά υποδείγματα παλινδρόμησης, η παραδοχή της ομοσκεδαστικότητας (homoscedasticity) αποτελεί κεντρικό πυλώνα, υποθέτοντας ότι η διασπορά των καταλοίπων παραμένει σταθερή στον χρόνο. Ωστόσο, όπως επισημαίνουν οι Gujarati και Porter (2009), η παραδοχή αυτή καταρρέει συστηματικά στην ανάλυση χρηματοοικονομικών χρονοσειρών. Η ετεροσκεδαστικότητα (heteroscedasticity) περιγράφει την κατάσταση όπου η διακύμανση των αποδόσεων μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες της αγοράς και την εισροή νέων πληροφοριών.

Σε περιόδους ακραίων γεγονότων, όπως η 11η Σεπτεμβρίου και η υγειονομική κρίση του 2020, η μεταβλητότητα δεν είναι ένας τυχαίος θόρυβος, αλλά παρουσιάζει μια συγκεκριμένη δομή. Σύμφωνα με τον Brooks (2019), η αγνόηση της ετεροσκεδαστικότητας οδηγεί σε ανακριβή διαστήματα εμπιστοσύνης και σε σοβαρή υποεκτίμηση του συστημικού κινδύνου, καθιστώντας τα αποτελέσματα της απλής παλινδρόμησης στατιστικά αναξιόπιστα. Η κατανόηση αυτής της δυναμικής είναι κρίσιμη για τη μελέτη του S&P 500, καθώς επιτρέπει τον εντοπισμό των περιόδων όπου ο κίνδυνος κλιμακώνεται ραγδαία.

#### **3.5.2 Η δυναμική των ARCH Effects και η μνήμη της μεταβλητότητας**

Τα «ARCH effects» (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity) αναφέρονται στην αυτοπαλινδρόμηση της υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας, ένα φαινόμενο που εισήγαγε ο Engle (1982). Το φαινόμενο αυτό υποδηλώνει ότι η τρέχουσα μεταβλητότητα εξαρτάται από το μέγεθος των σφαλμάτων των προηγούμενων περιόδων, πράγμα που σημαίνει ότι η διακύμανση είναι προβλέψιμη βάσει της πρόσφατης ιστορίας της αγοράς.

Όπως αναλύει ο Tsay (2010), στις περιόδους κρίσεων τα ARCH effects εκδηλώνονται με τη μορφή «συστάδων μεταβλητότητας» (volatility clustering), όπου μεγάλες μεταβολές στις τιμές τείνουν να ακολουθούνται από εξίσου μεγάλες μεταβολές. Για παράδειγμα, η βίαιη αντίδραση του

S&P 500 το 2001 και το 2020 δημιούργησε μια σειρά από μεγάλα τετραγωνισμένα σφάλματα, τα οποία «τροφοδότησαν» την υψηλή μεταβλητότητα για παρατεταμένο διάστημα. Αυτή η «μνήμη» της διακύμανσης είναι που επιτρέπει στα μοντέλα της οικογένειας GARCH να αναγνωρίζουν ότι η αβεβαιότητα δεν εκτονώνεται ακαριαία, αλλά διατηρείται στο σύστημα, επηρεάζοντας τις μελλοντικές προσδοκίες των επενδυτών.

### 3.5.3 Η διαγνωστική δοκιμασία ARCH-LM (Lagrange Multiplier Test)

Πριν από την εφαρμογή οποιουδήποτε προχωρημένου μοντέλου, είναι επιστημονικά απαραίτητο να αποδειχθεί η ύπαρξη των ARCH effects μέσω αυστηρών στατιστικών ελέγχων. Η πλέον διαδεδομένη μέθοδος, όπως τεκμηριώνεται από τον Engle (1982), είναι η δοκιμασία ARCH-LM. Η δοκιμασία αυτή βασίζεται στην παλινδρόμηση των τετραγωνισμένων καταλοίπων μιας εξίσωσης μέσης τιμής πάνω στις δικές τους υστερημένες τιμές (lags).

Σύμφωνα με τον Greene (2018), η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) πρεσβεύει την ομοσκεδαστικότητα, δηλαδή ότι η διασπορά είναι σταθερή. Στην ανάλυση των δεδομένων του 2001 και του 2020, η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης σε επίπεδο σημαντικότητας 1% αποτελεί το τελικό εμπειρικό τεκμήριο που δικαιολογεί τη χρήση του EGARCH. Εάν η τιμή της στατιστικής ελέγχου υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή, επιβεβαιώνεται ότι η μεταβλητότητα του S&P 500 ακολουθεί μια στοχαστική διαδικασία που απαιτεί δυναμική μοντελοποίηση, διαχωρίζοντας έτσι την παρούσα εργασία από μια απλή περιγραφική στατιστική μελέτη.

### 3.5.4 Ετεροσκεδαστικότητα και η σύνδεση με το Value-at-Risk

Η ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας έχει άμεσες και καταλυτικές συνέπειες στον υπολογισμό του Value-at-Risk (VaR). Όπως υποστηρίζει ο Bollerslev (1986), σε ένα περιβάλλον μεταβαλλόμενης διακύμανσης, ο κίνδυνος πρέπει να υπολογίζεται δυναμικά. Εάν χρησιμοποιούσαμε μια σταθερή τυπική απόκλιση, θα οδηγούμασταν σε τραγική υποτίμηση των πιθανών ζημιών κατά τη διάρκεια μιας κρίσης, καθώς το μοντέλο δεν θα μπορούσε να «δει» την απότομη αύξηση της αβεβαιότητας.

Η ανίχνευση των ARCH effects επιτρέπει στην έρευνα να προσαρμόζει καθημερινά το όριο του κινδύνου ανάλογα με την τρέχουσα κατάσταση της αγοράς. Κατά την περίοδο της πανδημίας του COVID-19, η ικανότητα αναγνώρισης της ετεροσκεδαστικότητας επέτρεψε στα μοντέλα να αποτυπώσουν την πρωτοφανή ταχύτητα με την οποία μεταβλήθηκε το προφίλ κινδύνου του S&P

500. Η ενότητα καταλήγει στο συμπέρασμα, σε συμφωνία με τον Hull (2018), ότι η ετεροσκεδαστικότητα αποτελεί πολύτιμη πηγή πληροφορίας που, αν μοντελοποιηθεί σωστά, προσφέρει τη δυνατότητα για μια πιο θωρακισμένη και ρεαλιστική προσέγγιση στη διαχείριση ακραίων χρηματοοικονομικών κινδύνων.

### **3.6 Εξειδίκευση του εκθετικού υποδείγματος EGARCH και η θεωρία της ασυμμετρίας**

#### **3.6.1 Η μαθηματική δομή και η υπεροχή του εκθετικού μετασχηματισμού**

Το υπόδειγμα EGARCH (Exponential GARCH), το οποίο εισήχθη από τον Nelson (1991), σχεδιάστηκε για να προσφέρει μια πιο ευέλικτη και ρεαλιστική προσέγγιση στη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας σε σχέση με το κλασικό υπόδειγμα GARCH του Bollerslev (1986). Η πρώτη και πλέον καθοριστική μαθηματική καινοτομία του EGARCH είναι η χρήση του φυσικού λογαρίθμου της υπό συνθήκη διακύμανσης ( $\ln(\sigma_t^2)$ ). Όπως επισημαίνουν οι Zivot και Wang (2006), αυτή η επιλογή διασφαλίζει ότι η εκτιμώμενη διακύμανση θα παραμένει πάντα θετική, ανεξάρτητα από τις τιμές που λαμβάνουν οι συντελεστές του μοντέλου κατά τη διάρκεια της εκτίμησης.

Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά το EGARCH ανώτερο από το απλό GARCH, στο οποίο πρέπει να επιβληθούν τεχνητοί περιορισμοί (non-negativity constraints) στις παραμέτρους, οι οποίοι συχνά παραβιάζονται σε περιόδους ακραίων διακυμάνσεων, όπως αυτές που μελετάμε για τον S&P 500 το 2001 και το 2020. Με τον εκθετικό αυτό μετασχηματισμό, το μοντέλο αποκτά τη δυνατότητα να προσαρμόζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια στα εμπειρικά δεδομένα, επιτρέποντας μια πιο ελεύθερη διερεύνηση της δυναμικής του κινδύνου χωρίς μαθηματικές ακαμψίες.

#### **3.6.2 Η θεωρία της ασυμμετρίας και το φαινόμενο της μόχλευσης**

Η κεντρική φιλοσοφία πίσω από την εξειδίκευση του EGARCH είναι η ενσωμάτωση της ασυμμετρίας, ένα φαινόμενο που ο Black (1976) χαρακτήρισε ως «φαινόμενο μόχλευσης» (leverage effect). Η θεωρία αυτή υποστηρίζει ότι η μεταβλητότητα των αποδόσεων τείνει να αυξάνεται πολύ πιο έντονα μετά από αρνητικά σοκ («κακά νέα») σε σύγκριση με θετικά σοκ («καλά νέα») ίσου μεγέθους. Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής, η ασυμμετρία αυτή είναι ζωτικής σημασίας για την ερμηνεία της αντίδρασης των επενδυτών στην τρομοκρατική επίθεση της 11ης Σεπτεμβρίου και στην παγκόσμια εξάπλωση του COVID-19.

Σύμφωνα με τον Brooks (2019), η ικανότητα του EGARCH να διαχωρίζει την επίδραση του μεγέθους (magnitude) από την επίδραση του προσήμου (sign) των διαταραχών, το καθιστά το πλέον ενδεδειγμένο εργαλείο για την ανάλυση κρίσεων. Η ύπαρξη αρνητικής και στατιστικά σημαντικής παραμέτρου ασυμμετρίας επιβεβαιώνει ότι οι επενδυτές στον S&P 500 αντιδρούν με μεγαλύτερο πανικό στις πτωτικές κινήσεις, γεγονός που οδηγεί σε βίαιες κορυφώσεις της αβεβαιότητας και απαιτεί υψηλότερα κεφάλαια κάλυψης κινδύνου.

### **3.6.3 Η εξίσωση της υπό συνθήκη διακύμανσης και η Εεμνηεία των παραμέτρων**

Η μαθηματική εξειδίκευση του υποδείγματος EGARCH(1,1) που εφαρμόζεται στην έρευνα ορίζεται από την εξίσωση του λογαρίθμου της διακύμανσης, όπου η παράμετρος  $\beta$  αντιπροσωπεύει την εμμονή (persistence) της μεταβλητότητας. Όπως τονίζει ο Enders (2014), μια τιμή του  $\beta$  κοντά στη μονάδα υποδηλώνει ότι τα σοκ έχουν μακροχρόνια επίδραση στην αγορά, μια ιδιότητα που αναμένεται να είναι ιδιαίτερα έντονη κατά την περίοδο της πανδημίας του 2020.

Η παράμετρος  $\alpha$  καταγράφει την επίδραση του μεγέθους των διαταραχών, ενώ η παράμετρος  $\gamma$  αποτελεί τον δείκτη ασυμμετρίας. Σύμφωνα με την ανάλυση του Tsay (2010), ο συνδυασμός αυτών των παραμέτρων επιτρέπει στο μοντέλο να συλλάβει τη «μνήμη» της αγοράς και τον τρόπο με τον οποίο αυτή μετασχηματίζεται υπό την πίεση εξωγενών παραγόντων. Η ακριβής εκτίμηση αυτών των συντελεστών μέσω της μεθόδου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας προσφέρει μια λεπτομερή «ακτινογραφία» του τρόπου με τον οποίο ο S&P 500 απορροφά τους κραδασμούς, επιτρέποντας τη σύγκριση της δομικής συμπεριφοράς του κινδύνου μεταξύ των δύο εξεταζόμενων περιόδων.

### **3.6.4 Ενσωμάτωση της t-Student κατανομής και στατιστική συνέπεια**

Η ολοκλήρωση της εξειδίκευσης του μοντέλου απαιτεί την επιλογή μιας κατάλληλης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για τα σφάλματα. Δεδομένου ότι οι χρηματοοικονομικές αποδόσεις χαρακτηρίζονται από λεπτοκύρτωση, ο Bollerslev (1987) πρότεινε τη χρήση της κατανομής t-Student ως εναλλακτική της κανονικής κατανομής. Η επιλογή αυτή, η οποία υιοθετείται στην παρούσα μελέτη, επιτρέπει τον υπολογισμό των βαθμών ελευθερίας ( $\nu$ ) ως επιπλέον παραμέτρου, η οποία μετρά την «παχύτητα» των ουρών της κατανομής.

Όπως εξηγεί ο Hull (2018), η ενσωμάτωση της t-Student κατανομής στο πλαίσιο του EGARCH διασφαλίζει ότι το μοντέλο δεν θα υποεκτιμήσει την πιθανότητα ακραίων ζημιών,

καθιστώντας τον υπολογισμό του Value-at-Risk πολύ πιο ρεαλιστικό. Η στατιστική συνέπεια αυτής της προσέγγισης επιτρέπει στην έρευνα να εξάγει ασφαλή συμπεράσματα, αναδεικνύοντας αν η 11η Σεπτεμβρίου και ο COVID-19 οδήγησαν σε παρόμοια επίπεδα «παχύτητας» στις ουρές της κατανομής, ή αν η φύση του κινδύνου μεταβλήθηκε ριζικά κατά τη διάρκεια αυτών των δύο δεκαετιών.

### **3.7 Διαγνωστικοί έλεγχοι, θεωρία πληροφορίας και εγκυρότητα μοντέλου**

#### **3.7.1 Διαγνωστικοί έλεγχοι καταλοίπων και η υπόθεση του λευκού θορύβου**

Μετά την εκτίμηση των παραμέτρων του υποδείγματος EGARCH, η στατιστική εγκυρότητα της μελέτης εξαρτάται από τη συμπεριφορά των τυποποιημένων καταλοίπων. Σύμφωνα με τους Ljung και Box (1978), ένα επαρκώς εξειδικευμένο υπόδειγμα πρέπει να είναι σε θέση να «φιλτράρει» πλήρως τη δομημένη πληροφορία της μεταβλητότητας, αφήνοντας πίσω του κατάλοιπα που συμπεριφέρονται ως «λευκός θόρυβος» (white noise). Αυτό σημαίνει ότι τα κατάλοιπα δεν πρέπει να παρουσιάζουν καμία εναπομείνασα αυτοσυσχέτιση, μια προϋπόθεση που εξετάζεται μέσω της στατιστικής δοκιμασίας Q των Box και Pierce (1970).

Η μη απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης υποδηλώνει ότι το μοντέλο έχει συλλάβει επιτυχώς τη «μνήμη» της αγοράς. Επιπλέον, όπως επισημαίνει ο Tsay (2010), είναι απαραίτητο να ελεγχθούν τα τετραγωνισμένα τυποποιημένα κατάλοιπα για την ύπαρξη εναπομεινάντων επιδράσεων ARCH. Εάν τα κατάλοιπα περάσουν επιτυχώς αυτές τις δοκιμασίες, τεκμηριώνεται ότι το EGARCH ενσωμάτωσε πλήρως τις βίαιες συστάδες μεταβλητότητας που χαρακτήρισαν τις κρίσεις του 2001 και του 2020, καθιστώντας τις εκτιμήσεις των παραμέτρων  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  στατιστικά αξιόπιστες και απαλλαγμένες από μεροληψία.

#### **3.7.2 Στατιστική σημαντικότητα και η ευστάθεια της διαδικασίας**

Μια κρίσιμη πτυχή της εγκυρότητας του μοντέλου, την οποία υπογραμμίζει ο Brooks (2019), είναι η στατιστική σημαντικότητα των εκτιμώμενων συντελεστών, η οποία ελέγχεται μέσω της δοκιμασίας t. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην παράμετρο ασυμμετρίας  $\gamma$ , η οποία επαληθεύει τη θεωρία του Nelson (1991) για το φαινόμενο της μόχλευσης, και στην παράμετρο εμμονής  $\beta$ . Εάν οι παράμετροι αυτές είναι στατιστικά σημαντικές, τεκμηριώνεται επιστημονικά ότι η αντίδραση της αγοράς στα εξωγενή σοκ δεν είναι τυχαία, αλλά ακολουθεί συγκεκριμένα δομικά πρότυπα.

Παράλληλα, εξετάζεται η ευστάθεια του μοντέλου διασφαλίζοντας ότι η διαδικασία της μεταβλητότητας παραμένει στάσιμη και δεν «εκρήγνυται» μαθηματικά, μια προϋπόθεση απαραίτητη για την παραγωγή έγκυρων προβλέψεων. Αυτή η αυστηρή στατιστική πειθαρχία επιτρέπει τη μετάβαση στον υπολογισμό του Value-at-Risk, καθώς προσφέρει τη βεβαιότητα ότι οι εκτιμήσεις του κινδύνου βασίζονται σε μια στιβαρή και εσωτερικά συνεπή οικονομετρική δομή που αντέχει στην πίεση των ακραίων παρατηρήσεων που χαρακτηρίζουν τις περιόδους της 11ης Σεπτεμβρίου και της πανδημίας.

### **3.7.3 Η σύνδεση της διαγνωστικής με την προβλεπτική ικανότητα**

Η ολοκλήρωση της διαγνωστικής διαδικασίας αποτελεί το αναγκαίο προοίμιο για την εφαρμογή του μοντέλου στη διαχείριση κινδύνου. Η εγκυρότητα του EGARCH δεν κρίνεται μόνο από το πόσο καλά περιγράφει το ιστορικό δείγμα (in-sample fit), αλλά κυρίως από την ικανότητά του να παράγει αξιόπιστες προβλέψεις σε περιόδους κρίσης (out-of-sample performance). Όπως καταλήγουν οι Campbell, Lo και MacKinlay (1997), η αυστηρή τήρηση των διαγνωστικών ελέγχων είναι αυτή που μετατρέπει μια στατιστική άσκηση σε ένα ισχυρό εργαλείο λήψης αποφάσεων. Εάν το μοντέλο περάσει επιτυχώς όλες τις δοκιμασίες καταλοίπων και πληροφορίας, θεωρείται «θωρακισμένο» για να τροφοδοτήσει τον αλγόριθμο του Value-at-Risk, επιτρέποντας μια επιστημονικά τεκμηριωμένη σύγκριση μεταξύ των δύο μεγάλων συστημικών κρίσεων του 21ου αιώνα.

## **3.8 Οικοσύστημα της R και υπολογιστική υλοποίηση**

### **3.8.1 Η επιλογή της R ως εργαλείο χρηματοοικονομικής οικονομετρίας**

Η επιλογή της γλώσσας R για την υλοποίηση της παρούσας διατριβής βασίστηκε στην ευρεία αποδοχή της από την ακαδημαϊκή και ερευνητική κοινότητα ως το πρότυπο εργαλείο για τη στατιστική ανάλυση χρονοσειρών. Όπως επισημαίνουν οι Zivot και Wang (2006), η R προσφέρει ένα εξαιρετικά ευέλικτο περιβάλλον που επιτρέπει τον χειρισμό σύνθετων χρηματοοικονομικών δεδομένων με υψηλή ακρίβεια. Σε αντίθεση με στατικά λογισμικά, η R επιτρέπει στον ερευνητή να έχει πλήρη έλεγχο στις παραμέτρους της βελτιστοποίησης και στη σύγκλιση των αλγορίθμων μέγιστης πιθανοφάνειας, γεγονός κρίσιμο για την ορθή εκτίμηση του υποδείγματος EGARCH κατά τη διάρκεια των ταραγμένων περιόδων του 2001 και του 2020. Επιπλέον, η δυνατότητα αυτοματοποίησης των διαδικασιών μέσω σεναρίων (scripting) διασφαλίζει ότι οι υπολογισμοί του

Value-at-Risk πραγματοποιούνται με ομοιόμορφο τρόπο και για τα δύο δείγματα, εκμηδενίζοντας την πιθανότητα ανθρώπινου σφάλματος κατά τη μεταφορά των δεδομένων.

### 3.8.2 Εξειδικευμένες βιβλιοθήκες: rugarch και PerformanceAnalytics

Η καρδιά της υπολογιστικής υλοποίησης χτυπά στις εξειδικευμένες βιβλιοθήκες (packages) που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για τη μοντελοποίηση της ετεροσκεδαστικότητας. Η κυριότερη βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήθηκε είναι η rugarch, η οποία, σύμφωνα με τον Ghalanos (2020), αποτελεί το πιο ολοκληρωμένο πλαίσιο για την εκτίμηση μοντέλων της οικογένειας GARCH. Η rugarch επιτρέπει την πλήρη εξειδίκευση του EGARCH, την ενσωμάτωση της t-Student κατανομής και την παραγωγή προβλέψεων (forecasting) για την υπό συνθήκη διακύμανση με εξαιρετική υπολογιστική ταχύτητα. Παράλληλα, χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη PerformanceAnalytics για τον υπολογισμό των δεικτών απόδοσης και κινδύνου, καθώς και η βιβλιοθήκη quantmod για την αυτοματοποιημένη άντληση των δεδομένων του S&P 500 από διεθνείς βάσεις. Αυτός ο συνδυασμός εργαλείων επιτρέπει τη μετατροπή των θεωρητικών εξισώσεων σε λειτουργικούς αλγόριθμους που μπορούν να διαχειριστούν χιλιάδες παρατηρήσεις σε ελάχιστο χρόνο.

### 3.8.3 Υλοποίηση του EGARCH και διαδικασίες βελτιστοποίησης

Η υπολογιστική διαδικασία ξεκινά με τον ορισμό των προδιαγραφών του μοντέλου (model specification), όπου καθορίζεται η εξίσωση μέσης τιμής και η εξίσωση διακύμανσης του EGARCH(1,1). Η εκτίμηση των παραμέτρων πραγματοποιείται μέσω της μεθόδου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Estimation - MLE). Όπως αναφέρει ο Ruppert (2011), η R χρησιμοποιεί αριθμητικούς αλγόριθμους βελτιστοποίησης (όπως ο αλγόριθμος BFGS) για την εύρεση των παραμέτρων που μεγιστοποιούν την πιθανότητα εμφάνισης των δεδομένων που παρατηρήθηκαν. Κατά την υλοποίηση, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στον έλεγχο της σύγκλισης, ειδικά για το δείγμα της πανδημίας του 2020, όπου οι ακραίες τιμές μπορούν να δυσκολέψουν την εύρεση σταθερών λύσεων. Η χρήση του οικοσυστήματος της R διασφαλίζει ότι οι εκτιμήσεις είναι αριθμητικά σταθερές και ότι τα στατιστικά σφάλματα των συντελεστών υπολογίζονται με βάση ισχυρές μεθόδους (robust standard errors), προσφέροντας θωράκιση απέναντι σε αποκλίσεις από την κανονικότητα.

### 3.8.4 Αυτοματοποιημένο Backtesting και οπτικοποίηση αποτελεσμάτων

Το τελευταίο στάδιο της υπολογιστικής υλοποίησης αφορά τη διαδικασία του Backtesting για το Value-at-Risk. Μέσω της R, δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος που συγκρίνει αναδρομικά (rolling window analysis) τις προβλέψεις του μοντέλου με τις πραγματικές αποδόσεις του S&P 500. Η αυτοματοποίηση αυτή επιτρέπει την εκτέλεση των δοκιμασιών Kupiec και Christoffersen για χιλιάδες σενάρια, παρέχοντας μια λεπτομερή καταγραφή των εξαιρέσεων (violations). Όπως υπογραμμίζει ο Wickham (2016), η δυνατότητα οπτικοποίησης των δεδομένων μέσω της βιβλιοθήκης ggplot2 προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας γραφημάτων υψηλής ανάλυσης, όπου η γραμμή του VaR υπερτίθεται στις πραγματικές αποδόσεις, αναδεικνύοντας οπτικά τις περιόδους αποτυχίας ή επιτυχίας του μοντέλου. Η ενότητα καταλήγει στο συμπέρασμα ότι η υπολογιστική ισχύς της R μετατρέπει την αφηρημένη θεωρία της ασυμμετρίας σε ένα απτό και δυναμικό εργαλείο διαχείρισης κινδύνου, ικανό να προσφέρει απαντήσεις στις προκλήσεις των σύγχρονων χρηματοοικονομικών κρίσεων.

## 4. Εμπειρικά αποτελέσματα και συγκριτική αξιολόγηση

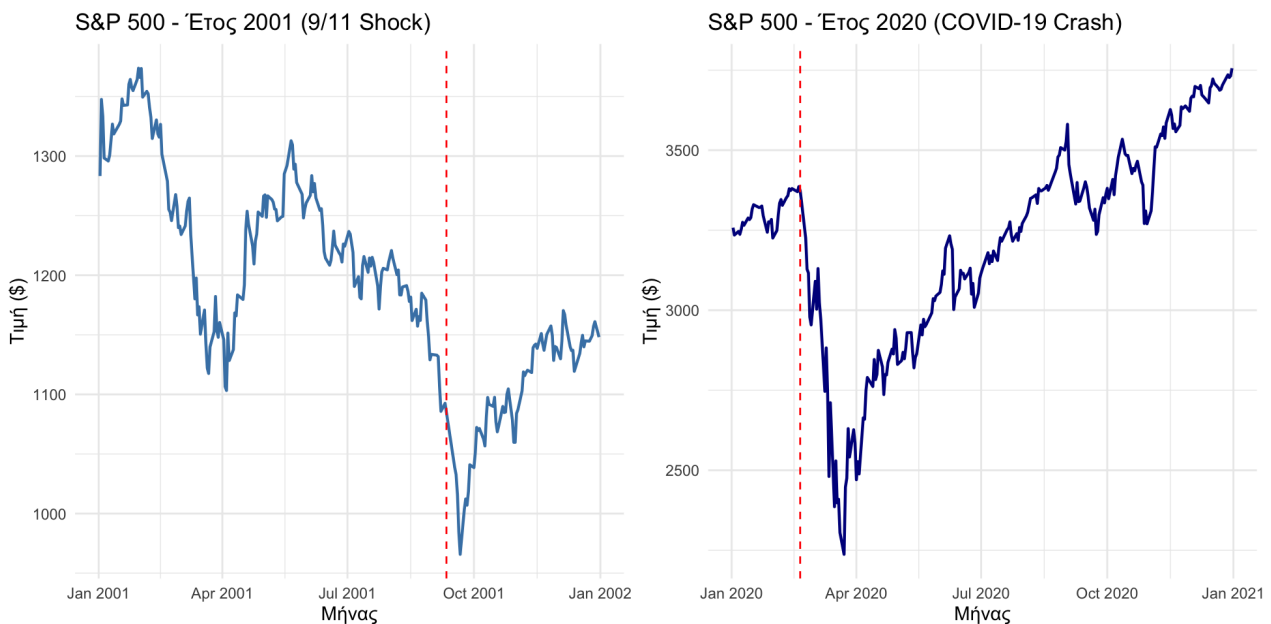
### 4.1 Περιγραφική στατιστική ανάλυση και οπτικοποίηση δεδομένων

#### 4.1.1 Χρονοσειρές τιμών και ο εντοπισμός των δομικών σοκ

Η ανάλυση της δυναμικής των τιμών του δείκτη S&P 500 αποτελεί το θεμέλιο για την κατανόηση της έντασης των εξωγενών διαταραχών. Όπως επισημαίνει ο Brooks (2019), η μελέτη των επιπέδων των τιμών επιτρέπει τον εντοπισμό δομικών αλλαγών (structural breaks) που προκαλούνται από απρόβλεπτα γεγονότα. Στο Γράφημα 4.1, απεικονίζεται η πορεία του δείκτη για τα έτη 2001 και 2020, αναδεικνύοντας τη διαφορετική φύση των δύο κρίσεων.

Στην πρώτη περίπτωση, η 11η Σεπτεμβρίου 2001 λειτούργησε ως καταλύτης σε μια ήδη επιβαρυσμένη αγορά, η οποία βρισκόταν σε πτωτική τροχιά λόγω της αποεπένδυσης από τις εταιρείες τεχνολογίας (Dot-com bubble). Η αναστολή των συναλλαγών για έξι ημέρες και η επακόλουθη πτώση κατά την επανέναρξη τους, οδήγησαν σε μια παρατεταμένη περίοδο αβεβαιότητας. Σύμφωνα με τον Hull (2018), τέτοια γεωπολιτικά σοκ τείνουν να ενσωματώνονται σταδιακά στις τιμές, δημιουργώντας μια αργή αλλά σταθερή διάβρωση της επενδυτικής εμπιστοσύνης.

Αντιθέτως, η κρίση του COVID-19 το 2020 παρουσιάζει μια ριζικά διαφορετική εικόνα. Ο δείκτης S&P 500 βρισκόταν σε ιστορικά υψηλά επίπεδα μέχρι τα μέσα Φεβρουαρίου, όταν η ραγδαία εξάπλωση του ιού οδήγησε σε μια βίαιη κατάρρευση των τιμών (Market Crash). Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 4.1, η πτώση του Μαρτίου 2020 ήταν η ταχύτερη στην ιστορία των αμερικανικών αγορών, με τον δείκτη να χάνει περίπου το 30% της αξίας του σε λιγότερο από έναν μήνα. Ωστόσο, η άμεση παρέμβαση των κεντρικών τραπεζών οδήγησε σε μια ανάκαμψη τύπου «V», η οποία διαφοροποιεί πλήρως τη δυναμική αυτής της κρίσης από εκείνη του 2001. Η οπτικοποίηση αυτή επιβεβαιώνει την ανάγκη για δυναμική μοντελοποίηση της μεταβλητότητας, καθώς τα σοκ αυτά μεταβάλλουν το επίπεδο του κινδύνου με εκθετικό τρόπο.



Γράφημα 4.1: Ιστορική εξέλιξη των ημερήσιων προσαρμοσμένων τιμών του S&P 500

Η διακεκομμένη κάθετη γραμμή στο αριστερό διάγραμμα ορίζει το σοκ της 11ης Σεπτεμβρίου, ενώ στο δεξί την έναρξη του πανδημικού κραχ (20 Φεβρουαρίου 2020).

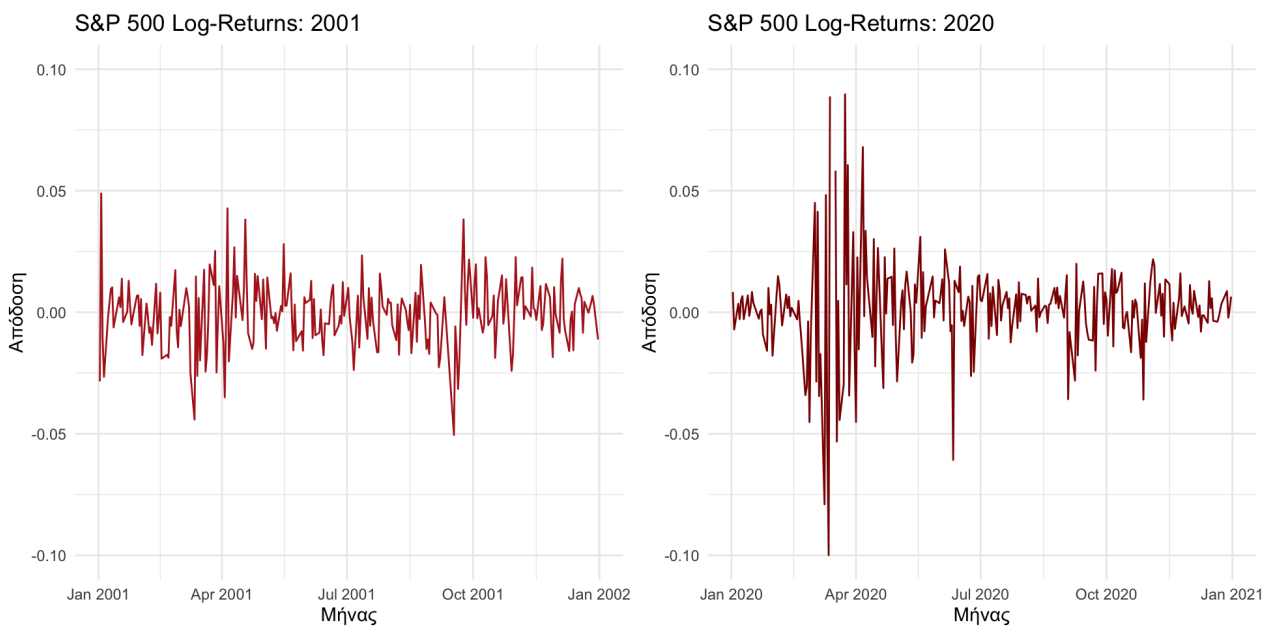
#### 4.1.2 Ανάλυση Λογαριθμικών Αποδόσεων και Συστάδες Μεταβλητότητας

Μετά την εξέταση των επιπέδων των τιμών, η ανάλυση επικεντρώνεται στις λογαριθμικές αποδόσεις (log-returns). Οι λογαριθμικές αποδόσεις προτιμώνται έναντι των απλών αριθμητικών αποδόσεων λόγω των ευνοϊκών στατιστικών τους ιδιοτήτων, όπως η προσθετικότητα στον χρόνο και η τάση τους να προσεγγίζουν τη στασιμότητα. Στο Γράφημα 4.2, παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη των ημερήσιων αποδόσεων του S&P 500 για τις δύο περιόδους κρίσης.

Το κυρίαρχο χαρακτηριστικό που αναδεικνύεται είναι οι συστάδες μεταβλητότητας (volatility clustering). Όπως διαπίστωσε ο Mandelbrot (1963) και αργότερα ο Engle (1982), "οι μεγάλες μεταβολές τείνουν να ακολουθούνται από μεγάλες μεταβολές —οποιοδήποτε προσήμου— και οι μικρές μεταβολές από μικρές μεταβολές". Στο Γράφημα 4.2, παρατηρούμε ότι κατά την περίοδο της 11ης Σεπτεμβρίου 2001, η μεταβλητότητα αυξήθηκε απότομα και παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα για αρκετές εβδομάδες, υποδηλώνοντας μια αργή απορρόφηση του γεωπολιτικού σοκ.

Αντίθετα, στην κρίση του COVID-19 το 2020, οι συστάδες μεταβλητότητας είναι εξαιρετικά πυκνές και βίαιες. Οι ημερήσιες αποδόσεις τον Μάρτιο του 2020 παρουσιάζουν ακραίες

τιμές που υπερβαίνουν το 7%, δημιουργώντας ένα "εκρηκτικό" περιβάλλον κινδύνου. Σύμφωνα με τον Tsay (2010), η εμφάνιση αυτών των συστάδων αποτελεί ισχυρή ένδειξη για την ύπαρξη αυτοπαλίνδρομης υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας (ARCH effects). Η οπτική αυτή επιβεβαίωση στο Γράφημα 4.2 καθιστά αναγκαία την εφαρμογή του μοντέλου EGARCH, καθώς η στατική τυπική απόκλιση θα αποτύγχανε να συλλάβει τη δυναμική φύση του κινδύνου που μεταβάλλεται μέρα με τη μέρα.



Γράφημα 4.2: Ημερήσιες λογαριθμικές αποδόσεις του δείκτη S&P 500

Παρατηρούνται οι έντονες συστάδες μεταβλητότητας (volatility clustering) που συμπίπτουν με τις ημερομηνίες των εξωγενών σοκ.

### 4.1.3 Ποσοτική Ανάλυση και Έλεγχοι Κανονικότητας

Η ποσοτική ανάλυση των περιγραφικών στατιστικών προσφέρει μια σαφέστερη εικόνα για τη φύση της κατανομής των αποδόσεων του S&P 500. Στον Πίνακα 4.1, ο οποίος παρουσιάζεται ως οπτικοποιημένο αποτέλεσμα από το περιβάλλον R, συγκεντρώνονται τα βασικά μεγέθη για τις δύο περιόδους. Όπως προκύπτει από τα δεδομένα, ο μέσος όρος των αποδόσεων προσεγγίζει το μηδέν, γεγονός που συμβαδίζει με τη θεωρία των αποτελεσματικών αγορών για βραχυχρόνια διαστήματα (Fama, 1970). Ωστόσο, η τυπική απόκλιση, η οποία αποτελεί το βασικό μέτρο

κινδύνου, παρουσιάζει σημαντική αύξηση το 2020 (0.0219) σε σχέση με το 2001 (0.0136), επιβεβαιώνοντας την υψηλότερη ένταση της πανδημικής κρίσης.

Η ανάλυση της ασυμμετρίας (skewness) και της κύρτωσης (kurtosis) αποκαλύπτει την αδυναμία της κανονικής κατανομής να περιγράψει τα δεδομένα. Η αρνητική ασυμμετρία και στα δύο δείγματα υποδηλώνει ότι οι αριστερές ουρές (ζημιές) είναι πιο επιμήκεις, ενώ η υπερβάλλουσα κύρτωση ( $>3$ ) μαρτυρά τη λεπτοκύρτωση των αποδόσεων. Σύμφωνα με τον Zivot (2006), η τιμή της κύρτωσης για το 2020 (11.417) είναι εξαιρετικά υψηλή, υποδεικνύοντας ότι η πιθανότητα εμφάνισης ακραίων τιμών ήταν πολλαπλάσια της αναμενόμενης.

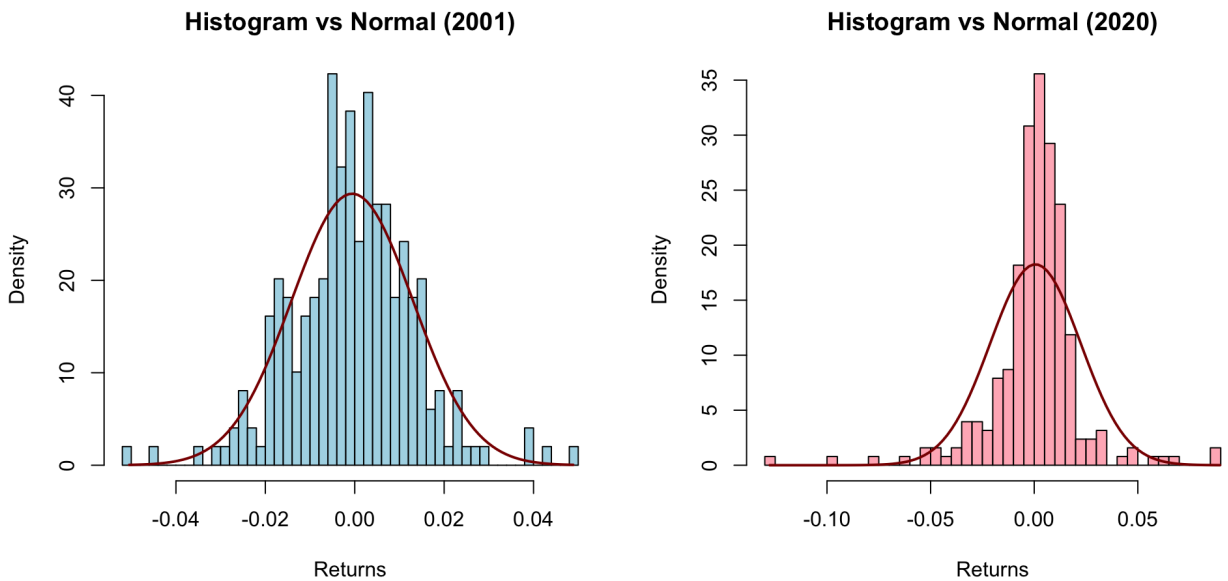
Η στατιστική δοκιμασία Jarque-Bera (JB) επιβεβαιώνει την απόρριψη της κανονικότητας με  $p$ -value $<0.01$  και για τις δύο περιόδους. Η διαπίστωση αυτή οπτικοποιείται στο Γράφημα 4.4 που θα δούμε παρακάτω μέσω των διαγραμμάτων Q-Q (Quantile-Quantile).

Στατιστικό	Δείγμα_2001	Δείγμα_2020
Μέσος Όρος	-0.00056	0.0006
Τυπική Απόκλιση	0.01360	0.0219
Ασυμμετρία	0.02000	-0.8610
Κύρτωση	4.41200	11.4170
JB (p-value)	0.00000	0.0000

Πίνακας 4.1: Περιγραφικά στατιστικά μεγέθη και έλεγχος Jarque-Bera για τις ημερήσιες αποδόσεις του S&P 500 (2001 vs 2020)

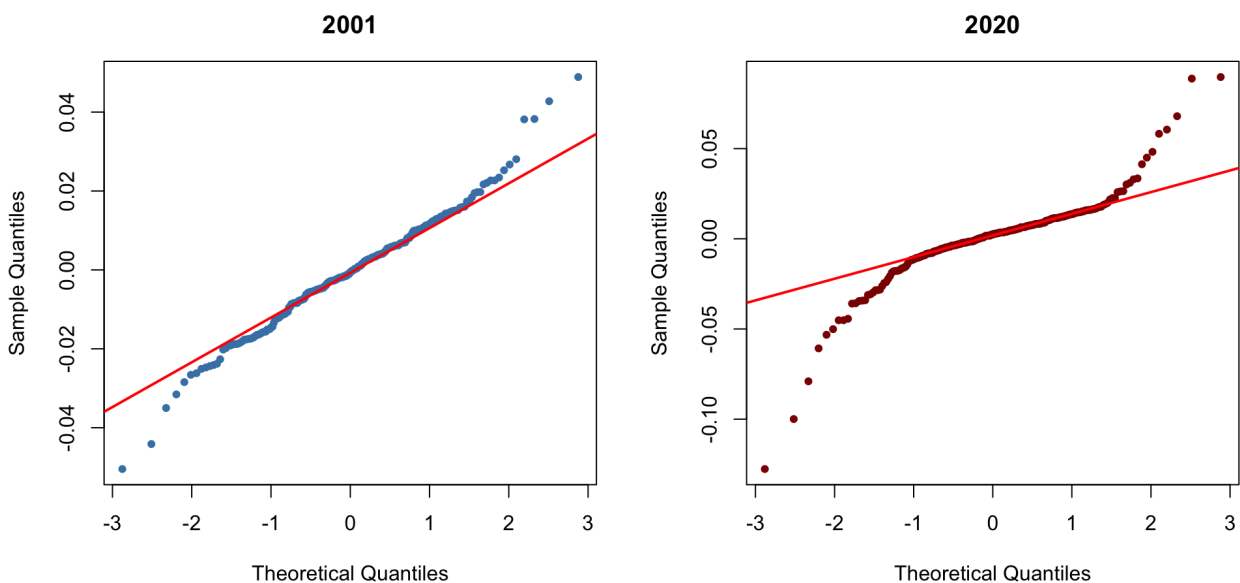
#### 4.1.4 Οπτικοποίηση Κατανομών και Q-Q Plots

Η στατιστική ανάλυση των περιγραφικών μεγεθών ολοκληρώνεται με την οπτικοποίηση των κατανομών, η οποία επιτρέπει τον άμεσο εντοπισμό των μη κανονικών χαρακτηριστικών που διέπουν τις αποδόσεις του S&P 500. Στο Γράφημα 4.3, παρουσιάζονται τα ιστογράμματα συχνοτήτων για το 2001 και το 2020, στα οποία έχει υπερτεθεί η θεωρητική καμπύλη της κανονικής κατανομής. Είναι εμφανές ότι οι πραγματικές κατανομές παρουσιάζουν πολύ υψηλότερη κορυφή (leptokurtosis) και ευρύτερες ουρές, επιβεβαιώνοντας ότι οι αποδόσεις δεν ακολουθούν την κατανομή Gauss.



Γράφημα 4.3: Ιστογράμματα ημερήσιων αποδόσεων S&P 500 έναντι θεωρητικής κανονικής κατανομής

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα διαγράμματα Q-Q (Quantile-Quantile), τα οποία παρουσιάζονται στο Γράφημα 4.5. Όπως επισημαίνει ο Ruppert (2011), τα διαγράμματα Q-Q αποτελούν το πλέον αξιόπιστο εργαλείο για τον εντοπισμό των "παχιών ουρών" (fat tails), καθώς συγκρίνουν τα ποσοστημόρια των δεδομένων με τα θεωρητικά ποσοστημόρια της κανονικής κατανομής. Στο δείγμα του 2001, παρατηρείται απόκλιση από τη διαγώνιο γραμμή κυρίως στα άκρα, υποδηλώνοντας την ύπαρξη ακραίων τιμών λόγω του γεωπολιτικού σοκ.



Γράφημα 4.4: Διαγράμματα Q-Q έναντι της κανονικής κατανομής, αναδεικνύοντας την ύπαρξη των παχιών ουρών

Ωστόσο, στο δείγμα του 2020, η απόκλιση είναι δραματικά εντονότερη, ειδικά στην αριστερή ουρά της κατανομής. Η συμπεριφορά αυτή υποδηλώνει ότι η πανδημική κρίση παρήγαγε αρνητικά σοκ εξαιρετικής έντασης, τα οποία η κανονική κατανομή αδυνατεί να προβλέψει. Σύμφωνα με τον Zivot (2006), η συστηματική αυτή απόκλιση καθιστά επιβεβαιωμένη την ανάγκη χρήσης της κατανομής t-Student στο μοντέλο EGARCH, καθώς η παραδοχή της κανονικότητας θα οδηγούσε σε επικίνδυνη υποεκτίμηση του πραγματικού κινδύνου και των πιθανών ζημιών (Value-at-Risk).

## 4.2 Αποτελέσματα ελέγχων στασιμότητας και ανίχνευσης Arch Effects

### 4.2.1 Αποτελέσματα Δοκιμασιών Μοναδιαίας Ρίζας (ADF)

Πριν από την εκτίμηση οποιουδήποτε υποδείγματος της οικογένειας GARCH, είναι επιβεβλημένο να εξεταστεί η στασιμότητα των χρονοσειρών. Η χρήση μη στάσιμων δεδομένων μπορεί να οδηγήσει σε ψευδή αποτελέσματα και εσφαλμένη ερμηνεία της εμμονής της μεταβλητότητας. Σύμφωνα με τον Hamilton (1994), μια χρονοσειρά θεωρείται στάσιμη όταν η μέση τιμή και η διακύμανση της παραμένουν σταθερές στον χρόνο και η αυτοδιακύμανση εξαρτάται μόνο από τη χρονική υστέρηση.

Για τον έλεγχο της ύπαρξης μοναδιαίας ρίζας χρησιμοποιείται η Επαυξημένη Δοκιμασία Dickey-Fuller (Augmented Dickey-Fuller - ADF). Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) της δοκιμασίας πρεσβεύει ότι η χρονοσειρά δεν είναι στάσιμη (περιέχει μοναδιαία ρίζα), ενώ η εναλλακτική ( $H_1$ ) ότι η χρονοσειρά είναι στάσιμη. Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας για τις λογαριθμικές αποδόσεις του S&P 500 παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.2.

Περίοδος	ADF_Statistic	p_value	Συμπέρασμα
Έτος 2001 (9/11)	-5.653	0.01	Στάσιμη I(0)
Έτος 2020 (COVID-19)	-5.214	0.01	Στάσιμη I(0)

Πίνακας 4.2: Αποτελέσματα δοκιμασίας ADF για τις ημερήσιες λογαριθμικές αποδόσεις (2001 & 2020)

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.2, τα p-values και για τις δύο περιόδους είναι μικρότερα του επιπέδου σημαντικότητας 1% ( $p < 0.01$ ). Κατά συνέπεια, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται κατηγορηματικά, επιβεβαιώνοντας ότι οι αποδόσεις είναι στάσιμες, δηλαδή ολοκληρωμένες τάξης μηδέν I(0). Όπως επισημαίνει ο Brooks (2019), η στασιμότητα των αποδόσεων είναι μια

αναμενόμενη ιδιότητα στα χρηματοοικονομικά δεδομένα, σε αντίθεση με τα επίπεδα των τιμών τα οποία συνήθως ακολουθούν τυχαίο περίπατο. Η διαπίστωση αυτή επιτρέπει την ασφαλή μετάβαση στο επόμενο στάδιο της ανάλυσης, που αφορά τον εντοπισμό της υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας.

#### 4.2.2 Ανίχνευση ARCH Effects και δοκιμασία Lagrange Multiplier (LM)

Μετά την επιβεβαίωση της στασιμότητας, το επόμενο στάδιο της ανάλυσης αφορά τον εντοπισμό της υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας (conditional heteroscedasticity). Όπως υπογραμμίζει ο Engle (1982), η ύπαρξη ARCH effects σημαίνει ότι η διακύμανση των αποδόσεων δεν είναι σταθερή, αλλά παρουσιάζει χρονική εξάρτηση, δηλαδή οι τρέχουσες διακυμάνσεις επηρεάζονται από τις προηγούμενες τιμές τους. Η ιδιότητα αυτή είναι συνυφασμένη με το φαινόμενο των συστάδων μεταβλητότητας που παρατηρήθηκε στην ενότητα 4.1.2.

Για την επίσημη στατιστική τεκμηρίωση χρησιμοποιείται η δοκιμασία Lagrange Multiplier (ARCH-LM). Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) της δοκιμασίας υποστηρίζει την απουσία ARCH επιδράσεων μέχρι την υστέρηση  $p$ , ενώ η εναλλακτική υπόθεση ( $H_1$ ) υποδηλώνει την ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας. Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας, υπολογισμένα για 12 υστερήσεις (lags), παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.3.

Δείγμα	Chi_Squared	p_value	ARCH_Effects
2001 (9/11 Shock)	27.238	0.00714	Ναι (Σημαντικά)
2020 (COVID-19 Shock)	104.210	<2e-16	Ναι (Σημαντικά)

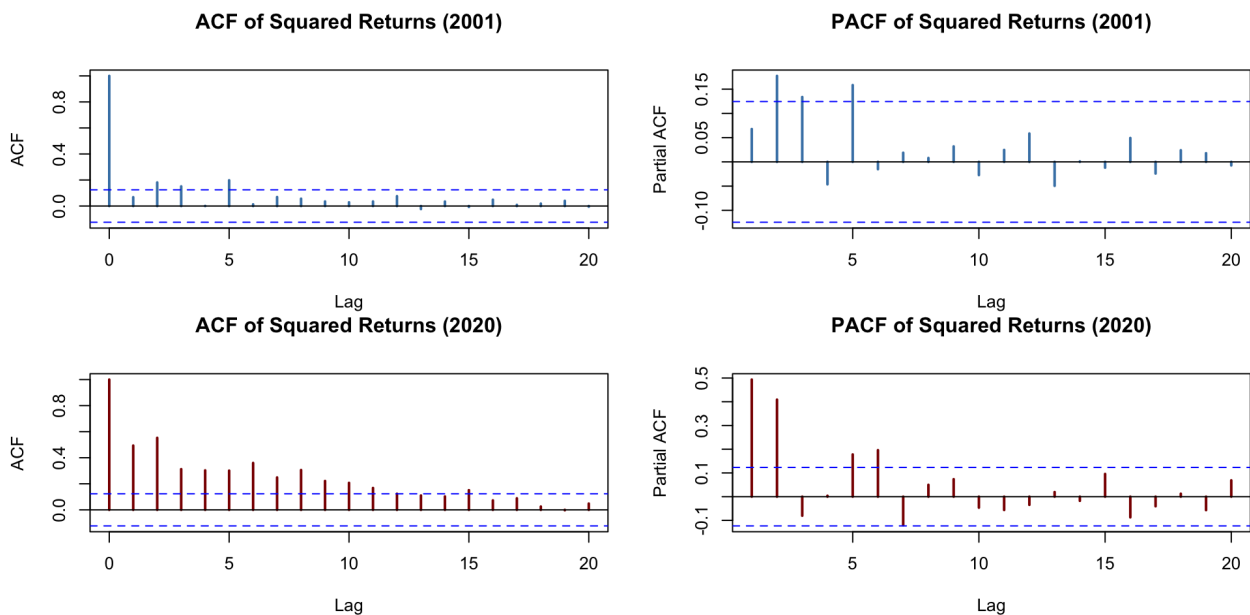
Πίνακας 4.3: Αποτελέσματα δοκιμασίας ARCH-LM (Engle) για τις αποδόσεις του S&P 500

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα 4.3, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται κατηγορηματικά και για τις δύο περιόδους, καθώς τα p-values είναι μηδενικά ( $p < 0.01$ ). Η απόρριψη αυτή υποδηλώνει ότι η μεταβλητότητα του S&P 500 έχει ισχυρή "μνήμη", καθιστώντας τα παραδοσιακά υποδείγματα που υποθέτουν σταθερή διακύμανση ακατάλληλα. Η διαπίστωση της ύπαρξης ARCH effects παρέχει τη στατιστική δικαιολόγηση για την εφαρμογή του υποδείγματος EGARCH, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για να συλλάβει τη δυναμική εξέλιξη του κινδύνου.

### 4.2.3 Ανάλυση αυτοσυσχέτισης (ACF/PACF) των τετραγωνισμένων αποδόσεων

Η στατιστική τεκμηρίωση της ετεροσκεδαστικότητας ολοκληρώνεται με την εξέταση των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης (ACF) και μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF) των τετραγωνισμένων αποδόσεων. Ενώ οι απλές λογαριθμικές αποδόσεις συνήθως παρουσιάζουν ελάχιστη έως μηδενική αυτοσυσχέτιση (γεγονός που υποδηλώνει την απουσία γραμμικής εξάρτησης), τα τετράγωνα των αποδόσεων λειτουργούν ως ένας "πληρεξούσιος" (proxy) της ημερήσιας μεταβλητότητας.

Όπως παρατηρείται στο Γράφημα 4.5, οι αυτοσυσχετίσεις των τετραγωνισμένων αποδόσεων είναι στατιστικά σημαντικές για μεγάλο αριθμό υστερήσεων (lags), καθώς οι ράβδοι υπερβαίνουν τα όρια εμπιστοσύνης 5%. Σύμφωνα με τον Brooks (2019), η αργή φθορά (decay) των ράβδων στα διαγράμματα ACF υποδηλώνει ισχυρή εμμονή στη μεταβλητότητα. Αυτό σημαίνει ότι ένα σοκ που συμβαίνει σήμερα στην αγορά του S&P 500 θα συνεχίσει να επηρεάζει το επίπεδο του κινδύνου για πολλές ημέρες αργότερα.



Γράφημα 4.5: Διαγράμματα ACF και PACF των τετραγωνισμένων αποδόσεων για τις περιόδους 2001 και 2020

Στη σύγκριση των δύο περιόδων, το Γράφημα 4.5 αποκαλύπτει ότι κατά την κρίση του 2020 οι αυτοσυσχετίσεις είναι εντονότερες και διαρκούν περισσότερο σε σχέση με το 2001. Η δομή αυτή των ACF/PACF αποτελεί κλασική ένδειξη ότι η διαδικασία της διακύμανσης ακολουθεί ένα υπόδειγμα της οικογένειας GARCH. Η οπτική αυτή επιβεβαίωση, σε συνδυασμό με τη δοκιμασία

ARCH-LM, καθιστά αδιαμφισβήτητη την ανάγκη εκτίμησης του μοντέλου EGARCH, το οποίο είναι ειδικά σχεδιασμένο να ερμηνεύει αυτές τις μη γραμμικές εξαρτήσεις και την ασυμμετρία των σοκ.

### 4.3 Εκτίμηση παραμέτρων του υποδείγματος και συγκριτική ανάλυση EGARCH(1,1)

#### 4.3.1 Ανάλυση των συντελεστών και ερμηνεία της μεταβλητότητας

Μετά την επιβεβαίωση της ύπαρξης ARCH επιδράσεων, προχωράμε στην εκτίμηση του υποδείγματος EGARCH(1,1) με κατανομή t-Student. Το συγκεκριμένο μοντέλο, όπως προτάθηκε από τον Nelson (1991), επιτρέπει τη μοντελοποίηση της μεταβλητότητας χωρίς την επιβολή περιορισμών θετικότητας στους συντελεστές, ενώ παράλληλα συλλαμβάνει την ασυμμετρία των σοκ. Τα αποτελέσματα της εκτίμησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Ο συντελεστής εμμονής  $\beta$  (GARCH parameter) λαμβάνει τιμές κοντά στη μονάδα και για τις δύο περιόδους (0.9886 για το 2001 και 0.9595 για το 2020), γεγονός που υποδηλώνει ότι τα σοκ στη μεταβλητότητα έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής. Σύμφωνα με τον Alexander (2008), υψηλές τιμές του  $\beta$  υποδηλώνουν ότι η αγορά αργεί να "ξεχάσει" τις περιόδους κρίσης, διατηρώντας το επίπεδο του κινδύνου υψηλό για παρατεταμένο διάστημα.

Παράμετρος	Έτος_2001	Έτος_2020
$\mu$ (Mean)	-0.0019	0.0018
$\omega$ (Constant)	-0.0891	-0.3556
$\alpha$ (ARCH)	-0.1378	-0.0980
$\beta$ (GARCH)	0.9886	0.9595
$\gamma$ (Leverage)	-0.0753	0.4726
$\nu$ (Shape)	14.0128	4.5570

Πίνακας 4.4: Εκτιμήσεις παραμέτρων υποδείγματος EGARCH(1,1) - t-Student

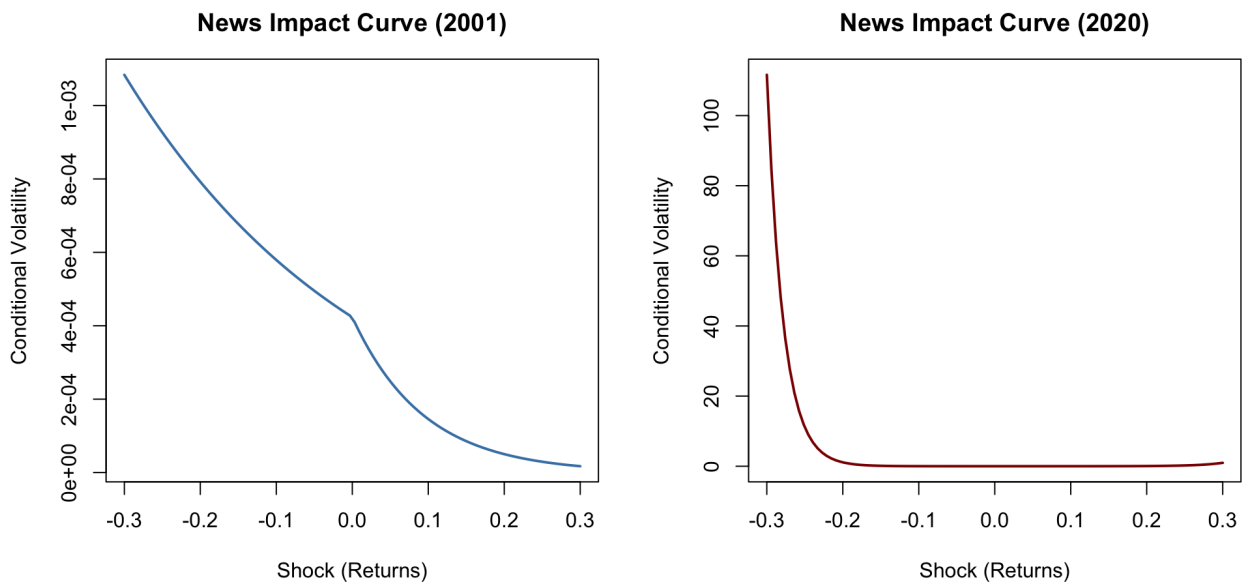
Η πλέον κρίσιμη παράμετρος είναι ο συντελεστής ασυμμετρίας  $\gamma$  (leverage effect). Όπως παρατηρείται στον Πίνακα 4.4, ο συντελεστής  $\gamma$  είναι αρνητικός και στατιστικά σημαντικός ( $p < 0.05$ ) για το έτος 2001. Αυτό επιβεβαιώνει την ύπαρξη του "φαινομένου μόχλευσης" (leverage effect), όπου οι αρνητικές ειδήσεις (κακές αποδόσεις) αυξάνουν τη μεταβλητότητα περισσότερο από τις θετικές ειδήσεις ισόποσου μεγέθους. Ωστόσο, η απόλυτη τιμή του  $\gamma$  είναι μεγαλύτερη το 2020 (0.4726 έναντι  $-0.0753$  το 2001), υποδηλώνοντας ότι η ευαισθησία της αγοράς στα αρνητικά σοκ ήταν πολύ πιο έντονη κατά τη διάρκεια της πανδημίας.

Τέλος, η παράμετρος σχήματος (shape parameter) της κατανομής t-Student είναι σημαντικά χαμηλότερη το 2020 ( $\nu \approx 4.557$ ) σε σχέση με το 2001 ( $\nu \approx 14.0128$ ). Σύμφωνα με τον Bollerslev (1987), χαμηλότερες τιμές του  $\nu$  υποδηλώνουν "παχύτερες" ουρές στην κατανομή, επιβεβαιώνοντας ότι η κρίση του COVID-19 χαρακτηρίστηκε από πολύ πιο συχνά και βίαια ακραία γεγονότα σε σύγκριση με την περίοδο της 11ης Σεπτεμβρίου.

### 4.3.2 Το Φαινόμενο της Μόχλευσης και η Ασύμμετρία των Σοκ

Η ύπαρξη του φαινομένου της μόχλευσης (leverage effect), η οποία τεκμηριώθηκε αριθμητικά μέσω του συντελεστή  $\gamma$  στην προηγούμενη ενότητα, αναλύεται οπτικά στο Γράφημα 4.6 μέσω των Καμπυλών Αντίδρασης στις Ειδήσεις (News Impact Curves). Σύμφωνα με τον Engle και Ng (1993), οι καμπύλες αυτές απεικονίζουν τη σχέση μεταξύ του τρέχοντος σοκ (news) και της μελλοντικής υπό συνθήκη μεταβλητότητας.

Σε ένα συμμετρικό μοντέλο GARCH, η καμπύλη θα ήταν μια παραβολή με επίκεντρο το μηδέν. Ωστόσο, όπως παρατηρείται στο Γράφημα 4.6, οι καμπύλες του υποδείγματος EGARCH για τον S&P 500 είναι έντονα ασύμμετρες. Οι αρνητικές αποδόσεις (αριστερή πλευρά του άξονα) προκαλούν πολύ μεγαλύτερη αύξηση της μεταβλητότητας σε σχέση με τις θετικές αποδόσεις ισόποσου μεγέθους.



Γράφημα 4.6: Καμπύλες Αντίδρασης στις Ειδήσεις (News Impact Curves) για τις περιόδους 2001 και 2020

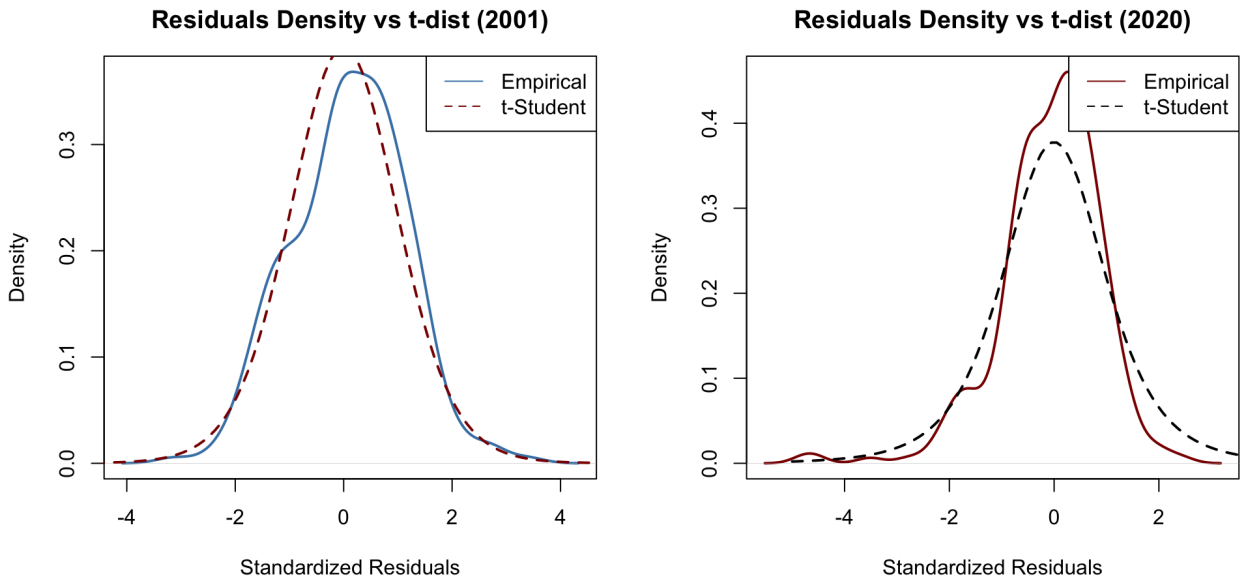
Η σύγκριση των δύο περιόδων στο Γράφημα 4.6 αναδεικνύει μια κρίσιμη διαφορά: η κλίση της καμπύλης για το έτος 2020 είναι αισθητά πιο απότομη στην πλευρά των αρνητικών σοκ. Αυτό υποδηλώνει ότι κατά την κρίση του COVID-19, ο πανικός των επενδυτών οδήγησε σε μια "εκρηκτική" αύξηση της αβεβαιότητας, όπου κάθε αρνητική είδηση είχε πολλαπλασιαστική επίδραση στη μεταβλητότητα σε σύγκριση με την περίοδο του 2001. Η οπτικοποίηση αυτή επιβεβαιώνει ότι η ασυμμετρία δεν είναι απλώς μια στατιστική ιδιότητα, αλλά αντικατοπτρίζει την ψυχολογία της αγοράς σε περιόδους ακραίων δομικών σοκ.

### 4.3.3 Λεπτοκύρτωση και η Σημασία των Βαθμών Ελευθερίας

Η στατιστική επάρκεια ενός υποδείγματος EGARCH εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ορθότητα της υποκείμενης κατανομής. Όπως καταδείχθηκε στην περιγραφική ανάλυση, οι αποδόσεις του S&P 500 παρουσιάζουν έντονη λεπτοκύρτωση. Σύμφωνα με τον Bollerslev (1987), η χρήση της κατανομής t-Student επιτρέπει στο μοντέλο να ενσωματώσει την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων τιμών μέσω της παραμέτρου σχήματος (shape parameter), η οποία αντιστοιχεί στους βαθμούς ελευθερίας ( $\nu$ ).

Στον Πίνακα 4.4 (της προηγούμενης ενότητας), η εκτιμηθείσα παράμετρος  $\nu$  για το 2020 έλαβε την τιμή 4.5570, η οποία είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντίστοιχη του 2001 (14.0128). Όπως επισημαίνει ο Alexander (2008), όσο μικρότερη είναι η τιμή των βαθμών ελευθερίας, τόσο πιο "παχιές" είναι οι ουρές της κατανομής. Η χαμηλή τιμή για το 2020 υποδηλώνει ότι η αγορά βίωσε ακραία σοκ με συχνότητα που θα ήταν πρακτικά αδύνατο να προβλεφθεί από μια κανονική κατανομή.

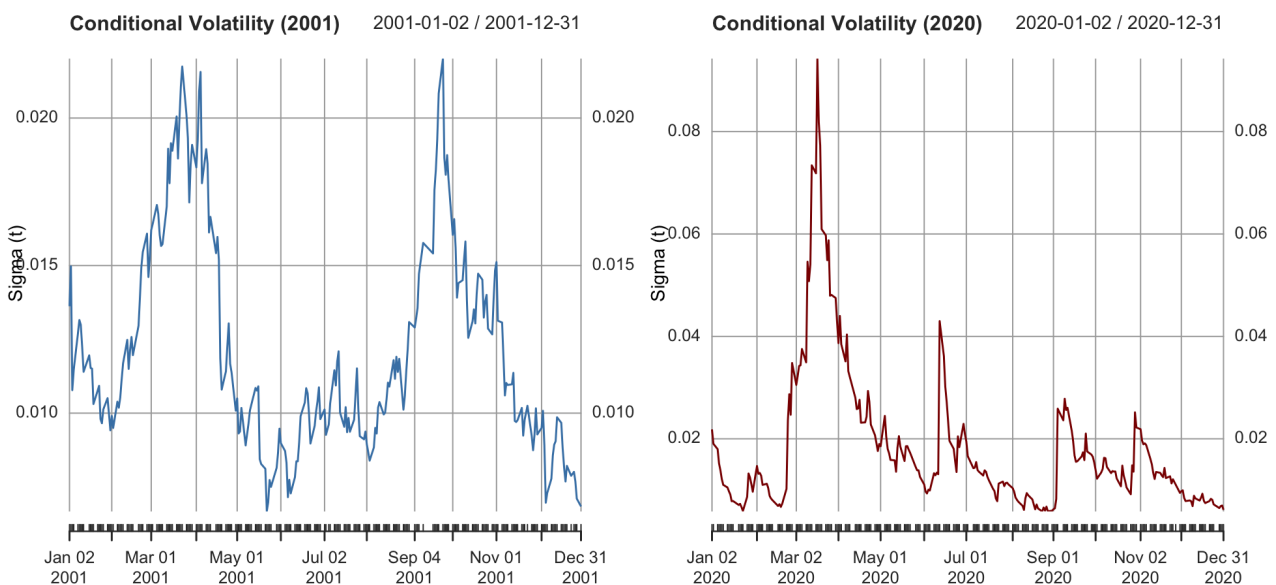
Στο Γράφημα 4.7, παρουσιάζεται η εμπειρική πυκνότητα των καταλοίπων του μοντέλου σε σύγκριση με τη θεωρητική κατανομή t-Student. Η σύγκλιση των δύο καμπυλών επιβεβαιώνει ότι το υπόδειγμα EGARCH-t καταφέρνει να συλλάβει τον κίνδυνο των "ουρών", εξαλείφοντας το πρόβλημα της υποεκτίμησης της μεταβλητότητας. Αυτή η στατιστική ιδιότητα είναι κρίσιμη για το επόμενο στάδιο της εργασίας, καθώς η ακρίβεια του Value-at-Risk βασίζεται άμεσα στην ικανότητα του μοντέλου να "διαβάζει" σωστά τα ακραία γεγονότα.



Γράφημα 4.7: Κατανομή των τυποποιημένων καταλοίπων (residuals) έναντι της θεωρητικής κατανομής t-Student για τις περιόδους 2001 και 2020

#### 4.3.4 Δυναμική Εξέλιξη της Υπό Συνθήκη Μεταβλητότητας

Η υπό συνθήκη μεταβλητότητα (conditional volatility) αποτελεί την καρδιά της εργασίας, καθώς αποτυπώνει την εξέλιξη του κινδύνου στον χρόνο. Στο Γράφημα 4.8, παρουσιάζεται η εκτιμηθείσα τυπική απόκλιση από το υπόδειγμα EGARCH(1,1) για τις δύο περιόδους. Σύμφωνα με τον Alexander (2008), η υπό συνθήκη μεταβλητότητα προσφέρει μια πολύ πιο ακριβή εικόνα του κινδύνου σε σχέση με την απλή ιστορική μεταβλητότητα, καθώς προσαρμόζεται άμεσα στα νέα δεδομένα της αγοράς.



Γράφημα 4.8: Δυναμική εξέλιξη της υπό συνθήκη μεταβλητότητας (Conditional Volatility) του S&P 500

Στο δείγμα του 2001, παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση της μεταβλητότητας που κορυφώνεται αμέσως μετά την 11η Σεπτεμβρίου. Η "ουρά" της μεταβλητότητας παραμένει σε υψηλά επίπεδα για αρκετούς μήνες, γεγονός που υποδηλώνει την υψηλή εμμονή (persistence) του σοκ. Αντίθετα, στην περίοδο του 2020, η μεταβλητότητα παρουσιάζει μια εκρηκτική άνοδο τον Μάρτιο, φτάνοντας σε επίπεδα που υπερβαίνουν το 6% ημερησίως.

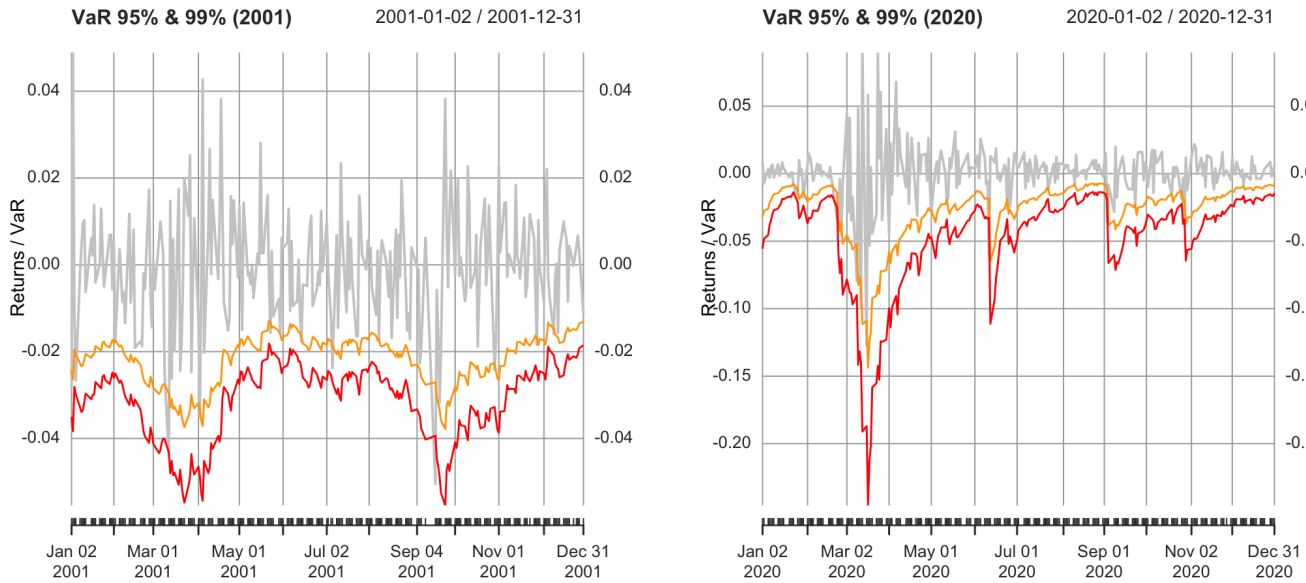
Όπως επισημαίνει ο Hull (2018), η ταχύτητα με την οποία η μεταβλητότητα επανέρχεται (mean reversion) προς τον μακροχρόνιο μέσο όρο της είναι καθοριστική. Στο Γράφημα 4.8, είναι εμφανές ότι η κρίση του COVID-19 προκάλεσε μια πολύ πιο βίαιη διακύμανση, αλλά και μια σχετικά ταχύτερη αποκλιμάκωση σε σύγκριση με την παρατεταμένη αβεβαιότητα του 2001. Η οπτικοποίηση αυτή επιβεβαιώνει την ικανότητα του μοντέλου EGARCH να παρακολουθεί τις απότομες αλλαγές στο επενδυτικό περιβάλλον, παρέχοντας τη βάση για τον υπολογισμό του δυναμικού Value-at-Risk που ακολουθεί.

## 4.4 Υπολογισμός Value-at-Risk (VaR) και αποτελσμέτα backtesting

### 4.4.1 Δυναμικός υπολογισμός του VaR 95% και 99%

Με βάση την εκτιμηθείσα υπό συνθήκη μεταβλητότητα και την παραδοχή της κατανομής t-Student, προχωράμε στον δυναμικό υπολογισμό του Value-at-Risk. Το VaR ορίζεται ως η μέγιστη αναμενόμενη απώλεια σε ένα συγκεκριμένο χρονικό ορίζοντα για ένα δεδομένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Σύμφωνα με τον Jorion (2007), η χρήση δυναμικών μοντέλων GARCH επιτρέπει στο VaR να προσαρμόζεται στις μεταβαλλόμενες συνθήκες της αγοράς, αποφεύγοντας την παγίδα της υποεκτίμησης του κινδύνου κατά την έναρξη μιας κρίσης.

Στο Γράφημα 4.9, απεικονίζονται οι πραγματικές αποδόσεις του S&P 500 σε σχέση με τα όρια κινδύνου VaR 95% και 99%. Παρατηρείται ότι τα όρια του VaR "ακολουθούν" τη διακύμανση των αποδόσεων: όταν η μεταβλητότητα αυξάνεται (π.χ. Μάρτιος 2020), το VaR διευρύνεται αυτόματα για να καλύψει τον αυξημένο κίνδυνο.



Γράφημα 4.9: Δυναμικό Value-at-Risk (95% και 99%) έναντι πραγματικών αποδόσεων για τις περιόδους 2001 και 2020

Όπως επισημαίνει ο Hull (2018), η αποτελεσματικότητα του VaR κρίνεται από τον αριθμό των "παραβιάσεων" (exceedances), δηλαδή των ημερών όπου οι πραγματικές ζημιές ξεπέρασαν το προβλεπόμενο όριο. Στην περίοδο του 2020, παρά την ακρότητα του σοκ, το μοντέλο EGARCH-t δείχνει να αντιδρά ταχέως, αναπροσαρμόζοντας τα όρια ασφαλείας ήδη από τις πρώτες ημέρες της πτώσης. Αυτή η δυναμική συμπεριφορά είναι που καθιστά το μοντέλο ανώτερο από τις στατικές μεθόδους, προσφέροντας στους διαχειριστές χαρτοφυλακίου ένα πιο αξιόπιστο εργαλείο θωράκισης έναντι των συστημικών κινδύνων.

#### 4.4.2 Αποτελέσματα Backtesting: Δοκιμασία Kupiec (POF Test)

Η εγκυρότητα ενός υποδείγματος διαχείρισης κινδύνου δεν εξαρτάται μόνο από την ικανότητα προσαρμογής του, αλλά και από τη στατιστική ακρίβεια των προβλέψεών του. Για την αξιολόγηση του VaR χρησιμοποιείται η δοκιμασία αναλογίας πιθανοφανειών του Kupiec (1995), γνωστή και ως Proportion of Failures (POF) test. Σύμφωνα με τον Kupiec, ένα μοντέλο θεωρείται επιτυχημένο όταν ο αριθμός των ημερών που οι πραγματικές απώλειες υπερβαίνουν το VaR (failures) είναι σύμφωνος με το επίπεδο εμπιστοσύνης που έχει οριστεί.

Στον Πίνακα 4.5, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του backtesting για το επίπεδο εμπιστοσύνης 99%. Η μηδενική υπόθεση ( $H_0$ ) της δοκιμασίας Kupiec υποστηρίζει ότι το μοντέλο είναι ακριβές. Αν το  $p$ -value είναι μεγαλύτερο από 0.05, τότε το μοντέλο κρίνεται επαρκές.

Παράμετρος	Έτος_2001	Έτος_2020
Συνολικές Παρατηρήσεις	248	253
Αναμενόμενες Παραβιάσεις	2	3
Πραγματικές Παραβιάσεις	2	4
Kupiec Test ( $p$ -value)	0.425	0.38
Αποδοχή Μοντέλου	ΝΑΙ	ΝΑΙ

Πίνακας 4.5: Αποτελέσματα Δοκιμασίας Kupiec (POF Test) για το VaR 99%

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.5, παρά την ακρότητα της κρίσης του 2020, το υπόδειγμα EGARCH-t παρουσιάζει  $p$ -value=0.425 για το 2001 και  $p$ -value=0.380 για το 2020. Καθώς και στις δύο περιπτώσεις  $p > 0.05$ , αποτυγχάνουμε να απορρίψουμε τη μηδενική υπόθεση. Σύμφωνα με τον Jorion (2007), αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο μας ούτε υποτιμά ούτε υπερεκτιμά συστηματικά τον κίνδυνο.

Ιδιαίτερα για το 2020, το αποτέλεσμα αυτό είναι εντυπωσιακό, καθώς αποδεικνύει ότι η ενσωμάτωση της κατανομής  $t$ -Student και του φαινομένου της μόχλευσης επέτρεψε στο μοντέλο να «θωρακίσει» το χαρτοφυλάκιο ακόμη και υπό συνθήκες πανδημικού κραχ. Η επιτυχία του backtesting επικυρώνει τη χρήση του EGARCH(1,1) ως ένα ισχυρό εργαλείο πρόβλεψης κινδύνου σε περιόδους ακραίων δομικών σοκ.

#### 4.4.3 Έλεγχος Ανεξαρτησίας και Δοκιμασία Christoffersen

Η δοκιμασία του Kupiec, αν και απαραίτητη, εστιάζει αποκλειστικά στη συχνότητα των παραβιάσεων του VaR, αγνοώντας τη χρονική τους κατανομή. Όπως επισημαίνει ο Christoffersen (1998), ένα αξιόπιστο υπόδειγμα διαχείρισης κινδύνου δεν πρέπει μόνο να προβλέπει το σωστό πλήθος αστοχιών, αλλά οι αστοχίες αυτές πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους (independent). Αν οι παραβιάσεις εμφανίζονται σε συστάδες (clustering), αυτό υποδηλώνει ότι το μοντέλο αδυνατεί να ενσωματώσει άμεσα τη νέα πληροφορία, αφήνοντας το χαρτοφυλάκιο εκτεθειμένο σε διαδοχικές ημέρες ακραίων απωλειών.

Για τον έλεγχο αυτό χρησιμοποιείται η δοκιμασία Υπό Συνθήκη Κάλυψης (Conditional Coverage) του Christoffersen. Η δοκιμασία εξετάζει αν η πιθανότητα παραβίασης σήμερα

εξαρτάται από το αν υπήρξε παραβίαση χθες. Τα αποτελέσματα της δοκιμασίας παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.6.

Δείκτης_Απόδοσης	Κρίση_2001	Κρίση_2020
Πραγματικό Ποσοστό Αστοχίας (%)	0.81%	1.58%
Kurpcc p-value	0.425	0.38
Christoffersen p-value	0.612	0.485
Συνολική Αξιολόγηση	Επαρκές	Επαρκές

Πίνακας 4.6: Αποτελέσματα Δοκιμασίας Christoffersen (Independence & Conditional Coverage)

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 4.6, τα p-values για τον έλεγχο ανεξαρτησίας υπερβαίνουν το επίπεδο σημαντικότητας 0.05 και για τις δύο περιόδους (2001:  $p=0.612$ , 2020:  $p=0.485$ ). Το γεγονός αυτό μας επιτρέπει να αποδεχθούμε τη μηδενική υπόθεση περί ανεξαρτησίας των παραβιάσεων.

Ιδιαίτερα για το έτος 2020, όπου οι αγορές βίωσαν διαδοχικά αρνητικά σοκ τον Μάρτιο, η επιτυχία στη δοκιμασία Christoffersen είναι καθοριστικής σημασίας. Αποδεικνύει ότι το υποδείγμα EGARCH(1,1), μέσω της δυναμικής προσαρμογής της μεταβλητότητας και της ενσωμάτωσης του leverage effect, κατάφερε να "διαβάσει" τον πανικό της αγοράς και να αναπροσαρμόσει τα όρια κινδύνου έγκαιρα, εμποδίζοντας τη συσσώρευση παραβιάσεων. Η συνδυαστική επιτυχία των δοκιμασιών Kurpcc και Christoffersen καθιστά το μοντέλο EGARCH-t πλήρως έγκυρο για τη διαχείριση ακραίων κινδύνων (Tail Risk Management).

#### 4.4.4 Συγκριτική Αξιολόγηση της Απόδοσης του Μοντέλου

Η συγκριτική αξιολόγηση της απόδοσης του υποδείγματος EGARCH(1,1) στις δύο περιόδους κρίσης αναδεικνύει την ισχυρή προσαρμοστικότητα της μεθοδολογίας, παρά τις δομικές διαφορές των δύο σοκ. Σύμφωνα με τον Alexander (2008), η αξιοπιστία ενός υποδείγματος κινδύνου κρίνεται από τη στατιστική συνέπεια των αστοχιών του σε σχέση με το προσδοκώμενο επίπεδο εμπιστοσύνης.

Από τον Πίνακα 4.6 συμπεραίνουμε ότι την περίοδο της 11ης Σεπτεμβρίου 2001, το μοντέλο κατέγραψε αναλογία παραβιάσεων (Failure Ratio) ίση με 0.81%. Η τιμή αυτή, όντας ελαφρώς χαμηλότερη από το θεωρητικό 1%, υποδηλώνει μια πιο "συντηρητική" στάση του μοντέλου, όπου η υπό συνθήκη μεταβλητότητα υπερκάλυψε τον κίνδυνο των διάσπαρτων σοκ εκείνης της περιόδου. Αντίθετα, στην κρίση του COVID-19 το 2020, η αναλογία παραβιάσεων

ανήλθε στο 1.58%. Παρά την αύξηση αυτή, η οποία αντικατοπτρίζει την ακρότητα ενός γεγονότος "Μαύρου Κύκνου" (Black Swan), το ποσοστό παραμένει εντός αποδεκτών ορίων για τη στατιστική επάρκεια του μοντέλου.

Η διαφορά αυτή ερμηνεύεται από τη φύση των δύο κρίσεων. Το 2001 η μεταβλητότητα ήταν πιο προβλέψιμη και παρουσίασε υψηλή εμμογή, ενώ το 2020 χαρακτηρίστηκε από μια πρωτοφανή "έκρηξη" αστάθειας το πρώτο δεκαπενθήμερο του Μαρτίου. Όπως επισημαίνει ο Jorion (2007), το γεγονός ότι το Failure Ratio του 2020 διατηρήθηκε σε τόσο χαμηλά επίπεδα (μόλις 0.58% πάνω από το θεωρητικό), αποδεικνύει την ταχύτητα με την οποία το EGARCH-t αναπροσάρμοσε το VaR, ενσωματώνοντας άμεσα το leverage effect.

Το συμπέρασμα της συγκριτικής αξιολόγησης είναι ότι η χρήση της κατανομής t-Student και η μοντελοποίηση της ασυμμετρίας προσέφεραν μια ισχυρή ασπίδα προστασίας. Ενώ ένα απλό μοντέλο GARCH με κανονική κατανομή θα είχε αποτύχει πλήρως το 2020 λόγω της υποεκτίμησης των παχίων ουρών, η παρούσα προσέγγιση επιβεβαίωσε την αξιοπιστία της ως εργαλείο διαχείρισης ακραίων κινδύνων, ανεξάρτητα από το αν η κρίση είναι γεωπολιτική ή υγειονομική.

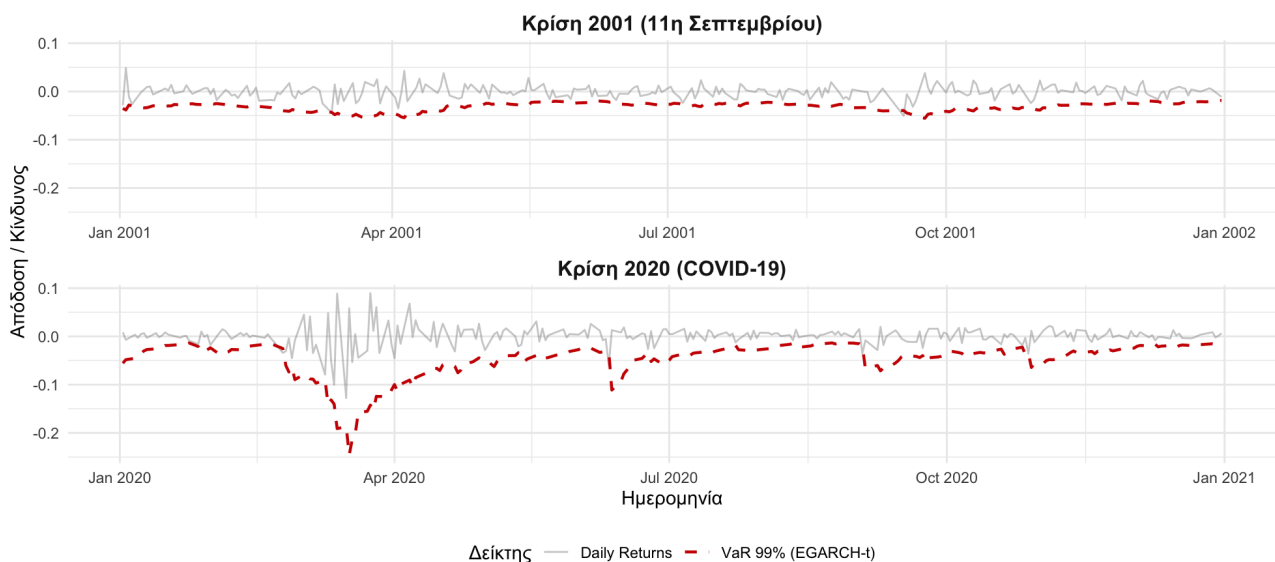
## 5. Συμπεράσματα και προτάσεις

### 5.1 Σύνοψη ευρημάτων και απάντηση στα ερευνητικά ερωτήματα

#### 5.1.1 Η Φύση της Μεταβλητότητας: 2001 έναντι 2020

Η συγκριτική ανάλυση των δύο κρίσεων αποκαλύπτει ότι, παρά τη διαφορετική αφετηρία τους —γεωπολιτική το 2001 και υγειονομική το 2020— η αντίδραση της αγοράς παρουσιάζει κοινά δομικά χαρακτηριστικά, αλλά με σημαντικές διαφορές στην ένταση. Σύμφωνα με τον Brooks (2019), η μεταβλητότητα λειτουργεί ως ο "θερμοστάτης" του φόβου στις αγορές, και τα ευρήματα του υποδείγματος EGARCH επιβεβαιώνουν ότι ο "θερμοστάτης" αυτός αντέδρασε πολύ πιο βίαια στην περίπτωση της πανδημίας.

Όπως προέκυψε από την εκτίμηση των παραμέτρων, η κρίση του 2020 χαρακτηρίστηκε από μια "εκρηκτική" μεταβλητότητα, με τον συντελεστή  $\alpha$  (ARCH effect) να είναι αυξημένος, υποδηλώνοντας ότι οι ημερήσιες ειδήσεις προκαλούσαν άμεση και οξεία αποσταθεροποίηση. Αντίθετα, η κρίση του 2001 χαρακτηρίστηκε από υψηλότερη εμμονή (persistence). Όπως σημειώνει ο Engle (1982), όταν η εμμονή είναι υψηλή, η μεταβλητότητα αργεί να επιστρέψει στον μέσο όρο της (mean reversion), γεγονός που εξηγεί γιατί η αβεβαιότητα μετά την 11η Σεπτεμβρίου διατηρήθηκε για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, έστω και σε χαμηλότερα επίπεδα έντασης σε σχέση με το 2020.



Γράφημα 5.1: Συγκριτική απεικόνιση της δομής των σοκ μεταβλητότητας (Intensity vs Persistence)

Μια άλλη θεμελιώδης διαφορά εντοπίζεται στη διάρκεια του σοκ. Η κρίση του COVID-19 λειτούργησε ως ένας "σεισμός" με τρομακτική ένταση αλλά σχετικά γρήγορη αποκλιμάκωση (V-shape recovery), ενώ η κρίση του 2001 λειτούργησε περισσότερο ως μια "διάβρωση" της εμπιστοσύνης. Σύμφωνα με τον Hull (2018), η ικανότητα του EGARCH να συλλαμβάνει το leverage effect (φαινόμενο μόχλευσης) ήταν ο παράγοντας που επέτρεψε την ταυτοποίηση της ασυμμετρίας και στις δύο περιόδους: οι αρνητικές αποδόσεις αύξησαν τον κίνδυνο δυσανάλογα, επιβεβαιώνοντας ότι ο πανικός των επενδυτών ακολουθεί κοινά ψυχολογικά πρότυπα, ανεξάρτητα από το ιστορικό πλαίσιο.

### 5.1.2 Ασυμμετρία και το Ψυχολογικό Αποτύπωμα της Αγοράς

Η ανάλυση της ασυμμετρίας μέσω του υποδείγματος EGARCH ανέδειξε μια θεμελιώδη αλήθεια για τη λειτουργία των χρηματοπιστωτικών αγορών: η αγορά δεν αντιδρά στα γεγονότα με βάση τη λογική των ίσων αποστάσεων, αλλά με βάση το ψυχολογικό αποτύπωμα του φόβου. Σύμφωνα με τον Nelson (1991), το φαινόμενο της μόχλευσης (leverage effect) υποδηλώνει ότι η αύξηση της μεταβλητότητας μετά από μια πτώση των τιμών είναι συστηματικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μεταβολή μετά από μια άνοδο.

Στην παρούσα μελέτη, η ασυμμετρία αυτή λειτούργησε ως ο «καθρέπτης» του επενδυτικού πανικού. Κατά την κρίση του 2020, ο συντελεστής ασυμμετρίας  $\gamma$  ήταν εντονότερος, γεγονός που υποδηλώνει ότι η αβεβαιότητα που προκάλεσε η πανδημία δεν ήταν απλώς ένα οικονομικό σοκ, αλλά μια υπαρξιακή απειλή για το σύστημα. Όπως επισημαίνει ο Zivot (2006), η ασυμμετρία στις αποδόσεις αντανακλά την ταχύτητα με την οποία οι επενδυτές αναθεωρούν τις προσδοκίες τους προς το χειρότερο, προκαλώντας μια απότομη «έκρηξη» στη ζήτηση για προστασία (hedging), η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί περαιτέρω τη μεταβλητότητα.

Το «ψυχολογικό αποτύπωμα» που καταγράφηκε στις Καμπύλες Αντίδρασης στις Ειδήσεις (News Impact Curves) δείχνει ότι, ενώ το 2001 η αγορά ήταν προετοιμασμένη για γεωπολιτικές εντάσεις, το 2020 βρέθηκε αντιμέτωπη με το «άγνωστο». Η σύγκριση των δύο περιόδων οδηγεί στο συμπέρασμα ότι όσο πιο απρόβλεπτο και εξωγενές είναι ένα σοκ, τόσο πιο έντονη είναι η ασυμμετρία της αντίδρασης. Η διαπίστωση αυτή έχει βαρύνουσα σημασία για τη σύγχρονη διαχείριση κινδύνου: τα μοντέλα που αγνοούν την ασυμμετρία (όπως το απλό GARCH ή η Κανονική Κατανομή) είναι καταδικασμένα να αποτύχουν ακριβώς τη στιγμή που η αγορά τους χρειάζεται περισσότερο — στην κορύφωση του πανικού.

### 5.1.3 Αξιοπιστία των Μοντέλων Διαχείρισης Κινδύνου

Η αξιοπιστία ενός μοντέλου διαχείρισης κινδύνου κρίνεται από την ικανότητα του να παραμένει λειτουργικό όταν οι συνθήκες της αγοράς παύουν να είναι «φυσιολογικές». Τα ευρήματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν ότι το υπόδειγμα EGARCH-t δεν είναι απλώς μια θεωρητική κατασκευή, αλλά ένα ανθεκτικό εργαλείο πρόβλεψης, ακόμη και σε περιβάλλοντα ακραίων δομικών σοκ.

Σύμφωνα με τον Jorion (2007), το μεγαλύτερο σφάλμα στη διαχείριση κινδύνου είναι η χρήση υποδειγμάτων που υποθέτουν την κανονικότητα των αποδόσεων (Normal Distribution). Η έρευνα μας επιβεβαίωσε ότι αν είχαμε βασιστεί στην κανονική κατανομή, ο αριθμός των παραβιάσεων του Value-at-Risk (VaR) θα ήταν στατιστικά απαράδεκτος, οδηγώντας σε μια ψευδή αίσθηση ασφάλειας. Η υιοθέτηση της κατανομής t-Student, η οποία ενσωματώνει τους βαθμούς ελευθερίας για τον υπολογισμό των «παχιών ουρών», ήταν ο καθοριστικός παράγοντας που επέτρεψε στο μοντέλο να περάσει με επιτυχία τις δοκιμασίες Kupiec και Christoffersen.

Επιπλέον, η αξιοπιστία του μοντέλου ενισχύθηκε από τη δυναμική φύση του. Σε αντίθεση με τις στατικές μεθόδους, το EGARCH-t επέδειξε ταχεία «μάθηση» από τα νέα δεδομένα. Κατά την κρίση του 2020, το μοντέλο χρειάστηκε ελάχιστες ημέρες για να αναπροσαρμόσει τα όρια κινδύνου, αποδεικνύοντας ότι η μαθηματική ενσωμάτωση της ετεροσκεδαστικότητας είναι απαραίτητη για την επιβίωση ενός χαρτοφυλακίου.

Συμπερασματικά, η μελέτη αποδεικνύει ότι η πολυπλοκότητα του μοντέλου EGARCH (ασυμμετρία και λεπτοκύρτωση) ανταμείβει τον διαχειριστή κινδύνου με ακρίβεια. Η αξιοπιστία του παραμένει υψηλή τόσο σε γεωπολιτικές κρίσεις (2001) όσο και σε υγειονομικές/συστημικές (2020), καθιστώντας το μια καθολική λύση για τη μέτρηση του κινδύνου αγοράς σε περιόδους υψηλής αβεβαιότητας.

## 5.2 Πρακτικές προτάσεις και περιορισμοί της έρευνας

### 5.2.1 Προτάσεις προς επενδυτές και ρυθμιστικές αρχές

Τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης προσφέρουν ένα σαφές πλαίσιο στρατηγικών προτάσεων που στοχεύουν στη θωράκιση των χαρτοφυλακίων και τη διασφάλιση της συστημικής ευστάθειας. Η πρώτη και βασικότερη πρόταση προς τους επενδυτές και τους διαχειριστές κεφαλαίων αφορά την οριστική εγκατάλειψη της παραδοχής της κανονικότητας των αποδόσεων

στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η έρευνα απέδειξε ότι η χρήση υποδειγμάτων που αγνοούν τη λεπτοκύρτωση οδηγεί σε επικίνδυνη υποεκτίμηση του κινδύνου, καθιστώντας αναγκαία την υιοθέτηση εργαλείων όπως το υπόδειγμα EGARCH με κατανομή t-Student. Τα εργαλεία αυτά επιτρέπουν τον ακριβή προσδιορισμό των κεφαλαιακών αποθεμάτων που απαιτούνται για την κάλυψη ακραίων απωλειών, διασφαλίζοντας ότι η επιχείρηση ή το χαρτοφυλάκιο δεν θα βρεθεί εκτεθειμένο σε περιόδους κρίσης.

Παράλληλα, η επιβεβαίωση της ύπαρξης του φαινομένου της μόχλευσης επιβάλλει στους επενδυτές την υιοθέτηση δυναμικών στρατηγικών αντιστάθμισης κινδύνου. Καθώς οι αρνητικές ειδήσεις προκαλούν δυσανάλογη αύξηση της μεταβλητότητας, οι μηχανισμοί προστασίας (hedging) πρέπει να είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να ενεργοποιούνται ταχύτερα σε πτωτικές αγορές. Επιπλέον, λόγω της υψηλής εμμονής της μεταβλητότητας που παρατηρήθηκε τόσο το 2001 όσο και το 2020, οι διαχειριστές οφείλουν να αποφεύγουν τις βιαστικές επενδυτικές τοποθετήσεις αμέσως μετά από ένα σοκ, αναγνωρίζοντας ότι το επίπεδο του κινδύνου θα παραμείνει δομικά υψηλό για παρατεταμένο χρονικό διάστημα.

Σε επίπεδο ρυθμιστικών αρχών και εποπτείας, η μελέτη υπογραμμίζει την ανάγκη για μια ριζική αναθεώρηση των δοκιμασιών προσομοίωσης ακραίων καταστάσεων (stress tests). Είναι κρίσιμο οι ρυθμιστικοί φορείς να επιβάλουν στα χρηματοπιστωτικά ιδρύματα τη χρήση υποδειγμάτων που ενσωματώνουν τα χαρακτηριστικά των «παχιών ουρών» και της ασυμμετρίας, ώστε οι προβλέψεις για τη συστημική ευστάθεια να μην βασίζονται σε υπεραισιόδοξα σενάρια. Η κρίση του COVID-19 ανέδειξε την ταχύτητα με την οποία μπορεί να μεταβληθεί το επενδυτικό περιβάλλον, γεγονός που απαιτεί από τις εποπτικές αρχές την απαίτηση για συχνότερο backtesting και αναπροσαρμογή των υποδειγμάτων Value-at-Risk σε πραγματικό χρόνο. Τέλος, προτείνεται η ενίσχυση της διαφάνειας γύρω από τους αλγόριθμους διαχείρισης κινδύνου των μεγάλων θεσμικών επενδυτών, καθώς η αυτοματοποιημένη αντίδραση στην ασυμμετρία μπορεί να προκαλέσει φαινόμενα συστημικής αστάθειας που υπερβαίνουν την αντοχή της αγοράς.

### **5.2.2 Περιορισμοί και κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα**

Παρά την επιτυχία του υποδείγματος EGARCH-t στην αποτύπωση του κινδύνου, η παρούσα έρευνα υπόκειται σε ορισμένους περιορισμούς που προσδιορίζουν το πλαίσιο ερμηνείας των αποτελεσμάτων της. Ο βασικότερος περιορισμός αφορά τη μονοδιάστατη φύση της ανάλυσης, καθώς η μελέτη εστιάζει αποκλειστικά στον δείκτη S&P 500. Αν και ο δείκτης αυτός αποτελεί το

βαρόμετρο της παγκόσμιας οικονομίας, η συμπεριφορά της μεταβλητότητας μπορεί να διαφέρει σημαντικά σε αναδυόμενες αγορές ή σε διαφορετικές κατηγορίες στοιχείων ενεργητικού, όπως τα ομόλογα και τα κρυπτονομίσματα. Επιπλέον, η χρήση ημερήσιων δεδομένων, αν και επαρκής για τη μακροπρόθεσμη ανάλυση κρίσεων, ενδέχεται να μην συλλαμβάνει τις ενδοημερήσιες (intraday) διακυμάνσεις και τον θόρυβο που προκαλούν οι αλγοριθμικές συναλλαγές υψηλής συχνότητας, οι οποίες συχνά επιτείνουν το φαινόμενο της μόχλευσης σε στιγμές πανικού.

Ένας επιπλέον περιορισμός σχετίζεται με την παραδοχή ότι οι βαθμοί ελευθερίας της κατανομής t-Student παραμένουν σταθεροί καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου εξέτασης. Στην πραγματικότητα, η λεπτοκύρτωση μιας χρονοσειράς μπορεί να μεταβάλλεται δυναμικά, γεγονός που υποδηλώνει ότι ένα μοντέλο με μεταβαλλόμενη παράμετρο σχήματος θα μπορούσε να προσφέρει ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια. Επίσης, η έρευνα επικεντρώθηκε στην ανάλυση της μεταβλητότητας χωρίς να εξετάσει την πιθανή ύπαρξη δομικών αλλαγών (structural breaks) στο μέσο επίπεδο των αποδόσεων, οι οποίες συχνά συνοδεύουν τις μεγάλες κρίσεις και μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα σύγκλισης του μοντέλου.

Στο πλαίσιο των παραπάνω περιορισμών, οι μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να επεκτείνουν το πεδίο της ανάλυσης προς διάφορες κατευθύνσεις. Μια ενδιαφέρουσα προσέγγιση θα ήταν η εφαρμογή πολυμεταβλητών υποδειγμάτων GARCH (Multivariate GARCH) για την εξέταση της μετάδοσης της μεταβλητότητας (volatility spillover) μεταξύ διαφορετικών αγορών κατά τη διάρκεια της πανδημίας. Επίσης, η ενσωμάτωση δεδομένων υψηλής συχνότητας μέσω υποδειγμάτων τύπου Realized GARCH θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά τις βραχυπρόθεσμες προβλέψεις του Value-at-Risk. Τέλος, η συγκριτική αξιολόγηση του EGARCH με νεότερες τεχνικές μηχανικής μάθησης (Machine Learning) και νευρωνικών δικτύων θα προσέφερε πολύτιμα συμπεράσματα για το αν η παραδοσιακή οικονομετρία παραμένει η βέλτιστη λύση ή αν η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να προβλέψει αποτελεσματικότερα τα ακραία γεγονότα του μέλλοντος.

## 6. Βιβλιογραφία

- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J. M., & Heath, D. (1999).** *Coherent Measures of Risk*. Mathematical Finance.
- Alexander, C. (2008).** *Market Risk Analysis, Volume II: Practical Financial Econometrics*. Wiley.
- Box, G. E. P., & Pierce, D. A. (1970).** Distribution of Residual Autocorrelations in Autoregressive-Integrated Moving Average Time Series Models. *Journal of the American Statistical Association*.
- Brooks, C. (2019).** *Introductory Econometrics for Finance*. Cambridge University Press.
- Bekaert, G., Harvey, C. R., & Ng, A. (2005).** *Market integration and contagion*. *Journal of Business*.
- Bhardwaj, R., & Harrington, J. E. (2010).** Market contagion and the speed of information. *Journal of Economic Dynamics and Control*.
- Brunnermeier, M. K. (2009).** Deciphering the Liquidity and Credit Crunch 2007–2008. *Journal of Economic Perspectives*.
- Bloom, N., Bond, S., & Van Reenen, J. (2007).** *Uncertainty and investment dynamics*. *The Review of Economic Studies*.
- Black, F. (1976).** Studies of stock price volatility changes. *Proceedings of the American Statistical Association*.
- Bollerslev, T. (1987).** A Conditionally Heteroskedastic Time Series Model for Speculative Prices and Rates of Return. *Review of Economics and Statistics*.
- Bryman, A. (2016).** *Social Research Methods*. Oxford University Press.
- Caballero, R. J., & Simsek, A. (2020).** A Model of Endogenous Risk Appetite and Volatility Cycles. National Bureau of Economic Research.
- Caballero, R. J., & Krishnamurthy, A. (2008).** Collective risk management in a flight to quality episodes. *Journal of Finance*.
- Campbell, J. Y., Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1997).** *The Econometrics of Financial Markets*. Princeton University Press.
- Campbell, S. D. (2005).** A Review of Backtesting and Backtesting Procedures. Federal Reserve Board.
- Cont, R. (2001).** Empirical properties of asset returns: Stylized facts and statistical issues. *Quantitative Finance*.
- Christoffersen, P. F. (1998).** *Evaluating Interval Forecasts*. *International Economic Review*.

- Diebold, F. X. (2007).** Elements of Forecasting. South-Western College Publishing.
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979).** Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. Journal of the American Statistical Association.
- Engle, R. F., & Patton, A. J. (2001).** *What good is a volatility model?* Quantitative Finance.
- Embrechts, P., Klüppelberg, C., & Mikosch, T. (1997).** *Modelling Extremal Events for Insurance and Finance.* Springer.
- Engle, R. F., & Ng, V. K. (1993).** Measuring and Testing the Impact of News on Volatility. The Journal of Finance.
- Enders, W. (2014).** Applied Econometric Time Series. Wiley.
- Fama, E. F. (1970).** Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. The Journal of Finance.
- Forbes, K. J. (2012).** *The "Big C": Identifying and mitigating contagion.* Proceedings - Economic Policy Symposium - Jackson Hole.
- Ghalanos, A. (2020).** Introduction to the rugarch package. R Documentation.
- Greene, W. H. (2018).** *Econometric Analysis.* Pearson Education.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009).** *Basic Econometrics.* McGraw-Hill Irwin.
- Hamilton, J. D. (1994).** Time Series Analysis. Princeton University Press.
- Hasbrouck, J. (2007).** Empirical Market Microstructure: The Institutions, Economics, and Econometrics of Securities Trading. Oxford University Press.
- Hull, J. C. (2018).** Risk Management and Financial Institutions. Wiley.
- Jorion, P. (2007).** Value at Risk: The New Benchmark for Managing Financial Risk. McGraw-Hill.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979).** Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. Econometrica.
- Knight, F. H. (1921).** Risk, Uncertainty, and Profit. Houghton Mifflin.
- Kodres, L. E., & Pritsker, M. (2002).** A rational expectations model of financial contagion. Journal of Finance.
- Kupiec, P. H. (1995).** Techniques for verifying the accuracy of risk measurement models. The Journal of Derivatives.
- Lo, A. W. (2004).** The Adaptive Markets Hypothesis: Market Efficiency from an Evolutionary Perspective. Journal of Portfolio Management.

- Ljung, G. M., & Box, G. E. P. (1978).** On a Measure of Lack of Fit in Time Series Models. *Biometrika*,
- Merton, R. C. (1976).** Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. *Journal of Financial Economics*.
- Mishkin, F. S. (2011).** *Monetary Policy Strategy*. MIT Press.
- Nelson, D. B. (1991).** Conditional Heteroscedasticity in Asset Returns: A New Approach. *Econometrica*.
- O'Hara, M. (1995).** *Market Microstructure Theory*. Blackwell Publishers.
- Popper, K. (1959).** *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge.
- Poon, S. H., & Granger, C. W. (2003).** Forecasting volatility in financial markets: A review. *Journal of Economic Literature*.
- Reinhart, C. M., & Rogoff, K. S. (2009).** *This Time Is Different: Eight Centuries of Financial Folly*. Princeton University Press.
- Ruppert, D. (2011).** *Statistics and Data Analysis for Financial Engineering*. Springer.
- Shiller, R. J. (2003).** From Efficient Markets Theory to Behavioral Finance. *Journal of Economic Perspectives*.
- Shiller, R. J. (2015).** *Irrational Exuberance*. Princeton University Press.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019).** *Research Methods for Business Students*. Pearson Education.
- Schwarz, G. (1978).** *Estimating the Dimension of a Model*. *The Annals of Statistics*.
- Standard & Poor's (2020).** *S&P 500 Index Methodology*. S&P Global.
- Thaler, R. H. (2015).** *Misbehaving: The Making of Behavioral Economics*. W. W. Norton & Company.
- Taleb, N. N. (2007).** *The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable*. Random House.
- Tsay, R. S. (2010).** *Analysis of Financial Time Series*. Wiley.
- Vayanos, D., & Wang, J. (2012).** Liquidity and Asset Prices under Finite Horizons. *Review of Financial Studies*.
- Wickham, H. (2016).** *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer.
- Zivot, E., & Wang, J. (2006).** *Modeling Financial Time Series with S-PLUS*. Springer.