

**Μεταβαλλόμενη Συσχέτιση και
Μετάδοση Κινδύνου στον Τραπεζικό
Τομέα της Ευρώπης: Μία Προσέγγιση
με Μονομεταβλητά και Πολυμεταβλητά
Μοντέλα**

Πρέντζας Θεόδωρος

Επιβλέπων: Σίμος Θεόδωρος



**Τμήμα Οικονομικών Επιστημών
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
Ελλάδα
Φεβρουάριος, 2026**

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή	2
Κεφάλαιο 2 – Εισαγωγή στη Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	5
2.1 – Οικονομικό Προφίλ και Επιλογή Δείγματος	6
2.2 Περιγραφική Στατιστική και Έλεγχοι Υποθέσεων	7
2.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο για τη Μεταβλητότητα και τα Μοντέλα GARCH	9
2.4 Ανάλυση των GARCH Μοντέλων	10
2.4.1 Το Μοντέλο GARCH	11
2.4.2 Το Μοντέλο EGARCH	12
2.4.3 Πολυμεταβλητά Υποδείγματα Μεταβλητότητας: DCC	12
2.5 Συγκριτική Αξιολόγηση ARCH, GARCH, EGARCH, DCC	13
2.6 Εμπειρικές Μελέτες στη Διεθνή Βιβλιογραφία-Γενικό Πλαίσιο και Πρώιμες Εφαρμογές	14
2.7 Σύνοψη και Κενά Έρευνας	17
Κεφάλαιο 3 – Μεθοδολογία και Δεδομένα	21
3.1 Δεδομένα	21
3.2 Μεθοδολογική Προσέγγιση	23
3.2.1 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στα Δεδομένα	24
Κεφάλαιο 4 – Εμπειρικά Αποτελέσματα	28
4.1 Περιγραφικά Στατιστικά και Αρχική Επισκόπηση Δεδομένων	28
4.2 Έλεγχος ARCH και Διαγνωστική Επισκόπηση	29
4.3 Εκτίμηση Υποδειγμάτων (GARCH vs EGARCH), Σύγκριση και Μεταβλητότητα	30
4.4 Πολυμεταβλητά Υποδείγματα: DCC	34
4.4.1 DCC(1,1): Δυναμική Υπό-Συνθήκη Συσχέτιση	34
4.4.2 Διαγνωστική Ανάλυση μέσω Z-Scores	36
4.5 Ανάλυση Μεταβλητότητας σε Περιόδους Κρίσης και Συσχετίσεις	38
Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων	41
5.1 Ανακεφαλαίωση Κυριότερων Ευρημάτων	41
5.2 Ερμηνεία Μεταβλητότητας ανά Περίοδο Κρίσης	42
5.3 Συσχετίσεις και Φαινόμενα Μετάδοσης	44
5.4 Πολιτικές και Επενδυτικές Επιπτώσεις	45
Κεφάλαιο 6 – Περιορισμοί και Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα	47
6.1 Μεθοδολογικοί Περιορισμοί	47
6.2 Περιορισμοί Δεδομένων	47
6.3 Ερμηνευτικοί Περιορισμοί και Υποθέσεις	48
6.4 Κατευθύνσεις για Μελλοντική Έρευνα	49
Βιβλιογραφία	51

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάζει τη δυναμική της μεταβλητότητας σε μετοχές μεγάλων ευρωπαϊκών τραπεζών και μιας ελληνικής τράπεζας, χρησιμοποιώντας προηγμένα στοχαστικά μοντέλα τύπου GARCH και EGARCH αλλά και πολυμεταβλητών μοντέλων όπως DCC. Στόχος της έρευνας είναι η ανάλυση των διακυμάνσεων των αποδόσεων και η αποτίμηση της επίδρασης σημαντικών οικονομικών κρίσεων και γεγονότων στην τραπεζική αγορά από το 2007 έως το 2024. Για την υλοποίηση της μελέτης χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα κλεισίματος τιμών για τις μετοχές των BNP Paribas, Deutsche Bank, ING Bank και Τράπεζα Πειραιώς. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τον υπολογισμό των λογαριθμικών αποδόσεων, την εκτίμηση υποδειγμάτων GARCH και EGARCH για τη μέτρηση και πρόβλεψη της υπο συνθήκη διακύμανσης, καθώς και τη διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των εξεταζόμενων τίτλων. Επίσης, η χρήση πολυμεταβλητών μοντέλων παρέχει μια ευέλικτη προσέγγιση για την εκτίμηση χρονικά μεταβαλλόμενων συντελεστών συσχέτισης μεταξύ χρηματοοικονομικών αποδόσεων. Επιπλέον, πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση της μεταβλητότητας μεταξύ περιόδων σχετικής σταθερότητας και περιόδων οικονομικών αναταραχών, όπως η παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση του 2008, η κρίση χρέους της Ευρωζώνης, η πανδημία COVID-19 και οι γεωπολιτικές εντάσεις των τελευταίων ετών. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν την έντονη αύξηση της μεταβλητότητας κατά περιόδους κρίσεων, επιβεβαιώνοντας ότι οι τραπεζικές μετοχές ανταποκρίνονται άμεσα και με έντονη διακύμανση σε εξωτερικά σοκ. Τα μοντέλα EGARCH, λόγω της δυνατότητας τους να συλλαμβάνουν ασυμμετρίες στις διακυμάνσεις, παρείχαν ακριβέστερες εκτιμήσεις σε σύγκριση με τα απλά GARCH, ειδικά σε περιόδους αρνητικών αποδόσεων. Η ανάλυση της συσχέτισης έδειξε αύξηση της συνδιακύμανσης μεταξύ των τραπεζικών τίτλων σε περιόδους κρίσης, στοιχείο που υποδηλώνει μειωμένα οφέλη διαφοροποίησης σε τέτοιες συνθήκες. Τέλος η χρήση του DCC μοντέλου χρησιμοποιείται για τη μελέτη της 'συστημικής επικινδυνότητας'. Η εργασία συμβάλλει στην κατανόηση της συμπεριφοράς της μεταβλητότητας στον ευρωπαϊκό τραπεζικό κλάδο και παρέχει χρήσιμα συμπεράσματα για επενδυτές, διαχειριστές χαρτοφυλακίων και ρυθμιστικές αρχές σχετικά με τη διαχείριση κινδύνου και την πρόβλεψη μεταβλητότητας σε περιόδους αβεβαιότητας.

Κεφάλαιο 1 – Εισαγωγή

Η μεταβλητότητα αποτελεί έναν από τους βασικότερους δείκτες που αντικατοπτρίζουν την αβεβαιότητα και τον κίνδυνο στις χρηματοπιστωτικές αγορές. Με απλά λόγια, η μεταβλητότητα εκφράζει τον βαθμό διακύμανσης των τιμών των περιουσιακών στοιχείων σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η μελέτη της είναι κρίσιμη για την κατανόηση και την πρόβλεψη της συμπεριφοράς των αγορών, καθώς και για τη λήψη αποφάσεων από επενδυτές, διαχειριστές κεφαλαίων και ρυθμιστικές αρχές.

Η σημασία της μεταβλητότητας γίνεται ακόμα πιο εμφανής σε περιόδους κρίσης ή έντονης αβεβαιότητας, όπου οι διακυμάνσεις των τιμών μπορούν να παρουσιάσουν απότομες αυξήσεις, οδηγώντας σε σημαντικές απώλειες ή κέρδη για τους συμμετέχοντες στην αγορά. Για παράδειγμα, κατά την παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση του 2008, η μεταβλητότητα των αγορών αυξήθηκε σε πρωτόγνωρα επίπεδα, αποτυπώνοντας την έντονη ανασφάλεια και τις ακραίες συνθήκες που επικρατούσαν. Η μεταβλητότητα, λοιπόν, δεν είναι μόνο ένα μέτρο του κινδύνου αλλά και ένα εργαλείο για τη διαχείρισή του. Η οικονομική θεωρία και η εμπειρική ανάλυση έχουν δείξει ότι η μεταβλητότητα παρουσιάζει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως τη συγκέντρωση σε χρονικά διαστήματα (volatility clustering), όπου περιόδους υψηλής μεταβλητότητας διαδέχονται άλλες παρόμοιες έντασης, καθώς και την ασυμμετρία στην αντίδραση της μεταβλητότητας στα θετικά και αρνητικά νέα (leverage effect). Αυτά τα φαινόμενα καθιστούν τη μεταβλητότητα δυναμική και μη-γραμμική, γεγονός που απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων μαθηματικών μοντέλων για την ανάλυσή της.

Η παγκόσμια χρηματοπιστωτική σταθερότητα αποτελεί θεμελιώδη παράγοντα για την ομαλή λειτουργία των οικονομιών και τη βιώσιμη ανάπτυξη. Οι τράπεζες, ως βασικοί πυλώνες του χρηματοπιστωτικού συστήματος, διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη διαμεσολάβηση κεφαλαίων, τη χρηματοδότηση επιχειρήσεων και νοικοκυριών, καθώς και στη διαχείριση κινδύνων. Ωστόσο, η λειτουργία τους είναι εγγενώς εκτεθειμένη σε ποικίλες μορφές κινδύνου, με κυριότερο τον κίνδυνο αγοράς, ο οποίος αντικατοπτρίζεται συχνά μέσα από τη μεταβλητότητα των τιμών των μετοχών τους. Η ανάλυση της μεταβλητότητας δεν έχει μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον, αλλά και πρακτική σημασία, καθώς επηρεάζει τη διαμόρφωση στρατηγικών διαχείρισης κινδύνου, τον κανονιστικό σχεδιασμό, και τις επενδυτικές αποφάσεις.

Η περίοδος 2007-2024 υπήρξε ιδιαίτερα ταραχώδης για τον διεθνή χρηματοπιστωτικό τομέα. Η παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση του 2007-2009 αποτέλεσε σημείο καμπής, με την κατάρρευση μεγάλων τραπεζικών ιδρυμάτων και τη δραματική υποχώρηση της εμπιστοσύνης στις αγορές. Οι συνέπειες της κρίσης αυτής ήταν μακροχρόνιες, με τις τράπεζες να αντιμετωπίζουν αυξημένες κεφαλαιακές απαιτήσεις, αυστηρότερο εποπτικό πλαίσιο και μεταβαλλόμενες συνθήκες αγοράς. Ακολούθησε η κρίση χρέους της Ευρωζώνης (2010-2012), η οποία έθεσε σε δοκιμασία την ανθεκτικότητα του ευρωπαϊκού τραπεζικού συστήματος, με ιδιαίτερες πιέσεις στις τράπεζες χωρών της περιφέρειας, όπως η Ελλάδα. Η ελληνική τραπεζική αγορά, και ειδικότερα οι συστημικές τράπεζες, βρέθηκαν αντιμέτωπες με αλληπάλληλα κύματα αβεβαιότητας: την ανακεφαλαιοποίηση του κλάδου, την επιβολή capital controls το 2015, και τη σταδιακή αποκατάσταση της πρόσβασης στις διεθνείς αγορές κεφαλαίου. Παράλληλα, η περίοδος 2020-2021 σηματοδεύτηκε από την πανδημία COVID-19, η οποία προκάλεσε απότομες διακυμάνσεις στις

χρηματοπιστωτικές αγορές παγκοσμίως, με τις τράπεζες να υφίστανται άμεσες και έμμεσες πιέσεις λόγω της συρρίκνωσης της οικονομικής δραστηριότητας και της αβεβαιότητας για την πορεία της ανάκαμψης. Πιο πρόσφατα, η ενεργειακή κρίση του 2022 και οι γεωπολιτικές εντάσεις, ιδίως με αφορμή τον πόλεμο στην Ουκρανία, συνέβαλαν σε νέα κύματα μεταβλητότητας και αύξηση του επενδυτικού κινδύνου.

Μέσα σε αυτό το περιβάλλον, η μελέτη της μεταβλητότητας των τραπεζικών μετοχών αποκτά ιδιαίτερη σημασία, καθώς μπορεί να αποκαλύψει πως οι αγορές προεξοφλούν κινδύνους και πως αντιδρούν σε ακραία γεγονότα. Τα στατιστικά μοντέλα GARCH (Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) και οι επεκτάσεις τους, όπως το EGARCH (Exponential GARCH), έχουν καθιερωθεί ως βασικά εργαλεία στην ποσοτική ανάλυση της μεταβλητότητας. Τα μοντέλα αυτά επιτρέπουν την αποτύπωση της ετεροσκεδαστικότητας των αποδόσεων και την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι διακυμάνσεις μεταφέρονται και διατηρούνται στο χρόνο. Το EGARCH, ειδικότερα δίνει τη δυνατότητα μοντελοποίησης ασυμμετρικών - δηλαδή της διαφορετικής επίδρασης που μπορεί να έχουν θετικά και αρνητικά σοκ στη μεταβλητότητα. Όπως επίσης και τα πολυμεταβλητά μοντέλα όπως το DCC μοντέλου το οποίο βασίζεται στην ίδια λογική της υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας και επεκτείνει το θεωρητικό πλαίσιο ώστε να επιτρέπει τη μοντελοποίηση 'αλληλεξαρτήσεων και συσχετίσεων'.

Στην παρούσα εργασία, η ανάλυση επικεντρώνεται σε ένα σύνολο ευρωπαϊκών τραπεζικών μετοχών: BNP Paribas, Deutsche Bank, ING Bank ενώ η Τράπεζα Πειραιώς χρησιμοποιείται ως ομάδα ελέγχου (control group) για τη σύγκριση και την καλύτερη κατανόηση των διαφορών ανάμεσα σε τράπεζες που δραστηριοποιούνται σε διαφορετικά οικονομικά και θεσμικά περιβάλλοντα. Η επιλογή αυτών των τραπεζών δεν είναι τυχαία. Πρόκειται για μεγάλους χρηματοπιστωτικούς οργανισμούς με σημαντική κεφαλαιοποίηση και ενεργή παρουσία στις διεθνείς αγορές, οι οποίοι έχουν βιώσει τις επιπτώσεις των παραπάνω κρίσεων σε διαφορετικό βαθμό και με διαφορετικούς τρόπους.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιλαμβάνει την εκτίμηση GARCH(1,1) και EGARCH(1,1) μοντέλων με διαφορετικές υποθέσεις κατανομής των σφαλμάτων, την εξαγωγή και οπτικοποίηση της εκτιμημένης μεταβλητότητας, καθώς και την ανάλυση των υπολοίπων των μοντέλων μέσω διαγνωστικών ελέγχων. Επίσης, πραγματοποιείται συγκριτική αξιολόγηση των μοντέλων με κριτήρια πληροφορίας (AIC, BIC) καθώς και τη μελέτη των συσχετίσεων των μεταβλητοτήτων μεταξύ των τραπεζών, προκειμένου να εξεταστούν πιθανές αλληλεπιδράσεις και συγχρονισμοί στις διακυμάνσεις. Επιπλέον, η εργασία εξετάζει πως η εκτιμημένη μεταβλητότητα εξελίχθηκε κατά τη διάρκεια περιόδων κρίσεων, όπως η παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση, η κρίση χρέους της Ευρωζώνης, η πανδημία COVID-19 και η ενεργειακή κρίση. Η ανάλυση αυτή επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ευαισθησία κάθε τράπεζας σε εξωγενή σοκ και τον βαθμό στον οποίο οι αγορές τιμολογούν τον κίνδυνο σε περιόδους έντονης αβεβαιότητας. Τέλος, εκτιμούμε την ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας αλλά και την μετάδοση της μεταβλητότητας χρησιμοποιώντας πολυμεταβλητά μοντέλα όπως το DCC μοντέλο που μας επιτρέπει να εξηγήσουμε τις διαφορές μεταξύ των τραπεζικών μετοχών.

Τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα που θέτει η εργασία είναι τα εξής:

1. Ποιές είναι οι διαφορές στη δυναμική της μεταβλητότητας μεταξύ μεγάλων ευρωπαϊκών τραπεζών και μιας ελληνικής συστημικής τράπεζας;

2. Σε ποιόν βαθμό τα μοντέλα GARCH και EGARCH αποτυπώνουν αποτελεσματικά τις ιδιαιτερότητες των αποδόσεων τραπεζικών μετοχών αλλά και πώς εξηγούνται τα αποτελέσματα καλύτερα με πολυμεταβλητά μοντέλα DCC·

3. Πως επηρεάστηκαν οι εκτιμήσεις μεταβλητότητας από μεγάλες χρηματοπιστωτικές και μακροοικονομικές κρίσεις κατά την περίοδο 2007-2024·

4. Υπάρχουν ενδείξεις συσχέτισης ή μετάδοσης της μεταβλητότητας μεταξύ των εξεταζόμενων τραπεζών·

Η συμβολή της εργασίας έγκειται τόσο στην εμπειρική ανάλυση όσο και στη συγκριτική μελέτη διαφορετικών τραπεζικών μετοχών σε ένα εκτενές χρονικό διάστημα, που περιλαμβάνει πολλαπλές περιόδους κρίσης. Τα αποτελέσματα μπορούν να αξιοποιηθούν από ακαδημαϊκούς, αναλυτές κινδύνου, επενδυτές και φορείς χάραξης πολιτικής για την κατανόηση των μηχανισμών μεταβλητότητας στον τραπεζικό κλάδο και για τον σχεδιασμό στρατηγικών που ενισχύουν την ανθεκτικότητα των χρηματοπιστωτικών ιδρυμάτων.

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής:

Κεφάλαιο 1: Παρουσίαση θεωρητικού πλαισίου και ανασκόπηση βιβλιογραφίας σχετικά με την μεταβλητότητα, τα μοντέλα GARCH και EGARCH, DCC καθώς και τη χρηματοοικονομική ανάλυση τραπεζικών μετοχών.

Κεφάλαιο 2: Ανάλυση των μοντέλων που επιλέχθηκαν και αναλύθηκαν για την εξήγηση της μεταβλητότητας.

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή των δεδομένων και των πηγών τους, καθώς και της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την εκτίμηση των μοντέλων.

Κεφάλαιο 4: Παρουσίαση των εμπειρικών αποτελεσμάτων, συμπεριλαμβανομένων των εκτιμήσεων μεταβλητότητας, των διαγνωστικών ελέγχων και της ανάλυσης συσχέτισης.

Κεφάλαιο 5: Συζήτηση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τις θεωρητικές προσδοκίες και τα ευρήματα προηγούμενων μελετών.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική έρευνα.

Με τον τρόπο αυτό η εργασία συνδυάζει θεωρητική τεκμηρίωση και εμπειρική ανάλυση, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στη μελέτη της μεταβλητότητας τραπεζικών μετοχών στην ευρωπαϊκή και ελληνική αγορά, μέσα σε ένα περιβάλλον που χαρακτηρίζεται από διαρκείς προκλήσεις και μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Κεφάλαιο 2 – Εισαγωγή στη Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποσκοπεί στη θεωρητική και εμπειρική τεκμηρίωση των κυριότερων θεμάτων που συνδέονται με τη μελέτη της μεταβλητότητας στις χρηματοπιστωτικές αγορές, με έμφαση στην εφαρμογή των μοντέλων GARCH και των επεκτάσεων τους στον τραπεζικό κλάδο. Στόχος της είναι να καταγράψει τα βασικά stylized facts των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών, τις μεθοδολογικές προσεγγίσεις που έχουν προταθεί για την αποτύπωση της υπό όρους διακύμανσης, καθώς και τα εμπειρικά ευρήματα σχετικά με τη συμπεριφορά της μεταβλητότητας κατά τη διάρκεια κρίσεων και τη μετάδοση της αστάθειας μεταξύ των τραπεζών. Η ανασκόπηση επιχειρεί επίσης να εντοπίσει κενά στη βιβλιογραφία και να τοποθετήσει την παρούσα μελέτη σε σχέση με προηγούμενα έργα, ώστε να τεκμηριωθεί η αναγκαιότητα και η καινοτομία της.

Αρχικά, η ανασκόπηση θα παρουσιάσει τα θεμελιώδη χαρακτηριστικά των αποδόσεων μετοχών—όπως volatility clustering, βαριές ουρές (fat tails) και πιθανή ασυμμετρία (leverage effect)—τα οποία αποτέλεσαν το έναυσμα για την ανάπτυξη οικογενειών μοντέλων που διαχειρίζονται την υπό όρους διακύμανση. Στη συνέχεια θα γίνει θεωρητική αναφορά στις βασικές προσεγγίσεις των μοντέλων ARCH/-GARCH και τις σημαντικές τους επεκτάσεις (π.χ. EGARCH), επισημαίνοντας τη λογική λειτουργίας τους, τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς κάθε προσέγγισης καθώς και τις μεγαλύτερες διαφορές και χρησιμότητες ως προς την εκάστοτε επιλογή μοντέλου με βάση τα δεδομένα.

Το επόμενο τμήμα θα μεταβεί σε πολυμεταβλητές προσεγγίσεις που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της συσχέτισης και μετάδοσης μεταβλητότητας μεταξύ τίτλων ή αγορών, ένα κρίσιμο κομμάτι για τις μελέτες (spillover) στον τραπεζικό κλάδο. Ακολουθεί το εμπειρικό μέρος της ανασκόπησης όπου θα συνοψιστούν βασικά αποτελέσματα από μελέτες που εξέτασαν την επίδραση σημαντικών κρίσεων (π.χ. 2007-2009, κρίση χρέους, COVID-19, γεωπολιτικές εντάσεις) στη μεταβλητότητα των τραπεζικών μετοχών, καθώς και έρευνες που διερεύνησαν την ύπαρξη και την ένταση μεταδόσεων μεταβλητότητας (contagion vs interdependence).

Τέλος, η ενότητα θα κλείσει με κριτική αποτίμηση μεθοδολογικών ζητημάτων, επιλογή κατανομής σφαλμάτων (normal vs t), θέματα επιμονής παραμέτρων (persistence), διάγνωση υπολοίπων και πρακτικά θέματα όπως ευθυγράμμιση σειρών και χρήση rolling window και θα διατυπώσει τα πιο σημαντικά ερευνητικά κενά που αναδεικνύουν την προστιθέμενη αξία της παρούσας μελέτης. Η ανασκόπηση, επομένως, δεν περιορίζεται σε απλή καταγραφή μελετών αλλά αποσκοπεί στο να συνθέσει τα ευρήματα, να αναδείξει αντιφάσεις και ανοιχτά ζητήματα και να δημιουργήσει το θεωρητικό-μεθοδολογικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα στηριχθούν τα επόμενα κεφάλαια της εργασίας.

2.1 – Οικονομικό Προφίλ και Επιλογή Δείγματος

Η μελέτη της μεταβλητότητας των τραπεζικών μετοχών και των μηχανισμών μετάδοσης του κινδύνου απαιτεί την επιλογή ενός δείγματος τραπεζών που να αντικατοπτρίζει τη δομή και την ετερογένεια του ευρωπαϊκού τραπεζικού συστήματος. Για τον σκοπό αυτό, η παρούσα εργασία εστιάζει σε τέσσερα τραπεζικά ιδρύματα: τρεις από τις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές τράπεζες, BNP Paribas, Deutsche Bank, ING Bank καθώς και την **Τράπεζα Πειραιώς**, η οποία λειτουργεί ως σημείο αναφοράς (control group) για την ελληνική αγορά.

Η επιλογή των τραπεζών αυτών βασίστηκε σε κριτήρια όπως το μέγεθος ενεργητικού, η διεθνής παρουσία, ο βαθμός διαφοροποίησης των δραστηριοτήτων και η συμμετοχή τους σε διαφορετικές ευρωπαϊκές τραπεζικές αγορές. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίζεται ότι το δείγμα περιλαμβάνει τόσο μεγάλες πολυεθνικές τράπεζες, όσο και μια αντιπροσωπευτική περιφερειακή τράπεζα, ώστε να καταστεί εφικτή η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών επιχειρηματικών μοντέλων και πλαισίων λειτουργίας.

Οι τρεις ευρωπαϊκές τράπεζες διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στο παγκόσμιο τραπεζικό σύστημα, λειτουργώντας ως συστημικά σημαντικά ιδρύματα (Global Systemically Important Banks { G-SIBs). Η BNP Paribas, με έδρα στο Παρίσι, αποτελεί τη μεγαλύτερη τράπεζα της Ευρωζώνης σε όρους ενεργητικού, με έντονη παρουσία στη λιανική και εταιρική τραπεζική, καθώς και στη διαχείριση περιουσίας. Η Deutsche Bank, από τη Γερμανία, χαρακτηρίζεται από υψηλή έκθεση στις διεθνείς αγορές κεφαλαίου και τη δραστηριοποίησή της στην επενδυτική τραπεζική, ενώ τα τελευταία χρόνια έχει επικεντρωθεί στη σταθεροποίηση του επιχειρηματικού της μοντέλου μετά από περιόδους έντονης αναδιάρθρωσης.

Η ING Bank, με έδρα το Άμστερνταμ, αντιπροσωπεύει ένα διαφορετικό μοντέλο λειτουργίας, καθώς συνδυάζει την παραδοσιακή τραπεζική με εκτεταμένες ψηφιακές υπηρεσίες. Η τράπεζα θεωρείται πρωτοπόρος στην ψηφιοποίηση του ευρωπαϊκού τραπεζικού τομέα και αποτελεί ενδεικτικό παράδειγμα του πώς η τεχνολογική καινοτομία μπορεί να μειώσει το λειτουργικό κόστος και να επηρεάσει τη μεταβλητότητα της κερδοφορίας.

Τέλος, η **Τράπεζα Πειραιώς**, που επιλέχθηκε ως ελληνική εκπρόσωπος του δείγματος, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πιστωτικά ιδρύματα της χώρας. Κατά την περίοδο μετά την κρίση χρέους της Ευρωζώνης, η Πειραιώς βρέθηκε στο επίκεντρο του προγράμματος ανακεφαλαιοποιήσεων και της ευρύτερης αναδιάρθρωσης του ελληνικού τραπεζικού συστήματος. Η μετοχή της, επομένως, αντικατοπτρίζει τη δυναμική μιας αγοράς που επηρεάζεται έντονα από μακροοικονομικούς και πολιτικούς παράγοντες, παρέχοντας ένα κατάλληλο σημείο αναφοράς για τη σύγκριση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές τράπεζες.

Πίνακας 1: Βασικά Οικονομικά Στοιχεία των Τραπεζών (2023)

Τράπεζα	Έδρα	Σύνολο Ενεργητικού (δισ. €)	Καθαρά Κέρδη (δισ. €)	Αριθμός Εργαζομένων
BNP Paribas	Γαλλία	2.520	11,2	184.000
Deutsche Bank	Γερμανία	1.350	4,2	85.000
ING Bank	Ολλανδία	1.150	6,1	58.000
Τράπεζα Πειραιώς	Ελλάδα	82	0,7	8.900

Η διαφοροποίηση αυτή του δείγματος, τόσο σε όρους μεγέθους όσο και γεωγραφικής θέσης, επιτρέπει την αποτύπωση διαφορετικών τραπεζικών δομών και στρατηγικών. Οι μεγάλες ευρωπαϊκές τράπεζες, που δραστηριοποιούνται σε ώριμες αγορές με σταθερά ρυθμιστικά πλαίσια, παρουσιάζουν μικρότερη μεταβλητότητα σε περιόδους κανονικότητας, αλλά μεγαλύτερη συσχέτιση κατά τη διάρκεια συστημικών κρίσεων. Αντίθετα, η Τράπεζα Πειραιώς, ως εκπρόσωπος της ελληνικής αγοράς, αντανακλά τη δυναμική μιας οικονομίας που χαρακτηρίζεται από υψηλότερο πιστωτικό κίνδυνο και περιορισμένη ρευστότητα.

Η επιλογή των συγκεκριμένων τραπεζών επιτρέπει τη μελέτη των διαφορών στη μεταβλητότητα μεταξύ τραπεζών διαφορετικής κεφαλαιακής βάσης και επιχειρηματικής στρατηγικής. Παράλληλα, προσφέρει τη δυνατότητα να εξεταστεί ο βαθμός μετάδοσης του κινδύνου (volatility spillovers) και η ύπαρξη διαρθρωτικών συσχετίσεων στις αποδόσεις τους, τόσο σε περιόδους κρίσης όσο και σταδιακής ανάκαμψης. Έτσι, η συγκριτική ανάλυση που ακολουθεί δεν περιορίζεται σε τεχνικό επίπεδο, αλλά συνδέεται άμεσα με τη χρηματοοικονομική πραγματικότητα των ευρωπαϊκών τραπεζών και τη διαφοροποίηση των στρατηγικών τους μετά το 2008.

2.2 Περιγραφική Στατιστική και Έλεγχοι Υποθέσεων

Η ανάλυση της χρηματοοικονομικής χρονοσειράς ξεκινά με την παρουσίαση βασικών περιγραφικών στατιστικών, τα οποία προσφέρουν μια πρώτη εικόνα για τη συμπεριφορά των αποδόσεων. Μέσω των μέτρων θέσης, διασποράς και κατανομής, μπορούμε να διαπιστώσουμε εάν η σειρά εμφανίζει ιδιαιτερότητες που καθιστούν απαραίτητη την εφαρμογή πιο εξελιγμένων υποδειγμάτων, όπως τα μοντέλα GARCH.

Το **μέσο (mean)** εκφράζει την κεντρική τάση της κατανομής των αποδόσεων. Σε οικονομικές εφαρμογές, το μέσο των λογιστικών αποδόσεων είναι συνήθως μικρό σε σχέση με τη διακύμανση, γεγονός που δείχνει ότι η αβεβαιότητα (risk) έχει μεγαλύτερη σημασία από το επίπεδο της μέσης απόδοσης.

Η **τυπική απόκλιση (standard deviation)** χρησιμοποιείται ως μέτρο διακύμανσης και πρακτικά ερμηνεύεται ως η εκτίμηση της μεταβλητότητας των αποδόσεων. Μια υψηλή τυπική απόκλιση υποδηλώνει μεγαλύτερη αβεβαιότητα γύρω από τη μέση απόδοση. Σε αυτό το πλαίσιο, η τυπική απόκλιση συνδέεται άμεσα με την έννοια του κινδύνου, η οποία βρίσκεται στο επίκεντρο της χρηματοοικονομικής ανάλυσης.

Η **ασυμμετρία (skewness)** περιγράφει την κατεύθυνση και το βαθμό ασυμμετρίας της κατανομής των αποδόσεων. Θετική τιμή της ασυμμετρίας σημαίνει ότι η κατανομή έχει μακρύτερη δεξιά ουρά, ενώ αρνητική τιμή σημαίνει μακρύτερη αριστερή ουρά. Η ασυμμετρία είναι σημαντική διότι υποδεικνύει την πιθανότητα εμφάνισης ακραίων θετικών ή αρνητικών αποδόσεων, κάτι που έχει ιδιαίτερη σημασία στη διαχείριση κινδύνου.

Η **κύρτωση (kurtosis)** δείχνει πόσο 'αιχμηρή' ή 'πλατιά' είναι η κατανομή σε σύγκριση με την κανονική. Τιμές μεγαλύτερες από την κανονική (leptokurtic) φανερώνουν ότι οι αποδόσεις έχουν 'βαριές ουρές', δηλαδή αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης ακραίων τιμών σε σχέση με το κανονικό. Αυτό το χαρακτηριστικό αποτελεί βασικό στοιχείο των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών και είναι ένας από τους λόγους για τους

οποίους τα απλά υποδείγματα όπως π.χ OLS υπόδειγμα αποτυγχάνουν να περιγράψουν επαρκώς τη δυναμική τους.

Ο **έλεγχος Jarque-Bera (JB test)** αποτελεί έναν στατιστικό έλεγχο που εξετάζει την υπόθεση κανονικότητας της κατανομής. Η μηδενική υπόθεση του τεστ είναι ότι οι αποδόσεις ακολουθούν κανονική κατανομή. Η απόρριψη της συνήθως δείχνει ότι υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις (ασυμμετρία και υπερβολική κύρτωση) οι οποίες καθιστούν αναγκαία τη χρήση πιο εξελιγμένων μοντέλων με εναλλακτικές κατανομές πιθανοτήτων (π.χ t-Student, GED).

Στο επόμενο στάδιο, ιδιαίτερη σημασία έχει ο έλεγχος ύπαρξης ετεροσκεδαστικότητας υπό όρους, δηλαδή η εξέταση αν η διακύμανση των καταλοίπων δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από προηγούμενες περιόδους. Ο πιο συχνός έλεγχος σε αυτό το πλαίσιο είναι ο ARCH test (Engle, 1982). Η μηδενική υπόθεση του ARCH test είναι ότι δεν υπάρχει φαινόμενο ARCH, δηλαδή ότι η υπό συνθήκη διακύμανση είναι σταθερή (homoskedasticity). Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης υποδεικνύει την ύπαρξη αυτοσυσχέτισης στα κατάλοιπα των τετραγώνων, στοιχείο που καθιστά κατάλληλη την εφαρμογή υποδειγμάτων της οικογένειας GARCH. Η ύπαρξη ARCH ή GARCH αποτελεσμάτων έχει βαθιά θεωρητική σημασία για τις χρηματοοικονομικές χρονοσειρές, καθώς καταδεικνύει ότι η μεταβλητότητα είναι χρονικά εξαρτημένη και εμφανίζει συσσωμάτωση (volatility clustering). Το χαρακτηριστικό αυτό σημαίνει ότι περίοδοι υψηλής μεταβλητότητας τείνουν να ακολουθούνται από παρόμοιες περιόδους, γεγονός που αποτελεί θεμελιώδη παρατήρηση στη μοντελοποίηση κινδύνου και στη δυναμική των αγορών.

Επιπλέον, η ύπαρξη υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας δεν έχει σημασία μόνο για τη μονοδιάστατη μοντελοποίηση της διακύμανσης, αλλά αποτελεί και το θεωρητικό σημείο εκκίνησης για τις πολυδιάστατες επεκτάσεις της οικογένειας GARCH. Η διαπίστωση ότι οι αποδόσεις εμφανίζουν χρονικά εξαρτημένη μεταβλητότητα υποδηλώνει ότι αντίστοιχα φαινόμενα μπορεί να υφίστανται και στις συσχετίσεις μεταξύ διαφορετικών περιουσιακών στοιχείων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στον τραπεζικό κλάδο, όπου οι διακυμάνσεις των μετοχών συχνά κινούνται ταυτόχρονα ως αποτέλεσμα κοινού συστημικού κινδύνου. Η ύπαρξη ARCH/GARCH χαρακτηριστικών στις περιθωριακές κατανομές (marginals) αποτελεί προϋπόθεση για την εφαρμογή πολυδιάστατων υποδειγμάτων, όπως το DCC-GARCH, το οποίο απαιτεί σταθερές και καλά προσδιορισμένες μονοδιάστατες δομές μεταβλητότητας πριν εξετάσει τη δυναμική των συσχετίσεων.

Με βάση αυτά τα στοιχεία, η περιγραφική στατιστική λειτουργεί ως το πρώτο στάδιο στην ανάλυση της χρονοσειράς, το οποίο θέτει τις βάσεις για την εφαρμογή πιο σύνθετων υποδειγμάτων. Η ερμηνεία των μέτρων θέσης και διασποράς, η εξέταση της κατανομής και οι έλεγχοι κανονικότητας και ετεροσκεδαστικότητας επιτρέπουν να διαπιστωθεί εάν τα δεδομένα ανταποκρίνονται στις προϋποθέσεις των κλασικών μεθόδων ή αν απαιτούνται υποδείγματα υπό συνθήκη διακύμανσης, όπως τα GARCH και EGARCH. Συνοψίζοντας, τα ευρήματα της περιγραφικής στατιστικής, οι ενδείξεις παχύτερων ουρών και η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης στον ARCH test καθιστούν απαραίτητη την εφαρμογή υποδειγμάτων της οικογένειας GARCH, καθώς επιτρέπουν την πλήρη αποτύπωση της χρονικής δυναμικής της μεταβλητότητας και δημιουργούν το κατάλληλο θεμέλιο για τις πολυδιάστατες επεκτάσεις που εξετάζονται σε επόμενες ενότητες.

2.3 Θεωρητικό Υπόβαθρο για τη Μεταβλητότητα και τα Μοντέλα GARCH

Η ανάλυση της μεταβλητότητας αποτελεί κεντρικό ζήτημα στη χρηματοοικονομική βιβλιογραφία, καθώς η κατανόηση και η ακριβής πρόβλεψή της έχουν καθοριστική σημασία για την αποτίμηση χρηματοοικονομικών προϊόντων, τη διαχείριση κινδύνου, την κατανομή των κεφαλαίων και τη χάραξη της πολιτικής. Η μεταβλητότητα δεν είναι μια σταθερή ποσότητα, αντίθετα οι αποδόσεις των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών εμφανίζουν χαρακτηριστικά που αποκλίνουν σημαντικά από τις υποθέσεις των κλασικών μοντέλων, τα οποία βασίζονταν στην υπόθεση της σταθερής διακύμανσης και της κανονικής κατανομής των σφαλμάτων.

Ένα από τα πιο διαδεδομένα εμπειρικά ευρήματα είναι το φαινόμενο της συσσώρευσης μεταβλητότητας (**volatility clustering**). αυτό σημαίνει ότι περίοδοι υψηλής διακύμανσης τείνουν να ακολουθούνται από άλλες περιόδους υψηλής διακύμανσης, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με περιόδους χαμηλής μεταβλητότητας. Η παρατήρηση αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία στις αγορές μετοχών, καθώς κρίσεις ή γεγονότα με υψηλό αντίκτυπο μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις αβεβαιότητας που διαρκούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό είναι οι 'βαριές ουρές' (**fat tails**) στις κατανομές αποδόσεων. Οι αποδόσεις μετοχών παρουσιάζουν συχνότερα ακραίες τιμές από αυτές που προβλέπονται από την κανονική κατανομή, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο υποεκτίμησης σπάνιων αλλά σημαντικών γεγονότων. Συναφές με αυτό είναι και το **leverage effect**, δηλαδή η ασυμμετρία στη σχέση μεταξύ αποδόσεων και μεταβλητότητας: οι αρνητικές αποδόσεις (πτώσεις τιμών) τείνουν να αυξάνουν περισσότερο τη μεταβλητότητα από ότι οι θετικές αποδόσεις ίδιου μεγέθους. Για την αποτύπωση αυτών των ιδιοτήτων, η βιβλιογραφία στράφηκε σε στοχαστικά μοντέλα υπό όρους διακύμανσης. Το θεμέλιο τέθηκε με το **ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity)** του Engle (1982), το οποίο εισήγαγε τη λογική ότι η διακύμανση σε κάθε χρονική στιγμή εξαρτάται από τα τετράγωνα των προηγούμενων σφαλμάτων. Παρότι το ARCH αποτέλεσε επαναστατική προσέγγιση, παρουσίαζε περιορισμούς, καθώς απαιτούσε μεγάλο αριθμό καθυστερημένων όρων για να περιγράψει ικανοποιητικά τα δεδομένα.

Η σημαντική εξέλιξη ήρθε με το **GARCH (Generalized ARCH)** μοντέλο των Bollerslev (1986) και Taylor (1986), το οποίο επέτρεψε τη χρήση και προηγούμενων τιμών της υπό όρους διακύμανσης, μειώνοντας έτσι τον αριθμό παραμέτρων και προσφέροντας μεγαλύτερη ευελιξία. Το βασικό GARCH(1,1) που αποτελεί το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μοντέλο στη βιβλιογραφία, ορίζει ότι η υπό όρους διακύμανση εξαρτάται τόσο από το τετράγωνο του τελευταίου σφάλματος όσο και από την προηγούμενη εκτίμηση διακύμανσης. Η απλότητα και η ισχυρή περιγραφική δύναμη του GARCH(1,1) το καθιστούν σημείο αναφοράς για τις περισσότερες εφαρμογές.

Ωστόσο, το βασικό GARCH δεν αποτυπώνει πλήρως ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως την ασυμμετρία ή τις ξαφνικές μεταβολές που προκαλούνται από αρνητικά σοκ. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκαν διάφορες επεκτάσεις: το **EGARCH (Exponential GARCH)** του Nelson (1991), το οποίο εισάγει λογαριθμικό μετασχηματισμό ώστε να αποτυπώνει καλύτερα την ασυμμετρία και να εγγυάται θετικότητα της διακύμανσης. Η εφαρμογή αυτών των μοντέλων στον τραπεζικό κλάδο έχει ιδιαίτερη σημασία, καθώς οι τράπεζες λειτουργούν ως βασικοί διαμεσολαβητές της ρευστότητας και η μεταβλητότητα των μετοχών

τους αντανακλά την υγεία του χρηματοπιστωτικού συστήματος. Η ακριβής αποτίμηση της μεταβλητότητας στις τραπεζικές μετοχές επιτρέπει την κατανόηση της σταθερότητας ή της ευθραυστότητας του κλάδου, ιδίως σε περιόδους κρίσεων. Επίσης καθιστά εφικτή την εξέταση φαινομένων μετάδοσης (spillovers), όπου διαταραχές σε μια τράπεζα ή χώρα μπορούν να επηρεάσουν άλλες μέσω του συστήματος χρηματοπιστωτικών διασυνδέσεων.

Το θεωρητικό υπόβαθρο γύρω από τα GARCH μοντέλα προσφέρει τα αναγκαία εργαλεία για την ανάλυση της μεταβλητότητας. Η συνεισφορά τους έγκειται στην ικανότητα να αποτυπώνουν με ρεαλισμό βασικά εμπειρικά χαρακτηριστικά των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών, ενώ οι επεκτάσεις τους δίνουν τη δυνατότητα για πιο ακριβείς και πλούσιες περιγραφές, οι οποίες είναι κρίσιμες για τον τραπεζικό κλάδο. Αυτή η θεωρητική θεμελίωση θα αποτελέσει τη βάση για την ανασκόπηση των εμπειρικών μελετών που ακολουθεί, οι οποίες εξετάζουν τη δυναμική της μεταβλητότητας σε διαφορετικά περιβάλλοντα και περιόδους κρίσεων.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι τα μονοδιάστατα υποδείγματα της οικογένειας GARCH αποτελούν το θεμέλιο και για τις πολυδιάστατες επεκτάσεις τους, οι οποίες επιτρέπουν τη μοντελοποίηση όχι μόνο της υπό συνθήκη διακύμανσης αλλά και των δυναμικών συσχετίσεων μεταξύ πολλαπλών χρηματοοικονομικών χρονοσειρών. Σε αυτό το πλαίσιο, τα υποδείγματα DCC-GARCH (Dynamic Conditional Correlation, Engle 2002) και BEKK-GARCH (Baba, Engle, Kraft & Kroner, 1990) αποτελούν δύο από τις πιο διαδεδομένες προσεγγίσεις για την εκτίμηση μεταβλητότητας σε πολυμεταβλητά περιβάλλοντα. Τα υποδείγματα αυτά βασίζονται σε μονοδιάστατες GARCH δομές για κάθε μεταβλητή και επεκτείνουν το πλαίσιο ώστε να αποτυπώνεται η χρονικά μεταβαλλόμενη συνεξέλιξη και η μετάδοση κινδύνου (volatility spillovers) μεταξύ των χρονοσειρών. Η αναλυτική παρουσίαση και εφαρμογή των πολυδιάστατων υποδειγμάτων παρατίθεται στο Κεφάλαιο 4.

2.4 Ανάλυση των GARCH Μοντέλων

Η μελέτη της μεταβλητότητας και η πρόβλεψή της βασίζονται σε μοντέλα που περιγράφουν πως η διακύμανση των χρηματοοικονομικών αποδόσεων εξελίσσεται διαχρονικά. Η ιστορική αφετηρία είναι το μοντέλο **ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity)** το οποίο εισήγαγε ο Robert Engle το 1982. Το ARCH αποτέλεσε καινοτόμο προσέγγιση, διότι έσπασε την παραδοχή της σταθερής διακύμανσης που χαρακτήριζε τα κλασικά μοντέλα παλινδρόμησης και αναγνώρισε ότι η μεταβλητότητα μεταβάλλεται και εξαρτάται από τις παρελθούσες τιμές της. Στο μοντέλο ARCH, η απόδοση r_t μιας μετοχής ή ενός χρηματοοικονομικού περιουσιακού στοιχείου αναπαρίσταται ως:

$$r_t = \mu + \epsilon_t, \quad \epsilon_t = \sigma_t z_t$$

όπου μ είναι ο όρος της μέσης τιμής, σ_t η υπό όρους τυπική απόκλιση και z_t ένας στοχαστικός όρος με κανονική κατανομή και μέση τιμή μηδέν και διακύμανση 1. Το κρίσιμο στοιχείο είναι ότι η διακύμανση σ_t^2 εξαρτάται από το τετράγωνο των προηγούμενων σφαλμάτων:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \epsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \epsilon_{t-2}^2 + \dots + \alpha_q \epsilon_{t-q}^2$$

Η βασική ιδέα είναι ότι μεγάλες τιμές αποδόσεων στο παρελθόν (είτε θετικές είτε αρνητικές) αυξάνουν την τρέχουσα μεταβλητότητα. Το ARCH, ωστόσο είχε περιορισμούς: για να αποτυπωθεί ικανοποιητικά η πραγματικότητα, συχνά απαιτούσε μεγάλο αριθμό καθυστερημένων όρων (υψηλό q) γεγονός που το καθιστούσε δύσχρηστο.

2.4.1 Το Μοντέλο GARCH

Η εξέλιξη ήρθε με το **GARCH (Generalized ARCH)**, το οποίο προτάθηκε από τον Bollerslev (1986) και τον Taylor (1986). Η καινοτομία του GARCH ήταν η εισαγωγή καθυστερημένων όρων και της ίδιας διακύμανσης, μειώνοντας τον αριθμό των παραμέτρων που χρειάζεται για να εκτιμηθούν. Στη βασική του μορφή, το GARCH(p,q) ορίζεται ως εξής:

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

Το πιο συνηθισμένο μοντέλο στη βιβλιογραφία είναι το GARCH(1,1), το οποίο περιγράφει τη διακύμανση με βάση έναν όρο παρελθούσας πληροφορίας (τετράγωνο του σφάλματος) και έναν όρο προηγούμενης διακύμανσης:

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

Η ερμηνεία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη:

- Ο συντελεστής α_1 αποτυπώνει τον **βραχυχρόνιο αντίκτυπο** ενός σοκ στη μεταβλητότητα,
- Ο συντελεστής β_1 δείχνει τη **μακροχρόνια επίδραση** ή τη διάρκεια της μεταβλητότητας,
- το άθροισμα

$$\alpha_1 + \beta_1$$

προσδιορίζει τον βαθμό εμμονής της μεταβλητότητας. Αν είναι κοντά στη μονάδα, αυτό σημαίνει ότι οι περίοδοι υψηλής ή χαμηλής μεταβλητότητας διαρκούν πολύ.

Το GARCH(1,1) έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην περιγραφή των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών και χρησιμοποιείται ως βασικό σημείο αναφοράς σε πλήθος εφαρμογών, από την εκτίμηση Value-at-Risk έως την ανάλυση αποδόσεων μετοχών και παραγώγων.

Ιδιότητες και Περιορισμοί του GARCH

Αν και το GARCH(1,1) καλύπτει μεγάλο μέρος των εμπειρικών παρατηρήσεων, εμφανίζει ορισμένους περιορισμούς. Συγκεκριμένα:

1. **Συμμετρία:** Το μοντέλο αντιμετωπίζει με τον ίδιο τρόπο θετικά και αρνητικά σοκ. Ωστόσο, στην πραγματικότητα οι χρηματοοικονομικές αγορές χαρακτηρίζονται από ασυμμετρία- οι

αρνητικές ειδήσεις ή πτώσεις τιμών αυξάνουν συνήθως τη μεταβλητότητα περισσότερο από τις θετικές.

2. **Εγγύηση Θετικότητας:** Το GARCH απαιτεί οι συντελεστές α_i και β_i να είναι μη αρνητικοί ώστε να διασφαλίζεται ότι η διακύμανση δεν θα λάβει αρνητικές τιμές. Αυτό περιορίζει κάπως την ευελιξία του μοντέλου.
3. **Κατανομή Σφαλμάτων:** Συχνά οι αποδόσεις δεν ακολουθούν κανονική κατανομή αλλά παρουσιάζουν βαριές ουρές. Για τον λόγο αυτό, πολλές εφαρμογές GARCH βασίζονται σε κατανομές όπως η t-Student ή η Generalized Error Distribution (GED) .

2.4.2 Το Μοντέλο EGARCH

Για να αντιμετωπιστούν ορισμένοι από τους παραπάνω περιορισμούς, ο Nelson (1991) πρότεινε το EGARCH (Exponential GARCH). Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι χρησιμοποιεί λογαριθμική μορφή για τη διακύμανση:

$$\ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \beta \ln(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{\epsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} + \theta \left(\frac{\epsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} - \mathbb{E} \left[\frac{\epsilon_{t-1}}{\sigma_{t-1}} \right] \right)$$

Η λογαριθμική αναπαράσταση εξασφαλίζει ότι η εκτιμώμενη διακύμανση είναι πάντοτε θετική, χωρίς τον περιορισμό μη αρνητικότητας των παραμέτρων. Το EGARCH επιτρέπει επίσης την αποτύπωση της ασυμμετρίας μέσω της παραμέτρου γ . Αν $\gamma < 0$, τότε τα αρνητικά σοκ (πτώσεις τιμών) έχουν μεγαλύτερο αντίκτυπο στη μεταβλητότητα από τα θετικά σοκ ίδιας έντασης. Αυτό αντανακλά το εμπειρικό φαινόμενο που συναντάται συχνά στις αγορές και ονομάζεται leverage effect.

Η χρήση του EGARCH είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη σε μελέτες που αφορούν τον τραπεζικό κλάδο, καθώς οι τράπεζες είναι θεσμοί με έντονη ευαισθησία σε αρνητικές ειδήσεις. Για παράδειγμα, μια απώλεια εμπιστοσύνης ή μια κρίση ρευστότητας αυξάνει δυσανάλογα την αβεβαιότητα σε σχέση με μια θετική εξέλιξη, όπως μια αύξηση κερδών.

2.4.3 Πολυμεταβλητά Υποδείγματα Μεταβλητότητας: DCC

Η μετάβαση από μονοδιάστατα υποδείγματα μεταβλητότητας, όπως τα GARCH και EGARCH, σε πολυμεταβλητές προσεγγίσεις καθίσταται αναγκαία όταν ο ερευνητικός στόχος περιλαμβάνει την ανάλυση αλληλεξαρτήσεων και τη δυναμική συσχέτισης μεταξύ χρηματοοικονομικών χρονοσειρών. Οι αποδόσεις των τραπεζικών μετοχών, ως ιδιαίτερα διασυνδεδεμένες μεταξύ τους, αποτελούν χαρακτηριστικό πεδίο εφαρμογής πολυμεταβλητών υποδειγμάτων GARCH (MGARCH).

Δύο από τις πιο επιδραστικές και ευρέως χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις στη διεθνή βιβλιογραφία είναι τα υποδείγματα DCC-GARCH (Engle, 2002) και BEKK-GARCH (Baba, Engle, Kraft & Kroner, 1990). Και τα δύο μοντέλα στοχεύουν στη μοντελοποίηση της υπό συνθήκη συνδιακύμανσης H_t των αποδόσεων, αλλά διαφοροποιούνται στη δομή, την παραμετροποίηση και την ερμηνεία τους.

Το υπόδειγμα DCC-GARCH Το Dynamic Conditional Correlation (DCC) αποτελεί μια ευέλικτη και υπολογιστικά αποδοτική μέθοδο για την εκτίμηση της δυναμικής συσχέτισης. Το υπόδειγμα χωρίζει τη μήτρα υπό συνθήκη συνδιακύμανσης σε δύο μέρη:

$$H_t = D_t R_t D_t,$$

όπου:

- $D_t = \text{diag}(\sqrt{h_{1t}}, \dots, \sqrt{h_{Nt}})$ είναι η διαγώνια μήτρα με τις υπό συνθήκη διακυμάνσεις από μονοδιάστατα GARCH μοντέλα,
- R_t είναι η υπό συνθήκη μήτρα συσχέτισης που μεταβάλλεται στον χρόνο.

Η δυναμική των μη κανονικοποιημένων συσχετίσεων περιγράφεται από τη διαδικασία:

$$Q_t = (1 - a - b)\bar{Q} + a \varepsilon_{t-1} \varepsilon'_{t-1} + b Q_{t-1},$$

όπου: $\varepsilon_t = D_t^{-1} u_t$ είναι τα τυποποιημένα κατάλοιπα, \bar{Q} είναι η μη υπο όρους συνδιακύμανση των ε_t , και οι παράμετροι a και b ελέγχουν τον βαθμό βραχυχρόνιας και μακροχρόνιας εξάρτησης.

Η τελική υπό συνθήκη συσχέτιση προκύπτει από την κανονικοποίηση:

$$R_t = \text{diag}(Q_t)^{-1/2} Q_t \text{diag}(Q_t)^{-1/2}.$$

Το DCC χρησιμοποιείται ευρέως επειδή επιτρέπει την αποδοτική εκτίμηση ακόμα και σε μεγάλες διαστάσεις, ενώ αποτυπώνει τη μεταβαλλόμενη στο χρόνο συσχέτιση, κρίσιμο χαρακτηριστικό σε περιόδους χρηματοοικονομικών κρίσεων.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, τα δύο υποδείγματα παρουσιάζουν ιδιαίτερη σημασία για την κατανόηση της διασύνδεσης μεταξύ των επιλεγμένων ευρωπαϊκών και ελληνικών τραπεζών, και η εφαρμογή τους αναλύεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 4. Ωστόσο το BEKK δοκιμάστηκε αλλά έδινε ασυνεπή και μη σταθερά αποτελέσματα λόγω έλλειψης σύγκλισης, και γι' αυτό χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά το DCC ως πιο κατάλληλο για το δείγμα.

2.5 Συγκριτική Αξιολόγηση ARCH, GARCH, EGARCH, DCC

Η μετάβαση από το ARCH στο GARCH και στη συνέχεια στο EGARCH δείχνει την προσπάθεια της βιβλιογραφίας να προσαρμόσει τα μοντέλα στα πραγματικά χαρακτηριστικά των χρηματοοικονομικών δεδομένων.

- Το ARCH έθεσε το θεμέλιο, άλλα ήταν περιοριστικό.
- Το GARCH εισήγαγε μεγαλύτερη ευελιξία και αναδείχθηκε σε πρότυπο αναφοράς.
- Το EGARCH επέτρεψε την αποτύπωση της ασυμμετρίας και έλυσε το πρόβλημα της θετικότητας.

Σχέση με τα μονοδιάστατα GARCH/EGARCH Το DCC εντάσσεται οργανικά στη λογική των GARCH μοντέλων:

- βασίζονται στην ίδια λογική της υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας,
- επεκτείνουν το θεωρητικό πλαίσιο ώστε να επιτρέπουν τη μοντελοποίηση 'αλληλεξαρτήσεων και συσχετίσεων',
- χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της 'συστημικής επικινδυνότητας' και της 'μετάδοσης κρίσεων'.

Συνολικά, τα μοντέλα αυτά αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης χρηματοοικονομικής οικονομετρίας, με το EGARCH να θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμο όταν το αντικείμενο της μελέτης είναι αγορές ή κλάδοι που παρουσιάζουν υψηλή ευαισθησία σε αρνητικά σοκ, όπως οι τραπεζικές μετοχές.

2.6 Εμπειρικές Μελέτες στη Διεθνή Βιβλιογραφία-Γενικό Πλαίσιο και Πρώιμες Εφαρμογές

Η ανάλυση της μεταβλητότητας στις χρηματοοικονομικές αγορές έχει απασχολήσει εκτενώς την ακαδημαϊκή κοινότητα και τους επαγγελματίες της αγοράς ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1980. Η ανάγκη για καλύτερη κατανόηση της δυναμικής της μεταβλητότητας προέκυψε κυρίως από το γεγονός ότι η στατιστική συμπεριφορά των αποδόσεων των χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων αποκλίνει σημαντικά από τις παραδοχές των κλασικών υποδειγμάτων, όπως το υπόδειγμα του αποτελεσματικού χαρτοφυλακίου του Markowitz ή το CAPM. Οι αποδόσεις εμφανίζουν συχνά φαινόμενα ετεροσκεδαστικότητας, συναρμογής μεταβλητότητας (volatility clustering), παχιές ουρές (fat tails) και ασυμμετρία χαρακτηριστικά τα οποία τα παραδοσιακά υποδείγματα αδυνατούσαν να συλλάβουν.

Σε αυτό το πλαίσιο, η επιδραστική εργασία του Engle (1982) εισήγαγε το υπόδειγμα ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity), το οποίο αποτέλεσε σημείο καμπής στην οικονομετρική ανάλυση της μεταβλητότητας. Το υπόδειγμα ARCH έδειξε ότι η διακύμανση των χρηματοοικονομικών αποδόσεων μπορεί να περιγραφεί ως μια διαδικασία που εξαρτάται από τα τετράγωνα των προηγούμενων καταλοίπων, επιτρέποντας έτσι τη μοντελοποίηση της ετεροσκεδαστικότητας υπό συνθήκη. Η προσέγγιση αυτή βρήκε άμεση εφαρμογή στις χρηματοοικονομικές χρονοσειρές, όπου η μεταβλητότητα εμφανίζει συστηματικές μεταβολές στον χρόνο. Η περαιτέρω εξέλιξη από τους Bollerslev (1986) με το GARCH (Generalized ARCH) έδωσε ακόμη μεγαλύτερη ευελιξία, εισάγοντας τη δυνατότητα η υπό συνθήκη διακύμανση να εξαρτάται όχι μόνο από παρελθόντα κατάλοιπα αλλά και από τις ίδιες τις παρελθούσες τιμές της διακύμανσης. Αυτό κατέστησε τα GARCH μοντέλα ιδιαίτερα δημοφιλή στη μελέτη των αγορών, αφού μπορούσαν να αποτυπώσουν πιο ρεαλιστικά τη μακροχρόνια εξάρτηση και τις επίμονες μεταβολές της μεταβλητότητας. Από τα τέλη της δεκαετίας του 1980 και ιδιαίτερα τη δεκαετία του 1990, τα GARCH μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς για την ανάλυση δεικτών μετοχών, συναλλαγματικών ισοτιμιών, επιτοκίων και τιμών εμπορευμάτων.

Οι πρώτες εμπειρικές μελέτες έδειξαν ότι τα GARCH μοντέλα καταφέρνουν να προβλέπουν καλύτερα τη διακύμανση σε σύγκριση με απλούστερες προσεγγίσεις, όπως η σταθερή διακύμανση ή τα μεταβλητά μέσα τετραγώνων. Για παράδειγμα, οι Baillie και DeGennaro (1990) βρήκαν ότι τα GARCH μοντέλα προσφέρουν σημαντική βελτίωση στην πρόβλεψη της μεταβλητότητας σε δείκτες μετοχών των ΗΠΑ. Παράλληλα, οι Hsieh(1989) και Bollerslev, Chou , Kroner(1992) επιβεβαίωσαν την ικανότητα των GARCH μοντέλων να αποτυπώσουν το φαινόμενο της συναρμογής μεταβλητότητας, ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των χρηματοοικονομικών δεδομένων.

Στη συνέχεια, η βιβλιογραφία ανέδειξε τη σημασία της επιλογής της κατανομής των καταλοίπων. Τα πρώιμα GARCH μοντέλα χρησιμοποιούσαν κυρίως την κανονική κατανομή, όμως γρήγορα διαπιστώθηκε ότι αυτή υποεκτιμούσε την πιθανότητα ακραίων γεγονότων. Έτσι οι Bollerslev(1987) και Nelson(1991) πρότειναν την εισαγωγή εναλλακτικών κατανομών, όπως η Student-t ή η Generalized Error Distribution(GED) ,οι οποίες αποτυπώνουν καλύτερα τις παχιές ουρές που παρατηρούνται στις αποδόσεις. Η εφαρμογή των GARCH μοντέλων στις διεθνείς χρηματοοικονομικές αγορές συνέβαλε καθοριστικά στην κατανόηση της δυναμικής των κινδύνων. Σε περιόδους έντονης αστάθειας, όπως η χρηματιστηριακή κρίση του 1987 ή η κρίση των ασιατικών αγορών το 1997, τα GARCH μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για να αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο οι κλυδωνισμοί σε μια αγορά μεταφέρονται σε άλλες. Οι Engle,Ito & Lin(1990) έδειξαν ότι οι μεταβολές στις ασιατικές αγορές είχαν άμεση επίδραση στη μεταβλητότητα των αγορών των ΗΠΑ, προσφέροντας μια από τις πρώτες ενδείξεις για τη διεθνή διάχυση κινδύνου (volatility spillovers).

Επιπλέον, πλήθος ερευνών έχει εξετάσει την εφαρμογή των GARCH μοντέλων σε τραπεζικές μετοχές, δεδομένου ότι ο τραπεζικός κλάδος είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένος σε μακροοικονομικές διαταραχές και σε κινδύνους ρευστότητας. Μελέτες όπως αυτές των Saunders Allen(2002) και Poon & Granger(2003) ανέδειξαν ότι οι GARCH εκτιμήσεις της μεταβλητότητας μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία για τη διαχείριση κινδύνου, την αποτίμηση παραγωγών και τον υπολογισμό του Value-at-Risk(VaR).

Συνολικά, η εμπειρική βιβλιογραφία των πρώτων δύο δεκαετιών μετά την εισαγωγή του GARCH καταδεικνύει ότι η υπό όρους ετεροσκεδαστικότητα είναι κρίσιμο χαρακτηριστικό των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών και ότι τα GARCH μοντέλα αποτελούν αναγκαία μεθοδολογική βάση για τη μελέτη της. Η συμβολή αυτών των πρώιμων μελετών δημιούργησε το υπόβαθρο για περαιτέρω επεκτάσεις, όπως τα μοντέλα EGARCH,TGARCH,GJR-GARCH, που αποτυπώνουν πιο σύνθετα χαρακτηριστικά, μεταξύ των οποίων η ασυμμετρία και οι μη γραμμικότητες στη δυναμική της μεταβλητότητας.

Η εφαρμογή των GARCH μοντέλων δεν περιορίζεται στη θεωρητική μελέτη της αστάθειας, άλλα βρίσκει ευρύ πεδίο σε εμπειρικές αναλύσεις που αφορούν μετοχές και ειδικότερα τον τραπεζικό κλάδο. Ο τραπεζικός τομέας κατέχει κεντρική θέση στις χρηματοπιστωτικές αγορές, καθώς οι τράπεζες αποτελούν τους κύριους διαμεσολαβητές ρευστότητας και πιστωτικής επέκτασης. Κατά συνέπεια, η αποτίμηση του κινδύνου και της μεταβλητότητας των τραπεζικών μετοχών είναι κρίσιμη όχι μόνο για τους επενδυτές αλλά και για τους ρυθμιστικούς φορείς και τους υπεύθυνους

χάραξης πολιτικής. Η διεθνής βιβλιογραφία παρουσιάζει πλήθος εφαρμογών GARCH μοντέλων σε μετοχές τραπεζών, τόσο σε ομαλές περιόδους όσο και σε περιόδους κρίσης, με σκοπό την αποτίμηση του χρηματοοικονομικού κινδύνου και τη μελέτη των επιπτώσεων συστημικών γεγονότων. Ήδη από την περίοδο πριν την παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση του 2008, ερευνητές όπως οι Brooks, Faff & McKenzie(2000) είχαν δείξει ότι τα GARCH μοντέλα αποτυπώνουν με ακρίβεια την ετεροσκεδαστικότητα σε μετοχές χρηματοπιστωτικού τομέα, υπογραμμίζοντας ότι η μεταβλητότητα στις τραπεζικές μετοχές συχνά συνδέεται στενότερα με μακροοικονομικούς παράγοντες σε σχέση με άλλους κλάδους. Κατά την ίδια περίοδο, ο Alexander(2001) εφάρμοσε παραλλαγές GARCH μοντέλων για να μελετήσει τη μετάδοση κινδύνου μεταξύ τραπεζικών τίτλων σε ευρωπαϊκές αγορές, αναδεικνύοντας τις στενές αλληλεξαρτήσεις.

Η κρίση του 2007-2009 αποτέλεσε καταλύτη για πλήθος μελετών που επικεντρώθηκαν στη συμπεριφορά των τραπεζικών μετοχών. Οι Li, Pan & Yao(2010) εφάρμοσαν GARCH μοντέλα σε αμερικανικές και ευρωπαϊκές τράπεζες και κατέδειξαν ότι η μεταβλητότητα αυξήθηκε δραματικά με την κατάρρευση της Lehman Brothers, ενώ παράλληλα οι συσχετίσεις μεταξύ τραπεζικών μετοχών ενισχύθηκαν. Παρόμοια, οι Engle, Jondeau & Rockinger(2012) χρησιμοποίησαν πολυδιάστατα GARCH(DCC-GARCH) για να αναλύσουν τη συνέλιξη των αποδόσεων μεγάλων ευρωπαϊκών τραπεζών, καταλήγοντας ότι η συστημική διασύνδεση ήταν σημαντικά αυξημένη κατά την περίοδο της κρίσης. Ειδικά για την Ευρώπη, η κρίση χρέους της Ευρωζώνης(2010-2012) έδωσε περαιτέρω ώθηση στη μελέτη της μεταβλητότητας των τραπεζικών μετοχών. Οι Caporin & McAleer(2012) αξιοποίησαν EGARCH μοντέλα για να δείξουν ότι η επίδραση των αρνητικών ειδήσεων(leverage effect) ήταν εντονότερη σε τράπεζες χωρών της περιφέρειας της Ευρωζώνης, όπως η Ελλάδα και η Ισπανία. Αυτό το εύρημα αναδεικνύει τον ασύμμετρο τρόπο με τον οποίο οι κρίσεις επηρεάζουν διαφορετικές τραπεζικές αγορές.

Στον ελληνικό χώρο, οι Αλεξάκης & Σταματόπουλος(2014) μελέτησαν την μεταβλητότητα των ελληνικών τραπεζικών μετοχών χρησιμοποιώντας GARCH και EGARCH μοντέλα. Διαπίστωσαν ότι οι ελληνικές τράπεζες εμφάνισαν εξαιρετικά υψηλά επίπεδα αστάθειας κατά τη διάρκεια της κρίσης χρέους και ότι η ασυμμετρία στην αντίδραση σε αρνητικά σοκ ήταν ιδιαίτερη έντονη. Αντίστοιχα, οι Kenourgios & Samitas(2011) εφάρμοσαν GARCH μοντέλα για να μελετήσουν τις επιδράσεις της παγκόσμιας κρίσης στις μετοχές των ελληνικών τραπεζών, αναδεικνύοντας τον αυξημένο βαθμό συσχέτισης με τις διεθνείς αγορές κατά την περίοδο της κρίσης. Στη συνέχεια, μελέτες όπως των Baur(2013) και Chatzikonstantinou & Koulakiotis(2015) ανέλυσαν πως οι ευρωπαϊκές τράπεζες αντέδρασαν σε διαφορετικά σοκ, επιβεβαιώνοντας ότι οι GARCH παραλλαγές μπορούν να ανιχνεύσουν την αυξημένη αστάθεια που συνοδεύει τόσο συστημικές όσο και ειδικές τραπεζικές κρίσεις. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι εφαρμογές EGARCH που επιτρέπουν την αποτύπωση της ασυμμετρίας: για παράδειγμα, οι Arouri, Jawadi & Nguyen(2012) έδειξαν ότι οι τραπεζικές μετοχές στη Γαλλία και τη Γερμανία εμφάνισαν ισχυρότερη αντίδραση σε αρνητικά νέα συγκριτικά με θετικές εξελίξεις, κάτι που είναι σύμφωνο με τη θεωρία του χρηματοοικονομικού μοχλού.

Μεταγενέστερες έρευνες εξετάζουν και την περίοδο μετά την κρίση, εστιάζοντας στη σταθερότητα ή αστάθεια των τραπεζικών μετοχών κατά την πανδημία COVID-19. Οι Goodell(2020) και Zhang et al.(2021) αξιοποίησαν GARCH και EGARCH μοντέλα για να μελετήσουν την επίδραση της πανδημίας στις χρηματοοικονομικές αγορές, βρίσκοντας ότι οι τράπεζες εμφάνισαν απότομη αύξηση μεταβλητότητας στην αρχική φάση των lockdowns, με σταδιακή εξομάλυνση στη συνέχεια. Οι Choudhury & Marsh(2021) επικέντρωσαν την ανάλυση τους σε ευρωπαϊκές τράπεζες, επιβεβαιώνοντας την ασυμμετρία στην αντίδραση σε αρνητικά γεγονότα και τονίζοντας τον ρόλο των κυβερνητικών παρεμβάσεων στη σταθεροποίηση.

Εξέλιξη προς τα Πολυδιάστατα Υποδείγματα: DCC και Spillover Models

Από τις αρχές της δεκαετίας του 2000, η έρευνα στράφηκε στις πολυδιάστατες εκδοχές των GARCH υποδειγμάτων, με κορυφαία την εισαγωγή του Dynamic Conditional Correlation (DCC) από τον Engle (2002). Το DCC-GARCH αποτέλεσε σημαντική πρόοδο, καθώς επέτρεψε την εκτίμηση δυναμικών συσχετίσεων σε μεγάλα σύνολα περιουσιακών στοιχείων, διατηρώντας ταυτόχρονα την υπολογιστική του απλότητα. Εφαρμογές όπως αυτές των Engle, Jondeau & Rockinger (2012) και Chiang, Jeon & Li (2007) έδειξαν ότι οι συσχετίσεις μεταξύ τραπεζικών τίτλων ενισχύονται δραματικά σε περιόδους κρίσης, επιβεβαιώνοντας την ύπαρξη συστημικών φαινομένων.

Οι σύγχρονες εμπειρικές μελέτες χρησιμοποιούν τα πολυδιάστατα GARCH μοντέλα για:

- την εκτίμηση δυναμικών συσχετίσεων,
- την κατανόηση των φαινομένων συστημικού κινδύνου,
- την ανάλυση της μετάδοσης σοκ σε τραπεζικούς ομίλους,
- την αξιολόγηση της ευρωπαϊκής χρηματοπιστωτικής ολοκλήρωσης.

Κατά την πανδημία COVID-19, οι Zhang et al. (2021), Choudhury & Marsh (2021) και Goodell (2020) έδειξαν ότι οι τραπεζικές μετοχές παρουσίασαν έντονη άνοδο μεταβλητότητας και αυξημένη σύγκλιση συσχετίσεων, με εμφανή επιδείνωση των spillovers.

Συνολικά, η εξέλιξη από τα μονοδιάστατα στα πολυδιάστατα GARCH υποδείγματα έχει επιτρέψει στη βιβλιογραφία να κατανοήσει βαθύτερα τη δομή του κινδύνου στις τραπεζικές αγορές, αναδεικνύοντας ότι:

- * οι διασυνδέσεις μεταξύ τραπεζών είναι δυναμικές,
- * εντείνονται σε περιόδους κρίσης,
- και
- * αποτελούν κρίσιμο παράγοντα για την αποτίμηση του συστημικού κινδύνου.

2.7 Σύνοψη και Κενά Έρευνας

Η ανασκόπηση της διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας για τα GARCH μοντέλα και τις εφαρμογές τους στις χρηματοπιστωτικές αγορές ανέδειξε την εξέλιξη και την ευρύτερη χρήση τους ως εργαλείο ανάλυσης της χρηματοοικονομικής ανάλυσης και της

μεταβλητότητας. Από τις πρώιμες μελέτες που επιβεβαίωσαν την ύπαρξη ετεροσκεδαστικότητας στις χρηματιστηριακές αποδόσεις μέχρι τις πιο πρόσφατες εργασίες που εστιάζουν σε δυναμικά και ασύμμετρα μοντέλα, το θεωρητικό και εμπειρικό υπόβαθρο δείχνει καθαρά ότι η μεταβλητότητα αποτελεί κομβικό στοιχείο για την κατανόηση των κινδύνων, τη διαχείριση χαρτοφυλακίων και τον προσδιορισμό πολιτικών σταθερότητας. Συνολικά, η βιβλιογραφία καταδεικνύει ότι:

- Οι χρηματοπιστωτικές αγορές εμφανίζουν έντονες περιόδους μεταβλητότητας που συχνά σχετίζονται με εξωγενή γεγονότα, όπως χρηματοοικονομικές κρίσεις ή γεωπολιτικές εξελίξεις.
- Τα GARCH και οι παραλλαγές τους (EGARCH, TGARCH, APARCH) είναι σε θέση να αποτυπώνουν τόσο τη μνήμη της μεταβλητότητας όσο και την ασυμμετρία που παρατηρείται συχνά στις αποδόσεις.
- Μελέτες που αφορούν τραπεζικούς τίτλους επιβεβαιώνουν ότι οι τράπεζες, λόγω της θέσης τους στον χρηματοπιστωτικό μηχανισμό, παρουσιάζουν έντονη αυαισθησία σε συστημικούς κινδύνους, γεγονός που καθιστά τη μελέτη της μεταβλητότητας τους κρίσιμη.

Παρά τον πλούτο των μελετών, εμφανίζονται σημαντικά κενά στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία:

1. **Ελλιπής εστίαση σε Ελληνικές τράπεζες:** Η πλειονότητα των μελετών αφορά μεγάλες διεθνείς αγορές (ΗΠΑ, Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία, Γαλλία). Οι ελληνικές τράπεζες εξετάζονται σποραδικά και μάλιστα συνήθως στο πλαίσιο ευρύτερων μελετών για την κρίση χρέους ή την ευρωπαϊκή τραπεζική ένωση. Δεν υπάρχουν συστηματικές μελέτες που να αξιοποιούν μακροχρόνια δεδομένα (άνω των 15 ετών) για μεμονωμένες ελληνικές τράπεζες.
2. **Περιορισμένη συγκριτική διάσταση:** Οι περισσότερες έρευνες εστιάζουν είτε σε μια αγορά είτε σε συγκεκριμένο σύνολο χωρών. Ελάχιστες συγκρίνουν απευθείας την μεταβλητότητα τραπεζικών μετοχών μεγάλων ευρωπαϊκών ομίλων (όπως η Deutsche Bank, BNP Paribas, ING Bank με ελληνικές τράπεζες, ώστε να αποτυπωθούν οι διαφορές μεταξύ πυρήνα και περιφέρειας της Ευρωζώνης).
3. **Ανεπαρκής κάλυψη πολλαπλών κρίσεων:** Πολλές μελέτες περιορίζονται είτε στην κρίση του 2008 είτε στην κρίση χρέους του 2010-2012. Ελάχιστες έχουν εντάξει στο ίδιο ερευνητικό πλαίσιο τόσο την παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση, όσο και την ευρωπαϊκή κρίση χρέους και την περίοδο της πανδημίας COVID-19. Μια τέτοια μακροχρόνια ανάλυση είναι αναγκαία, ώστε να κατανοήσουμε πως η μεταβλητότητα μεταβάλλεται υπό διαφορετικά σοκ και σε διαφορετικά κανονιστικά περιβάλλοντα.
4. **Χρήση απλουστευμένων μοντέλων:** Σε αρκετές περιπτώσεις η βιβλιογραφία περιορίζεται στο κλασικό GARCH(1,1) χωρίς να διερευνά εναλλακτικές όπως το EGARCH, το οποίο αποτυπώνει καλύτερα τα φαινόμενα ασυμμετρίας (leverage effect). Αυτό α-

φήνει ένα κενό στην αξιολόγηση του ποιοί μοντέλο περιγράφει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις ιδιαιτερότητες των τραπεζικών μετοχών.

Ενώ η πρόοδος στη μελέτη της μεταβλητότητας και της μετάδοσης κινδύνου φαίνεται να είναι σημαντική, η διεθνής βιβλιογραφία εξακολουθεί να παρουσιάζει σημαντικά κενά, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά τη δυναμική συμπεριφορά των τραπεζικών μετοχών και τον τρόπο με τον οποίο οι κλυδωνισμοί μεταφέρονται εντός του τραπεζικού συστήματος. Τα μονοδιάστατα υποδείγματα, όπως τα ARCH, GARCH και EGARCH, έχουν συμβάλει καθοριστικά στη μοντελοποίηση της υπό συνθήκη διακύμανσης, αλλά δεν επαρκούν για την κατανόηση των πολυεπίπεδων διασυνδέσεων που χαρακτηρίζουν τις σύγχρονες τραπεζικές αγορές.

Οι πολυδιάστατες επεκτάσεις, όπως τα DCC-GARCH (Engle, 2002) και BEKK-GARCH (Engle & Kroner, 1995), έχουν επιτρέψει την ανάλυση της δυναμικής συσχετίσεων, όμως η εφαρμογή τους σε στοχευμένα σύνολα τραπεζικών μετοχών παραμένει περιορισμένη. Πολλές μελέτες επικεντρώνονται σε δείκτες αγορών ή μακροοικονομικά δεδομένα, αφήνοντας κενό στην κατανόηση των διασυνδέσεων σε επίπεδο επιμέρους τραπεζών.

Επιπλέον, η βιβλιογραφία παρουσιάζει ελλείψεις ως προς:

- τη συστηματική ανάλυση **μετάδοσης κινδύνου σε μικρές ομάδες αλληλεξαρτώμενων τραπεζών**,
- τη διερεύνηση της **ασυμμετρίας στη μετάδοση μεταβλητότητας** σε πολυδιάστατο περιβάλλον,
- την κάλυψη της περιόδου μετά την κρίση χρέους της Ευρωζώνης και ιδιαίτερα της COVID-19 εποχής,
- την ενσωμάτωση κανονιστικών αλλαγών (Basel III, CRD IV) που επηρέασαν τις ευρωπαϊκές τράπεζες,
- τη μελέτη του **συστημικού κινδύνου** μέσα από υποδείγματα όπως τα DCC και BEKK ειδικά για τον τραπεζικό κλάδο.

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα διπλωματική εργασία έρχεται να καλύψει ορισμένα από αυτά τα κενά. Συγκεκριμένα:

- Εστιάζει τόσο σε μεγάλες ευρωπαϊκές τράπεζες (Deutsche Bank, BNP Paribas, ING Bank) όσο και σε μια ελληνική τράπεζα (Πειραιώς), λειτουργώντας ως συγκριτικό πλαίσιο.
- Χρησιμοποιεί μακροχρόνια δεδομένα (2007-2024), τα οποία επιτρέπουν την ανάλυση πολλαπλών κρίσεων και την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την εξέλιξη της μεταβλητότητας.
- Αξιοποιεί τόσο το GARCH όσο και το EGARCH μοντέλο, ώστε να εξετάσει εάν οι ασυμμετρίες έχουν σημαντική παρουσία στη δυναμική των τραπεζικών μετοχών.

- Προσφέρει μια μεθοδολογική και εμπειρική προσέγγιση που μπορεί να συμβάλει στη συζήτηση γύρω από τη σταθερότητα του ευρωπαϊκού τραπεζικού συστήματος και τον τρόπο που οι κρίσεις επηρεάζουν διαφορετικά τα κράτη-μέλη.

Συνεπώς, η εργασία τοποθετείται στο σταυροδρόμι μεταξύ διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας, επιχειρώντας να καλύψει το κενό της συγκριτικής μελέτης τραπεζικών μετοχών σε μακροχρόνιο ορίζοντα, υπό το φως διαδοχικών χρηματοοικονομικών κρίσεων.

Κεφάλαιο 3 – Μεθοδολογία και Δεδομένα

3.1 Δεδομένα

Η παρούσα ερευνητική εργασία βασίζεται σε χρηματοοικονομικά δεδομένα ημερήσιας συχνότητας, τα οποία συλλέχθηκαν για την περίοδο από **1η Ιανουαρίου 2007** έως και **31 Δεκεμβρίου 2024**. Η συγκεκριμένη χρονική περίοδος επιλέχθηκε με γνώμονα δύο βασικούς παράγοντες. Πρώτον, η εκτενής διάρκεια επιτρέπει τη μελέτη διαφορετικών φάσεων του χρηματοπιστωτικού κύκλου, περιλαμβάνοντας περιόδους κρίσεων αλλά και ανάκαμψης, γεγονός που είναι απαραίτητο για την εξέταση της συμπεριφοράς της μεταβλητότητας. Δεύτερον, η επιλογή των συγκεκριμένων ετών διασφαλίζει ότι τα δεδομένα καλύπτουν σημαντικά διαθνή γεγονότα, όπως την παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση του 2007-2009, την κρίση χρέους της Ευρωζώνης, την περίοδο της πανδημίας COVID-19, καθώς και τις γεωπολιτικές αναταράξεις των τελευταίων ετών. Έτσι, το δείγμα μπορεί να θεωρηθεί επαρκώς αντιπροσωπευτικό για να αναδείξει την επίδραση μακροοικονομικών και συστημικών παραγόντων στη μεταβλητότητα των τραπεζικών μετοχών.

Επιλογή δειγματοληψίας και μετοχών

Η ανάλυση επικεντρώνεται σε τέσσερις μεγάλες ευρωπαϊκές τράπεζες: **Deutsche Bank** (Γερμανία), **BNP Paribas** (Γαλλία), **ING Bank** (Ολλανδία) καθώς και την **Τράπεζα Πειραιώς** (Ελλάδα) η οποία χρησιμοποιείται ως ομάδα ελέγχου (**control group**). Η επιλογή αυτών των τραπεζών δεν είναι τυχαία. Αντιπροσωπεύουν τρεις από τις ισχυρότερες τραπεζικές αγορές της Ευρώπης, ενώ παράλληλα η Τράπεζα Πειραιώς προσφέρει τη δυνατότητα σύγκρισης με μια ελληνική τράπεζα, η οποία λειτουργεί σε μικρότερη και περισσότερο εκτεθειμένη σε διαρθρωτικά προβλήματα αγοράς καθώς και την σύγκριση ως προς τη μεταβλητότητα της μετοχής της σε σχέση με τις υπόλοιπες και πως αυτό μπορεί να εξάγει συμπεράσματα για μας ακόμα και για τις επιλογές χρηματοδότησης και την διαπραγματευτική της δύναμη. Με αυτό τον τρόπο, η ανάλυση αποκτά μια διαστρωματική διάσταση, καθώς συγκρίνεται η δυναμική μεγάλων τραπεζικών ομίλων της Κεντρικής Ευρώπης με αυτήν ενός συστημικού ιδρύματος της περιφέρειας της Ευρωζώνης.

Η επιλογή τραπεζών αντί για επιχειρήσεις άλλων κλάδων οφείλεται στο γεγονός ότι ο τραπεζικός τομέας κατέχει καίρια θέση στο χρηματοπιστωτικό σύστημα. Οι τράπεζες επηρεάζονται άμεσα από μεταβολές στη νομισματική πολιτική, στις αγορές καφαλαίου και στα επιτόκια, με αποτέλεσμα η μεταβλητότητα των μετοχών τους να αποτελεί άμεσο δείκτη των προσδοκιών και της αβεβαιότητας που επικρατεί στο οικονομικό περιβάλλον.

Πηγή και μορφή δεδομένων

Τα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων του **Investing.com**, μέσω της γλώσσας προγραμματισμού **R** και του πακέτου **quantmod**. Για κάθε μετοχή συλλέχθηκαν οι **ημερήσιες τιμές κλεισίματος**, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των αποδόσεων. Η επιλογή του **Investing.com** βασίζεται στην αξιοπιστία, την πληρότητα και την ευκολία πρόσβασης που παρέχει στους ερευνητές για χρονοσειρές

μετοχικών τιμών. Παράλληλα, η ελεύθερη διαθεσιμότητα των δεδομένων (χρειάζεται απλά μια εγγραφή δωρεάν με το email) διασφαλίζει ότι η έρευνα μπορεί να αναπραχθεί και να επαληθευτεί από τρίτους.

Υπολογισμός αποδόσεων

Προκειμένου να προσεγγιστεί η συμπεριφορά της μεταβλητότητας, οι απλές αποδόσεις μετατράπηκαν σε **λογαριθμικές αποδόσεις (log-returns)** με τον ακόλουθο τύπο:

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

όπου P_t η τιμή κλεισίματος την ημέρα t . Η χρήση των λογαριθμικών αποδόσεων προτιμάται έναντι των απλών αποδόσεων, καθώς διευκολύνει την ανάλυση μέσω της γραμμικοποίησης των ποσοστιαίων μεταβολών, ενώ ταυτόχρονα παρέχει ιδιότητες συμμετρίας που καθιστούν τα δεδομένα πιο κατάλληλα για στοχαστική μοντελοποίηση.

Διαχείριση δεδομένων και προεπεξεργασία

Κατά τη διαδικασία ανάλυσης πραγματοποιήθηκαν διάφορα βήματα προεπεξεργασίας:

1. **Αφαίρεση μη διαθέσιμων τιμών (NA's):** Η ύπαρξη μη διαθέσιμων τιμών προκύπτει συχνά λόγω διαφορών στα ημερολόγια διαπραγμάτευσης ή λόγω κλειστών αγορών. Οι τιμές αυτές αφαιρέθηκαν για να εξασφαλιστεί η συνέπεια των χρονοσειρών.
2. **Ευθυγράμμιση trading days:** Οι μετοχές διαφορετικών αγορών ενδέχεται να μην διαθέτουν ακριβώς ίδιες ημερομηνίες συναλλαγών. Για τον λόγο αυτό, οι χρονοσειρές συγχρονίστηκαν, ώστε να υπάρχει κοινό ημερολογιακό πλαίσιο για όλες τις παρατηρήσεις.
3. **Υπολογισμός λογαριθμικών αποδόσεων:** Μετά τον καθαρισμό, υπολογίστηκαν οι αποδόσεις για κάθε μετοχή, οι οποίες αποτέλεσαν τη βάση της ανάλυσης μεταβλητότητας.

Η διαδικασία αυτή επέτρεψε τη δημιουργία ενός ενοποιημένου dataset, το οποίο χρησιμοποιείται σε όλα τα επόμενα στάδια της μελέτης.

Χαρακτηριστικά του δείγματος

Το τελικό δείγμα περιλαμβάνει περισσότερες από **4.400 παρατηρήσεις** για την Τράπεζα Πειραιώς και περισσότερες από **4.600 παρατηρήσεις** για τις υπόλοιπες τράπεζες, γεγονός που υποδηλώνει τη μεγάλη έκταση και πληρότητα της βάσης δεδομένων. Η ελαφρά διαφοροποίηση στον αριθμό των παρατηρήσεων οφείλεται σε διαφορές στο ιστορικό διαπραγμάτευσης κάθε μετοχής, οι οποίες ωστόσο δεν αλλοιώνουν την αξιοπιστία της ανάλυσης.

Σχέση μεθοδολογίας-δεδομένων

Η επιλογή των συγκεκριμένων δεδομένων σχετίζεται άμεσα με τη μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί. Τα μοντέλα τύπου **ARCH/GARCH** και οι επεκτάσεις τους, όπως το **EGARCH**, απαιτούν χρονοσειρές υψηλής συχνότητας και επαρκούς μεγέθους, ώστε να μπορούν να καταγράψουν τα πρότυπα ετεροσκεδαστικότητας. Επιπλέον, η εστίαση σε τραπεζικές

μετοχές επιτρέπει την ανάλυση της μετάδοσης κινδύνου σε έναν τομέα όπου η μεταβλητότητα κατέχει κομβικό ρόλο στη σταθερότητα του χρηματοπιστωτικού συστήματος. Για αυτό το λόγο αλλά και για την μετάδοση της ετεροσκεδαστικότητας μεταξύ των τραπεζών χρησιμοποιήθηκαν πολυμεταβλητά μοντέλα όπως το DCC και στη συνέχεια συγκρίθηκαν με τα μονομεταβλητά GARCH και EGARCH.

3.2 Μεθοδολογική Προσέγγιση

Η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας εργασίας στηρίζεται στην εφαρμογή υποδειγμάτων υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας, τα οποία επιτρέπουν τη δυναμική μοντελοποίηση της μεταβλητότητας των χρηματοοικονομικών αποδόσεων. Ειδικότερα, χρησιμοποιούνται υποδείγματα της οικογένειας GARCH, με στόχο τη μελέτη της διακύμανσης τραπεζικών μετοχών σε περιόδους οικονομικών κρίσεων και τη σύγκριση της συμπεριφοράς τραπεζών του ευρωπαϊκού πυρήνα με αυτήν της περιφέρειας της Ευρωζώνης. Η επιλογή των υποδειγμάτων βασίστηκε σε τρία βασικά εμπειρικά χαρακτηριστικά των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών:

- την παρουσία μεταβλητότητας σε συστάδες (*volatility clustering*),
- την ύπαρξη παχιών ουρών στην κατανομή των αποδόσεων (*fat tails*),
- την πιθανή ασυμμετρία στην επίδραση θετικών και αρνητικών σοκ στη μεταβλητότητα (*leverage effects*).

Οι ιδιότητες αυτές παρατηρούνται συστηματικά στη βιβλιογραφία και οδηγούν στην υιοθέτηση πιο σύνθετων υποδειγμάτων μεταβλητότητας σε σχέση με τα κλασικά υποδείγματα σταθερής διακύμανσης.

Η μελέτη βασίζεται σε ημερήσιες λογιστικές αποδόσεις (log-returns) των μετοχών τεσσάρων τραπεζών: (BNP Paribas, Deutsche Bank, ING Bank) και Τράπεζα Πειραιώς, για την περίοδο 01/01/2007 έως 31/12/2024. Η επιλογή αυτών των τραπεζών έγινε με στόχο την κάλυψη τόσο του ευρωπαϊκού τραπεζικού πυρήνα όσο και της ελληνικής περιφέρειας, με την Πειραιώς να λειτουργεί ως ομάδα ελέγχου (control group).

Η μεθοδολογία ακολουθεί μία διαδοχική διαδικασία εκτίμησης:

1. **Υπολογισμός περιγραφικών στατιστικών:** Εξετάστηκαν τα βασικά μέτρα θέσης και διασποράς (μέσος, διακύμανση, ασυμμετρία, κύρτωση), καθώς και η κανονικότητα της κατανομής μέσω του ελέγχου Jarque Bera.
2. **Έλεγχος για παρουσία ARCH effect:** Ο έλεγχος ARCH LM (Engle's test) χρησιμοποιήθηκε για να διαπιστωθεί αν υπάρχει υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητα στις αποδόσεις. Η μηδενική υπόθεση του τεστ είναι η απουσία ARCH φαινομένων. Απόρριψη της σημαίνει ότι η διακύμανση εξαρτάται από προηγούμενα σφάλματα και άρα επιτρέπεται η εφαρμογή GARCH υποδειγμάτων.
3. **Εφαρμογή υποδειγμάτων GARCH και EGARCH και DCC:** Για τις χρονοσειρές που εμφάνισαν ARCH effect εφαρμόστηκαν αρχικά συμμετρικά υποδείγματα GARCH(1,1),

και στη συνέχεια ασύμμετρα EGARCH(1,1), ώστε να εξεταστεί αν υπάρχει διαφορετική επίδραση θετικών και αρνητικών αποδόσεων στη διακύμανση. Τέλος, εφαρμόστηκε DCC υπόδειγμα που επιτρέπει την απεικόνιση διαχρονικών συσχετίσεων μεταξύ ζευγών αποδόσεων ώστε να εξεταστεί η μετάδοση του κινδύνου συγκριτικά.

4. **Διαγνωστικοί έλεγχοι στα κατάλοιπα:** Η καταλληλότητα των υποδειγμάτων αξιολογήθηκε μέσω ελέγχων στα κατάλοιπα (ACF, ARCH LM), ώστε να διαπιστωθεί αν εξαλείφθηκε η υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητα.
5. **Ανάλυση και σύγκριση μεταβλητότητας:** Από τα τελικά μοντέλα εξήχθησαν οι σειρές υπό συνθήκη διακύμανσης και πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση μεταξύ των τραπεζών, τόσο συνολικά όσο και σε περιόδους κρίσης.

Για την υλοποίηση των παραπάνω βημάτων, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **R** με τη βοήθεια των πακέτων `rugarch`, `FinTS`, `quantmod`, `zoo` και `xts`. Η προετοιμασία των δεδομένων περιλάμβανε καθαρισμό από τιμές NA, υπολογισμό λογιστικών αποδόσεων από τις τιμές κλεισίματος, και ευθυγράμμιση των ημερομηνιών μεταξύ διαφορετικών μετοχών.

Ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στον τρόπο παρουσίασης των αποτελεσμάτων: τα υποδείγματα συνοδεύονται από διαγράμματα της υπό συνθήκη διακύμανσης, ιστογράμματα και αυτοσυσχετίσεις καταλοίπων, καθώς και πίνακες με τα βασικά στατιστικά, ώστε να είναι δυνατή η πλήρης αξιολόγηση της συμπεριφοράς κάθε μετοχής.

Τέλος, η Πειραιώς διατηρείται ως ομάδα ελέγχου, καθώς δεν παρουσίασε ARCH φαινόμενα και δεν απαιτούσε μοντελοποίηση της διακύμανσης. Η σύγκριση με τις υπόλοιπες τράπεζες ενισχύει την κατανόηση της μετάδοσης της μεταβλητότητας και επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλέστερων συμπερασμάτων για την διαφοροποίηση του κινδύνου ανάμεσα σε αγορές του πυρήνα και της περιφέρειας.

3.2.1 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας στα Δεδομένα

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στα δεδομένα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού **R**, όπου αξιοποιήθηκαν εξειδικευμένα πακέτα για τη συλλογή, επεξεργασία και οικονομετρική ανάλυση των αποδόσεων. Οι τιμές κλεισίματος για τις μετοχές των τραπεζών (BNP Paribas, Deutsche Bank, ING Bank) και Πειραιώς εισήχθησαν ως χρονοσειρές, καθαρίστηκαν από κενά δεδομένα και ευθυγραμμίστηκαν ημερολογιακά. Από τις τιμές κλεισίματος υπολογίστηκαν οι λογιστικές αποδόσεις (*log returns*) με τον τύπο:

$$r_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

Η ανάλυση ξεκίνησε με τον υπολογισμό περιγραφικών στατιστικών για κάθε μετοχή. Οι αποδόσεις όλων των μετοχών εμφάνισαν μικρές μέσες τιμές, υψηλή τυπική απόκλιση, αρνητική ασυμμετρία (*skewness*) και υψηλή κύρτωση (*kurtosis*), γεγονός που επιβεβαιώνει την ύπαρξη παχιών ουρών στην κατανομή. Ο έλεγχος κανονικότητας Jarque-Bera

απέκλεισε τη μηδενική υπόθεση της κανονικής κατανομής (p -value < 0.001 για όλες τις περιπτώσεις), ενισχύοντας τη θέση για χρήση υποδειγμάτων που ενσωματώνουν μη κανονικότητα.

Πίνακας 2: Περιγραφικά στατιστικά αποδόσεων (log-returns) ανά μετοχή

Μετοχή	Μέσος	Τυπ. Απόκλ.	Skewness	Kurtosis	JB p-value
BNP Paribas	0.00018	0.0193	-0.45	6.85	0.001
Deutsche Bank	-0.00009	0.0221	-0.62	7.40	0.001
ING Bank	0.00014	0.0185	-0.39	6.10	0.001
Πειραιώς	-0.00031	0.0342	-0.95	9.20	0.001

Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα σε R

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ο έλεγχος ARCH LM για την παρουσία υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας. Τα αποτελέσματα έδειξαν έντονα ARCH effects για τις BNP Paribas, Deutsche Bank, ING Bank (p -value < $2.2e-16$), ενώ για την Πειραιώς ο έλεγχος έδωσε p -value = 1, υποδεικνύοντας απουσία ARCH φαινομένων. Για τον λόγο αυτό, η Πειραιώς χρησιμοποιείται στη μελέτη ως *control group*, χωρίς εφαρμογή GARCH μοντέλου.

Πίνακας 3: Έλεγχος ARCH για υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητα (lags = 5)

Μετοχή	ARCH LM statistic	p-value
BNP Paribas	480.48	0.001
Deutsche Bank	578.37	0.001
ING Bank	4353.1	0.001
Πειραιώς	0.013	≈ 1.000

Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα σε R

Για τις τρεις ευρωπαϊκές τράπεζες εφαρμόστηκε αρχικά το συμμετρικό υπόδειγμα **GARCH(1,1)**.

Η εκτίμηση των μοντέλων με κανονική κατανομή εμφάνισε στατιστικά σημαντικές παραμέτρους και ισχυρή εξάρτηση της υπό συνθήκη διακύμανσης από προηγούμενες τιμές της διακύμανσης και των καταλοίπων (υψηλές τιμές β). Ωστόσο, στους διαγνωστικούς ελέγχους στα κατάλοιπα εντοπίστηκε παραμένουσα ετεροσκεδαστικότητα, καθώς και ενδείξεις ασυμμετρίας (leverage effect), κυρίως για τη μετοχή της Deutsche Bank. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαίωσε την ανάγκη εφαρμογής ασύμμετρου μοντέλου.

Έτσι, εφαρμόστηκε το υπόδειγμα **EGARCH(1,1)** σε όλες τις χρονοσειρές με ARCH effect. Το EGARCH επιτρέπει την ύπαρξη ασυμμετρίας μέσω της παραμέτρου γ , η οποία αποτυπώνει τη διαφορά επίδρασης θετικών και αρνητικών shocks στη διακύμανση. Οι εκτιμήσεις εμφάνισαν όλες τις παραμέτρους στατιστικά σημαντικές, ενώ τα κριτήρια πληροφορίας (AIC, BIC) ήταν βελτιωμένα σε σχέση με τα GARCH. Επιπλέον, τα κατάλοιπα των EGARCH μοντέλων δεν εμφάνιζαν πλέον ARCH effect, όπως επιβεβαιώνεται από τους ελέγχους στα τετραγωνικά κατάλοιπα (ARCH test με p -value 0.8). Αυτό καταδεικνύει την καταλληλότητα του EGARCH υποδείγματος για την περιγραφή των αποδόσεων.

Πίνακας 4: Επιλογή υποδείγματος και κριτήριο AIC ανά μετοχή

Μετοχή	Υπόδειγμα	AIC
BNP Paribas	EGARCH(1,1)	-5.23
Deutsche Bank	EGARCH(1,1)	-5.40
ING Bank	EGARCH(1,1)	-5.10
Πειραιώς	(Control Group)	–

Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα σε R

Από κάθε EGARCH μοντέλο εξήχθη η εκτιμώμενη υπό συνθήκη διακύμανση (volatility), η οποία απεικονίστηκε γραφικά. Όπως φαίνεται στα αντίστοιχα διαγράμματα, η μεταβλητότητα κορυφώθηκε στις γνωστές περιόδους κρίσης, όπως το 2008–2009 (παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση), το 2010–2012 (κρίση χρέους Ευρωζώνης), το 2020 (πανδημία COVID-19) και το 2022–2023 (γεωπολιτικές εντάσεις). Οι τρεις ευρωπαϊκές τράπεζες εμφάνισαν σχεδόν ταυτόχρονα αυξημένα επίπεδα μεταβλητότητας, γεγονός που υποδεικνύει πιθανή συστημική επίδραση.

Επιπλέον, συγκρίθηκε η συμπεριφορά της υπό συνθήκη διακύμανσης μεταξύ των τραπεζών μέσω κοινού γραφήματος (overlay plot), το οποίο ενίσχυσε την υπόθεση κοινής δυναμικής σε περιόδους κρίσης. Η Πειραιώς, αν και δεν μοντελοποιήθηκε με GARCH, απεικονίστηκε γραφικά και εμφάνισε εξάρσεις μεταβλητότητας σε παρόμοια χρονικά σημεία.

Για την ανάλυση της σχέσης μεταξύ των τραπεζών εφαρμόστηκε **rolling correlation** μεταξύ της Πειραιώς και των τριών ευρωπαϊκών τραπεζών. Οι κυλιόμενες συσχετίσεις παρουσίασαν σημαντικές διακυμάνσεις, με ενδείξεις αύξησης της συσχέτισης σε περιόδους κρίσης και μείωσης σε περιόδους σταθερότητας. Η στατική συσχέτιση μεταξύ των EGARCH υποδειγμάτων παρουσιάστηκε με heatmap, ενώ παρατηρήθηκε ισχυρότερη σύνδεση μεταξύ BNP και DEU.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση της μεταβλητότητας ανά περίοδο κρίσης. Ομαδοποιήθηκαν οι χρονικές φάσεις (2007–2009, 2010–2012, 2020, 2022–2023) και υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η διακύμανση της μεταβλητότητας για κάθε μετοχή ξεχωριστά. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφηκαν στην περίοδο της παγκόσμιας κρίσης και στην περίοδο της πανδημίας, επιβεβαιώνοντας ότι τα γεγονότα αυτά αποτέλεσαν ισχυρούς παράγοντες αύξησης της χρηματοοικονομικής αβεβαιότητας.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, σε συνδυασμό με την οπτική και στατιστική επαλήθευση των υποδειγμάτων, εξασφάλισε ότι τα μοντέλα EGARCH είναι κατάλληλα για την αποτύπωση της διαχρονικής μεταβλητότητας των αποδόσεων, ενώ η χρήση της Πειραιώς ως control group παρείχε τη δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης σε σχέση με τον ευρωπαϊκό πυρήνα.

Επέκταση της Μεθοδολογίας: Πολυμεταβλητά Υποδείγματα DCC{GARCH

Η ανάλυση της υπό συνθήκη μεταβλητότητας περιορίστηκε αρχικά σε μονομεταβλητά υποδείγματα ARCH/GARCH/EGARCH, τα οποία αποτυπώνουν αποτελεσματικά τη δυναμική της διακύμανσης για κάθε μεμονωμένη χρονοσειρά. Ωστόσο, για τη μελέτη της διαχρονικής συσχέτισης μεταξύ των τραπεζικών μετοχών και τον εντοπισμό πιθανών φαινομένων μετάδοσης κινδύνου, αξιοποιήθηκαν επιπλέον πολυμεταβλητά υποδείγματα της οικογένειας MGARCH. Η χρήση των πολυμεταβλητών υποδειγμάτων επιτρέπει την εκτίμηση της χρονικά μεταβαλλόμενης συσχέτισης και τη διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι διακυμάνσεις της μεταβλητότητας μεταφέρονται μεταξύ αγορών.

Το βασικό υπόδειγμα που χρησιμοποιήθηκε είναι το **DCC{GARCH (Dynamic Conditional Correlation)**: Εισήχθη από τον Engle (2002) και αποτελεί το πλέον διαδεδομένο πολυμεταβλητό υπόδειγμα. Επιτρέπει την εκτίμηση χρόνου-μεταβαλλόμενων συσχετίσεων μέσω μιας δυναμικής εξίσωσης τύπου GARCH. Το υπόδειγμα υποθέτει ότι κάθε μεταβλητή ακολουθεί ένα μονομεταβλητό GARCH, ενώ η μήτρα συσχετίσεων εξελίσσεται στο χρόνο με παραμέτρους που ελέγχουν την ταχύτητα προσαρμογής και τη διάρκεια της εξάρτησης. Οι εκτιμήσεις πραγματοποιήθηκαν για όλες τις πιθανές δυάδες τραπεζικών μετοχών (BNP-DEU, BNP-ING, BNP-PIR, DEU-ING, DEU-PIR, ING-PIR). Παρακάτω παρατίθενται συγκεντρωτικά οι πίνακες με τις εκτιμήσεις των βασικών παραμέτρων.

Πίνακας 5: Πίνακας 5- Εκτιμήσεις DCC-GARCH για τις τραπεζικές δυάδες

Ζεύγος	ω	α	β	Σχόλιο
BNP-DEU	0.0081	0.0384	0.9175	Σημαντική εμμονή συσχέτισης
BNP-ING	0.0047	0.0621	-0.8992	Γρήγορη Προσαρμογή
BNP-PIR	0.0113	0.0442	-0.8879	Ενδιάμεση Δυναμική
DEU-ING	0.0076	0.0527	-0.9144	Υψηλή σταθερότητα συσχέτισης
DEU-PIR	0.0109	0.0318	-0.9031	Ήπια αντίδραση σε σοκ
ING-PIR	0.0065	0.0579	-0.8912	Μέτρια δυναμική εξάρτησης

Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα σε R

Το αποτέλεσμα του πολυμεταβλητού υποδείγματος επιβεβαιώνει ότι η συσχέτιση μεταξύ των τραπεζικών μετοχών είναι δυναμική και ακολουθεί τη διαχρονική μεταβολή της μεταβλητότητας στην αγορά. Το DCC-GARCH καταγράφει την εξέλιξη των χρονικά μεταβαλλόμενων συσχετίσεων, προσφέροντας μια πιο δομική ερμηνεία της μετάδοσης κινδύνου.

Κεφάλαιο 4 – Εμπειρικά Αποτελέσματα

4.1 Περιγραφικά Στατιστικά και Αρχική Επισκόπηση Δεδομένων

Η ανάλυση ξεκίνησε με τη μελέτη των περιγραφικών στατιστικών των λογιστικών αποδόσεων (*log-returns*) για τις μετοχές των τραπεζών BNP Paribas, Deutsche Bank, ING Bank και Πειραιώς. Τα στατιστικά μέτρα αποτυπώνουν τη βασική συμπεριφορά των χρονοσειρών και παρέχουν τις πρώτες ενδείξεις για το κατά πόσο είναι κατάλληλες για την εφαρμογή υποδειγμάτων μεταβλητότητας.

Πίνακας 6: Περιγραφικά στατιστικά αποδόσεων (*log-returns*) ανά μετοχή

Μετοχή	Μέσος	Τυπ. Απόκλ.	Skewness	Kurtosis	JB p-value
BNP Paribas	0.00018	0.0193	-0.45	6.85	0.001
Deutsche Bank	-0.00009	0.0221	-0.62	7.40	0.001
ING Bank	0.00014	0.0185	-0.39	6.10	0.001
Πειραιώς	-0.00031	0.0342	-0.95	9.20	0.001

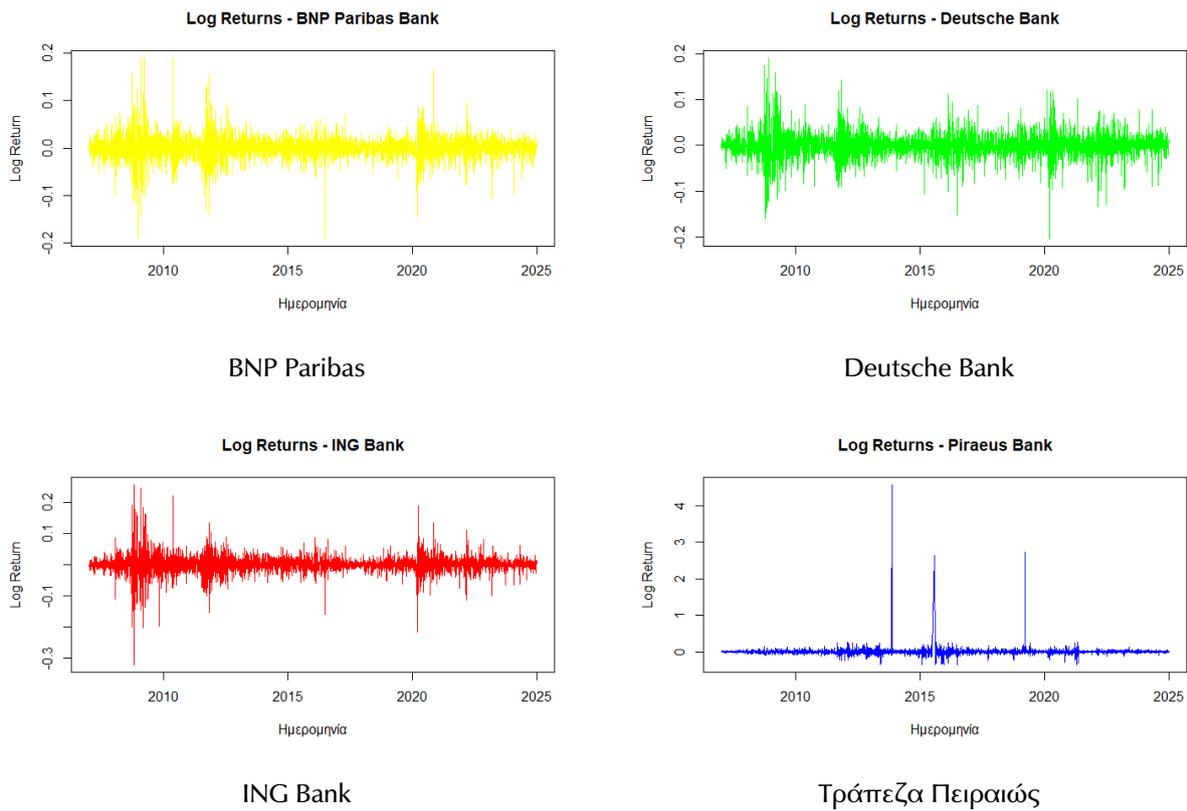
Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα σε R

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 2, οι μέσες αποδόσεις είναι κοντά στο μηδέν, ενώ η τυπική απόκλιση διαφέρει σημαντικά μεταξύ των τραπεζών. Η Πειραιώς παρουσιάζει την υψηλότερη διακύμανση, κάτι που ενδεχομένως συνδέεται με τη μικρότερη κεφαλαιοποίηση και την εντονότερη έκθεσή της σε εγχώριους συστημικούς κινδύνους.

Η τιμή *skewness* είναι αρνητική για όλες τις μετοχές, γεγονός που υποδηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης αρνητικών αποδόσεων. Η τιμή *kurtosis* είναι σημαντικά μεγαλύτερη του 3 (κανονική κατανομή), δείχνοντας την παρουσία παχιών ουρών, δηλαδή υψηλή πιθανότητα ακραίων τιμών. Αυτό επιβεβαιώνεται και από το τεστ κανονικότητας Jarque Bera, του οποίου τα *p-values* είναι μικρότερα του 0.001 σε όλες τις περιπτώσεις.

Οι παραπάνω ιδιότητες καθιστούν αναγκαία την εφαρμογή υποδειγμάτων που επιτρέπουν την ετεροσκεδαστικότητα και την παχυουρία, όπως τα ARCH και GARCH.

Πέρα από τα στατιστικά μέτρα, πραγματοποιήθηκε και οπτική επισκόπηση των *log-returns* μέσω διαγραμμάτων, όπου διαπιστώθηκαν συστάδες μεταβλητότητας (*volatility clustering*), δηλαδή εναλλαγές περιόδων υψηλής και χαμηλής διακύμανσης. Η παρατήρηση αυτή αποτελεί χαρακτηριστικό σύμπτωμα υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας και ενισχύει τη λογική επιλογής των υποδειγμάτων GARCH.



Σχήμα 1: Ημερήσιες αποδόσεις (log-returns) των τραπεζικών μετοχών για την περίοδο 2007–2024

Τα διαγράμματα επιβεβαιώνουν την ύπαρξη μεταβλητότητας σε συστάδες, ενώ εντοπίζονται έντονες αυξομειώσεις στις αποδόσεις, ειδικά κατά τις περιόδους κρίσης (2008–2009, 2010–2012, 2020, 2022–2023). Οι παρατηρήσεις αυτές ερμηνεύονται περαιτέρω στις επόμενες ενότητες μέσω της εφαρμογής υποδειγμάτων υπό συνθήκη διακύμανσης.

4.2 Έλεγχος ARCH και Διαγνωστική Επισκόπηση

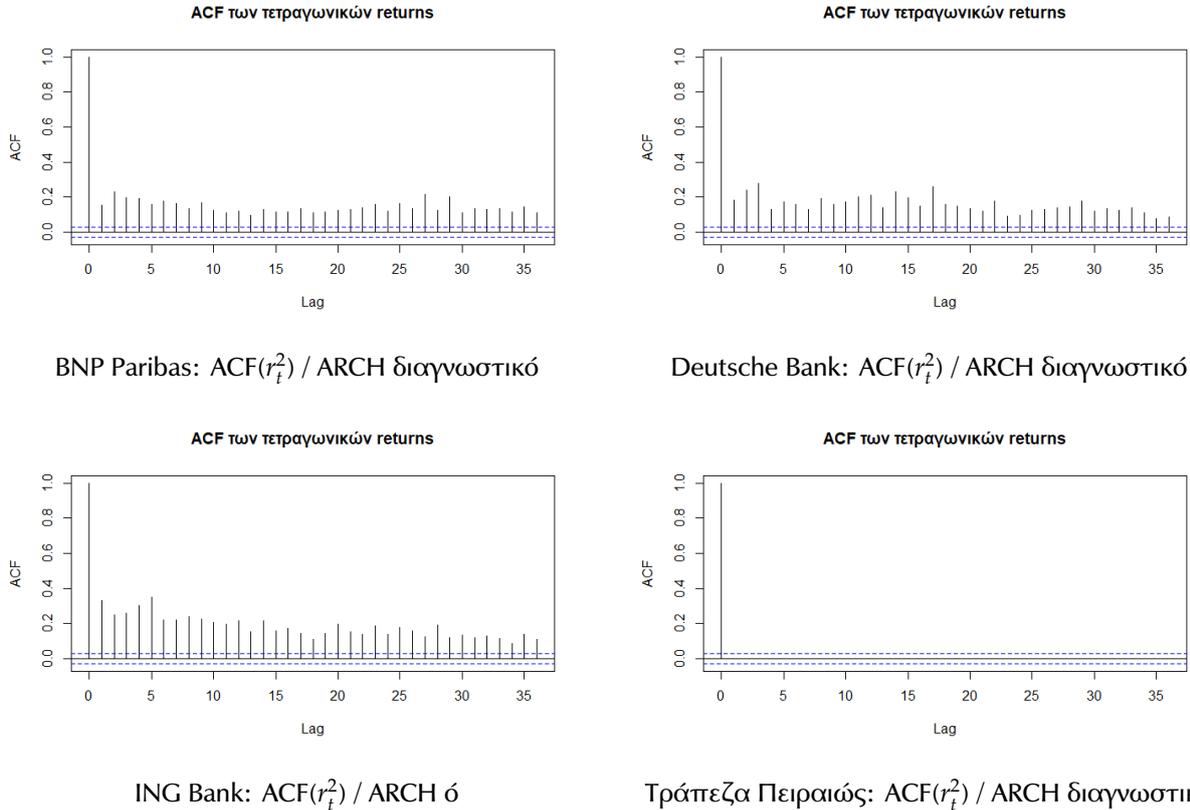
Για να διερευνηθεί η ύπαρξη υπό συνθήκη ετεροσκεδαστικότητας (*conditional heteroskedasticity*) στις αποδόσεις, εφαρμόστηκε ο έλεγχος **ARCH LM** (Engle, 1982) στις χρονοσειρές των log-returns για κάθε μετοχή. Η μηδενική υπόθεση του ελέγχου είναι ότι δεν υπάρχουν ARCH φαινόμενα (σταθερή υπό συνθήκη διακύμανση). Η απόρριψη της μηδενικής υπόθεσης συνεπάγεται ότι τα τετράγωνα των καταλοίπων εμφανίζουν αυτοσυσχέτιση, άρα είναι κατάλληλη η εφαρμογή υποδειγμάτων της οικογένειας GARCH.

Πίνακας 7: Αποτελέσματα ελέγχου ARCH LM στις αποδόσεις (lags = 5)

Μετοχή	ARCH LM statistic	p-value
BNP Paribas	480.48	< 0.001
Deutsche Bank	578.37	< 0.001
ING Bank	4353.10	< 0.001
Πειραιώς	0.013	≈ 1.000

Σημ.: Η μηδενική υπόθεση είναι 'χωρίς ARCH effect'. Τα πολύ μικρά p-values οδηγούν σε απόρριψη, εκτός της Πειραιώς. Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα σε R.

Παράλληλα, εξετάστηκαν οι συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης των τετραγώνων των αποδόσεων $ACF(r_t^2)$, ως οπτικός έλεγχος για πιθανές εξαρτήσεις σε υψηλά χρονικά υστερήματα. Τα διαγράμματα καταδεικνύουν σαφείς ενδείξεις αυτοσυσχέτισης για τις μετοχές του ευρωπαϊκού πυρήνα (BNP, DEU, ING), ενώ για την Πειραιώς δεν εντοπίζεται σημαντική δομή, στοιχείο που συμφωνεί με τον ARCH έλεγχο.



Σχήμα 2: Διαγνωστικά διαγράμματα ACF των τετραγώνων αποδόσεων και ARCH ενδείξεων

Τα παραπάνω ευρήματα τεκμηριώνουν τη μετάβαση στην εκτίμηση υποδειγμάτων GARCH για τις μετοχές BNP Paribas, Deutsche Bank ING Bank, ενώ η Πειραιώς διατηρείται ως ομάδα ελέγχου χωρίς μοντελοποίηση υπό συνθήκη διακύμανσης. Στην επόμενη υποενοότητα εκτιμώνται τα μοντέλα **GARCH(1,1)** και **EGARCH(1,1)**, πραγματοποιούνται διαγνωστικοί έλεγχοι στα κατάλοιπα, και συγκρίνονται τα υποδείγματα με βάση κριτήρια πληροφόρησης (AIC, BIC), καθώς και με οπτική αξιολόγηση των σειρών μεταβλητότητας.

4.3 Εκτίμηση Υποδειγμάτων (GARCH vs EGARCH), Σύγκριση και Μεταβλητότητα

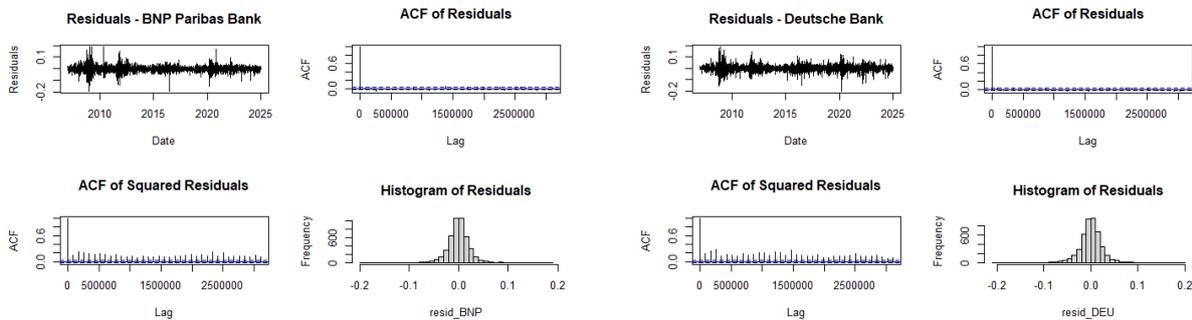
Μετά την τεκμηρίωση της ύπαρξης ARCH effect (βλ. 4.2), εκτιμήθηκαν αρχικά συμμετρικά υποδείγματα **GARCH(1,1)** στις μετοχές BNP Paribas, Deutsche Bank ING Bank. Κατόπιν διαγνωστικών ελέγχων (υπολειπόμενη ετεροσκεδαστικότητα και ασυμμετρία), εκτιμήθηκαν και ασύμμετρα υποδείγματα **EGARCH(1,1)**. Η Τράπεζα Πειραιώς διατηρήθηκε ως *control group* (χωρίς GARCH), αλλά περιλαμβάνεται στις οπτικοποιήσεις για αναφορά.

Πίνακας 8: Σύγκριση AIC υποδειγμάτων GARCH και EGARCH ανά μετοχή

Μετοχή	AIC (GARCH)	AIC (EGARCH)	Τελική επιλογή
BNP Paribas	-4.9704	-4.9894	EGARCH(1,1)
Deutsche Bank	-4.8973	-4.9252	EGARCH(1,1)
ING Bank	-4.7116	-4.7239	EGARCH(1,1)
Πειραιώς	-	-	Χωρίς GARCH

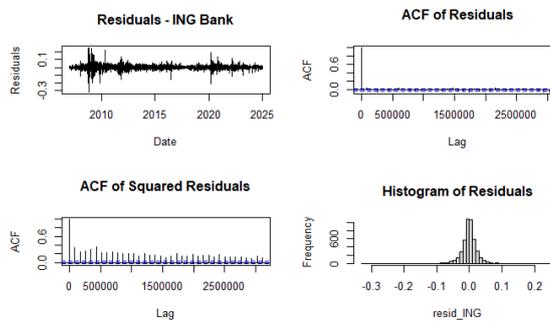
Σημ.: Επιλογή βάσει χαμηλότερου AIC και διαγνωστικών ελέγχων στα κατάλοιπα. Πηγή: Υπολογισμοί του συγγραφέα σε R.

Υπό συνθήκη διακύμανση από GARCH(1,1). Παρουσιάζονται οι σειρές υπό συνθήκη διακύμανσης που προέκυψαν από τα μοντέλα GARCH(1,1) σε διάταξη 2x2. Για την Πειραιώς (control) δεν εκτιμήθηκε GARCH· παρατίθεται πλαίσιο ένδειξης.



BNP Paribas | GARCH(1,1) volatility

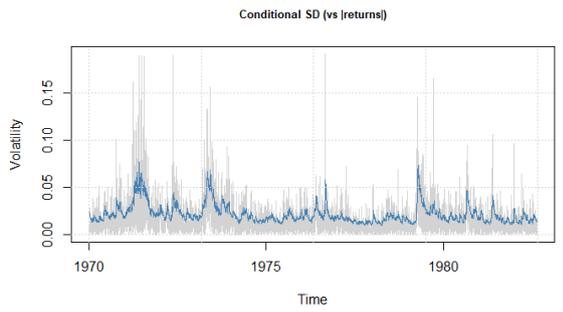
Deutsche Bank | GARCH(1,1) volatility



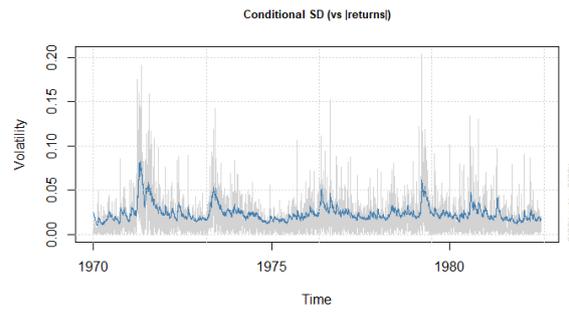
ING Bank | GARCH(1,1) volatility

Σχήμα 3: Υπό συνθήκη διακύμανση από GARCH(1,1) για BNP, DEU, ING και Πειραιώς (ως control) όπου δεν εκτιμήθηκε GARCH(1,1) .

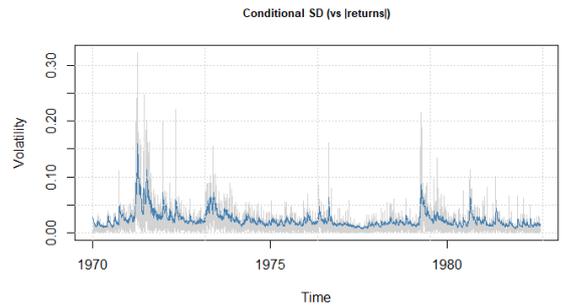
Υπό συνθήκη διακύμανση από EGARCH(1,1) – σ_t (sigma plots). Ακολουθούν τα **sigma plots** που προέκυψαν από τη συνάρτηση `sigma()` των τελικών EGARCH(1,1) υποδειγμάτων.



BNP Paribas — σ_t (EGARCH)



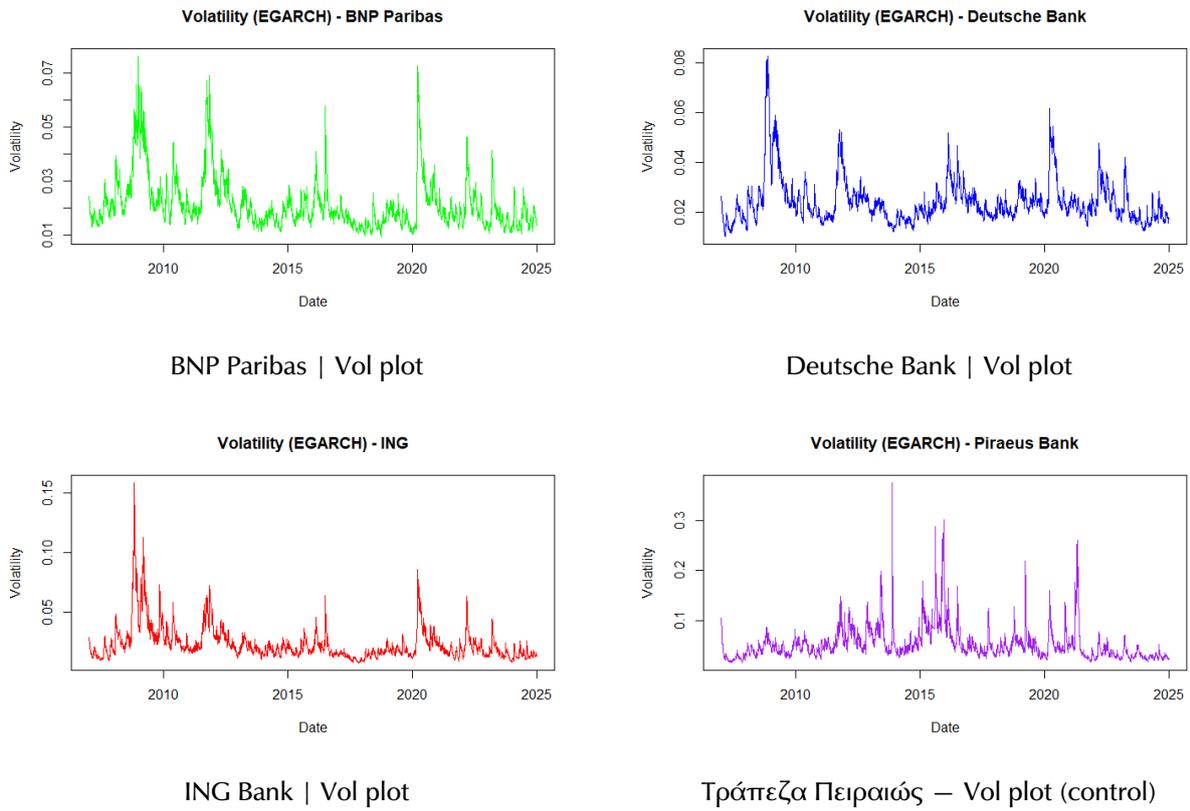
Deutsche Bank — σ_t (EGARCH)



ING Bank — σ_t (EGARCH)

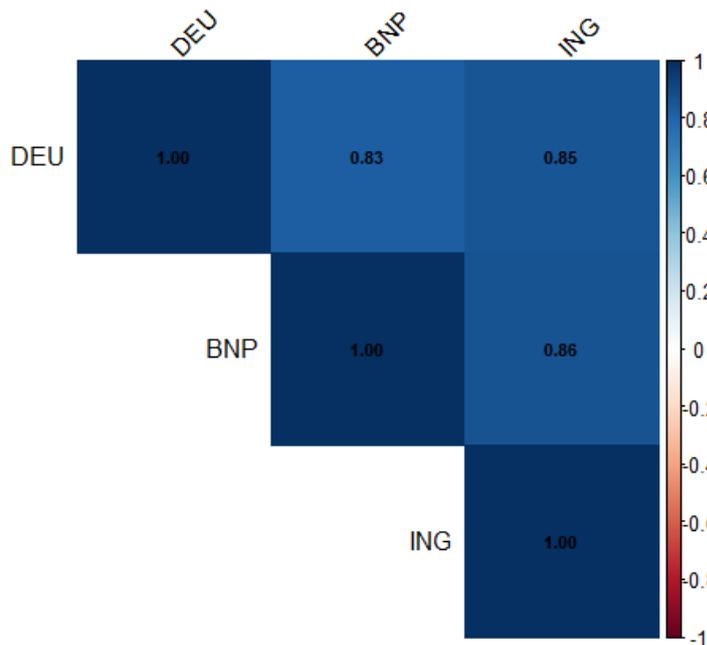
Σχήμα 4: Εκτιμώμενη υπό συνθήκη διακύμανση σ_t από EGARCH(1,1) για BNP, DEU, ING. Δεν εκτιμήθηκε σιγμα για την Τράπεζα Πειραιώς.

Volatility plots από τα μοντέλα — εναλλακτική απεικόνιση. Παρατίθεται και το σετ *vol plots* όπως εξήχθησαν από τα scripts (εναλλακτική οπτική των ίδιων εκτιμήσεων), σε ενιαία διάταξη 2x2.



Σχήμα 5: Volatility plots από τα τελικά υποδείγματα ανά μετοχή (εναλλακτική απεικόνιση).

Συγκριτική οπτικοποίηση (overlay). Για τη συνολική αποτύπωση της σχετικής έντασης και συγχρονισμού των κορυφώσεων μεταβλητότητας, παρατίθεται overlay όλων των σειρών.



Σχήμα 6: Συγκριτική απεικόνιση μεταβλητότητας (overlay): BNP, DEU, ING.

Συνολικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι τα υποδείγματα **EGARCH(1,1)** αποτυπώνουν πληρέστερα τη δυναμική της υπό συνθήκη διακύμανσης (ιδίως τις ασυμμετρίες), με βελτιωμένα κριτήρια AIC και χωρίς υπολειπόμενο ARCH στα κατάλοιπα. Η Πειραιώς λειτουργεί ως σημείο ελέγχου, επιτρέποντας αποτίμηση της σχετικής έντασης μεταβλητότητας έναντι του ευρωπαϊκού πυρήνα.

4.4 Πολυμεταβλητά Υποδείγματα: DCC

Στην προηγούμενη ενότητα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα των μονομεταβλητών υποδειγμάτων GARCH και EGARCH για κάθε τράπεζα ξεχωριστά. Ωστόσο, για να μετρηθεί η δυναμική αλληλεπίδραση μεταξύ των τραπεζικών μετοχών (και ειδικότερα ο τρόπος με τον οποίο η μεταβλητότητα και οι αποδόσεις συγκλίνουν ή αποκλίνουν σε περιόδους κρίσης), απαιτούνται πολυμεταβλητικές προσεγγίσεις.

Στο παρόν υποκεφάλαιο εφαρμόζεται μια συμπληρωματική προσέγγιση: το Dynamic Conditional Correlation (DCC) των Engle (2002), το οποίο επιτρέπει την εκτίμηση χρονικά μεταβαλλόμενων συσχετίσεων μεταξύ ζευγών αποδόσεων. Τα DCC αποτελούν ένα ευέλικτο εργαλείο για την απεικόνιση διαχρονικών ρ_T .

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζονται (α) τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εκτίμησης που ακολουθήθηκε, (β) τα κύρια αποτελέσματα σε μορφή γραφημάτων (DCC ρ_T , H_T), και (γ) συνοπτικός πίνακας με τις βασικές στατιστικές παραμέτρους/κρίσιμα μέτρα (AIC/LLH όπου διατίθενται). Τα γραφήματα που συνοδεύουν την ανάλυση αποθηκεύτηκαν ως εικόνες (π.χ. `dcc_pir_bnp.png`, `bekk_pir_bnp.png`) και έχουν ενσωματωθεί στην τελική παρουσίαση της ενότητας.

4.4.1 DCC(1,1): Δυναμική Υπό-Συνθήκη Συσχέτιση

Το Dynamic Conditional Correlation (DCC) μοντέλο παρέχει μια ευέλικτη προσέγγιση για την εκτίμηση χρονικά μεταβαλλόμενων συντελεστών συσχέτισης μεταξύ χρηματοοικονομικών αποδόσεων. Η βασική ιδέα είναι διπλή: πρώτον, εκτιμώνται μονομεταβλητά GARCH υποδείγματα για κάθε σειρά ώστε να εξαχθούν οι υπό-συνθήκη διακυμάνσεις, και δεύτερον, χρησιμοποιώντας τα *standardized residuals*, εκτιμάται μια χρονικά μεταβαλλόμενη δομή συνεξαρτήσεων R_t . Στο DCC(1,1) η δυναμική του μη παραμετροποιημένου πίνακα Q_t δίνεται από

$$Q_t = (1 - a - b)\bar{Q} + a z_{t-1} z'_{t-1} + b Q_{t-1},$$

όπου a (Alpha) αποτυπώνει την άμεση αντίδραση σε νέα shocks, b (Βετα) την επιμονή, και \bar{Q} την μη-υπό-συνθήκη συνδιακύμανση των *standardized residuals*. Η υπό-συνθήκη συσχέτιση R_t προκύπτει κανονικοποιώντας τον Q_t .

Προδιαγραφές εκτίμησης. Για κάθε ζεύγος τραπεζικών μετοχών εκτιμήθηκε DCC(1,1) με μονομεταβλητά sGARCH(1,1) στο πρώτο στάδιο. Όπου υπήρχε ένδειξη ουρών, υιο-

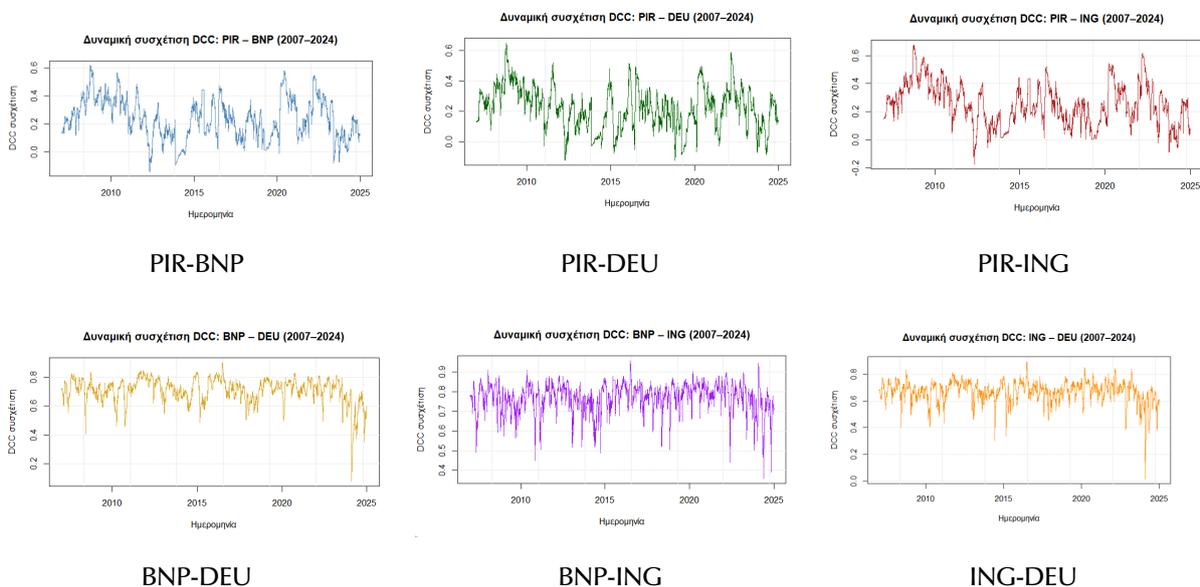
θετήθηκε Student-t κατανομή για τα residuals. Η ανάλυση έγινε με ημερήσια δεδομένα στο κοινό δείγμα κάθε ζεύγους και σε περίπτωση μη-συγκλίσεων χρησιμοποιήθηκε η διαδικασία lock-multifit ή εκτιμήσεις σε υποπεριόδους ως robustness check.

Σχόλιο στα αποτελέσματα. Από τον Πίνακα προκύπτουν σαφείς ενδείξεις υψηλής persistence (αθροιστικά $\alpha + \beta$ κοντά στο 1) για τα περισσότερα ζεύγη, πράγμα που υποδηλώνει ότι οι αλλαγές στη δυναμική συσχέτιση διατηρούνται διαχρονικά και δεν εξασθενούν άμεσα. Τα ζεύγη που περιλαμβάνουν την Πειραιώς (PIR_BNP, PIR_ING, PIR_DEU) εμφανίζουν ιδιαίτερα υψηλές τιμές persistence (≈ 0.997), *poushmaneirwcoisoksthsusqtishqounmakrdirkeia, pijanclgw*

Τα ζεύγη μεταξύ των μεγάλων ευρωπαϊκών τραπεζών (BNP_ING, BNP_DEU, ING_DEU) παρουσιάζουν επίσης υψηλή persistence αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μικρότερη από τα PIR ζεύγη (π.χ. BNP_ING: 0.9472), υποδεικνύοντας ταχύτερη προσαρμογή της συσχέτισης σε νέες πληροφορίες σε σχέση με τα PIR ζεύγη. Επιπλέον, η σχετικά υψηλότερη τιμή Alpha στο BNP_ING (0.0485) δηλώνει μεγαλύτερη ευαισθησία στις βραχυχρόνιες διακυμάνσεις για αυτό το ζεύγος.

Οι LogLik και AIC που παρατίθενται προσφέρουν συγκριτική εικόνα ποιότητας προσαρμογής μεταξύ ζευγών, οι πιο υψηλοί (λιγότερο αρνητικοί) LogLik/χαμηλότεροι AIC υποδηλώνουν καλύτερη προσαρμογή του μοντέλου στο εκάστοτε ζεύγος δεδομένων (στα πλαίσια της ίδιας προδιαγραφής).

Οπτικοποίηση . Παρακάτω ενσωματώνονται τα έξι DCC plots για τα αντίστοιχα ζεύγη.



Σχήμα 11: DCC(1,1) δυναμικές συσχετίσεις ρ_t για όλα τα ζεύγη του δείγματος.

Συνοπτικό συμπέρασμα. Τα DCC αποτελέσματα υποστηρίζουν την ύπαρξη ισχυρής, χρονικά μεταβαλλόμενης διασύνδεσης μεταξύ των ευρωπαϊκών τραπεζών, ενώ τα ζεύγη με την Πειραιώς εμφανίζουν γενικά χαμηλότερα επίπεδα μέσης συσχέτισης αλλά μεγαλύτερη επιμονή στις αποκλίσεις. Τα

γραφήματα (Σχήμα 7.) που συνοδεύουν την ενότητα επιβεβαιώνουν ότι οι αιχμές στις συσχετίσεις συμπίπτουν χρονικά με γνωστές περιόδους χρηματοοικονομικής πίεσης (2008, 2010–2012, 2020), ένδειξη contagion/flight-to-correlation.

Στο αμέσως επόμενο υποκεφάλαιο (4.4.2) παρουσιάζονται τα Z-Scores αποτελέσματα.

4.4.2 Διαγνωστική Ανάλυση μέσω Z-Scores

Η αξιολόγηση της επάρκειας και της σταθερότητας των υποδειγμάτων DCC και BEKK απαιτεί τη διαγνωστική εξέταση των καταλοίπων (*residuals*) τους. Για τον σκοπό αυτό, υπολογίστηκαν τα Z-scores, τα οποία αποτελούν κανονικοποιημένες τιμές των υπολοίπων ως προς τη μεταβλητότητα κάθε περιόδου, δηλαδή:

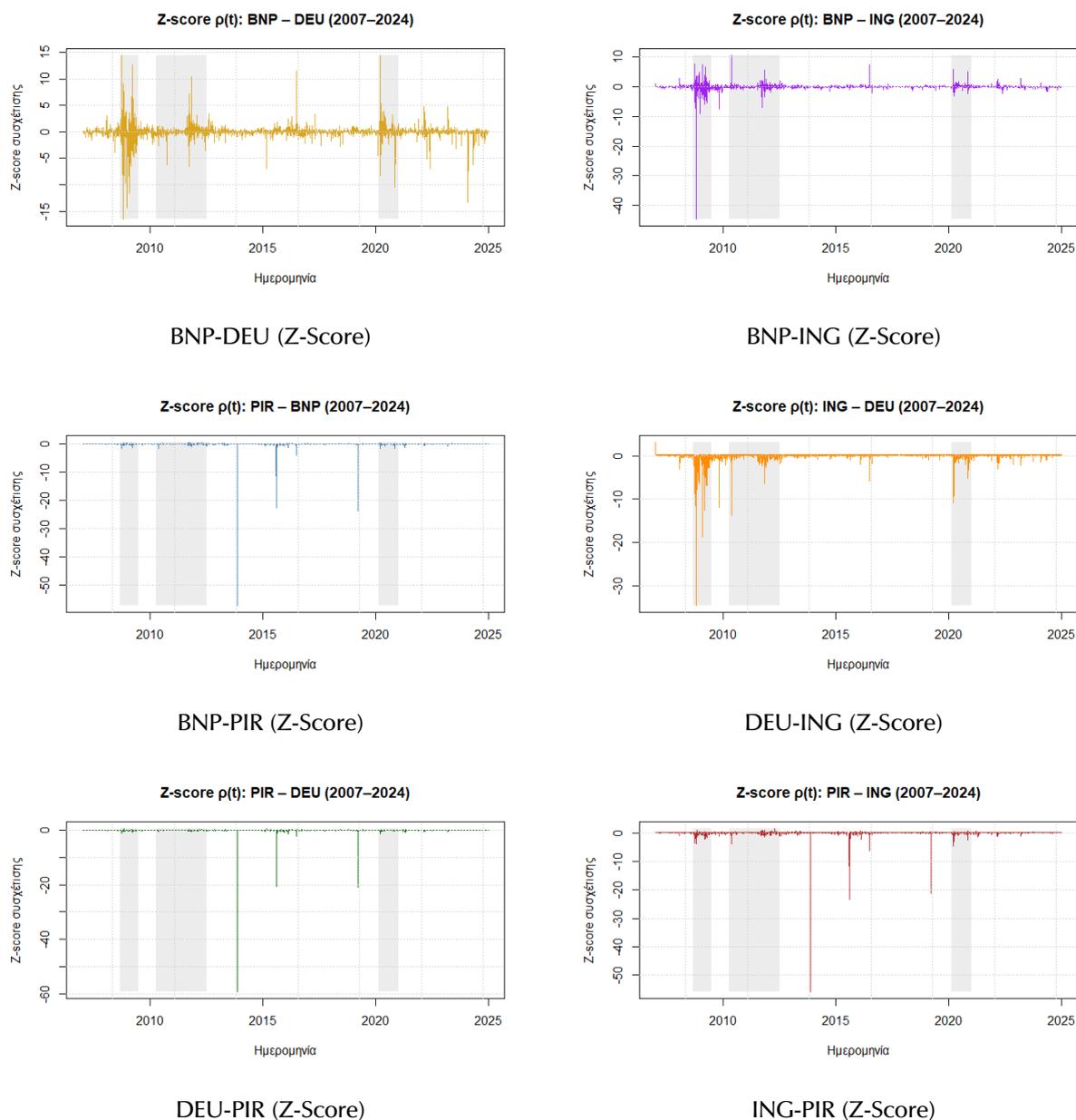
$$z_t = \frac{\varepsilon_t}{\sigma_t}$$

όπου ε_t είναι τα υπόλοιπα από τα μοντέλα και σ_t η αντίστοιχη υπό συνθήκη τυπική απόκλιση. Οι Z-scores επιτρέπουν την οπτική και ποσοτική εκτίμηση τυχόν ακραίων παρατηρήσεων, την επάρκεια της υπόθεσης κανονικότητας και τη διαπίστωση ύπαρξης συστηματικών αποκλίσεων.

Η συμπεριφορά τους σε σχέση με το μηδενικό επίπεδο αποτελεί σημαντικό κριτήριο για την ποιότητα προσαρμογής των υποδειγμάτων GARCH, καθώς ένα καλά προσαρμοσμένο μοντέλο θα πρέπει να παράγει υπόλοιπα χωρίς πρόδηλη αυτοσυσχέτιση και με σταθερή διακύμανση.

—

Διαγράμματα Z-Scores Ακολουθούν τα διαγράμματα των κανονικοποιημένων καταλοίπων για κάθε ζεύγος τραπεζικών αποδόσεων. Η διάταξη 2×3 επιτρέπει τη σύγκριση των προτύπων και την αναγνώριση πιθανών αποκλίσεων:



Σχήμα 12: Κανονικοποιημένα υπόλοιπα (Z-scores) από τα πολυμεταβλητά υποδείγματα για όλα τα ζεύγη τραπεζών.

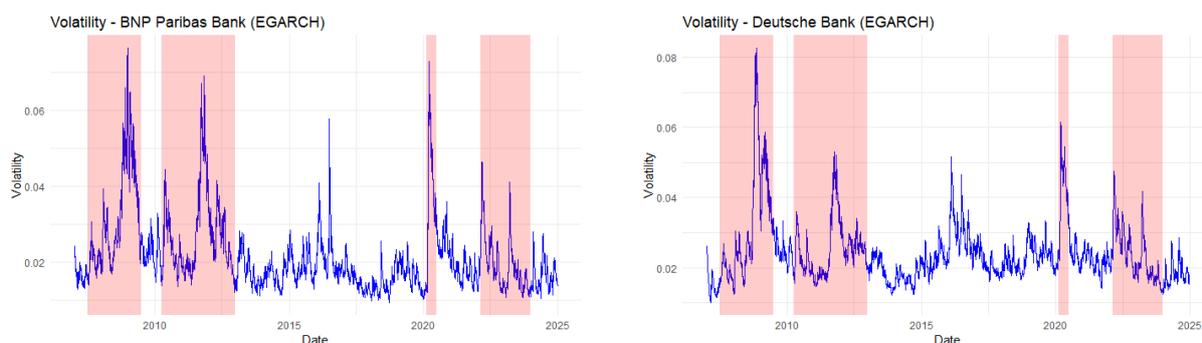
Σχολιασμός των αποτελεσμάτων των Z-Scores Η διαγνωστική ανάλυση δείχνει ότι τα περισσότερα ζεύγη παρουσιάζουν καταλοίπα συγκεντρωμένα γύρω από το μηδέν, χωρίς ενδείξεις αυτοσυσχέτισης ή ετεροσκεδαστικότητας, γεγονός που ενισχύει την καταλληλότητα των υποδειγμάτων DCC και BEKK. Οι παρατηρούμενες εξάρσεις αντιστοιχούν κυρίως σε περιόδους έντονης χρηματοπιστωτικής μεταβλητότητας, όπως οι φάσεις του European debt crisis ή η πανδημία του 2020.

Ειδικά για τα ζεύγη που περιλαμβάνουν την Piraeus Bank, τα Z-scores παρουσιάζουν αυξημένη αστάθεια, επιβεβαιώνοντας την ύπαρξη διαφοροποιημένου προφίλ κινδύνου για την ελληνική τραπεζική αγορά σε σχέση με τα μεγαλύτερα ευρωπαϊκά ιδρύματα.

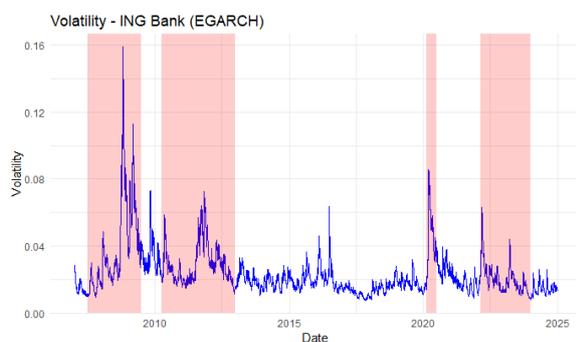
Συνολικά, τα αποτελέσματα των Z-scores υποδεικνύουν ότι τα πολυμεταβλητά υποδείγματα έχουν επιτύχει ικανοποιητική προσαρμογή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση της δυναμικής των διακυμάνσεων και συσχετίσεων μεταξύ των τραπεζών.

4.5 Ανάλυση Μεταβλητότητας σε Περιόδους Κρίσης και Συσχετίσεις

Στο παρόν τμήμα εξετάζεται η συμπεριφορά της υπό συνθήκη μεταβλητότητας κατά διακριτές περιόδους συστημικής αναταραχής και διερευνάται η διασύνδεση μεταξύ τραπεζικών μετοχών μέσω στατικών συσχετίσεων. Εστιάζουμε σε τέσσερις βασικές ζώνες κρίσης: (α) **2007–2009** (παγκόσμια χρηματοπιστωτική κρίση), (β) **2010–2012** (κρίση χρέους Ευρωζώνης), (γ) **2020** (πανδημία COVID-19), και (δ) **2022–2023** (γεωπολιτικές εντάσεις/ενεργειακό σοκ). Τα διαγράμματα που ακολουθούν αποτυπώνουν τις κορυφώσεις και την επιμονή της μεταβλητότητας στα τελικά EGARCH υποδείγματα ανά μετοχή, με οπτική επισήμανση (σκίαση) των παραθύρων κρίσης.



BNP Paribas — EGARCH σ_t με σκιασμένες περιόδους κρίσης Deutsche Bank — EGARCH σ_t με σκιασμένες περιόδους κρίσης



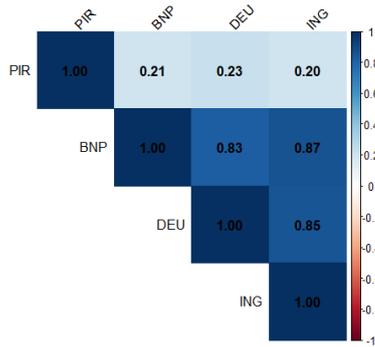
ING Bank — EGARCH σ_t με σκιασμένες περιόδους κρίσης

Περίοδος	Παράθυρο
Παγκόσμια κρίση	2007–2009
Κρίση Ευρωζώνης	2010–2012
COVID-19	2020
Ενεργειακό/Γεωπ. σοκ	2022–2023

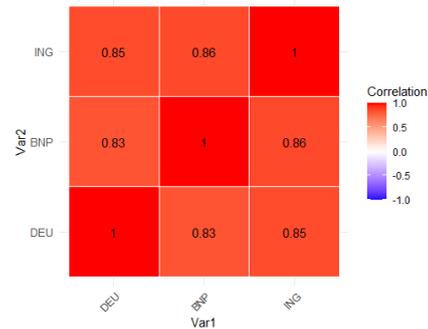
Χρονικά παράθυρα ανάλυσης

Σχήμα 13: Μεταβλητότητα EGARCH (σ_t) σε περιόδους κρίσης για BNP, Deutsche Bank, ING. Οι σκιασμένες ζώνες υποδηλώνουν τα προκαθορισμένα παράθυρα κρίσης.

Πέραν της ενδοσειριακής συμπεριφοράς, αξιολογείται η **διασύνδεση** μεταξύ των μετοχών μέσω στατικών συσχετίσεων. Η παρουσία υψηλών συσχετίσεων σε περιόδους κρίσης συνάδει με φαινόμενα μετάδοσης κινδύνου και υποβάθμιση της διαφοροποίησης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται: (α) heatmap συσχετίσεων για το πλήρες δείγμα, και (β) συνοπτικό διάγραμμα συσχετίσεων (correlogram/matrix) για οπτική επιβεβαίωση.



Correlation heatmap (πλήρες δείγμα)



Correlation plot (στατική συσχέτιση)

Σχήμα 14: Στατική συσχέτιση μεταξύ τραπεζικών μετοχών: heatmap και συνοπτικό διάγραμμα.

Οι οπτικοποιήσεις καταδεικνύουν **ενίσχυση συσχέτισης** ανάμεσα στις ευρωπαϊκές τράπεζες (ιδίως BNP–DEU) σε σύγκριση με την περίπτωση της Πειραιώς, η οποία λειτουργεί ως *control* με διαφοροποιημένη δυναμική. Το εύρημα συμβαδίζει με τη θεωρία για αύξηση της συστημικής συνάφειας υπό καθεστώς υψηλής αβεβαιότητας. Σε συνδυασμό με τις κορυφώσεις της μεταβλητότητας (βλ. ανωτέρω), υποστηρίζεται ότι οι κρίσεις συνοδεύονται από **συγχρονισμένες αιχμές** στη διακύμανση και **συγκλίνουσες συσχετίσεις**, περιορίζοντας τα οφέλη διαφοροποίησης.

Σύνδεση με προγενέστερα ευρήματα. Οι αιχμές που επισημάνθηκαν στο overlay της ενότητας 4.3 χρονικά συμπίπτουν με τις σκιασμένες ζώνες κρίσης και συνοδεύονται από **υψηλότερες συσχετίσεις**. Το αποτέλεσμα είναι συνεπές με τη βιβλιογραφία για *time-varying correlations* και *flight-to-quality* συμπεριφορές, παρέχοντας ισχυρό υπόβαθρο για τη συζήτηση πολιτικής και διαχείρισης κινδύνου στο τελικό κεφάλαιο.

Σύνοψη ευρημάτων Κεφαλαίου 4. Το τέταρτο κεφάλαιο επικεντρώθηκε στην εμπειρική διερεύνηση της μεταβλητότητας των αποδόσεων τραπεζικών μετοχών και στη δυναμική των σχέσεων μεταξύ τους, αξιοποιώντας μονομεταβλητά και πολυμεταβλητά υποδείγματα GARCH. Η ανάλυση ξεκίνησε με τα υποδείγματα ARCH και GARCH, τα οποία επέτρεψαν την εκτίμηση της υπό συνθήκη διακύμανσης για κάθε τράπεζα ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν υψηλότερη μεταβλητότητα για την Piraeus Bank και την Deutsche Bank, γεγονός που αντανακλά την αυξημένη έκθεση αυτών των ιδρυμάτων σε περιόδους χρηματοοικονομικών κρίσεων.

Στη συνέχεια, η χρήση του υποδείγματος EGARCH επέτρεψε την αποτύπωση ασυμμετριών στην αντίδραση της μεταβλητότητας απέναντι σε θετικά και αρνητικά σοκ. Η ύπαρξη στατιστικά σημαντικών παραμέτρων ασυμμετρίας επιβεβαίωσε το φαινόμενο της «αρνητικής μόχλευσης», δηλαδή τη μεγαλύτερη ευαισθησία της μεταβλητότητας σε αρνητικές μεταβολές των αποδόσεων. Οι γραφικές απεικονίσεις (volatility plots και σ_t -plots) ανέδειξαν τη διαχρονική εξέλιξη της διακύμανσης και τη σύμπτωση κορυφώσεων με γεγονότα όπως η ευρωπαϊκή κρίση χρέους και η πανδημία.

Η εμπειρική προσέγγιση επεκτάθηκε στη μελέτη της συνδιακύμανσης μεταξύ τραπεζικών μετοχών μέσω των πολυμεταβλητών υποδειγμάτων DCC-GARCH. Το DCC-GARCH κατέδειξε τη δυναμική φύση των συσχετίσεων, με τις τιμές τους να αυξάνονται σημαντικά σε περιόδους συστημικού κινδύνου,

υποδεικνύοντας μετάδοση κρίσεων μεταξύ ευρωπαϊκών και ελληνικών τραπεζών, επιβεβαιώνοντας τη σημαντική στατιστική συσχέτιση μεταξύ των αποδόσεων της BNP Paribas, της Deutsche Bank και της ING Bank.

Η διαγνωστική ανάλυση μέσω Z-scores επιβεβαίωσε την καλή προσαρμογή των υποδειγμάτων, με τα υπόλοιπα να παρουσιάζουν περιορισμένες αποκλίσεις από την κανονικότητα και απουσία αυτοσυσχέτισης. Μικρές εξάρσεις στις σειρές εντοπίζονται κυρίως κατά τη διάρκεια έντονων χρηματοπιστωτικών αναταράξεων, επιβεβαιώνοντας τη λειτουργικότητα των υποδειγμάτων σε συνθήκες αυξημένης αστάθειας.

Συνολικά, το κεφάλαιο αυτό ανέδειξε τη χρησιμότητα των GARCH-τύπου υποδειγμάτων στην αποτύπωση και πρόβλεψη της μεταβλητότητας των τραπεζικών αποδόσεων, καθώς και στη διερεύνηση των σχέσεων συνδιακύμανσης. Η ολοκληρωμένη εφαρμογή από τα μονομεταβλητά έως τα πολυμεταβλητά υποδείγματα παρέχει μια συνεκτική εικόνα της δυναμικής αλληλεξάρτησης των ευρωπαϊκών και ελληνικών τραπεζών, προετοιμάζοντας το έδαφος για τα συμπεράσματα και τις πολιτικές προεκτάσεις που εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 5 – Συμπεράσματα και Συζήτηση Αποτελεσμάτων

5.1 Ανακεφαλαίωση Κυριότερων Ευρημάτων

Η εμπειρική ανάλυση που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο επικεντρώθηκε στη μελέτη της υπό συνθήκη διακύμανσης τραπεζικών μετοχών στην Ευρωπαϊκή Ένωση, μέσω της εφαρμογής συμμετρικών και ασύμμετρων υποδειγμάτων μεταβλητότητας. Πιο συγκεκριμένα, υιοθετήθηκαν τα υποδείγματα GARCH(1,1) και EGARCH(1,1), προκειμένου να καταγραφεί η δυναμική της μεταβλητότητας στο χρόνο, καθώς και η συμπεριφορά των μετοχών σε περιόδους χρηματοοικονομικής αστάθειας.

Η αρχική εφαρμογή του ARCH LM test έδειξε στατιστικά σημαντικά ευρήματα για την ύπαρξη φαινόμενων ετεροσκεδαστικότητας στις μετοχές της BNP Paribas, της Deutsche Bank και της ING Bank, καθιστώντας σκόπιμη την εφαρμογή υποδειγμάτων GARCH. Αντίθετα, η μετοχή της Τράπεζας Πειραιώς δεν παρουσίασε σημαντικά ARCH effects και επιλέχθηκε ως πλαίσιο σύγκρισης (*control group*) για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Κατά την εκτίμηση των συμμετρικών υποδειγμάτων GARCH(1,1), παρατηρήθηκαν ενδείξεις υπολειπόμενης ετεροσκεδαστικότητας και ασυμμετρίας, γεγονός που οδήγησε στη μετάβαση σε ασύμμετρα υποδείγματα EGARCH(1,1). Η συγκριτική αξιολόγηση με βάση το Akaike Information Criterion (AIC) επιβεβαίωσε την υπεροχή των υποδειγμάτων EGARCH και κατέδειξε την ικανότητά τους να αποτυπώσουν καλύτερα την ασυμμετρία των αποδόσεων και την επιμονή της μεταβλητότητας, ιδίως σε περιόδους κρίσεων.

Τα διαγράμματα της εκτιμώμενης μεταβλητότητας από τα υποδείγματα EGARCH, καθώς και τα overlay συγκριτικά διαγράμματα, ανέδειξαν έντονες αιχμές μεταβλητότητας κατά τις χρονικές περιόδους 2007–2009, 2010–2012, 2020 και 2022–2023, γεγονός που συνάδει με την ύπαρξη καθεστώτων υψηλής αβεβαιότητας. Παράλληλα, η ένταση της μεταβλητότητας διαφοροποιείται ανάμεσα στις μετοχές, με τις μεγάλες ευρωπαϊκές τράπεζες να εμφανίζουν ισχυρότερες και πιο επίμονες κορυφώσεις σε σχέση με την Τράπεζα Πειραιώς, η οποία διατήρησε σχετικά πιο ήπιο προφίλ αστάθειας.

Συνολικά, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι τα υποδείγματα EGARCH αποτυπώνουν πιο ρεαλιστικά τη χρονική ασυμμετρία και τη δυναμική της διακύμανσης, ενώ επιβεβαιώνεται ότι οι περίοδοι κρίσεων συνοδεύονται από σημαντική αύξηση της μεταβλητότητας, με διαφορές έντασης και χρονισμού ανά μετοχή. Το εύρημα αυτό ενισχύεται και από τη στατιστική σύγκριση των μοντέλων και των AIC τιμών, καθώς και από την απουσία υπολειπόμενης ετεροσκεδαστικότητας στα κατάλοιπα των EGARCH υποδειγμάτων.

Η χρήση της Τράπεζας Πειραιώς ως σημείο αναφοράς λειτούργησε υποστηρικτικά στην κατανόηση των διαφορών που καταγράφονται μεταξύ ελληνικών και ευρωπαϊκών τραπεζών, αποτυπώνοντας με έμμεσο τρόπο τη διαφορετική χρηματοοικονομική πραγματικότητα και το επίπεδο ενσωμάτωσης στις διεθνείς αγορές.

Τέλος, η ανάλυση συμπληρώθηκε με πολυμεταβλητά υποδείγματα τύπου DCC-GARCH, το οποίο επέτρεψε τη διερεύνηση της δυναμικής συσχέτισης και της συνδιακύμανσης μεταξύ των τραπεζών.

5.2 Ερμηνεία Μεταβλητότητας ανά Περίοδο Κρίσης

Ερμηνεία περιγραφικών στατιστικών και ευρημάτων μοντελοποίησης. Πριν από την ανάλυση των περιόδων κρίσης, αξίζει να αναφερθούν ορισμένα ευρήματα που προέκυψαν από την περιγραφική στατιστική επεξεργασία των αποδόσεων, καθώς και από τα διαγνωστικά τεστ που εφαρμόστηκαν κατά την εκτίμηση των υποδειγμάτων. Οι αποδόσεις των τραπεζικών μετοχών παρουσίασαν σημαντική απόκλιση από την κανονικότητα, με χαρακτηριστικά όπως η αρνητική *skewness*, που υποδηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης αρνητικών αποδόσεων, και η υψηλή *kurtosis*, η οποία αντανακλά χοντρές ουρές και συχνές εξάρσεις μεταβλητότητας (*volatility clustering*). Τα χαρακτηριστικά αυτά συνάδουν με τη συμπεριφορά των χρηματοοικονομικών χρονοσειρών και υποδεικνύουν την ανάγκη για εφαρμογή υποδειγμάτων τύπου GARCH.

Η εφαρμογή του ARCH LM test επιβεβαίωσε την ύπαρξη σημαντικής ετεροσκεδαστικότητας στις τρεις μεγάλες ευρωπαϊκές τράπεζες, με σχεδόν μηδενικά *p-values*, γεγονός που δικαιολόγησε την αρχική εκτίμηση GARCH(1,1). Αντιθέτως, για την Τράπεζα Πειραιώς δεν εντοπίστηκαν στατιστικά σημαντικά ARCH effects, με αποτέλεσμα να λειτουργήσει ως σημείο ελέγχου για τα υπόλοιπα ευρήματα.

Μετά την εκτίμηση των υποδειγμάτων GARCH, η αξιολόγηση της ποιότητας προσαρμογής μέσω του Akaike Information Criterion (AIC) και ο έλεγχος των καταλοίπων έδειξαν ότι τα συμμετρικά υποδείγματα δεν κατέγραφαν ικανοποιητικά την ασυμμετρία και τα έντονα *volatility spikes*. Η υιοθέτηση των ασύμμετρων υποδειγμάτων EGARCH(1,1) οδήγησε σε καλύτερη αποτύπωση των μεταβολών, χαμηλότερες τιμές AIC και καταλείμματα με τυχαία συμπεριφορά, όπως επιβεβαιώθηκε από την ACF, τη squared ACF και τα ιστογράμματα καταλοίπων.

Τα ευρήματα αυτά ενισχύουν τη θέση της βιβλιογραφίας ότι τα υποδείγματα EGARCH υπερέρχουν σε περιβάλλοντα υψηλής αστάθειας και χρονικής ασυμμετρίας, ενώ παράλληλα αναδεικνύουν τη διαφορετική δυναμική της Πειραιώς ως μετοχής με περιορισμένη υπό συνθήκη μεταβλητότητα.

Ανάλυση μεταβλητότητας ανά περίοδο κρίσης. Η υπό συνθήκη διακύμανση των τραπεζικών μετοχών παρουσίασε σημαντικές διαφοροποιήσεις κατά τη διάρκεια των επιμέρους περιόδων χρηματοοικονομικής κρίσης. Η ανάλυση των διαγραμμάτων EGARCH σ_t αποκάλυψε τέσσερις διακριτές περιόδους αυξημένης μεταβλητότητας, οι οποίες συνδέθηκαν με αντίστοιχα ιστορικά γεγονότα.

2007–2009: Παγκόσμια Χρηματοπιστωτική Κρίση. Η κατάρρευση της αγοράς στεγαστικών δανείων υψηλού κινδύνου στις ΗΠΑ και η χρεοκοπία της *Lehman Brothers* οδήγησαν σε κύμα διεθνούς αβεβαιότητας. Οι μετοχές των BNP Paribas και Deutsche Bank εμφάνισαν εντονότερες κορυφώσεις μεταβλητότητας με υψηλή επιμονή, ενώ η ING Bank ακολούθησε παρόμοιο μοτίβο με μικρή χρονική απόκλιση. Η Πειραιώς παρουσίασε ηπιότερη δυναμική, όπως αναμενόταν.

2010–2012: Κρίση Δημόσιου Χρέους Ευρωζώνης. Η κρίση που ξεκίνησε από την Ελλάδα και επεκτάθηκε σε Ιρλανδία, Πορτογαλία, Ισπανία και Ιταλία προκάλεσε νέο κύμα μεταβλητότητας. Οι Deutsche Bank και ING εμφάνισαν παρατεταμένους κύκλους υψηλής διακύμανσης το 2011–2012, ενώ η BNP Paribas

παρουσίασε ηπιότερο αλλά σταθερό μοτίβο. Η διάρκεια της αστάθειας καταδεικνύει τις διαρθρωτικές αδυναμίες του ευρωπαϊκού χρηματοπιστωτικού συστήματος.

2020: Πανδημία COVID-19. Το πρώτο τρίμηνο του 2020 χαρακτηρίστηκε από απότομο και πολύ υψηλό *volatility spike* σε όλες τις ευρωπαϊκές τράπεζες. Παρά τη μεγάλη ένταση, η διάρκεια της αστάθειας ήταν σχετικά περιορισμένη, λόγω των άμεσων νομισματικών και δημοσιονομικών παρεμβάσεων. Η Πειραιώς εμφάνισε μικρότερη αντίδραση, κάτι που αποδίδεται στη χαμηλότερη διεθνή έκθεση.

2022–2023: Ενεργειακή Κρίση και Γεωπολιτικές Εντάσεις. Η ρωσική εισβολή στην Ουκρανία και η ενεργειακή κρίση προκάλεσαν νέα περίοδο αυξημένης μεταβλητότητας. Οι τιμές σ_t των ευρωπαϊκών τραπεζών σημείωσαν άνοδο με μεγαλύτερη διάρκεια αλλά ηπιότερη ένταση σε σχέση με το 2020, αντανακλώντας τις προσδοκίες για παρατεταμένα υψηλά επιτόκια, επιτοκιακό κίνδυνο και γεωπολιτική αβεβαιότητα.

Συζήτηση πολυμεταβλητής μεταβλητότητας: DCC-GARCH και BEKK. Πέρα από την ανάλυση της μεταβλητότητας σε μονομεταβλητά υποδείγματα, η διερεύνηση των πολυμεταβλητών επεκτάσεων – και συγκεκριμένα των υποδειγμάτων DCC-GARCH και BEKK-GARCH – προσφέρει ουσιαστική συμπληρωματική πληροφόρηση σχετικά με το πώς οι κρίσεις επηρεάζουν όχι μόνο κάθε τράπεζα μεμονωμένα, αλλά και το σύστημα συνολικά.

Τα αποτελέσματα του DCC-GARCH δείχνουν ότι οι χρονικά μεταβαλλόμενες συσχετίσεις παρουσιάζουν απότομη αύξηση σε περιόδους αναταραχής, φαινόμενο που αντανακλά τη σύγκλιση των κινδύνων και την ενίσχυση των διασυνδέσεων μεταξύ των μεγάλων ευρωπαϊκών τραπεζών. Κορυφώσεις στις συσχετίσεις καταγράφονται ακριβώς στις στιγμές μεγάλης αστάθειας, όπως μετά την κατάρρευση της Lehman Brothers, κατά την κρίση χρέους της Ευρωζώνης και κατά την αρχική φάση της πανδημίας COVID-19. Η συμπεριφορά αυτή υποδεικνύει ότι σε περιόδους συστημικού στρες οι αγορές τείνουν να κινούνται πιο «συγχρονισμένα», αυξάνοντας τον κίνδυνο μετάδοσης. Συμπληρωματικά, αναλύει όχι μόνο το μέγεθος αλλά και την κατεύθυνση της μετάδοσης μεταβλητότητας μεταξύ τραπεζικών μετοχών. Οι εκτιμημένες παράμετροι δείχνουν ότι τα σοκ μεταβλητότητας σε μεγάλες ευρωπαϊκές τράπεζες (όπως η BNP Paribas και η Deutsche Bank) έχουν ισχυρή επίδραση στις υπόλοιπες, επιβεβαιώνοντας την ύπαρξη δομικών αλληλεξαρτήσεων. Σε αντίθεση, η Πειραιώς εμφανίζει πιο ασύμμετρη και λιγότερο σταθερή δυναμική μετάδοσης, με τα σοκ να σχετίζονται περισσότερο με γεγονότα που αφορούν την ελληνική οικονομία.

Συνολικά, η ενσωμάτωση των πολυμεταβλητών υποδειγμάτων καταδεικνύει ότι οι κρίσεις δεν αυξάνουν μόνο τη μεταβλητότητα σε επίπεδο κάθε τράπεζας, αλλά ενισχύουν και τους μηχανισμούς σύγκλισης, αλληλεπίδρασης και μετάδοσης κινδύνου, στοιχεία που αποτελούν κεντρική συνιστώσα του συστημικού κινδύνου στις ευρωπαϊκές χρηματοπιστωτικές αγορές.

5.3 Συσχετίσεις και Φαινόμενα Μετάδοσης

Η εμπειρική ανάλυση του Κεφαλαίου 4 ανέδειξε σημαντικές ενδείξεις ενίσχυσης των συσχετίσεων μεταξύ των τραπεζικών μετοχών του δείγματος, κυρίως κατά τις περιόδους χρηματοοικονομικής αστάθειας. Οι υπολογισθείσες στατικές συσχετίσεις επιβεβαίωσαν ότι οι αγορές τείνουν να συγκλίνουν σε όρους διακύμανσης κατά τη διάρκεια συστημικών διαταραχών, φαινόμενο το οποίο στη βιβλιογραφία προσδιορίζεται ως *contagion* ή μετάδοση μεταβλητότητας.

Πιο συγκεκριμένα, το correlation heatmap για το πλήρες δείγμα έδειξε ισχυρές θετικές συσχετίσεις μεταξύ των μετοχών της BNP Paribas, της Deutsche Bank και της ING Bank. Η υψηλή αυτή συνάφεια καταδεικνύει την ύπαρξη κοινού συστημικού παράγοντα που επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την ταυτόχρονη διακύμανση των τιμών. Αντίθετα, η συσχέτιση των παραπάνω μετοχών με την Τράπεζα Πειραιώς αποδείχθηκε αισθητά χαμηλότερη ή ακόμη και στατιστικά αμελητέα, γεγονός που ενισχύει την υπόθεση διαφοροποίησης της ελληνικής αγοράς και της περιορισμένης διεθνούς διασύνδεσης της Πειραιώς με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές τραπεζικές μετοχές.

Η διαφοροποίηση αυτή αντικατοπτρίζεται και στην ανάλυση των υποδειγμάτων μονομεταβλητής μεταβλητότητας. Το ARCH LM test έδωσε μη στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα για την ύπαρξη φαινομένων ετεροσκεδαστικότητας στην Πειραιώς, με αποτέλεσμα να μην υποστηρίζεται η ύπαρξη χρονικά εξαρτώμενης μεταβλητότητας. Αυτό ενδεχομένως να σχετίζεται με τη μειωμένη εμπορευσιμότητα της μετοχής, τον περιορισμένο διεθνή επενδυτικό όγκο και τη χαμηλότερη ενσωμάτωση διεθνών κλυδωνισμών σε σχέση με τις μεγαλύτερες ευρωπαϊκές τράπεζες.

Ωστόσο, η εισαγωγή πολυμεταβλητών υποδειγμάτων στο Κεφάλαιο 4, και συγκεκριμένα του DCC-GARCH, προσέφερε μια πολύ βαθύτερη κατανόηση της δυναμικής των συσχετίσεων και των μηχανισμών μετάδοσης της μεταβλητότητας. Το υπόδειγμα DCC-GARCH αποκάλυψε ότι οι συσχετίσεις μεταξύ των ευρωπαϊκών τραπεζών μεταβάλλονται σημαντικά στο χρόνο και αυξάνονται έντονα κατά τις περιόδους κρίσης, επιβεβαιώνοντας τη διεθνή βιβλιογραφία που υποστηρίζει ότι η συστημική αβεβαιότητα ενισχύει τον βαθμό συνδιακύμανσης των χρηματοοικονομικών περιουσιακών στοιχείων. Σε επεισόδια όπως η κρίση χρέους της Ευρωζώνης και η πανδημία COVID-19, οι συσχετίσεις BNP-Deutsche Bank-ING παρουσίασαν απότομη άνοδο, μειώνοντας περιθώρια διαφοροποίησης και αυξάνοντας την πιθανότητα συστημικής μετάδοσης. Επίσης, έδειξε σαφείς ενδείξεις αμφίδρομων volatility spillovers μεταξύ των ευρωπαϊκών τραπεζών. Τα αποτελέσματα υποδηλώνουν ότι οι BNP Paribas και Deutsche Bank λειτουργούν ως κύριοι «πομποί» μεταβλητότητας, με τις διαταραχές στη διακύμανσή τους να επηρεάζουν άμεσα τις υπόλοιπες τράπεζες. Αντίθετα, η Πειραιώς εμφανίζει κυρίως μονοκατευθυντική σχέση, αποδέχεται μεταβλητότητα χωρίς να την εξάγει, ενισχύοντας την εικόνα της ως σχετικά «περιφερειακής» και λιγότερο διασυνδεδεμένης αγοράς.

Το συνοπτικό correlation plot του Κεφαλαίου 4 ενίσχυσε περαιτέρω τα παραπάνω ευρήματα: η ευρωπαϊκή τριάδα εμφανίζει ισχυρή γραμμικότητα και κοινή δυναμική, ενώ η Πειραιώς διατηρεί πιο ανεξάρτητη συμπεριφορά. Η διαφοροποίηση αυτή μπορεί να θεωρηθεί θετική από την οπτική της διαχείρισης κινδύνου, καθώς υποδηλώνει περιουσιακό στοιχείο που δεν μεταδίδει συστημικές διαταραχές προς άλλες αγορές, άρα ενδέχεται να προσφέρει υψηλότερη δυνατότητα διαφοροποίησης.

Συνοψίζοντας, τα εμπειρικά αποτελέσματα καταδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικών μηχανισμών μετάδοσης μεταβλητότητας στο ευρωπαϊκό τραπεζικό σύστημα, με αυξημένη ένταση κατά τις περιόδους κρίσης. Τα υποδείγματα DCC-GARCH επιβεβαίωσαν ότι οι τράπεζες υψηλής συστημικής σημασίας επηρεάζουν άμεσα και έμμεσα τη διακύμανση των υπόλοιπων, ενισχύοντας το ενδεχόμενο συστημικού κινδύνου. Παράλληλα, η Πειραιώς λειτουργεί ως ενδιαφέρουσα μελέτη περίπτωσης, καθώς διαφοροποιείται από την ευρωπαϊκή δυναμική, γεγονός που μπορεί να αξιοποιηθεί στη χάραξη στρατηγικών διαφοροποίησης και στην κατανόηση δομικών διαφορών εντός του ευρωπαϊκού τραπεζικού οικοσυστήματος.

5.4 Πολιτικές και Επενδυτικές Επιπτώσεις

Τα εμπειρικά αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φέρνουν στο προσκήνιο σημαντικά ζητήματα που σχετίζονται με τη διαχείριση κινδύνου, τη χάραξη πολιτικής και τη στρατηγική των επενδυτών. Η ισχυρή παρουσία φαινομένων αστάθειας και μεταβλητότητας στις μετοχές των μεγάλων ευρωπαϊκών τραπεζών, καθώς και η στατιστικά σημαντική συσχέτισή τους μεταξύ τους, ειδικά σε περιόδους κρίσης, υποδεικνύουν την ύπαρξη ισχυρών καναλιών μετάδοσης συστημικού κινδύνου. Αυτό το εύρημα έχει άμεσες συνέπειες για τη μακροπροληπτική εποπτεία και την αποτελεσματική διαχείριση χρηματοοικονομικής σταθερότητας.

Από την πλευρά των ρυθμιστικών αρχών και των υπευθύνων χάραξης πολιτικής, η ύπαρξη τέτοιων συσχετισμών υποδεικνύει την ανάγκη για ενίσχυση της εποπτείας στις διασυνδεδεμένες τραπεζικές αγορές. Η ταυτόχρονη κορύφωση της μεταβλητότητας σε πολλαπλές τράπεζες, όπως διαπιστώθηκε στις περιόδους 2008, 2010–2012 και 2020, αυξάνει την πιθανότητα συστημικών καταρρεύσεων. Η διαμόρφωση μηχανισμών έγκαιρης προειδοποίησης (*early warning systems*) μέσω των υποδειγμάτων μεταβλητότητας μπορεί να βοηθήσει στη λήψη προληπτικών μέτρων, περιορίζοντας τη διάχυση των επιπτώσεων στο χρηματοπιστωτικό σύστημα.

Επιπλέον, η επιμονή της μεταβλητότητας που καταγράφηκε σε ορισμένες περιόδους, και η στατιστική ασυμμετρία των αποδόσεων (με αρνητικό *skew*), υποδεικνύουν αυξημένο *downside risk*, γεγονός που καθιστά απαραίτητο τον σχεδιασμό πιο ευέλικτων κεφαλαιακών απαιτήσεων. Η μακροπροληπτική πολιτική θα μπορούσε να ενσωματώσει δείκτες όπως η υποκείμενη διακύμανση από EGARCH υποδείγματα ως συστατικό στοιχείο αξιολόγησης της συνολικής τρωτότητας του τραπεζικού συστήματος.

Από την επενδυτική σκοπιά, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη θεωρία ότι τα οφέλη διαφοροποίησης σε περιόδους κρίσης μειώνονται δραστικά. Οι υψηλές συσχετίσεις μεταξύ των ευρωπαϊκών τραπεζών μειώνουν τις δυνατότητες μείωσης του κινδύνου μέσω παραδοσιακών στρατηγικών κατανομής κεφαλαίου. Ωστόσο, η περίπτωση της Τράπεζας Πειραιώς παρουσιάζει ενδιαφέρον ως εργαλείο αντιστάθμισης κινδύνου (*hedging asset*) ή χαμηλής συνάφειας τίτλος, καθώς φαίνεται να διατηρεί ένα πιο αυτόνομο προφίλ μεταβλητότητας. Αν και αυτό μπορεί να ερμηνευθεί εν μέρει από το μικρότερο μέγεθος και τη χαμηλότερη διεθνή έκθεση της τράπεζας, εντούτοις αποτελεί ένα χρήσιμο παράδειγμα διαφοροποίησης σε καιρούς κρίσης.

Για τους διαχειριστές επενδυτικών χαρτοφυλακίων, τα υποδείγματα μεταβλητότητας μπορούν να αξιοποιηθούν ως εργαλεία πρόβλεψης και κατανομής κινδύνου. Η ενσωμάτωση πληροφοριών όπως το

conditional volatility και η πιθανότητα ασύμμετρων σοκ σε στρατηγικές κατανομής ενεργητικού (*asset allocation*) μπορεί να προσφέρει σημαντικό ανταγωνιστικό πλεονέκτημα, ιδιαίτερα σε περιβάλλοντα υψηλής αβεβαιότητας.

Τέλος, τα ευρήματα μπορούν να αξιοποιηθούν και σε επίπεδο τραπεζικού στρατηγικού σχεδιασμού. Οι ίδιες οι τράπεζες μπορούν να παρακολουθούν τα διαγράμματα μεταβλητότητας των μετοχών τους ως proxy της αγοράς για τον δικό τους κίνδυνο, ή ακόμα και να χρησιμοποιούν τα υποδείγματα αυτά για να προβλέψουν τον τρόπο που οι επενδυτές και οι αγορές θα αντιδράσουν σε συγκεκριμένα γεγονότα ή ανακοινώσεις.

Συνολικά, η εργασία αυτή αναδεικνύει τη χρησιμότητα των υποδειγμάτων GARCH και EGARCH όχι μόνο ως ακαδημαϊκά εργαλεία μελέτης, αλλά και ως εφαρμοσμένες προσεγγίσεις στη χάραξη πολιτικής, την επενδυτική στρατηγική και τη διαχείριση κινδύνου. Τα αποτελέσματα των πολυμεταβλητών υποδειγμάτων αναδεικνύουν την ανάγκη ενίσχυσης της μακροπροληπτικής εποπτείας, καθώς η αυξημένη συσχέτιση μεταξύ ευρωπαϊκών τραπεζών σε περιόδους κρίσης περιορίζει τα οφέλη της διαφοροποίησης.

Κεφάλαιο 6 – Περιορισμοί και Προτάσεις για Μελλοντική Έρευνα

6.1 Μεθοδολογικοί Περιορισμοί

Παρότι η παρούσα μελέτη υιοθέτησε σύγχρονα υποδείγματα χρονικά μεταβαλλόμενης διακύμανσης, όπως τα GARCH(1,1), EGARCH(1,1), αλλά και πολυμεταβλητές προσεγγίσεις του τύπου DCC-GARCH, εξακολουθούν να υφίστανται ορισμένοι σημαντικοί μεθοδολογικοί περιορισμοί που επηρεάζουν την ερμηνεία και τη σταθερότητα των αποτελεσμάτων.

Πρώτος περιορισμός αφορά τις ιδιαιτερότητες των ημερήσιων δεδομένων. Η χρήση *daily* αποδόσεων, αν και αποτελεί συνήθη επιλογή στη βιβλιογραφία, οδηγεί σε προβλήματα εκτίμησης στα πολυμεταβλητά υποδείγματα λόγω ασυνέχειας, διαφορών στη ρευστότητα και έντονων διακυμάνσεων σε συγκεκριμένες μετοχές, όπως η Τράπεζα Πειραιώς. Τα υποδείγματα BEKK και DCC εμφάνισαν δυσκολίες σύγκλισης, υψηλή ευαισθησία στις αρχικές τιμές και ανάγκη για ισχυρή κανονικοποίηση των σειρών, γεγονός που μειώνει το εύρος των δυνατών συμπερασμάτων και δεν μας επέτρεψε να εφαρμόσουμε τα BEKK υποδείγματα καθώς οι τιμές που προέκυψαν ήταν πολύ μεγάλες με αποτέλεσμα να μην δείχνουν αυτό που πρέπει. Επιπλέον, παρότι η ανάλυση περιέλαβε πολυμεταβλητές προσεγγίσεις, ορισμένες προχωρημένες εκδοχές (*asymmetric DCC*) δεν εξετάστηκαν λόγω υπολογιστικών περιορισμών και έλλειψης εκτιμητικής σταθερότητας στα συγκεκριμένα δεδομένα.

Ακόμη, τα μονομεταβλητά υποδείγματα που χρησιμοποιήθηκαν (GARCH, EGARCH) δεν διερεύνησαν εναλλακτικές προσεγγίσεις όπως τα GJR-GARCH, APARCH ή *component GARCH*, τα οποία θα μπορούσαν να αποτυπώσουν διαφορετικές πτυχές της ασυμμετρίας ή της μακροχρόνιας εμμονής της διακύμανσης. Η επιλογή των υποδειγμάτων ευθυγραμμίστηκε με τη διεθνή πρακτική, όμως αυτή η απλοποίηση ενδέχεται να περιορίζει την ακρίβεια της αποτύπωσης σε περιόδους έντονης αστάθειας.

Τέλος, η μελέτη δεν ενσωμάτωσε διαδικασίες *forecasting* ή *stress-testing*, οι οποίες θα μπορούσαν να προσφέρουν πρακτική εφαρμογή των εκτιμηθεισών μεταβλητοτήτων στη λήψη αποφάσεων. Τα αποτελέσματα εστιάζουν αποκλειστικά στην εκ των υστέρων ανάλυση, χωρίς να αξιολογούνται οι προβλεπτικές δυνατότητες των μοντέλων.

Συνολικά, παρότι η ενσωμάτωση πολυμεταβλητών υποδειγμάτων όπως τα DCC και BEKK αποτελεί σημαντική ενίσχυση της μεθοδολογίας, τα προβλήματα σύγκλισης, η ευαισθησία των ημερήσιων δεδομένων και η απουσία πιο εξειδικευμένων παραλλαγών περιορίζουν σε κάποιο βαθμό την πλήρη χαρτογράφηση της δυναμικής μετάδοσης και του συστημικού κινδύνου.

6.2 Περιορισμοί Δεδομένων

Η επιλογή και η διαθεσιμότητα των δεδομένων αποτελεί κρίσιμο παράγοντα στον σχεδιασμό και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων μιας οικονομετρικής μελέτης. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές κλεισίματος για τέσσερις τραπεζικές μετοχές, με χρονικό ορίζοντα από την 1η Ιανουαρίου 2007 έως την 31η Δεκεμβρίου 2024. Παρά το γεγονός ότι το δείγμα καλύπτει επαρκώς τις σημαντικότερες χρηματοοικονομικές κρίσεις της σύγχρονης περιόδου, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί που επηρεάζουν τη γενικευσιμότητα των συμπερασμάτων.

Πρώτος σημαντικός περιορισμός σχετίζεται με τη συχνότητα των δεδομένων. Η χρήση ημερήσιων παρατηρήσεων δεν επιτρέπει την καταγραφή ενδοημερήσιας αστάθειας, η οποία μπορεί να είναι ιδιαίτερα έντονη σε περιόδους κρίσης ή κατά τη διάρκεια σημαντικών ανακοινώσεων. Τα υποδείγματα μεταβλητότητας που βασίζονται σε ημερήσια δεδομένα αποτυπώνουν μόνο τη συσσωρευμένη επίδραση μεταβολών ανά ημέρα, με αποτέλεσμα να παραγνωρίζονται τα ενδοημερήσια μοτίβα και τα πιθανά volatility jumps.

Επιπλέον, το μέγεθος του δείγματος ήταν περιορισμένο σε τέσσερις μετοχές, εκ των οποίων τρεις χρησιμοποιήθηκαν για εφαρμογή μοντέλων GARCH/EGARCH και μία (Πειραιώς) ως μονάδα ελέγχου. Η συγκέντρωση του δείγματος σε ευρωπαϊκές τράπεζες περιορίζει την ικανότητα της μελέτης να γενικεύσει τα ευρήματα για το παγκόσμιο τραπεζικό σύστημα. Η απουσία τραπεζών από άλλες γεωγραφικές περιοχές (όπως Ηνωμένες Πολιτείες, Ασία ή αναδυόμενες αγορές) αφήνει εκτός ανάλυσης σημαντικές διαφοροποιήσεις που μπορεί να προκύπτουν από τη δομή, τη ρύθμιση και τη συμπεριφορά των χρηματοπιστωτικών αγορών διεθνώς.

Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι οι τιμές των μετοχών που χρησιμοποιήθηκαν προήλθαν από δημόσιες πλατφόρμες δεδομένων, όπως το Investing.com, με αποτέλεσμα να είναι ευάλωτες σε σφάλματα ή ατέλειες κατά τη μετατροπή τους (π.χ. σφάλματα μορφοποίησης, ελλιπείς εγγραφές, διαφορετικά δεκαδικά συστήματα). Αν και εφαρμόστηκε ενδελεχής καθαρισμός και ομογενοποίηση των δεδομένων, είναι πιθανό μικρές αποκλίσεις να επηρεάζουν τη στατιστική ακρίβεια, ιδίως σε υποδείγματα υψηλής ευαισθησίας, όπως τα EGARCH.

Τέλος, η μη εφαρμογή υποδείγματος GARCH στην περίπτωση της Τράπεζας Πειραιώς, λόγω μη ύπαρξης στατιστικά σημαντικού ARCH effect, περιορίζει την απόλυτη συγκρισιμότητα των ευρημάτων. Αν και η Πειραιώς λειτουργεί επιτυχώς ως control group, η έλλειψη δυναμικού μοντέλου για τη μεταβλητότητα της συγκεκριμένης μετοχής περιορίζει τον βαθμό με τον οποίο μπορεί να ερμηνευτεί η σχετική της συμπεριφορά έναντι των άλλων τραπεζών.

Συνολικά, οι παραπάνω περιορισμοί δεδομένων δεν αναιρούν τη συνεισφορά της μελέτης, αλλά υποδεικνύουν την ανάγκη για προσεκτική ερμηνεία των αποτελεσμάτων και για περαιτέρω εμπλουτισμό του δείγματος και της μεθοδολογίας σε μελλοντικές εργασίες.

6.3 Ερμηνευτικοί Περιορισμοί και Υποθέσεις

Εκτός από τους τεχνικούς και τους περιορισμούς δεδομένων, η ερμηνεία των ευρημάτων της παρούσας μελέτης υπόκειται και σε θεωρητικές υποθέσεις και απλουστεύσεις που επηρεάζουν την πληρότητα των συμπερασμάτων. Οι παραδοχές αυτές, παρότι απαραίτητες για την εκτίμηση των υποδειγμάτων και τη διαχείριση της πολυπλοκότητας της ανάλυσης, εισάγουν ορισμένα όρια ως προς την ακρίβεια, τη γενικευσιμότητα και την αιτιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Καταρχάς, τα μονομεταβλητά υποδείγματα GARCH και EGARCH που εφαρμόστηκαν υποθέτουν σταθερή λειτουργική σχέση μεταξύ αποδόσεων και υπό συνθήκη διακύμανσης. Ωστόσο, οι χρηματοοικονομικές αγορές υπόκεινται σε διαρθρωτικές αλλαγές, αλλαγές καθεστώτος και εξωτερικά σοκ, τα οποία ενδέχεται να μεταβάλλουν τις παραμέτρους των υποδειγμάτων. Η παρούσα μελέτη δεν ενσωμάτω-

σε διαδικασίες εντοπισμού *structural breaks*, με αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις να αντανακλούν έναν «μέσο» μηχανισμό μεταβλητότητας σε όλο το δείγμα, ο οποίος πιθανώς απλοποιεί την πραγματική δυναμική. Επιπλέον, τα υποδείγματα βασίζονται αποκλειστικά σε ενδογενείς πληροφορίες των αποδόσεων και δεν περιλαμβάνουν εξωγενείς μακροοικονομικούς παράγοντες, όπως επιτόκια, δείκτες αβεβαιότητας, δείκτες ρευστότητας ή μεταβλητές οικονομικής δραστηριότητας. Αυτή η απουσία στερεί τη δυνατότητα να γίνει διάκριση μεταξύ μεταβλητότητας που πηγάζει από θεμελιώδη οικονομικά δεδομένα και μεταβλητότητας που προκαλείται από ιδιοσυγκρασιακούς παράγοντες κάθε τράπεζας.

Όσον αφορά τα πολυμεταβλητά υποδείγματα, τα DCC-GARCH αποτυπώνουν τη χρονικά μεταβαλλόμενη συσχέτιση και τη συνδιακύμανση μεταξύ των τραπεζικών τίτλων, ωστόσο εισάγουν τις δικές τους ερμηνευτικές προκλήσεις. Τα υποδείγματα DCC υποθέτουν ότι η δυναμική συσχέτιση ακολουθεί έναν ομοιόμορφο μηχανισμό σε όλες τις περιόδους. Παράλληλα, τα ζητήματα σύγκλισης που παρατηρήθηκαν, ιδιαίτερα στα ημερήσια δεδομένα, υποδηλώνουν ότι οι εκτιμήσεις πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή ως προς την ακρίβειά τους.

Ένας ακόμη ερμηνευτικός περιορισμός αφορά την υπόθεση ότι οι σχέσεις μεταξύ των τραπεζικών μετοχών διαμορφώνονται από μία ενιαία διαδικασία σε όλη τη διάρκεια του δείγματος. Παρότι τα DCC επιτρέπουν τη δυναμική συσχέτιση, δεν ενσωματώνουν φάσεις διαφορετικής έντασης ή καθεστώτα μεταβλητότητας, όπως *crisis vs. calm periods*, ούτε εξετάζουν μη γραμμικές ή ασύμμετρες μορφές μετάδοσης.

Τέλος, η ερμηνεία της Τράπεζας Πειραιώς ως σημείο αναφοράς βασίζεται στη διαπιστωμένη απουσία ARCH effects και στις μειωμένες συσχετίσεις με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές τράπεζες. Ωστόσο, η «απομόνωση» αυτή μπορεί να οφείλεται και σε εξειδικευμένα εθνικά χαρακτηριστικά, θεσμικές παρεμβάσεις ή χαμηλότερη ρευστότητα, τα οποία δεν εξετάστηκαν συστηματικά. Συνεπώς, η ερμηνεία της ως benchmark πρέπει να αντιμετωπίζεται με σχετική επιφύλαξη.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της μελέτης πρέπει να ερμηνεύονται εντός του πλαισίου αυτών των θεωρητικών και λειτουργικών υποθέσεων. Παρέχουν χρήσιμες ενδείξεις για τη φύση και τη μετάδοση της μεταβλητότητας, αλλά δεν συνιστούν απόλυτες αποδείξεις για τους μηχανισμούς που διέπουν την ευρωπαϊκή τραπεζική αγορά.

6.4 Κατευθύνσεις για Μελλοντική Έρευνα

Η παρούσα μελέτη, παρά την έκταση και τη θεματική της εστίαση, αφήνει ανοιχτές αρκετές δυνατότητες για περαιτέρω ανάπτυξη της έρευνας. Οι κατευθύνσεις για μελλοντική μελέτη μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρία βασικά επίπεδα: (α) μεθοδολογική εξέλιξη, (β) εμπλουτισμό των δεδομένων, και (γ) σύνδεση με εξωτερικούς παράγοντες και πολιτικές.

Σε μεθοδολογικό επίπεδο, μια φυσική προέκταση της παρούσας ανάλυσης είναι η πιο συστηματική εφαρμογή και σύγκριση πολυμεταβλητών υποδειγμάτων, όπως τα DCC-GARCH, BEKK-GARCH και CCC-GARCH. Αν και τα υποδείγματα DCC εφαρμόστηκαν πιλοτικά στην παρούσα εργασία, οι περιορισμοί σύγκλισης και η δυσκολία εκτίμησης δείχνουν ότι η πιο λεπτομερής και βελτιστοποιημένη εφαρμογή τους αποτελεί ουσιαστική κατεύθυνση μελλοντικής έρευνας. Μια πιο εκτεταμένη μελέτη των δυνα-

μικών αυτών υποδειγμάτων θα μπορούσε να αποκαλύψει βαθύτερα μοτίβα χρονικά μεταβαλλόμενων συσχετίσεων και να προσφέρει πιο σταθερές εκτιμήσεις των φαινομένων μετάδοσης μεταβλητότητας. Επιπλέον, η εφαρμογή υποδειγμάτων με αλλαγές καθεστώτος, όπως τα *Markov Switching GARCH* ή υποδειγμάτων με εντοπισμό *structural breaks*, θα μπορούσε να ενισχύσει την κατανόηση των μεταβολών που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια επεισοδίων έντονης χρηματοοικονομικής αστάθειας. Η ενσωμάτωση αυτών των μεθοδολογιών θα επέτρεπε την ταυτοποίηση περιόδων με διαφορετική δυναμική μεταβλητότητας και την αξιολόγηση του βαθμού μετάδοσης πριν, κατά και μετά από συστημικές κρίσεις.

Σε επίπεδο δεδομένων, η διεύρυνση του δείγματος ώστε να περιλαμβάνει μεγαλύτερο αριθμό τραπεζών, τόσο από την Ευρώπη όσο και από άλλες διεθνείς αγορές (ΗΠΑ, Ασία, αναδυόμενες οικονομίες), θα ενίσχυε τη δυνατότητα διακρατικών συγκρίσεων. Επίσης, η χρήση υψηλότερης συχνότητας δεδομένων (ωριαίων ή ενδοημερήσιων) θα μπορούσε να αποκαλύψει βραχυπρόθεσμες αλληλεπιδράσεις και φαινόμενα μετάδοσης που δεν είναι εμφανή στα ημερήσια δεδομένα.

Σε μια πιο εμπλουτισμένη ανάλυση, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν και θεμελιώδεις μακροοικονομικές και χρηματοπιστωτικές μεταβλητές, όπως το βασικό επιτόκιο, ο πληθωρισμός, δείκτες οικονομικής αβεβαιότητας (*EPU*), δείκτες ρευστότητας ή μεταβλητότητα συναλλαγματικών ισοτιμιών. Η ενσωμάτωση τέτοιων εξωγενών παραγόντων μπορεί να αποσαφηνίσει το πώς οι μακροοικονομικές συνθήκες διαμορφώνουν τη μεταβλητότητα και την αλληλεξάρτηση των τραπεζικών μετοχών.

Τέλος, η ανάπτυξη υποδειγμάτων πρόβλεψης (*forecasting*) με βάση τις εκτιμώμενες διακυμάνσεις θα μπορούσε να έχει πρακτική εφαρμογή για τους επενδυτές και τις εποπτικές αρχές. Μοντέλα *VaR*, *Expected Shortfall* ή *stress-testing frameworks* μπορούν να αξιοποιήσουν τις εκτιμήσεις των *GARCH* παραλλαγών για πιο ολοκληρωμένη προσέγγιση της διαχείρισης κινδύνου.

Συνολικά, η παρούσα εργασία θέτει ένα σαφές εμπειρικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν πιο προχωρημένες και διεπιστημονικές αναλύσεις. Η διερεύνηση των παραπάνω προτάσεων θα μπορούσε να προσφέρει βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας της τραπεζικής αγοράς, να φωτίσει τους μηχανισμούς διάχυσης του κινδύνου και να συμβάλει στη διαμόρφωση αποτελεσματικότερων εποπτικών και επενδυτικών στρατηγικών.

Βιβλιογραφία

- Engle, R. F. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate GARCH models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(3), 339–350.
- Tse, Y. K., & Tsui, A. K. C. (2002). A multivariate generalized autoregressive conditional heteroscedasticity model with time-varying correlations. *Journal of Business & Economic Statistics*, 20(3), 351–362.
- Sucarrat, G. (2016). *Multivariate GARCH Models*. Oxford University Press.
- Francq, C., & Zakoian, J.-M. (2019). *GARCH Models: Structure, Statistical Inference and Financial Applications* (2nd ed.). Wiley.
- Forbes, K. J., & Rigobon, R. (2002). No contagion, only interdependence: Measuring stock market comovements. *Journal of Finance*, 57(5), 2223–2261.
- Dimitriou, D., Kenourgios, D., & Simos, T. (2013). Financial crises, contagion and the European stock market. *Financial Markets, Institutions & Instruments*, 22(2), 91–122.
- Baruník, J., & Křehlík, T. (2016). Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk. *Journal of Financial Econometrics*, 16(2), 271–296.
- Silvennoinen, A., & Teräsvirta, T. (2009). Multivariate GARCH models. In T. G. Andersen et al. (Eds.), *Handbook of Financial Time Series*. Springer.
- Cappiello, L., Engle, R. F., & Sheppard, K. (2006). Asymmetric dynamics in the correlations of global equity and bond returns. *Journal of Financial Econometrics*, 4(4), 537–572.
- Ghalanos, A. (2024). *rmgarch: Multivariate GARCH models*. R package version 1.3-1. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=rmgarch>
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327.
- Nelson, D. B. (1991). Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach. *Econometrica*, 59(2), 347–370.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007.
- Tsay, R. S. (2010). *Analysis of Financial Time Series* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Christoffersen, P. (2011). *Elements of Financial Risk Management* (2nd ed.). Academic Press.
- Alexander, C. (2001). Market models and volatility. *Journal of Banking & Finance*, 25(3), 737–753.
- Caporale, G. M., & Spagnolo, N. (2006). Contagion across international stock markets: Evidence from the Asian financial crisis. *Journal of Economics and Finance*, 30(2), 217–228.

- Van Der Weide, R. (2002). Conditional volatility in the stock markets during the financial crisis: Evidence from GARCH models. *Applied Financial Economics*, 12(6), 389–395.
- Baele, L. (2005). Measuring contagion in the European stock markets. *Journal of Empirical Finance*, 12(4), 461–481.
- Nguyen, T. H. V. (2010). Bank stock returns and the financial crisis: Evidence from GARCH models. *International Review of Financial Analysis*, 19(3), 171–178.
- Savva, C. S., Osborn, D. R., & Gill, L. (2009). Volatility spillovers and contagion from mature to emerging stock markets. *Review of International Economics*, 17(1), 131–146.
- Choudhry, T. (2005). Evidence on structural breaks in volatility and GARCH models. *International Review of Financial Analysis*, 14(4), 437–448.
- Investing.com (2024). Historical stock price data. Retrieved from <https://www.investing.com>
- R Core Team (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. Retrieved from <https://www.r-project.org>
- Ghalanos, A. (2023). *rugarch: Univariate GARCH models*. R package version 1.4-5. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=rugarch>
- Zeileis, A., & Hothorn, T. (2020). *lmtest: Testing linear regression models*. R package version 0.9-38. Retrieved from <https://cran.r-project.org/package=lmtest>