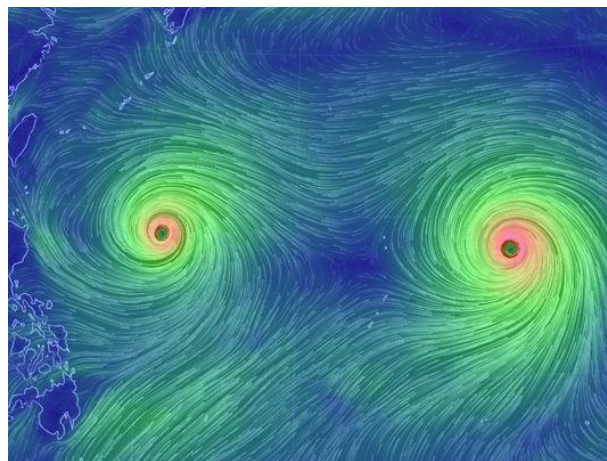




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στοχαστική ανάλυση της χωροχρονικής μεταβολής της
βροχόπτωσης στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου



Βασίλης Κουκοράβας

Επιβλέπων: Δημήτρης Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Επιβλέπων διδάκτωρ: Γιάννης Μαρκόνης

Αθήνα, 2017

Ευχαριστίες

Στην εκπόνηση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, εκτός από τον γράφοντα, συντέλεσε πλήθος παραγόντων και ατόμων για τους οποίους θα ήθελα να αφιερώσω λίγες γραμμές.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Κουτσόγιάννη όχι μόνο για το πλούσιο ερευνητικό έργο και τις διδακτικές σημειώσεις του που με βοήθησαν στο τεχνικό κομμάτι της εργασίας, αλλά κυρίως ως πηγή έμπνευσης. Οι διαλέξεις του μαθήματος «Στοχαστικές Μέθοδοι στους Υδατικούς Πόρους» σε συνδυασμό με την εμβληματική φυσιογνωμία του αποτέλεσαν εφαλτήριο για την ενασχόλησή μου με το συγκεκριμένο αντικείμενο. Αρωγοί στην κίνηση του ενδιαφέροντος και της περιέργειάς μου στάθηκαν οι δύο υποψήφιοι διδάκτορες (πριν δύο χρόνια), Σίμων Μ. Παπαλεξίου και Γιάννης Μαρκόνης. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Γιάννη για το ενδιαφέρον, την καθοδήγηση και ασφαλώς για την πρόταση του συγκεκριμένου ιδιαίτερα ενδιαφέροντος θέματος. Η συμβολή του ήταν καθοριστική τόσο με τις συμβουλές και τις συζητήσεις μας, όσο και με τη γενικότερη στήριξή του καθόλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της ανάλυσης και συγγραφής της εργασίας αυτής. Εκτός από το εργασιακό σκέλος, είχα την ευκαιρία να τον γνωρίσω καλύτερα και να τον θεωρώ πλέον φίλο αλλά και προσωπικό παράδειγμα ερευνητή.

Γενικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος για το υπέροχο κλίμα που έχουν δημιουργήσει καθώς και για το επιστημονικό τους έργο τα οποία με βοήθησαν εξίσου στο γνωστικό αλλά και το ψυχολογικό μέρος κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να αναφερθώ σε όλα τα πρόσωπα της οικογένειάς μου, τους αδερφικούς μου φίλους και το στενό φιλικό περιβάλλον. Νιώθω ευγνώμων για τη διαρκή και αδιάλειπτη στήριξη των γονιών και της αδερφής μου στον ηθικό τομέα όπως επίσης και για την παρότρυνση και πίστη για την ολοκλήρωση αυτού του έργου. Όσον αφορά το στενό φιλικό περιβάλλον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους αυτούς που συνεισέφεραν στην τόνωση του ηθικού μου και στάθηκαν συμπαραστάτες σε όλη τη διάρκεια αυτού του «ταξιδιού».

[Αυτή η σελίδα έχει αφεθεί σκοπίμως κενή.]

Περιεχόμενα

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	3
2.1	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ.....	3
2.2	ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΜΕΣΟΓΕΙΟΣ.....	8
2.3	ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ: ΕΛΛΑΔΑ.....	16
3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	21
3.1	ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	21
3.2	ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	28
4	ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	37
4.1	ΔΙΚΤΥΟ ΕΤΕΡΟΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ.....	37
4.2	ΑΛΥΣΙΔΕΣ ΜΑΡΚΟΒ.....	47
5	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ	70
6	ΣΧΟΛΙΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	75
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	87
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	93
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ.....	97

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά το κλιματικό καθεστώς της λεκάνης της Μεσογείου και των γύρω περιοχών εστιάζοντας στους συνοπτικής κλίμακας σχηματισμούς οι οποίοι έχει αποδειχθεί ότι παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των καιρικών καταστάσεων και ειδικότερα των επεισοδίων βροχόπτωσης στη συγκεκριμένη λεκάνη. Στο βιβλιογραφικό τμήμα (Κεφάλαιο 2) παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας και περιγράφονται τα κλιματικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην εμπειρική προσέγγιση του κλιματικού καθεστώτος μέσω της μελέτης των συστημάτων μεγάλης κλίμακας (κυκλωνικά/αντικυκλωνικά συστήματα) και την επίδρασή τους στην κατανομή της βροχόπτωσης. Με αφορμή τις παραπάνω παρατηρήσεις για τους διάφορους τύπους καιρού, στο υπολογιστικό τμήμα επιχειρείται μία στοχαστική ανάλυση του φαινομένου των βροχοπτώσεων με στόχο την ανάκυψη μοτίβων που ακολουθούν οι βροχοπτώσεις στη χωροχρονική κλίμακα, αγνοώντας τη φύση του φαινομένου.

Η ανάλυση πραγματοποιείται για τις ημερήσιες βροχοπτώσεις της περιόδου 1955 - 2001 επιλεγμένων υδρομετεωρολογικών (Υ/Μ) σταθμών της ευρύτερης χερσαίας περιοχής της Μεσογείου. Εκτός από την παρουσίαση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης, στο τρίτο κεφάλαιο ελέγχεται η πληρότητα των παρατηρήσεων στο χρονικό διάστημα της περιόδου μελέτης. Επίσης, αποτυπώνονται τα βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων κάθε Υ/Μ σταθμού σε ετήσια, μηνιαία και ημερήσια κλίμακα παρέχοντας μία γενική εικόνα για το καθεστώς βροχόπτωσης της περιοχής.

Στο Κεφάλαιο 4, γίνεται έλεγχος των ετεροσυσχετίσεων των ημερήσιων βροχοπτώσεων διαφορετικών Υ/Μ σταθμών για διάφορες χρονικές υστερήσεις δημιουργώντας ένα δίκτυο ετεροσυσχετίσεων στο χώρο. Το δίκτυο που προκύπτει παρέχει πληροφορίες τόσο για την κατεύθυνση της ατμοσφαιρικής ροής και των καιρικών καταστάσεων όσο και για την ποσοτική συσχέτιση μεταξύ των βροχοπτώσεων σε διαφορετικά σημεία της Μεσογείου και σε διαφορετικά χρονικά βήματα. Σε αυτό το σημείο της ανάλυσης διαπιστώνεται η ανάγκη για διαχωρισμό του ημερολογιακού έτους σε υγρή και ξηρή περίοδο (Οκτωβρίου – Μαρτίου και Απριλίου –

Σεπτεμβρίου αντίστοιχα) και δίνεται μεγαλύτερη προσοχή στην υγρή περίοδο. Εκτός από αυτή την ποσοτική συσχέτιση, στην πορεία της ανάλυσης πραγματοποιείται ο υπολογισμός πιθανοτικών αυτοσυσχετίσεων και ετεροσυσχετίσεων των βροχερών ή μη βροχερών ημερών, αλλά και των ημερήσιων βροχοπτώσεων άνω των 10 χιλιοστών, στοχεύοντας στην ανίχνευση και ανάδειξη ισχυρών πιθανοτικών ακολουθιών μέσω της δημιουργίας αλυσίδων Μαρκόφ (Markov chains - στοχαστικές ανελίξεις Μαρκόφ). Η δημιουργία των αλυσίδων βασίζεται στην επιλογή συγκεκριμένων Υ/Μ σταθμών, με κριτήριο ετεροσυσχετίσεις αλλά και πιθανοτικές συσχετίσεις, οι οποίοι φαίνεται να συσχετίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό με τους ελληνικούς Υ/Μ σταθμούς.

Για τα αποτελέσματα τις πιθανοτικής ανάλυσης των χρονοσειρών των Υ/Μ σταθμών των αλυσίδων πραγματοποιείται έλεγχος επαλήθευσης στο πέμπτο κεφάλαιο χρησιμοποιώντας τις ημερήσιες βροχοπτώσεις των ίδιων Υ/Μ σταθμών της περιόδου 2002 -2004. Τα αποτελέσματα των δύο διεργασιών συγκρίνονται σε συγκεντρωτικούς πίνακες εστιάζοντας στα πιο ενδιαφέροντα ευρήματα σύμφωνα και με τη βιβλιογραφία.

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

2.1 Θεωρητικό υπόβαθρο

Η μελέτη χρονοσειρών βροχόπτωσης μέσω της κατασκευής στατιστικών μοντέλων έχει εύρος εφαρμογής από μεγάλης κλίμακας κλιματικά μοντέλα έως μοντέλα ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης. Λόγω της ισχυρής μεταβλητότητας των επεισοδίων βροχόπτωσης στο χώρο και το χρόνο, έχει δειχθεί ότι η στοχαστική προσέγγιση του φαινομένου είναι κατάλληλη για την περιγραφή του. Οι μεθοδολογίες ανάπτυξης στοχαστικών μοντέλων αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό μελετών για την πρόβλεψη της βροχόπτωσης σε μικρότερες κλίμακες μέσω δεδομένων για την κατάσταση καιρικών συστημάτων μεγάλης κλίμακας, την κλιματολογία και την υδρολογία. Η στοχαστική περιγραφή των ημερήσιων βροχοπτώσεων για χρονοσειρές μεγάλου μήκους μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω μεθοδολογιών όπως ο συντελεστής αυτο/ετεροσυσχέτισης, οι πιθανότητες και οι αλυσίδες Μαρκόφ.

Για τη μελέτη ενός συστήματος ή φυσικού φαινομένου στο χρόνο, όπως η βροχόπτωση, χρησιμοποιούνται διάφορες μεθοδολογίες όπως ο συντελεστής συσχέτισης ρ . Μέσω αυτού μπορεί να μελετηθεί η σχέση δύο μεταβλητών x , y προσδιορίζοντας το βαθμό συσχέτισης των δύο χρονοσειρών των μεταβλητών. Στην περίπτωση που μελετάται μία ανέλιξη $x(t)$ και είναι επιθυμητός ο προσδιορισμός του βαθμού αυτοσυσχέτισης αυτής για κάποια υστέρηση (τ), ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης $\rho(t, \tau)$ προκύπτει ως εξής:

$$\rho(t, \tau) = \frac{\text{Cov}[x(t), x(t + \tau)]}{\sqrt{\text{Var}[x(t)] \text{Var}[x(t + \tau)]}}$$

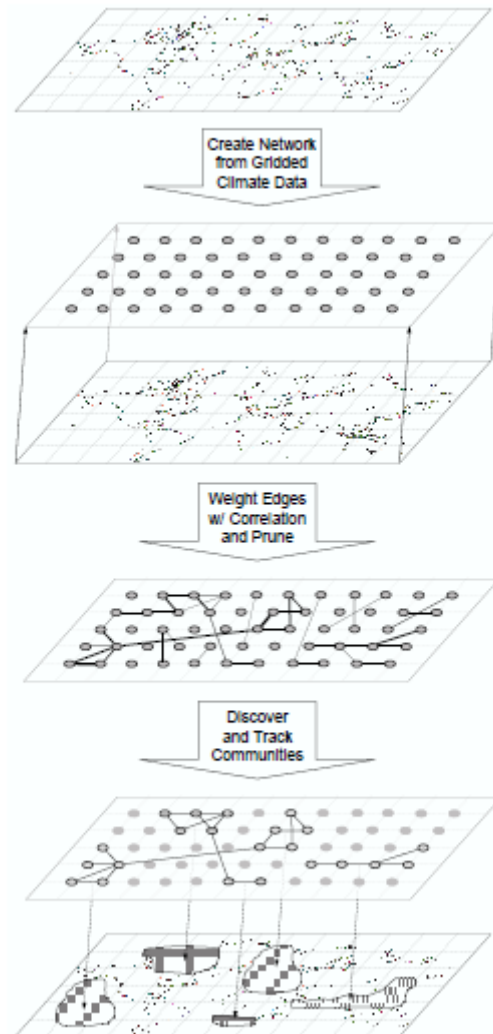
όπου $\text{Cov}[x(t), x(t+\tau)]$ είναι η αυτοσυνδιασπορά της ανέλιξης $x(t)$ και $\text{Var}[x(t)]$ η διασπορά της. Πρακτικά, υπολογίζεται ο βαθμός γραμμικής συσχέτισης της χρονοσειράς της ανέλιξης $x(t)$ με την ίδια χρονοσειρά μετατοπισμένη κατά $\{\tau\}$ μονάδες χρόνου. Αντίστοιχα, προσδιορίζεται ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης δύο ανελιξεων $x(t)$ και $y(t)$ από τη σχέση:

$$r_{xy}(t, \tau) = \frac{\text{Cov}[x(t), y(t + \tau)]}{\sqrt{\text{Var}[x(t)] \text{Var}[y(t + \tau)]}}$$

όπου $Cov[x(t), y(t+\tau)]$ είναι η ετεροσυνδιασπορά των ανελιξεων $x(t)$ και $y(t+\tau)$ και $Var[x(t)]$, $Var[y(t+\tau)]$ η διασπορά των $x(t)$ και $y(t+\tau)$ αντίστοιχα. Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης ή ετεροσυσχέτισης μπορεί να πάρει τιμές από -1 έως 1 . Οι αρνητικές τιμές δηλώνουν αρνητική συσχέτιση των ανελιξεων, δηλαδή για αυξημένες τιμές (άνω της μέσης τιμής) της μίας μεταβλητής έστω $x(t)$ τη χρονική στιγμή t , αναμένονται μειωμένες τιμές (κάτω της μέσης τιμής) για την μεταβλητή $x(t+\tau)$ ή $y(t+\tau)$ τη χρονική στιγμή $t+\tau$.

Εφαρμόζοντας την παραπάνω θεώρηση στην υδρολογία και την κλιματολογία, μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματαγια την ετεροσυσχέτιση καιρικών μεταβλητών όπως το ύψος βροχόπτωσης, το επίπεδο ατμοσφαιρικής πίεσης, η θερμοκρασία κ.α. Ανάλογα με το βαθμό συσχέτισης προκύπτουν στοιχεία για την εξάρτηση μίας μεταβλητής από μία άλλη και το πως επηρεάζει η μία την άλλη στο χρόνο. Συνεπώς, σε πολλές κλιματολογικές μελέτες με βάση το συντελεστή συσχέτισης κατασκευάζονται μοντέλα πρόβλεψης της συμπεριφοράς διαφόρων καιρικών μεταβλητών αλλά και πιθανά σενάρια εξέλιξης του κλίματος (π.χ. Yates et al. 2003).

Η ανάγκη κατανόησης των κλιματικών μεταβολών και του τρόπου που αλληλοεπηρεάζονται οι κλιματικές συνθήκες χωρικά, οδηγεί στην αναζήτηση μοτίβων των αλλαγών που πραγματοποιούνται καθώς και την αναγνώριση περιοχών παρόμοιας κλιματικής συμπεριφοράς. Με αυτόν τον τρόπο επιδιώκεται η ανακάλυψη χωρικών συσχετίσεων κλιματικών μεταβλητών συμπεριλαμβανομένου τηλεσυνδέσεων (teleconnections) περιοχών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση (Steinhauser et al. 2010). Στην πρόσφατη αυτή επιστημονική έρευνα των Steinhauser et al. (2010) επιχειρείται η μοντελοποίηση των δεδομένων κλιματικών μεταβλητών ως ένα δίκτυο κόμβων που αλληλεπιδρούν. Οι κόμβοι αποτυπώνονται σε χάρτη και χρησιμοποιείται ένας δείκτης ομοιότητας των κλιματικών μεταβλητών βασισμένος στην ετεροσυσχέτιση ώστε να προκύψουν σταθμισμένοι σύνδεσμοι ανάμεσα τους. Η τοποθέτηση των συνδέσμων καθορίζεται με μοναδικό κριτήριο τη συσχέτιση των μεταβλητών και όχι χωρικούς παράγοντες. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2-1) φαίνονται τα βήματα της διαδικασίας που ακολουθήθηκε καθώς και η ερμηνεία του δικτύου που προκύπτει μέσω της δημιουργίας κοινοτήτων των οποίων οι κλιματικές συνθήκες ομοιάζουν. Στη συγκεκριμένη πολυμεταβλητή ανάλυση πραγματοποιείται επίσης έλεγχος των ετεροσυσχετίσεων για διάφορες υστερήσεις (-6 έως 6) και διατηρείται η υψηλότερη τιμή καθώς είναι αναμενόμενη η διαφοροποίηση των κλιματικών φαινομένων στο χώρο και το χρόνο.



Σχήμα 2-1 Αναπαράσταση της διαδικασίας αναγνώρισης «κοινοτήτων» όμοιων κλιματικών χαρακτηριστικών με τη μέθοδο των δικτύων ετεροσυσχετίσεων. (Πηγή: Steinhauser et al., 2010)

Θεωρητικά, οι τιμές χρονοσειρών μεταβλητών που περιγράφουν την καιρική κατάσταση που επικρατεί σε μια περιοχή (π.χ. ύψος βροχόπτωσης, θερμοκρασία, πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας) μπορούν να χαρακτηριστούν ως τα αποτελέσματα ενός πειράματος. Όταν πραγματοποιείται μία ανεξάρτητη πειραματική διαδικασία, τα πιθανά αποτελέσματα του σε κάθε διεξαγωγή του πειράματος είναι τα ίδια και προκύπτουν με την ίδια πιθανότητα. Συνεπώς, η γνώση των αποτελεσμάτων των προηγούμενων πειραμάτων δεν επηρεάζει την πρόβλεψη των αποτελεσμάτων του επόμενου πειράματος. Η μοντέρνα θεωρία πιθανοτήτων μελετά φαινόμενα με βάση τις πιθανότητες, για τα οποία η γνώση των προηγούμενων αποτελεσμάτων επηρεάζει τις προβλέψεις των μελλοντικών διεργασιών. Σύμφωνα με αυτή, κατά την παρατήρηση μίας ακολουθίας πειραμάτων, όλα τα προηγούμενα αποτελέσματα επηρεάζουν την πρόβλεψη για το

επόμενο πείραμα. Το 1907 ο Α. Α. Μαρκόφ ξεκίνησε τη μελέτη μίας νέας σημαντικής πιθανοτικής διαδικασίας κατά την οποία το αποτέλεσμα της διεξαγωγής ενός πειράματος μπορεί να επηρεάσει το αποτέλεσμα του επόμενου πειράματος. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αλυσίδα Μαρκόφ. Μία αλυσίδα Μαρκόφ περιγράφεται ως εξής: υποθέτουμε ένα σύνολο καταστάσεων $S = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$. Η διεργασία ξεκινά από μία αρχική κατάσταση και στη συνέχεια μεταβαίνει σε μία άλλη κατάσταση του συνόλου S . Κάθε μετάβαση καλείται βήμα. Αν η αλυσίδα είναι στην κατάσταση s_i , μεταβαίνει στην κατάσταση s_j στο επόμενο βήμα με πιθανότητα p_{ij} και αυτή η πιθανότητα είναι ανεξάρτητη της κατάστασης στην οποία βρισκόταν η αλυσίδα πριν από την τρέχουσα (s_i). Οι πιθανότητες p_{ij} καλούνται πιθανότητες μετάβασης για κάθε $i, j \in S$ με φορά από το i στο j . Η διεργασία μπορεί να παραμείνει στην τρέχουσα κατάσταση και αυτό συμβαίνει με πιθανότητα p_{ii} .

Σύμφωνα με τα παραπάνω αν θεωρήσουμε δύο πιθανές καιρικές συνθήκες μίας ημέρας, βροχόπτωση (w) και μη βροχόπτωση (d) οι αντίστοιχες πιθανότητες μετάβασης φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} w & d \end{matrix} \\ \begin{matrix} w \\ d \end{matrix} & \begin{pmatrix} a & 1-a \\ 1-b & b \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Ο πίνακας μετάβασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των πιθανοτήτων μετάβασης έπειτα από (n) βήματα (ημέρες) με δεδομένη την τρέχουσα κατάσταση. Για παράδειγμα, η πιθανότητα βροχόπτωσης έπειτα από δύο ημέρες σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα και με δεδομένο ότι έχει βρέξει στο τρέχον βήμα υπολογίζεται ως το γινόμενο της πρώτης γραμμής με την πρώτη στήλη $P_{ww}^{(2)} = p_{ww} \cdot p_{ww} + p_{wd} \cdot p_{dw}$. Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία προκύπτουν οι αντίστοιχες πιθανότητες των υπόλοιπων ενδεχομένων. Γενικά, αν μία αλυσίδα Μαρκόφ έχει r δυνατές καταστάσεις, η πιθανότητα διαδοχής της τρέχουσας κατάστασης i από την κατάσταση j έπειτα από δύο βήματα είναι:

$$p_{ij}^{(2)} = \sum_{k=1}^r p_{ik} p_{kj}$$

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η παραπάνω θεώρηση για μεγάλο αριθμό βημάτων (n). Με βάση αυτή, προκύπτει ότι έπειτα από μεγάλο αριθμό βημάτων, η πιθανότητα μετάβασης σε μία κατάσταση είναι ανεξάρτητη της τρέχουσας. Αυτός ο τύπος αλυσίδας Μαρκόφ αποτελεί μία τυπική αλυσίδα Μαρκόφ. Για αυτόν τον τύπο αλυσίδας ισχύει ότι οι προβλέψεις σε μεγάλο χρονικό ορίζοντα είναι ανεξάρτητες της αρχικής κατάστασης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ένα Μαρκοβιανό μοντέλο πρώτης τάξης μπορεί να διατυπωθεί ως εξής:

$$P (w_t | w_{t-1}, w_{t-2}, \dots, w_{t-n}) = P (w_t | w_{t-1})$$

όπου w_t είναι η κατάσταση που επικρατεί τη στιγμή t , w_{t-1} η κατάσταση που επικρατεί τη χρονική στιγμή $t-1$ κ.ο.κ. Έτσι, η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την κατάσταση w στο βήμα t εξαρτάται μόνο από την κατάσταση στο βήμα $t-1$.

Μία σημαντική εφαρμογή του παραπάνω τύπου μοντέλων είναι στην παραγωγή μεγάλων συνθετικών χρονοσειρών, οι οποίες διατηρούν τις ιδιότητες παρατηρημένων χρονοσειρών. Σύμφωνα με παλαιότερη επιστημονική έρευνα (Caskey 1963), συγκρίνοντας τα αποτελέσματα ενός μοντέλου Μαρκόφ με την πραγματική χρονοσειρά ημερήσιων βροχοπτώσεων του Ντένβερ, προέκυψε ότι οι πιθανότητες μετάβασης μεταξύ βροχερών και ξηρών ημερών ήταν παρόμοιες.

Όταν εξετάζονται μεμονωμένες περιοχές, χρησιμοποιούνται μεθοδολογίες που βασίζονται σε μία αλυσίδα Μαρκόφ για να περιγράψουν τη χρονική εξάρτηση των επεισοδίων βροχόπτωσης (Katz 1977). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν μελέτες χωρικών μοντέλων που μπορούν να παράγουν ετεροσυσχετιζόμενες βροχοπτώσεις χωρικά και χρονικά. Η φύση του φαινομένου της βροχόπτωσης, ωστόσο, χαρακτηρίζεται από έντονη μεταβλητότητα στις μικρές χωρικές και χρονικές κλίμακες δυσχεραίνοντας την παραπάνω θεώρηση. Συνεπώς, η κατανόηση και η αποτύπωση της συνολικής συμπεριφοράς της έντασης της βροχόπτωσης και της αλληλουχίας των βροχερών ή ξηρών ημερών – περιόδων είναι κρίσιμης σημασίας για τον υδρολογικό σχεδιασμό και τη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Η παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιων βροχοπτώσεων μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορες μεθοδολογίες που βασίζονται στη στοχαστική προσέγγιση του φαινομένου συμπεριλαμβανομένου και των αλυσίδων Μαρκόφ. Η συγκεκριμένη μέθοδος

αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της εκτίμησης κινδύνου σε μελέτες ταμιευτήρων, αντιπλημμυρικών έργων και άλλων υδρολογικών μελετών που στοχεύουν στην πρόβλεψη ακραίων καιρικών καταστάσεων, όπως οι εκτεταμένες περιόδους ξηρασίας ή τα μεγάλα επεισόδια βροχόπτωσης από τα οποία προκύπτουν μεγάλοι όγκοι απορροής σε μικρά χρονικά διαστήματα. Οι καταγεγραμμένες διαθέσιμες χρονοσειρές έχουν περιορισμένο μήκος και αποτυπώνουν την εξέλιξη του φαινομένου μέχρι σήμερα, ωστόσο, με τη βοήθεια συνθετικών χρονοσειρών και τη μελέτη πολλών διαφορετικών σεναρίων για την εξέλιξη του φαινομένου στο μέλλον είναι δυνατό να προκύψουν σημαντικές πληροφορίες για την κατασκευή και διαχείριση μεγάλων υδραυλικών έργων ή συστημάτων.

2.2 Κλίμα και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης: Μεσόγειος

Η παρούσα ανάλυση εκπονείται για την περιοχή της Μεσογείου και πιο συγκεκριμένα χωρίζεται σε δύο υποπεριοχές, εκείνη της Ελλάδας και εκείνη όλων των υπολοίπων παράκτιων χωρών. Γενικά, το κλίμα της λεκάνης της Μεσογείου χαρακτηρίζεται από ισχυρή εποχικότητα, δηλαδή παρουσιάζει έντονα διαφοροποιημένα χαρακτηριστικά ανάλογα με την εποχή. Αυτές οι μεταβολές, οφείλονται στην επικράτηση ποικίλων συστημάτων υψηλής ή χαμηλής πίεσης τα οποία επηρεάζουν τόσο την κατακρήμνιση όσο και τη θερμοκρασία.

Τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή (σε μικρότερο βαθμό), καθώς η Μεσόγειος καλύπτει ένα μεγάλο εύρος γεωγραφικών μηκών και πλατών ενώ σε πολλές περιπτώσεις σημαντικό ρόλο παίζει η γεωμορφολογία και ιδιαίτερα η έντονη ορογραφία. Ο καιρός στα υπο-τροπικά πλάτη ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από τη διέλευση κυκλωνικών συστημάτων και των αντίστοιχων μετώπων, η ύπαρξη και η συχνότητα εμφάνισης των οποίων καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την τοπογραφία, τις κλίσεις της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας και τον προσανατολισμό των βαρομετρικών ζωνών.

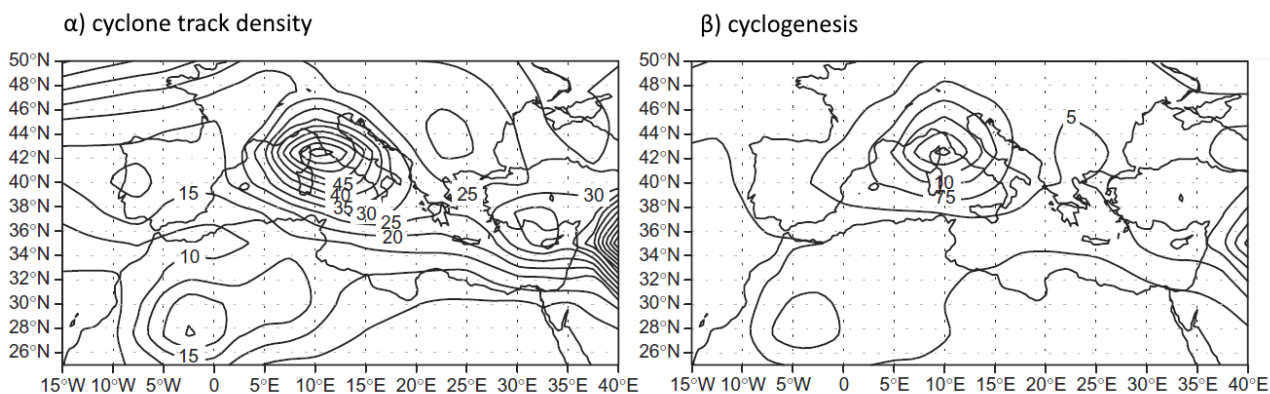
Επίσης, στην περιοχή της Μεσογείου οι κυκλώνες είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που καθορίζουν τον καιρό και το κλίμα, ειδικά κατά τη χειμερινή περίοδο κατά την οποία εμφανίζεται μεγάλο πλήθος κυκλώνων (Pettersen 1956, HMSO 1962, Reiter 1975, Radinovic 1987, Campins et al. 2000, Nissen et al. 2010), παρόλο που βρίσκεται βόρεια της τροπικής ζώνης (Trewartha and Horn 1980). Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι ότι η πλειοψηφία των κυκλώνων που επηρεάζουν τη Μεσόγειο δημιουργούνται μέσα στην ίδια τη λεκάνη της Μεσογείου ή σε κοντινές

περιοχές. Αναπτύσσονται και εξελίσσονται σε ένα εύρος χωρικών και χρονικών κλιμάκων, οι οποίες είναι από τη φύση τους διαφορετικές από εκείνες των υπο-τροπικών κυκλώνων, δηλαδή είναι συνήθως μικρότεροι και πιο ρηχοί και έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, είναι ικανοί να προκαλέσουν ακραίες βροχοπτώσεις και πλημμύρες (π.χ. Buzzi et al. 2005, Homar et al. 2007), ανεμοθύελλες (π.χ. Nissen et al. 2010) και θύελλες που μπορεί να προκαλέσουν κυματισμούς μεγάλου ύψους (μηχανισμός τσουνάμι) (π.χ. Trigo and Davies 2002).

Ένα πλήθος μεθοδολογιών έχει αναπτυχθεί ή έχει προσαρμοσθεί ειδικά για την αναγνώριση και παρακολούθηση των κυκλώνων της περιοχής της Μεσογείου (Alpert et al. 1990, Trigo et al. 1999, 2002, Maheras et al. 2001, Picornell et al. 2001, Lionello et al. 2002, Alpert et al. 2004a, Raible and Blender 2004, Buzzi et al. 2005, Pinto et al. 2005, Jacob 2005, Trigo 2006, Lionello et al. 2006, Bartholy et al. 2009, Flocas et al. 2010, Campins et al. 2011). Αυτές οι μελέτες έχουν δείξει ότι η αναπαράσταση και η ποσοτικοποίηση της κυκλωνικής δραστηριότητας είναι ευαίσθητη τόσο στην επιλογή των δεδομένων όσο και στη μεθοδολογία που ακολουθείται (Trigo 2006, Raible et al. 2008, Ulbrich et al. 2009).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα σχετικής πρόσφατης μελέτης (P. Lionello, 2012), διακρίνονται περιοχές με έντονη κυκλογένεση και κυκλωνική δραστηριότητα πάνω από τον κόλπο της Γένοβας και πάνω από την Κύπρο. Συγκεκριμένα, παρατηρούνται πάνω από 40 περιστατικά ανά έτος στο τμήμα της Μεσογείου που περιλαμβάνει την Κορσική, τη Σαρδηνία και την Ιταλία, ενώ στη νότια Τουρκία και την Κύπρο ξεπερνούν τα 30 περιστατικά ετησίως. Επίσης, στοιχειοθετείται ξεκάθαρα η ύπαρξη υψηλής κυκλωνικής δραστηριότητας πάνω από την Ιβηρική χερσόνησο, πάνω από την έρημο Σαχάρα καθώς και στις βαλκανικές χώρες δυτικά της Μαύρης Θάλασσας (Σχήμα 2-2).

Κατά την υγρή περίοδο η λεκάνη της Μεσογείου προσφέρει όλους τους παράγοντες που συντελούν στην κυκλογένεση καθώς έχει μεγάλες κλίσεις ατμοσφαιρικών πιέσεων, είναι θερμότερη από τα χερσαία τμήματα που την περιβάλλουν, και βρίσκεται στην υπήνεμη πλευρά της κορυφογραμμής των κοντινών οροσειρών, όπως για παράδειγμα η οροσειρά του Άτλαντα στο Μαρόκο, οι Ευρωπαϊκές Άλπεις στην Ελβετία και η οροσειρά του Ταύρου στην Τουρκία, βόρεια της Κύπρου (HMSO 1962, Alpert et al. 1990, 1996, Tafferfer and Egger 1990, Stein and Alpert 1993, Trigo et al. 1999, Trigo et al. 2002, Lionello et al. 2006, Flocas et al. 2010, Campins et al. 2010).



Σχήμα 2-2 α) Πυκνότητα κυκλωνικής δραστηριότητας, υπολογισμός σύμφωνα με Nissen et al. (2010), με ισοδιάσταση 5 περιστατικά/έτος/(βαθμό γεωγραφικού πλάτους)² β) Κυκλογένεση (περιστατικά γένεσης αναγνωρισμένων κυκλώνων) με ισοδιάσταση 2.5 περιστατικά/έτος/(βαθμό γεωγραφικού πλάτους)² (πηγή: Lionello 2012)

Σύμφωνα με την ανάλυση ετήσιων δεδομένων παραγωγής κυκλώνων (Lionello, 2012), δύο κύριες κυκλογενετικές περιοχές είναι εμφανείς: μία στην υπήνεμη (βόρεια) πλευρά της οροσειράς του Άτλαντα (π.χ. Thorncroft and Flocas 1997, αναφέρονται ως «κυκλώνες Sharav») και μία στον κόλπο της Γένοβας (π.χ. Buzzi and Tibaldi 1978, αναφέρονται ως «κυκλώνες της Γένοβας»).

Η χωρική κατανομή των Μεσογειακών κυκλώνων παρουσιάζει συγκεκριμένο μοτίβο ανάλογα με την εποχή, καθώς οι κυκλώνες εμφανίζονται συγκεκριμένες εποχές του χρόνου σε συγκεκριμένες περιοχές. Η κατανομή τους κατά την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού είναι παρόμοιες ενώ το ίδιο ισχύει για τις περιόδους φθινοπώρου – χειμώνα. Μόνο οι κυκλώνες της Γένοβας και ένα μέρος των κυκλώνων πάνω από την Κύπρο διατηρούν σταθερή πυκνότητα καθόλη τη διάρκεια του έτους. Τα κύρια χαρακτηριστικά για το καλοκαίρι είναι μεγάλος αριθμός κυκλώνων πάνω από τη Σαχάρα και σε μικρότερο βαθμό πάνω από την Ιβηρική (κόλπος του Κάντιθ), την Γένοβα και την περιοχή γύρω από την Κύπρο. Ο υψηλός αριθμός κυκλώνων πάνω από χερσαία τμήματα οφείλεται εν μέρει στις περιοχές χαμηλής ατμοσφαιρικής πίεσης, οι οποίες δημιουργούνται λόγω της θερμότητας που μεταφέρεται από το έδαφος στην ατμόσφαιρα. Κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, οι μεγαλύτεροι αριθμοί κυκλώνων εμφανίζονται στον κόλπο της Γένοβας και τα γειτονικά θαλάσσια τμήματα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο μέγιστος αριθμός κυκλώνων παρατηρείται ομοίως πάνω από τον κόλπο της Γένοβας, ωστόσο εμφανίζονται πολλοί κυκλώνες σε ένα πλήθος θαλάσσιων τμημάτων όπως η Αδριατική και η Μαύρη θάλασσα, το

Τυρρανικό, το Ιόνιο και το Αιγαίο πέλαγος και γύρω από την Κύπρο. Η κυκλογένεση κατά την περίοδο του χειμώνα είναι κυρίως κυκλογένεση που λαμβάνει χώρα στην υπήνεμη πλευρά των ορεινών όγκων σε συνδυασμό με αστάθεια του βαρομετρικού.

Εξετάζοντας το κλίμα της ευρύτερης λεκάνης της Μεσογείου σε μικρότερη γεωγραφική κλίμακα, θα μπορούσε να χωριστεί σε 4 υποπεριοχές (νότια, δυτική, βόρεια και ανατολική).

Το νότιο τμήμα της αποτελείται από τη Β. Αφρική (χώρες όπως η Αλγερία, Τυνησία, Λιβύη και Αίγυπτος). Σε αυτή την περιοχή η κλιματική ζώνη εξαφανίζεται σε απόσταση 16 – 160 χιλιομέτρων εσώτερα της ακτογραμμής όπου ξεκινά η έρημος Σαχάρα. Στο δυτικό τμήμα της Β. Αφρικής, οι παράκτιες κοιλάδες διαχωρίζονται από βουνά, ενώ υπάρχει μια περιοχή σταδιακής μετάβασης από γόνιμο έδαφος σε άμμο. Σε αυτό το τμήμα η ετήσια κατακρήμνιση κυμαίνεται από 500 mm έως 1000 mm και αυξάνεται όσο κατευθυνόμαστε προς τα ανατολικά διαμέσου της Αλγερίας. Ανατολικότερα, η κατακρήμνιση στην παράκτια περιοχή μειώνεται σε 200 mm ετησίως, τιμή η οποία παρατηρείται στα πιο υγρά τμήματα της Αιγύπτου. Χαρακτηριστικό της θερμοκρασίας στη Β. Αφρική είναι οι πολύ θερμοί και ξηροί καλοκαιρινοί μήνες και οι ήπιοι χειμερινοί στη διάρκεια των οποίων παρατηρούνται σχεδόν όλες οι βροχοπτώσεις. Ο τυπικός μέσος όρος των μεγίστων θερμοκρασιών τους καλοκαιρινούς μήνες κυμαίνεται από 21 έως 24 βαθμούς Κελσίου στην Αλγερία και αυξάνεται έως τους 30 στην Αίγυπτο κατά μήκος της ακτής. Ο μέσος όρος των ελαχίστων θερμοκρασιών τη χειμερινή περίοδο είναι της τάξης των 10-12 βαθμών Κελσίου στην Αλγερία και καταλήγει σε 14 βαθμούς στην Αίγυπτο (Coutsoukis 2004).

Όσον αφορά το κλιματικό σχήμα (climatic pattern) που εμφανίζεται λόγω της γεωγραφικής θέσης της Β. Αφρικής, ένα τυπικό φαινόμενο κατά την περίοδο της άνοιξης για χώρες όπως η Λιβύη, η Αίγυπτος και το Ισραήλ είναι οι κυκλώνες Sharav (Winstanley 1972, Alpert and Ziv 1989), όπως έχει ήδη αναφερθεί. Οι συγκεκριμένοι κυκλώνες δημιουργούνται κατά μήκος της νότιας ακτής της Μεσογείου και του βόρειου τμήματος της βόρειας αφρικανικής ερήμου (Reiter 1975, Alpert and Ziv 1989). Οι Egger et al. (1995) έδειξαν ότι ο σχηματισμός τους μπορεί να θεωρηθεί μία δευτερεύουσα κυκλογένεση του βαρομετρικού χαμηλού της Γένοβας, το οποίο με τη σειρά του είναι αποτέλεσμα δευτερευόντων κυκλωνικών συστημάτων της Ευρώπης (έχει εξεταστεί από Romem et al. 2007). Η κύρια πηγή γένεσης τέτοιων κυκλώνων είναι η οροσειρά του Άτλαντα.

Η κυκλωνική δραστηριότητα στη νότια Μεσόγειο εξηγείται από την διαφορά των

θερμοκρασιών ανάμεσα στη θάλασσα και το βόρειο τμήμα της ερήμου της βόρειας Αφρικής. Η υστέρηση της προσαρμογής της θερμοκρασίας του νερού στον ετήσιο θερμοκρασιακό κύκλο σε σχέση με την έρημο, έχει αποτέλεσμα αυτή η διαφορά να φτάνει στη μέγιστη τιμή της κατά τη διάρκεια της άνοιξης. Κατά την περίοδο αυτή παρατηρούνται οι πιο σημαντικοί τύποι συστημάτων μεγάλης κλίμακας στην ανατολική Μεσόγειο (Alpert et al. 2004b). Είναι συνήθως μικρότεροι σε μέγεθος και ταχύτεροι σε σχέση με τους χειμερινούς μεσογειακούς κυκλώνες, γεγονός το οποίο καθιστά την επίδραση ενός μεμονωμένου συστήματος ενεργή για λιγότερο από μια μέρα σε αντίθεση με την πολυήμερη επίδραση των χειμερινών κυκλώνων. Οι κυκλώνες αυτοί, οι οποίοι συνδέονται άμεσα με τους ανέμους scirocco, δεν σχετίζονται συνήθως με μέτωπα βροχής, λόγω του χαμηλού ποσοστού υγρασίας της θερμής αέριας μάζας που προέρχεται από τη Σαχάρα, αλλά και λόγω της μικρής κατακόρυφης έκτασης η οποία μειώνει τις κατακόρυφες ταχύτητες. Συνεπώς, τα φαινόμενα που σχετίζονται με αυτά τα συστήματα είναι οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες, η ξηρασία στο θερμό τμήμα του μετώπου και οι ανεμοθύελλες ειδικά κατά μήκος του ψυχρού μετώπου (Tantawy 1969, Alpert and Ziv 1989, Saaroni et al. 1998).

Το δυτικό τμήμα της Μεσογείου απαρτίζεται από τη Γαλλία, την Ισπανία και το Μαρόκο. Το κλίμα σε αυτή την περιοχή διαμορφώνεται από ένα διαρκές κέντρο υψηλής πίεσης τους καλοκαιρινούς μήνες (υποτροπικό υψηλό αντικυκλωνικό σύστημα), το οποίο βρίσκεται δυτικά της ιβηρικής χερσονήσου και συνδυάζεται με βορειοδυτική ροή ανέμων. Υπάρχουν δύο κυρίαρχες υπερκείμενες αέριες μάζες στη δυτική Μεσόγειο, μία ηπειρωτική τροπική και μία θαλάσσια τροπική (Robinson 1999). Και οι δύο αέριες μάζες λόγω της τροπικής τους προέλευσης σχετίζονται με τις σχετικά ήπιες μέσες θερμοκρασίες που επικρατούν στην περιοχή, όπως επίσης και με την εναλλαγή υγρών και ξηρών περιόδων.

Οι βορειοδυτικοί άνεμοι, που κυριαρχούν στην παρακείμενη ροή, φέρνουν τον ξηρό ηπειρωτικό αέρα στην περιοχή. Κατά τους χειμερινούς μήνες, καθώς το κέντρο υψηλής πίεσης υποχωρεί, η βροχόπτωση αυξάνεται λόγω του υγρού θαλάσσιου αέρα. Αντίθετα, την καλοκαιρινή περίοδο, κατά την οποία το υψηλό κέντρο πίεσης ενισχύεται και έχει την τάση να κινηθεί προς τον Β. Πόλο (Encyclopedia Britannica), η καθοδική κίνηση των αερίων μαζών ελέγχει το καλοκαιρινό κλίμα παράγοντας συνθήκες με ελάχιστη συννεφιά. Η εναλλαγή θέρμανσης – ψύξης κατά τη διάρκεια του 24ώρου (θερμές ημέρες, πιο ψυχρές νύχτες) δημιουργεί ένα πολύ μεγάλο εύρος θερμοκρασιών το καλοκαίρι της τάξης των 8-10 βαθμών Κελσίου (Ritten 2006).

Το βόρειο τμήμα της Μεσογείου περιλαμβάνει τα παράλια χωρών από τη Β. Ιταλία έως τη Βουλγαρία. Σε αυτό το τμήμα το φθινόπωρο είναι η θερμότερη περίοδος, η οποία επηρεάζεται από το θαλάσσιο κομμάτι της Μεσογείου. Πιο συγκεκριμένα, ένα αίτιο της αυξημένης θερμοκρασίας το φθινόπωρο είναι οι ζώνες υψηλής πίεσης που έχουν την τάση να σχηματίζονται στο νότιο τμήμα της πρώην Σοβιετικής Ένωσης (π.χ. Ουκρανία), οι οποίες έλκουν νότια και νοτιοανατολικά ρεύματα από τον κόλπο της Σίντρα προς την κεντρική Μεσόγειο (Maheras 1999). Επίσης, το κομμάτι των Βαλκανίων επηρεάζεται από μία ζώνη χαμηλής πίεσης πάνω από τη Δανία και τη νότια Νορβηγία, η οποία προκαλεί ρεύματα με κατεύθυνση δυτικά και νοτιοδυτικά προς τα Βαλκάνια. Αυτά τα δύο ρεύματα αποτελούνται από θερμές αέριες μάζες που προέρχονται από τη θάλασσα και θερμαίνουν την ξηρά.

Όσον αφορά την τοπογραφία και την επίδραση των γεωγραφικών χαρακτηριστικών, το βόρειο τμήμα της Μεσογείου είναι δομημένο από πολλές αλυσίδες βουνών - οροσειρές. Γενικά, έχει έντονο ανάγλυφο με κοιλάδες και λεκάνες. Ακόμα και οι πολυάριθμες χερσόνησοι και νήσοι διαμορφώνονται από λόφους και όρη. Αυτές οι οροσειρές δημιουργούν ευδιάκριτους κλιματικούς διαχωρισμούς, ένας από τους οποίους είναι μεταξύ της Μεσογείου και της υπόλοιπης Ευρώπης με χαρακτηριστικό παράγοντα τις Άλπεις. Η λεκάνη απορροής του ποταμού Πάδου στη Β. Ιταλία, η οποία περιστοιχίζεται από τις Άλπεις και τα Απέννινα Όρη, καθώς και ο κόλπος της Τεργέστης, παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη μοτίβων στην κίνηση των αερίων μαζών.

Στη βόρεια Αδριατική (βόρειο τμήμα της Βαλκανικής χερσονήσου), έχει παρατηρηθεί ότι η τοπική κυκλογένεση θέτει σε κίνηση λιμνάζουσες πολικές αέριες μάζες, οι οποίες διέρχονται πάνω από τους ορεινούς όγκους και με κατεύθυνση προς τις ακτές. Κατά το στάδιο καθοδικής κίνησης (στην υπήνεμη πλευρά του ορεινού όγκου), η αδιαβατική θέρμανση δεν είναι σε θέση να μεταβάλλει τον πολικό χαρακτήρα τους με συνέπεια ο αέρας που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους να συνεχίζει να είναι ψυχρός. Στη συνέχεια, ο ψυχρός πολικός αέρας κινούμενος επάνω από τη θερμή Αδριατική θερμαίνεται στο κατώτατο επίπεδό του και εμπλουτίζεται με άφθονους υδρατμούς. Η παραπάνω διαδικασία γεννά ένα τυπικό βορειοανατολικό ρεύμα με ισχυρές εντάσεις.

Όσον αφορά την κυκλογένεση στην βόρειοδυτική Ιταλία, η περιοχή της Γένοβας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, θεωρείται μία από τις κύριες περιοχές κυκλογένεσης της Μεσογείου

(Lionello 2012). Η κυκλογένεση εκεί συμβαίνει καθόλη τη διάρκεια του έτους με μέγιστη δραστηριότητα τον Μάρτιο και τον Απρίλιο. Γενικά, οι κυκλώνες που δημιουργούνται σε αυτό το τμήμα ταξιδεύουν νοτιοανατολικά επηρεάζοντας την περιοχή νότια των Άλπεων, την ιταλική χερσόνησο, την Αδριατική και την κεντρική και ανατολική Μεσόγειο. Προέρχονται από την κυκλογένεση στη νότια πλευρά των Άλπεων και είναι τυπικό παράδειγμα κυκλώνων που γεννιούνται στην υπήνεμη πλευρά ενός ορεινού όγκου. Όσον αφορά τον μηχανισμό ανάπτυξης, η ισχυροποίηση των κυκλώνων που ξεκινούν να σχηματίζονται στην υπήνεμη πλευρά μιας οροσειράς συμβαίνει όταν ένας κυκλώνας με μικρές κλίσεις ατμοσφαιρικών πιέσεων, ο οποίος προκύπτει λόγω της ορογραφίας, αλληλεπιδρά με ένα διερχόμενο κύμα της ανώτερης τροπόσφαιρας (McGinley 1982).

Ο Mistral είναι τύπος ανέμου ο οποίος επικρατεί τη χειμερινή περίοδο και είναι αποτέλεσμα του ισχυρού κυκλώνα στον κόλπο της Γένοβας σε συνδυασμό με το αντικυκλωνικό σύστημα βόρεια-βορειοδυτικά της Ιβηρικής χερσονήσου το οποίο αναφέρεται παραπάνω. Πνέει από τις χιονισμένες Άλπεις και διοχετεύεται στη Μεσόγειο μέσω της κοιλάδας του Ροδανού ποταμού της νότιας Γαλλίας ενώ είναι ψυχρός και ξηρός. Επιπλέον, οι άνεμοι που προκαλούνται από τον κυκλώνα Sharav (ή Sirocco), που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως προέρχεται από τη Β. Αφρική, κάποιες φορές μπορεί να φτάσει μέχρι την Αδριατική, αλλά γενικά είναι ισχυρότερος κοντά στις ακτές της Β. Αφρικής. Τα κατώτερα στρώματα αυτού του θερμού ανέμου διασχίζοντας τη Μεσόγειο απορροφούν υδρατμούς έως ότου κορεστούν και σχηματίσουν σύννεφα και ομιχλώδεις συνθήκες ή ελαφρά βροχόπτωση.

Η ανατολική Μεσόγειος (Τουρκία, Κύπρος, Συρία, Λίβανος και Ισραήλ) παρουσιάζει κλιματολογικές ιδιομορφίες λόγω της τοποθεσίας της, δημιουργώντας ισχυρή εποχιακή βροχόπτωση, η οποία ωστόσο δεν λαμβάνει χώρα καθαρά στο ηπειρωτικό κομμάτι. Αυτή η ιδιομορφία αποδίδεται στη γεωγραφική θέση αυτής της περιοχής, εφόσον βρίσκεται ανάμεσα από την υποτροπική ζώνη υψηλών πιέσεων και τη δυτικογενή πνοή ανέμων με κατεύθυνση προς τα βόρεια. Αυτοί οι παράγοντες συντίθενται από το έντονο ανάγλυφο του εδάφους της περιοχής. Ειδικότερα, οι παράκτιες περιοχές της ανατολικής Μεσογείου διαμορφώνονται από βουνά και οροσειρές, σχεδόν σε όλο το μήκος τους, εμποδίζοντας έτσι τις κορεσμένες σε υδρατμούς θαλάσσιες αέριες μάζες να μεταβούν στο ηπειρωτικό κομμάτι. Συνεπώς, η διαδικασία αποφόρτισης της κορεσμένης ατμόσφαιρας, η οποία υπό προϋποθέσεις προκαλεί κατακρήμνιση,

συμβαίνει στην προσήνεμη πλευρά του βραχώδους αναγλύφου. Η εκτόνωση αυτή επιδρά στο κλίμα της υπήνεμης πλευράς (ενδοχώρας) προκαλώντας εκτεταμένη ξηρασία και άγονα τοπία (π.χ. οροσειρά της Πίνδου).

Το μοτίβο της βροχόπτωσης σε αυτή την περιοχή ποικίλλει, με διαφορές της τάξης των 500 χιλιοστών ωστόσο είναι πάντα εποχιακό. Για παράδειγμα, στο λιμάνι της Χάιφα στο βόρειο Ισραήλ παρατηρούνται κατά μέσο όρο 25 βροχερές ημέρες με συνολικό ύψος 550 χιλιοστά κατά τη διάρκεια αυτών των περιστατικών βροχόπτωσης, (πηγή: EuroWEATHER, ClimateZone). Παρόλαυτα, η τάση ελαχιστοποίησης των βροχερών ημερών δεν επεκτείνεται περαιτέρω, καθώς στην πόλη της Βηρυτού, λίγο πιο βόρεια, παρατηρείται ένας μέσος όρος 42 βροχερών ημερών με ετήσιο ύψος βροχής 855 χιλιοστά. Τέλος, στην παραθαλάσσια περιοχή της Αττάλειας (νότια Τουρκία) το μέσο ετήσιο ύψος βροχής αυξάνεται σε 1000 χιλιοστά. Παρόλη την ποικιλία στην κατακρήμνιση, οι παραπάνω τρεις πόλεις παρουσιάζουν κανονικές θερμοκρασίες ανάλογα με την εποχή και με μικρότερες διαφορές η μία σε σχέση με την άλλη.

Η εποχικότητα χαρακτηρίζεται από μια σχεδόν πάντα ξηρή περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου, η οποία μπορεί να επεκταθεί στην περίοδο Μαΐου-Σεπτεμβρίου. Ωστόσο, με την είσοδο στους φθινοπωρινούς μήνες, η έλευση των πρώτων βροχοπτώσεων είναι δύσκολο να προβλεφθεί. Ένας λόγος της δυσκολίας πρόβλεψης αυτών, έγκειται σε ένα κυκλωνικό σύστημα το οποίο προσεγγίζει τη Μεσόγειο τον Οκτώβριο. Η ακριβής θέση του παρουσιάζει ποικιλία καθώς μπορεί να εντοπισθεί σε ένα εύρος περιοχών από την Τουρκία έως τη χερσόνησο Σινά κάποιο έτος, ενώ το επόμενο να εμφανιστεί στο Βισκαϊκό κόλπο και την Ιβηρική χερσόνησο. Όταν η θέση του χαμηλού κέντρου πίεσης προσεγγίζει την κεντρική Μεσόγειο κοντά στην Κορσική, οι βροχοπτώσεις στην ανατολική Μεσόγειο γίνονται πιο έντονες, ενώ όταν το μέτωπο βρίσκεται κοντά στην Τουρκία οι χειμερινές βροχοπτώσεις έχουν την τάση να καθυστερούν (Krown 1966).

Τα μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης συγκεντρώνονται το μήνα Ιανουάριο εξασθενώντας μέχρι τον Απρίλιο. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση στην οποία το κυκλωνικό αυτό σύστημα βρίσκεται νότια της Τουρκίας και συγκεκριμένα πάνω από την Κύπρο. Ειδικότερα, αυτό είναι υπεύθυνο για τη συντριπτική πλειοψηφία των ετήσιων βροχοπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή, που περιλαμβάνει την Συρία, το Λίβανο, το Ισραήλ και την Ιορδανία (π.χ. Alpert et al. 1990, Goldreich 2003, Ziv et al. 2009). Οι Saaroni et al. (2010) έδειξαν ότι τα χαμηλά βαρομετρικά πάνω από την Κύπρο συνεισφέρουν κατά 80% περίπου στις βροχοπτώσεις του Ισραήλ κατά την

περίοδο Νοεμβρίου – Μαρτίου (οι βροχοπτώσεις της οποίας αποτελούν πάνω από το 90% του ετήσιου ύψους βροχής).

2.3 Κλίμα και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης: Ελλάδα

Η Ελλάδα καλύπτει ένα εύρος γεωγραφικού πλάτους από 34° έως 42° περίπου και μπορεί να θεωρηθεί κομμάτι της ανατολικής Μεσογείου. Αρχικά, γίνεται ένας πρώτος διαχωρισμός σε δυτική και ανατολική Ελλάδα με φυσικό όριο την οροσειρά της Πίνδου η οποία βρίσκεται στο κέντρο της ηπειρωτικής Ελλάδας και έχει διεύθυνση κατακόρυφη από το βορρά προς το νότο. Παράδειγμα του σημαντικού ρόλου των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών στη ροή των καιρικών φαινομένων αποτελεί η μελέτη του Ν. Μαμάση (1997), στην οποία αναφέρεται ότι «τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μιας συγκεκριμένης περιοχής όπως το ανάγλυφο, η γειτνίαση με τη θάλασσα και ο προσανατολισμός των οροσειρών σε συνδυασμό με τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά του κάθε τύπου καιρού προκαλούν διαφορετική χωρική κατανομή της βροχόπτωσης». Στη συγκεκριμένη διατριβή μελετώνται οι υφειακοί τύποι με δυτική τροχιά στο διαμέρισμα της Στερεάς Ελλάδας και αποδεικνύεται ότι προκαλούν έντονες βροχοπτώσεις στη δυτική πλευρά της περιοχής, η οποία διαχωρίζεται από το ανατολικό τμήμα με την οροσειρά της Πίνδου και λόγω αυτής της ιδιαιτερότητας του αναγλύφου η βροχόπτωση επεκτείνεται πολύ σπάνια στο ανατολικό τμήμα όσες μέρες και αν διατηρηθεί η διαταραχή.

Οι μεγαλύτερες κοιλάδες της Ελλάδας εντοπίζονται στην κεντρική (ανατολικά της Πίνδου) και στη βόρεια Ελλάδα, ενώ οι περισσότερες λεκάνες απορροής στο δυτικό της τμήμα. Ο συνδυασμός της έντονης ορογραφίας και της εγγύτητας στη Μεσόγειο θάλασσα, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, έχουν σημαντική επίδραση στο τοπικό κλίμα. Σύμφωνα με το σύστημα κλιματικής κατάταξης του Köppen εννέα διαφορετικοί κλιματικοί τύποι μπορούν να αναγνωριστούν στην Ελλάδα με κυρίαρχο τον Μεσογειακό (Cs) ο οποίος χωρίζεται σε παράκτιο μεσογειακό (coastal Mediterranean) και μεσογειακό ενδοχώρας (interior Mediterranean) και σε μικρότερα ποσοστά απαντώνται οι κλιματικοί τύποι Cf, Df και Ds (Markonis 2013).

Όπως και στην υπόλοιπη Μεσόγειο, η βροχόπτωση παρουσιάζει ισχυρή εποχικότητα χωρίζοντας το υδρολογικό έτος σε μία υγρή περίοδο (αρχές Οκτωβρίου έως αρχές Μαρτίου) και μία ξηρή περίοδο, που γίνεται εντονότερη τους καλοκαιρινούς μήνες. Με βάση τη χωρική κλίμακα, το μεγαλύτερο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης παρατηρείται στο δυτικό τμήμα της Ελλάδας,

φτάνοντας τα 1900 χιλιοστά, ενώ ξηρές συνθήκες επικρατούν στο νοτιο-ανατολικό κομμάτι με άνυδρα καλοκαίρια και ετήσια βροχόπτωση η οποία μπορεί να πέσει και κάτω από 350 χιλιοστά. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι απόρροια της ορογραφίας και της γενικής ατμοσφαιρικής ροής πάνω από τη Μεσόγειο θάλασσα η οποία χαρακτηρίζεται από ενισχυμένη πολυπλοκότητα (Bolle 2003, Lionello 2012).

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι «οι διάφορες καταστάσεις καιρού προκαλούνται από τη δράση μεγάλων ατμοσφαιρικών σχηματισμών (π.χ. κυκλώνες, αντικυκλώνες) ή συγκεκριμένων μετεωρολογικών καταστάσεων (π.χ. ατμοσφαιρική αστάθεια). Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της επικρατούσας συνοπτικής κατάστασης συνδυάζονται με τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά κάθε συγκεκριμένης περιοχής (ανάγλυφο, κατανομή ξηράς – θάλασσας), και διαμορφώνουν την τελική κατάσταση του καιρού. Η συστηματική κατάταξη της καιρικής κατάστασης μιας γεωγραφικής περιοχής σε τύπους καιρού, για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, μπορεί να αξιοποιηθεί για να διερευνηθούν: (α) η συχνότητα εκδήλωσης των διαφόρων τύπων καιρού, η κατανομή τους στις εποχές και η εξέλιξη της κατανομής στο χρόνο, με στόχο την ανίχνευση των κλιματικών μεταβολών και (β) η επίδραση των τύπων καιρού στα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών μεταβλητών με στόχο την καλύτερη πρόγνωση της χωροχρονικής εξέλιξής τους» (Μαμάσης 1997). Παρ' ότι εξ' ορισμού ο «τύπος καιρού» αναφέρεται στην κατάσταση της ατμόσφαιρας στην οποία ζει ο άνθρωπος και περιγράφεται από το συνδυασμό των μετεωρολογικών μεταβλητών (π.χ. ποσοστό υγρασίας, θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση), στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία έχει επικρατήσει με τον όρο αυτό να αποδίδονται και οι τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας οι οποίοι προσδιορίζονται με βάση τη συνοπτική κατάσταση και ειδικότερα εξετάζονται τα στατικά (μορφή, θέση, ένταση των κέντρων δράσης) και τα δυναμικά (τροχιές υφέσεων, μετώπων) συνοπτικά στοιχεία (Maheras, 1979, Μαμάσης 1997).

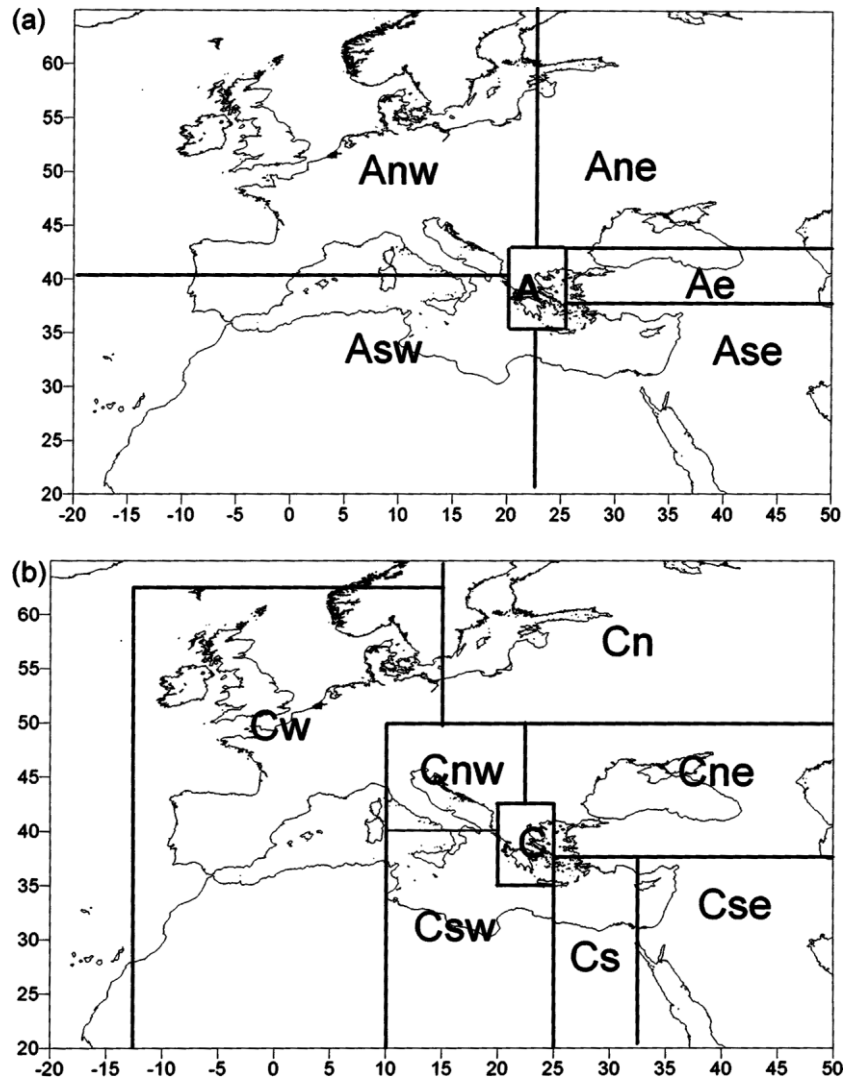
Οι κατατάξεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στηρίζονται στη θεώρηση μεγάλης κλίμακας σχηματισμών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας όπως οι θέσεις των αντικυκλώνων, οι τροχιές των κυκλώνων ή κάποιες ιδιαίτερες κατανομές της ατμοσφαιρικής πίεσης σε διάφορα ύψη της ατμόσφαιρας (Μαμάσης, 1997). Στόχος αυτής της κατάταξης είναι η καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και η πρόγνωση του καιρού. Η υψηλή συσχέτιση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας με τις μετεωρολογικές μεταβλητές καθιστά τις κατατάξεις αυτές

ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες και αξιόπιστες. Το κύριο χαρακτηριστικό των υφιστάμενων τύπων κυκλοφορίας είναι ο άσχημος καιρός και η εναλλαγή κυμάτων θερμού και ψυχρού αέρα και γενικά η ατμοσφαιρική αστάθεια. Βέβαια η κατάσταση του καιρού σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος των αερίων μαζών που συμμετέχουν, η τροχιά του ρεύματος διαταραχής και τα ιδιαίτερα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μίας περιοχής. Τα κυκλωνικά καιρικά συστήματα σχετίζονται με το 90% των συνολικών βροχοπτώσεων και έτσι το μοτίβο των βροχοπτώσεων συνδέεται ισχυρά με τα μοτίβα ατμοσφαιρικής πίεσης (Maheras and Anagnostopoulou 2003, Maheras et al. 2004, Kostoroulou and Jones 2007). Αντίθετα, το κύριο χαρακτηριστικό των αντικυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας είναι η ξηρασία και ο καλός καιρός που οφείλεται στην ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Ωστόσο, ανάλογα με την προέλευση, εξέλιξη και βαθμό ευστάθειας των αερίων μαζών οι αντικυκλωνικοί τύποι μπορούν να προκαλέσουν νεφελώδη τύπο καιρού (Μαμάσης, 1997).

Οι Maheras *et al.* (1999), ερευνώντας τις μηνιαίες διακυμάνσεις της βροχόπτωσης (ή της ξηρασίας) κατά μήκος της λεκάνης της Μεσογείου και τη σχέση τους με ατμοσφαιρικά συστήματα (για τα τελευταία 130 χρόνια), κατέληξαν ότι η μείωση των χειμερινών βροχοπτώσεων στην Ελλάδα από το 1980 και έπειτα, μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη συχνότητα βορειο-δυτικών και βορειο-ανατολικών ξηρών και ψυχρών ηπειρωτικών ανέμων πάνω από την Ελλάδα. Σύμφωνα με την παραπάνω προσέγγιση, οι υγρές και ξηρές περίοδοι συσχετίζονται με τη δράση οκτώ κυκλωνικών και έξι αντικυκλωνικών συστημάτων που δρουν περιμετρικά της Ελλάδας στην ευρύτερη Μεσόγειο (Maheras 2004). Η επιρροή κάθε συστήματος στο κλίμα της Ελλάδας διαφέρει χωρικά και χρονικά, ενώ άλλα ασκούν μεγαλύτερη και άλλα μικρότερη επιρροή. Στο Σχήμα 2-3 φαίνονται οι ζώνες των αντικυκλωνικών και κυκλωνικών συστημάτων αντίστοιχα.

Για όλους τους ελληνικούς σταθμούς που περιλήφθηκαν στην ανάλυση, δύο κυκλωνικοί τύποι οι C και Csw συνδέονται με ένα πολύ μεγάλο ποσοστό της βροχόπτωσης και συγκεκριμένα περισσότερο από το 60% της συνολικής χειμερινής βροχόπτωσης. Αντίθετα, όλοι οι αντικυκλωνικοί τύποι ροής, όπως επίσης και οι τύποι Cse και Cn, συμβάλλουν σε πολύ μικρό ποσοστό της χειμερινής βροχόπτωσης. Τα κυκλωνικά συστήματα Cs, Cnw, Cne και Cw παρουσιάζουν παρόμοια χωρική μεταβλητότητα του ποσοστού επιρροής τους σε σχέση με την πιθανότητα/ένταση βροχόπτωσης. Από την ανάλυση των Dünkeloh and Jacobeit (2003), η οποία επίσης μελετά τη συσχέτιση βροχόπτωσης/συστημάτων ατμοσφαιρικής ροής στη Μεσόγειο την

περίοδο 1948-98, προκύπτει ότι ένα ισχυρό κέντρο χαμηλής πίεσης πάνω από την Ιταλία τους χειμερινούς μήνες ευθύνεται για ένα μεγάλο ποσοστό της χειμερινής βροχόπτωσης στην Ελλάδα.



Σχήμα 2-3 Κατάταξη αντικυκλωνικών (a) και κυκλωνικών συστημάτων (b) που σχετίζονται με τη βροχόπτωση στον Ελλαδικό χώρο (Maheras et al. 2004).

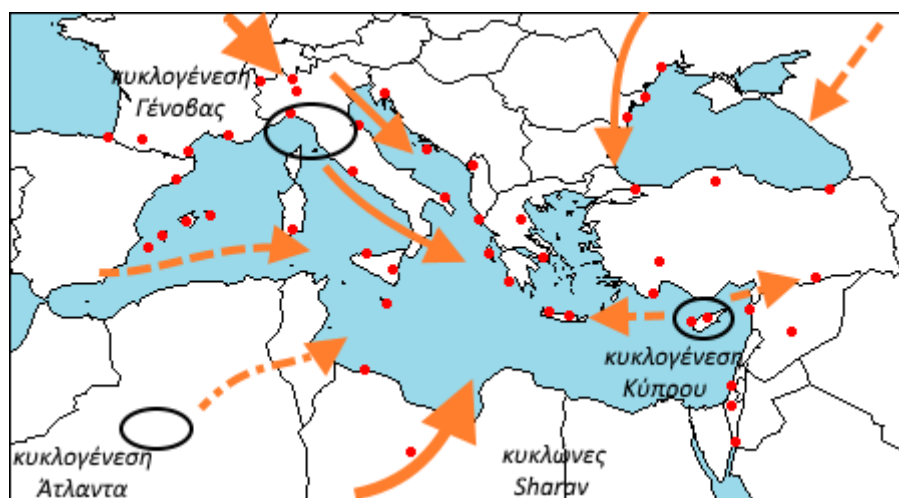
Κυκλώνες από τον κόλπο της Γένοβας κινούνται νοτιοανατολικά διαμέσου της Ιταλίας συνεχίζοντας μέχρι τις αλβανικές και ελληνικές ακτές και καταλήγουν στις νότιες ακτές της Τουρκίας (Trigo et al. 1999, Karaca et al. 2000). Καθώς κινούνται πάνω από τη θερμότερη Μεσόγειο ενισχύονται και σε συνδυασμό με την ορογραφία η οποία τις αναγκάζει να κινηθούν ανοδικά και να ψυχθούν, προκαλούν μεγάλες ποσότητες βροχόπτωσης σε αυτές τις περιοχές (Türkes 1998, Fotiadi et al. 1999, Χορλακί et al. 2000, Χορλακί et al. 2004).

Προηγούμενη ανάλυση των Maheras and Anagnostopoulou (2003) έδειξε ότι υπάρχει μεγάλος βαθμός συσχέτισης μεταξύ των υγρών ημερών και των ποσοτήτων βροχής ανά εποχή και της αντίστοιχης συχνότητας εμφάνισης κυκλωνικών τύπων ροής σε ύψος 500hPa. Ειδικότερα, για την περίοδο 1958-97 για την Ελλάδα οι ετεροσυσχετίσεις των παραπάνω μεταβλητών είναι: 0.84 και 0.87 για το χειμώνα, 0.7 και 0.74 για την άνοιξη και 0.51 και 0.56 για το φθινόπωρο. Παρατηρείται ότι η ετεροσυσχέτιση είναι ισχυρότερη τη χειμερινή περίοδο ενώ το φθινόπωρο είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη μεγαλύτερη μεταβλητότητα των ζωνών πίεσης καθ' ύψος της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου σε σχέση με το χειμώνα (Maheras *et al.* 2002). Συνεπώς, το συγκεκριμένο σχήμα κατάταξης της ατμοσφαιρικής ροής αδυνατεί να συμπεριλάβει κάποιες σημαντικές διαδικασίες μέσης κλίμακας ή συναγωγής (convection), οι οποίες σχετίζονται με τα κυκλωνικά συστήματα κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Maheras 2004).

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1 Δεδομένα

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τη λεκάνη της Μεσογείου, των νησιών εντός αυτής και οριοθετείται από το ηπειρωτικό τμήμα που συνορεύει με αυτή δηλαδή παράκτιες ζώνες της νότιας Ισπανίας, νότιας Γαλλίας, Ιταλίας, Κροατίας, Αλβανίας, Ελλάδας, Τουρκίας, Συρίας, Λιβάνου, Ισραήλ και βορείου Αφρικής. Επίσης λαμβάνονται υπόψη στοιχεία από σταθμούς της Ρουμανίας και της Ουκρανίας στα παράλια της Μαύρης Θάλασσας αλλά και κάποια στοιχεία από σταθμούς της Ελβετίας. Κριτήριο επιλογής των Υ/Μ σταθμών αποτέλεσε η εγγύτητα στη θάλασσα της Μεσογείου, το κατά το δυνατό μικρό υψόμετρο, η πληρότητα μετρήσεων και τα ευρήματα της βιβλιογραφικής μελέτης για την κυκλονική κυκλοφορία. Σε τμήματα τα οποία δεν ικανοποιούνται τα παραπάνω κριτήρια, επιλέχθηκαν οι βέλτιστες δυνατές περιπτώσεις Υ/Μ σταθμών, όπως για παράδειγμα οι Υ/Μ της Τουρκίας και της Β. Αφρικής. Μία απεικόνιση σε χάρτη των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν τελικά για την ανάλυση παρουσιάζεται στο Σχήμα 3-1.



Σχήμα 3-1 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί (κόκκινες κουκίδες) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, κυκλογενετικές περιοχές και ατμοσφαιρική ροή.

Για την Ελλάδα επιλέχθηκαν όλοι οι διαθέσιμοι σταθμοί της βάσης δεδομένων. Σύμφωνα με τον διαχωρισμό του προηγούμενου κεφαλαίου, η δυτική Ελλάδα εκπροσωπείται από τρεις Υ/Μ σταθμούς (Κέρκυρα, Αργοστόλι, Μεθώνη), ενώ η ανατολική από δύο, στην πόλη της Λάρισας και στην περιοχή του Ελληνικού στην Αθήνα. Σημειώνεται ότι λόγω της πληθυσμιακής κατανομής της

Ελλάδας – περίπου 50% εδρεύει στην πόλη της Αθήνας – ο Υ/Μ σταθμός του Ελληνικού παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη συνέχεια της μελέτης. Στο νότιο τμήμα, επιλέχθηκαν οι δύο Υ/Μ σταθμοί των Χανίων και του Ηρακλείου, οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν το πλησιέστερο τμήμα της Ελλάδας στα νότια και νοτιοανατολικά τμήματα της Μεσογείου.

Στην ευρύτερη Μεσόγειο, οι Υ/Μ σταθμοί κατανέμονται ομοιόμορφα περιμετρικά των ακτών αλλά και εντός των νήσων αυτής, με εξαίρεση το τμήμα της βόρειας Αφρικής που όπως αναφέρθηκε εκπροσωπείται μόνο από δύο Υ/Μ σταθμούς λόγω πολλών ελλিপών δεδομένων στους υπολοίπους. Περιλαμβάνονται σταθμοί εντός των κυκλογενετικών περιοχών, όπως αυτοί της Κύπρου ή της Γένοβας αλλά και σταθμοί παρακείμενων περιοχών, όπως αυτοί της υπόλοιπης Ιταλίας, της Κορσικής και της Αδριατικής. Οι τελευταίοι επιλέχθηκαν έτσι ώστε να βρίσκονται εντός των τροχιών της ατμοσφαιρικής ροής και των ρευμάτων ώστε να μπορούν να αποτυπώσουν την κατεύθυνση καιρικών συστημάτων και τη συσχέτιση των βροχοπτώσεων των παραπάνω περιοχών.

Τα ανεπεξέργαστα δεδομένα αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων της επίσημης ιστοσελίδας του Βασιλικού Μετεωρολογικού Ινστιτούτου της Ολλανδίας (KNMI).

Το είδος των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση είναι ημερήσιες παρατηρήσεις βροχόπτωσης, οι οποίες προέρχονται από το σετ δεδομένων GHCN-D. Επίσης, για την εξέταση των βασικών στατιστικών χαρακτηριστικών των δεδομένων έγινε χρήση των αθροιστικών βροχοπτώσεων κάθε μήνα για κάθε έτος και κάθε σταθμό, τα οποία αντλήθηκαν επίσης από τον παραπάνω ιστότοπο. Από τα αρχικώς ανεπεξέργαστα δεδομένα αντλήθηκαν σε πρώτο στάδιο τα μεταδεδομένα κάθε σταθμού, δηλαδή το όνομα της πόλης ή της περιοχής στην οποία βρίσκεται, το υψόμετρο και οι συντεταγμένες του (με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων). Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 3-1) παρουσιάζονται συγκεντρωτικά αυτά τα στοιχεία για κάθε σταθμό.

Πίνακας 3-1 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί.

Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο (m)	Γεωγ. Μήκος (°)	Γεωγ. Πλάτος (°)	Χώρα
ARGOSTOLI	22	20.48	38.12	Ελλάδα
CHANIA	151	24.03	35.5	Ελλάδα

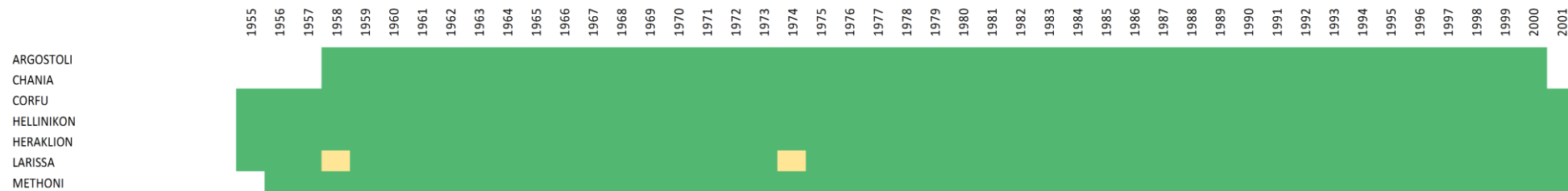
CORFU	11	19.92	39.62	Ελλάδα
HELLINIKON	10	23.75	37.9	Ελλάδα
HERAKLION	39	25.18	35.33	Ελλάδα
LARISSA	73	22.45	39.65	Ελλάδα
METHONI	52	21.7	36.83	Ελλάδα
ALICANTE	81	0.49	38.37	Ισπανία
BARCELONA	412	2.13	41.42	Ισπανία
BEER SHEVA	280	34.78	31.23	Ισραήλ
BRINDISI	10	17.93	40.63	Ιταλία
CAGLIARI	21	9.05	39.23	Ιταλία
COL DU GRAND ST. BERNARD	2472	7.17	45.87	Ελβετία
ELAT	20	34.95	29.55	Ισραήλ
ESPOEY	312	0.16	43.25	Γαλλία
FINIKE	2	30.15	36.32	Τουρκία
GENOA	55	8.93	44.41	Ιταλία
HON	267	15.95	29.12	Λιβύη
IBIZA	6	1.38	38.88	Ισπανία
ISPARTA	997	30.55	37.75	Τουρκία
ISTANBUL	33	29.08	40.97	Τουρκία
KASTAMONU	800	33.78	41.37	Τουρκία
LASTOVO	186	16.9	42.77	Κροατία
LATTAKIA	7	35.77	35.53	Συρία
LUGANO	300	8.97	46	Ελβετία
LUQA	91	14.48	35.85	Μάλτα
MARSEILLE AIRPORT	5	5.23	43.44	Γαλλία
MENORCA	91	4.22	39.85	Ισπανία
MILAN	150	9.19	45.47	Ιταλία

NICOSIA	160	33.35	35.17	Κύπρος
PALERMO	37	13.35	38.11	Ιταλία
PALMA DE MALLORCA	8	2.74	39.56	Ισπανία
PALMYRA	404	38.3	34.55	Συρία
PERPIGNAN	42	2.87	42.74	Γαλλία
PESARO	11	12.9	43.91	Ιταλία
POLIS	20	32.43	35.03	Κύπρος
RIJEKA	120	14.45	45.33	Κροατία
RIZE	9	40.52	41.03	Τουρκία
ROMA CIAMPINO	105	12.58	41.78	Ιταλία
SAN SEBASTIAN	4	-1.79	43.36	Ισπανία
SHKODRA	43	19.53	42.1	Αλβανία
SIGONELLA	31	14.92	37.4	Ιταλία
SIVAS	1285	39.75	37.02	Τουρκία
TEL AVIV READING	3	34.78	32.1	Ισραήλ
TRIPOLI LIBYA	25	13.22	32.87	Λιβύη
CONSTANTA	13	28.63	44.22	Ρουμανία
SULINA	3	29.73	45.17	Ρουμανία
ODESA	42	30.63	46.48	Ουκρανία

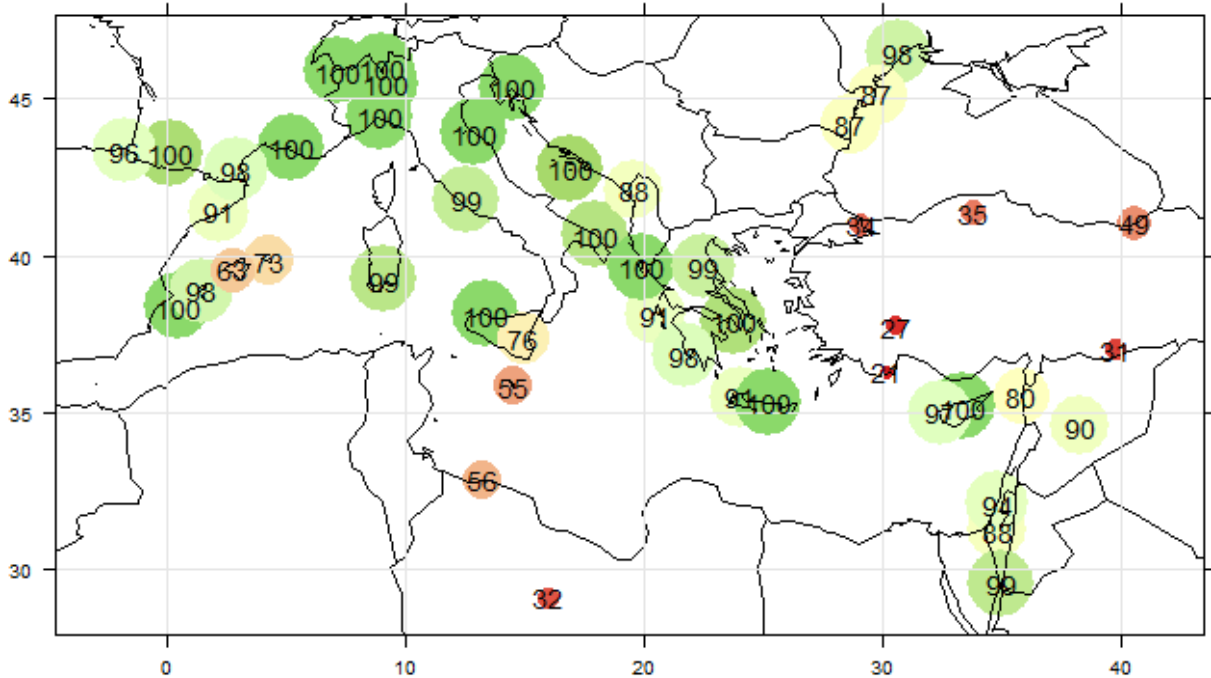
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε έλεγχος ποιότητας των δεδομένων. Η διατήρηση ή η απόρριψη κάθε αρχικώς επιλεγμένου σταθμού στη διαδικασία της ανάλυσης βασίστηκε στο λόγο των υπαρχουσών ημερήσιων παρατηρήσεων προς το σύνολο των ημερών του έτους για κάθε έτος. Ο υπολογισμός του λόγου έγινε ξεχωριστά για τους σταθμούς της Ελλάδας και για όλους τους υπόλοιπους σταθμούς (βλ. Πίνακας 3-3 & Πίνακας 3-2 αντίστοιχα). Σταθμοί οι οποίοι είχαν ελλιπή - ανεπαρκή δεδομένα (παρατηρήσεις) για στατιστική ανάλυση και τα οποία θα μπορούσαν να παρερμηνεύσουν την κλιματολογική κατάσταση και να οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα, απορρίφθηκαν και αφαιρέθηκαν από το σετ δεδομένων και τους τελικούς πίνακες. Συγκεκριμένα,

όσοι σταθμοί είχαν μέσο όρο λόγων όλων των ετών μικρότερο από 55% θεωρήθηκε ότι έχουν ανεπαρκή δεδομένα. Σημειώνεται, ωστόσο, ότι λόγω έλλειψης εναλλακτικών πηγών δεδομένων (σταθμών) κάποια δεδομένα όπως αυτά των σταθμών της Τουρκίας και της Λιβύης (βλ. Σχήμα 3-2), παρόλο που παρουσιάζουν σημαντικές ελλείψεις χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση, διατηρώντας τις απαραίτητες επιφυλάξεις. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται στον κατακόρυφο άξονα οι τελικά επιλεγμένοι σταθμοί και στον οριζόντιο τα έτη της περιόδου μελέτης. Το χρώμα κάθε κελιού δείχνει το εύρος στο οποίο περιλαμβάνεται ο λόγος των παρατηρήσεων κάθε σταθμού κάθε έτος. Το κενό υποδεικνύει ότι δεν υπάρχουν καθόλου παρατηρήσεις.

Πίνακας 3-3 Λόγοι παρατηρήσεων υδρομετεωρολογικών σταθμών Ελλάδας. (Πράσινο >80%, κίτρινο <80% και >20% και κόκκινο <20%.)



Αντίστοιχα, στο Σχήμα 3-2 φαίνεται ο μέσος όρος των λόγων όλων των ετών της περιόδου μελέτης και η γεωγραφική θέση κάθε σταθμού.



Σχήμα 3-2 Μέσος όρος των λόγων όλων των ετών για κάθε σταθμό.

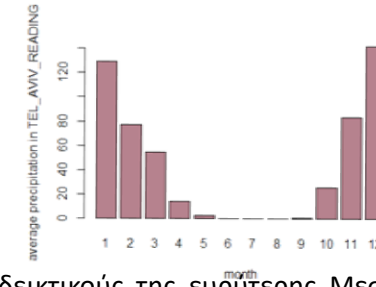
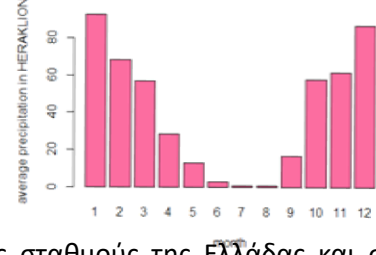
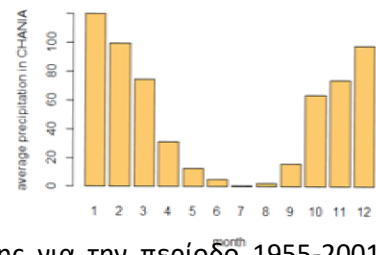
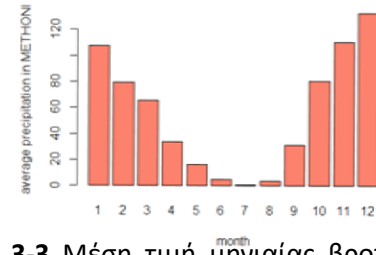
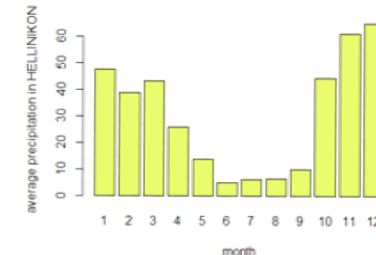
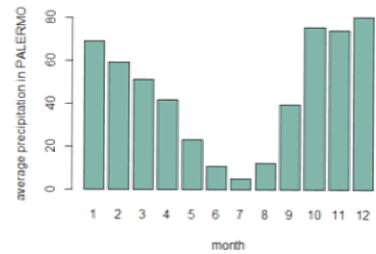
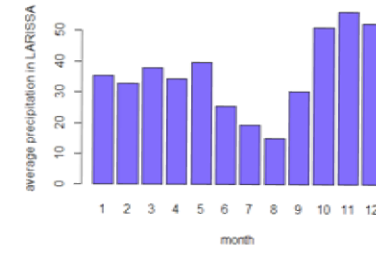
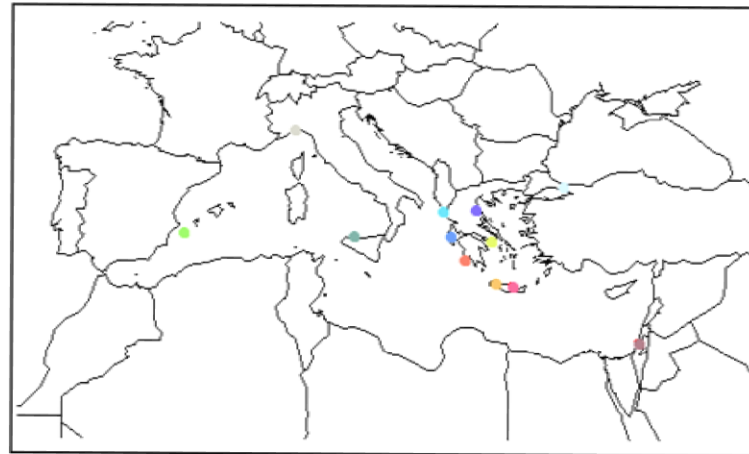
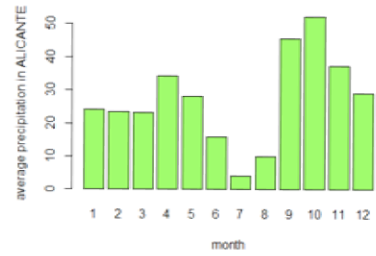
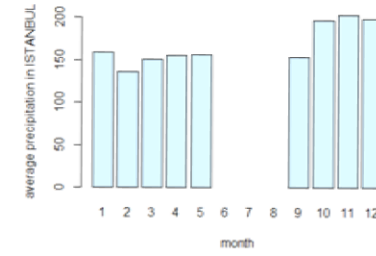
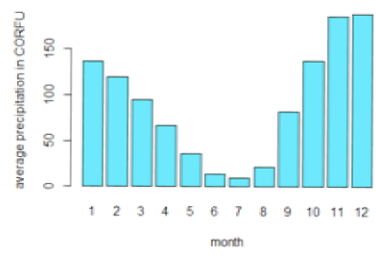
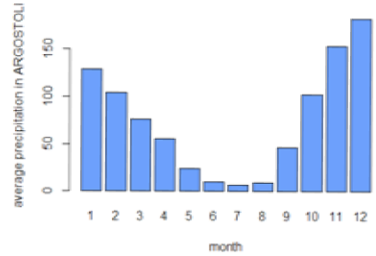
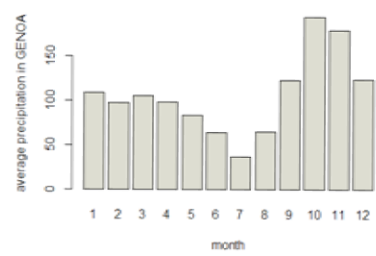
Όσον αφορά την περίοδο μελέτης, καθορίστηκε σύμφωνα με την περίοδο για την οποία διατίθενται δεδομένα ελληνικών σταθμών και τελικώς ορίζεται ως η περίοδος 1955-2001.

3.2 Βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά

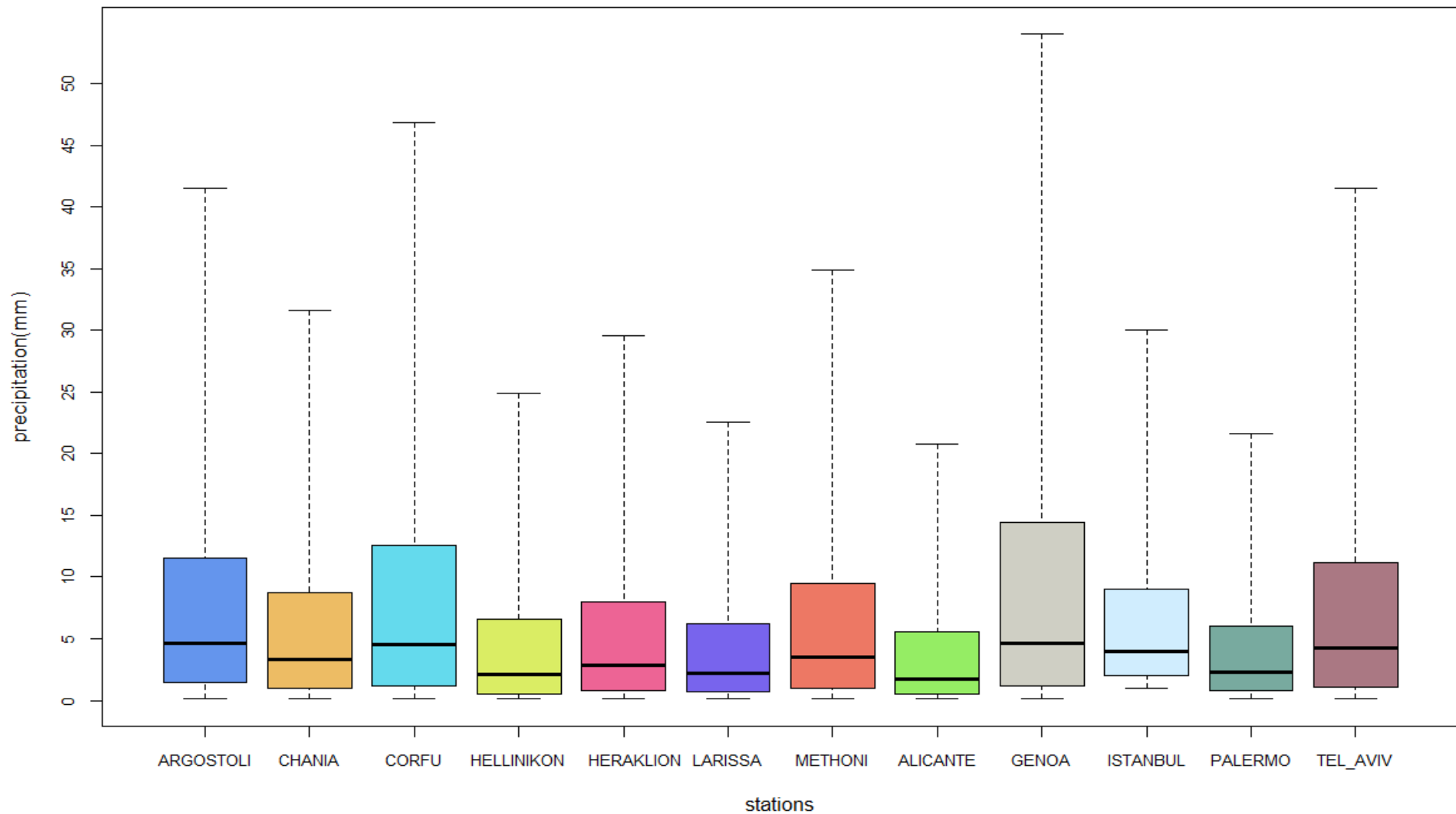
Στο Σχήμα 3-3 παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις για την περίοδο μελέτης κάποιων χαρακτηριστικών σταθμών. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνονται όλοι οι ελληνικοί και κάποιοι σταθμοί σε χαρακτηριστικές θέσεις της Μεσογείου. Ο υπολογισμός των μέσων μηνιαίων τιμών έγινε με βάση τις μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για κάθε έτος της περιόδου μελέτης οι οποίες παρέχονται στην ιστοσελίδα από την οποία αντλήθηκαν και οι ημερήσιες τιμές. Λόγω της έλλειψης δεδομένων του υδρομετεωρολογικού σταθμού της Κωνσταντινούπολης (ISTANBUL), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-3, για τους καλοκαιρινούς μήνες δεν έχει υπολογιστεί η μέση μηνιαία βροχόπτωση. Όσον αφορά το κλίμα, παρατηρούμε ότι η χρονική περίοδος εμφάνισης της μέγιστης μηνιαίας βροχόπτωσης στη δυτική και βόρεια Μεσόγειο είναι κυρίως τους φθινοπωρινούς μήνες ενώ καθώς μεταφερόμαστε ανατολικότερα και νοτιότερα

(υδρομετεωρολογικοί σταθμοί Χανίων, Ηρακλείου και Τελ-Αβίβ), παρατηρούμε ότι το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής μετατοπίζεται κυρίως στους χειμερινούς μήνες. Στον υδρομετεωρολογικό σταθμό του Τελ Αβίβ (αντιπροσωπευτικός της ανατολικής Μεσογείου) παρατηρείται μέσος όρος μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης μικρότερος των 2 χιλιοστών κατά την καλοκαιρινή περίοδο, η οποία μπορεί να επεκταθεί περιλαμβάνοντας και τους μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο, υποδεικνύοντας μία πολύ ξηρή περίοδο, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία. Επίσης, είναι εμφανής η ανυδρία των καλοκαιρινών μηνών στο νοτιοανατολικό τμήμα της Ελλάδας, δηλαδή στην Κρήτη, αλλά και στην Αθήνα με μέσο όρο μηνιαίου ύψους βροχόπτωσης μικρότερο των 10 χιλιοστών.

Στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3-4) φαίνεται η κατανομή και το εύρος των ημερησίων υψών βροχόπτωσης των ελληνικών Υ/Μ σταθμών καθώς και των πέντε ενδεικτικών σταθμών της ευρύτερης Μεσογείου οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν και στο Σχήμα 3-3. Το ενδιάμεσο 50% των παρατηρήσεων κάθε σταθμού οριοθετείται από τις οριζόντιες πλευρές του εκάστοτε έγχρωμου ορθογωνίου ενώ η έντονη μαύρη οριζόντια γραμμή εντός τού υποδεικνύει την τιμή της διαμέσου. Επίσης, οι διακεκομμένες γραμμές εκτείνονται σε ύψος τριπλάσιο του εύρους του 50% των ενδιάμεσων παρατηρήσεων και οι παρατηρήσεις πέραν αυτού παραλείπονται για λόγους ευκρίνειας καθώς οι τιμές αυτές σε όλους τους σταθμούς που παρουσιάζονται αποτελούν ποσοστό μικρότερο από το 1% των συνολικών παρατηρήσεων. Σημειώνεται ότι για την παραγωγή του γραφήματος (boxplot) δεν συμπεριλήφθηκαν οι μηδενικές τιμές. Το μεγαλύτερο εύρος παρατηρείται στους σταθμούς της Γένοβας, της Κέρκυρας, του Αργοστολίου και του Τελ-Αβίβ ενώ το μικρότερο στους σταθμούς του Αλικάντε, του Παλέρμο και της ανατολικής Ελλάδας (Λάρισα, Ελληνικό). Σε όλες τις περιπτώσεις η διάμεσος δεν ξεπερνά τα 5 χιλιοστά και βρίσκεται χαμηλότερα από το μέσον του ορθογωνίου του ενδιάμεσου 50% των παρατηρήσεων υποδεικνύοντας μεγαλύτερη πυκνότητα καταγραφών υψών βροχόπτωσης κάτω των 5 χιλιοστών.



Σχήμα 3-3 Μέση τιμή μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1955-2001 στους σταθμούς της Ελλάδας και σε 5 ενδεικτικούς της ευρύτερης Μεσογείου.

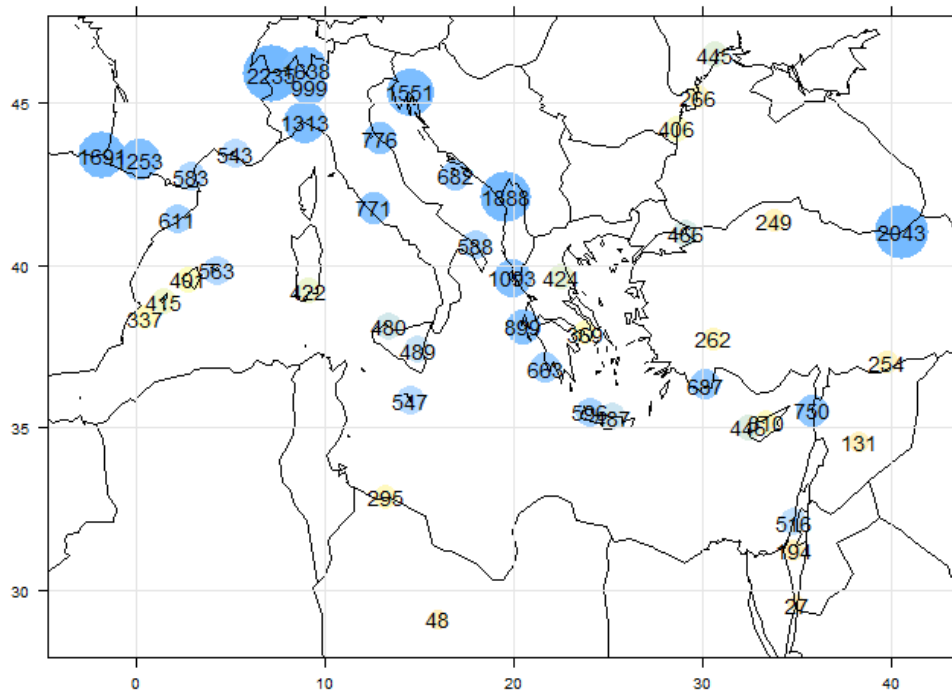


Σχήμα 3-4 Διάγραμμα «κουτιού» (boxplot) των ημερήσιων υψών βροχόπτωσης για την περίοδο 1955-2001 στους σταθμούς της Ελλάδας και σε 5 ενδεικτικούς της ευρύτερης Μεσογείου.

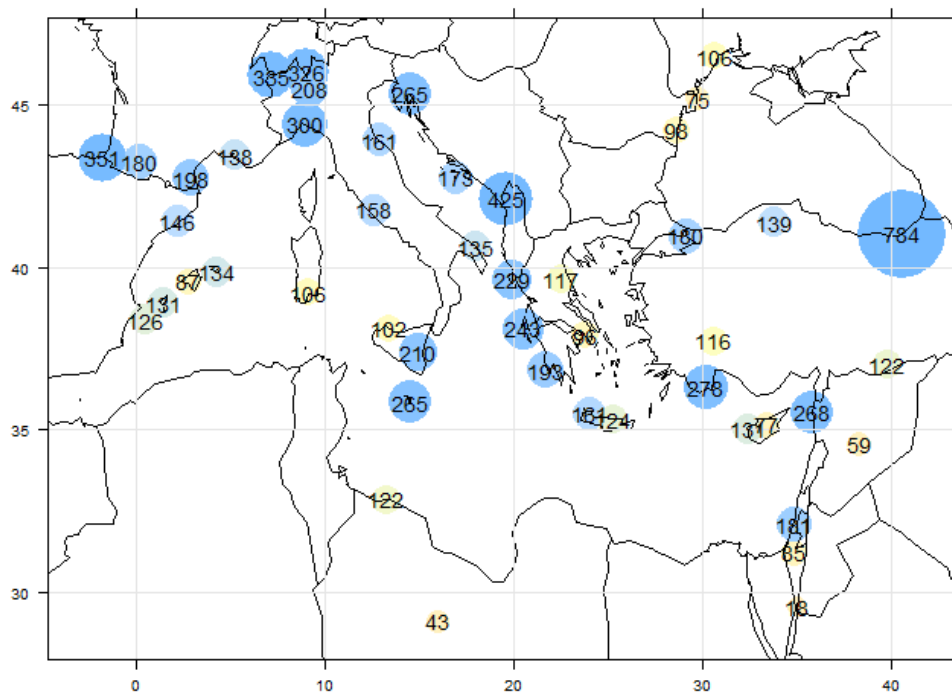
Στο Σχήμα 3-5 φαίνεται το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης για κάθε υδρομετεωρολογικό σταθμό. Στην Ελλάδα παρατηρούμε ότι οι σταθμοί οι οποίοι βρίσκονται στο δυτικό της τμήμα παρουσιάζουν πολύ υψηλότερες τιμές σε σχέση με αυτούς της ανατολικής, γεγονός που επαληθεύει τον σημαντικό ρόλο της οροσειράς της Πίνδου στη διαμόρφωση του κλίματος εκατέρωθεν αυτής. Στην υπόλοιπη λεκάνη της Μεσογείου τα μεγαλύτερα ύψη εμφανίζονται στο κεντρικό και βορειοδυτικό τμήμα της και ειδικότερα στη νοτιοδυτική Γαλλία, βόρεια Ιταλία, Ελβετία, Κροατία, Αλβανία και στο Ιόνιο πέλαγος τονίζοντας το ρόλο της ορογραφίας και των κυκλωνικών συστημάτων που αναπτύσσονται και επιδρούν στην περιοχή αυτή, όπως αναφέρεται και στη βιβλιογραφία. Ειδικότερα, σημαντική επίδραση φαίνεται να έχουν οι οροσειρές όπως τα Πυρηναία, οι Άλπεις και τα Απέννινα όρη, αλλά και η Αδριατική θάλασσα. Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές ετήσιας βροχόπτωσης καταγράφονται στις χώρες της Μέσης Ανατολής (Τουρκία, Συρία, Λίβανος, Ισραήλ, Αίγυπτος), στη βόρεια Αφρική, στα νησιά της Ισπανίας και βορειοδυτικά της Μαύρης Θάλασσας. Όπως αναφέρθηκε ήδη, τα παράλια των χωρών της Μέσης Ανατολής είναι οι περιοχές στις οποίες τα καιρικά συστήματα αναγκάζονται να εκτονωθούν λόγω της ύπαρξης οροσειρών σε κοντινή απόσταση από την ακτή. Με αυτό τον τρόπο, εξηγείται το αυξημένο ύψος βροχής σε παραλιακές πόλεις σε σχέση με την ανυδρία των σταθμών της ενδοχώρας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ετήσιων βροχοπτώσεων της ανατολικής Μεσογείου που παρατηρούνται στο Σχήμα 3-5 και συμφωνούν με τα κλιματικά χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί ήδη, είναι αυτές του Τελ Αβίβ (516mm) σε σχέση με το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της Χάιφα (550mm), και της Λαττάκια (750mm) σε σχέση με το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της Βηρυτού (855mm). Όσον αφορά την ετήσια τυπική απόκλιση (Σχήμα 3-6) παρατηρούμε ότι ακολουθεί το μοτίβο των μέσων ετήσιων βροχοπτώσεων δηλαδή με την αύξηση της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης αυξάνεται και το εύρος τιμών των ετήσιων βροχοπτώσεων.

Οι μεγαλύτερες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις στη διάρκεια της περιόδου μελέτης έχουν καταγραφεί στη Γένοβα (418mm) και στα παράλια της βόρειας Αλβανίας (347mm) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-7. Επίσης, παρατηρούμε ότι στους Υ/Μ σταθμούς του Αλικάντε, της νότιας Σικελίας και της Μάλτας, ενώ η μέση ετήσια βροχοπτώση είναι σχετικά χαμηλή (337mm - 489mm - 547mm αντίστοιχα), η μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση είναι αρκετά υψηλή (270mm - 202mm - 256mm). Το φαινόμενο αυτό μπορεί να αποδοθεί στην επίδραση των κυκλώνων Shaqan, οι οποίοι παρόλο που κατά την αρχική φάση σχηματισμού θεωρείται ότι δεν μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες υδρατμών, κατά τη διέλευσή τους πάνω από τη Μεσόγειο είναι δυνατό να κορεστούν και να

προκαλέσουν ακραίες βροχοπτώσεις.



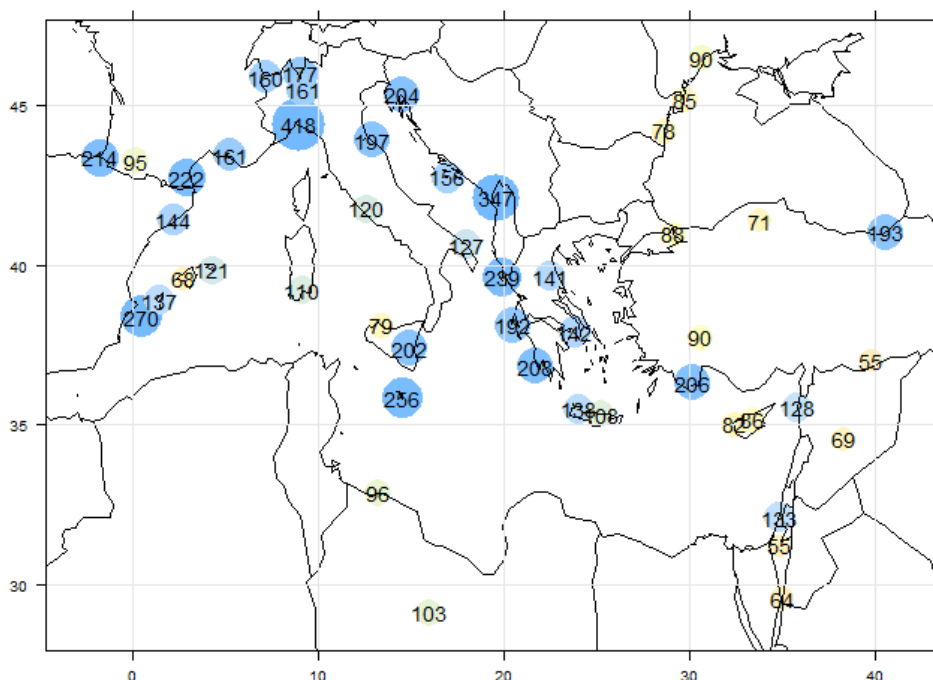
Σχήμα 3-5 Μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε κάθε υδρομετεωρολογικό σταθμό.



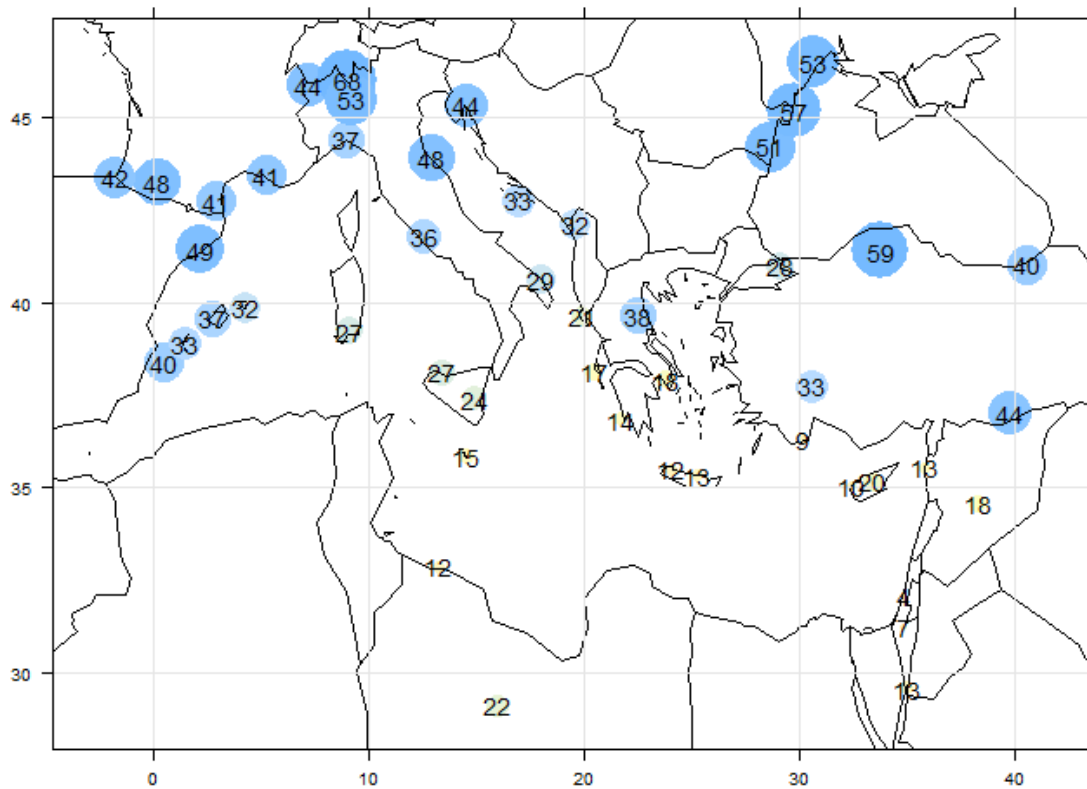
Σχήμα 3-6 Τυπική απόκλιση ετήσιου ύψους βροχόπτωσης για κάθε υδρομετεωρολογικό σταθμό.

Αντίθετα, στη βόρεια Ιταλία και Ελβετία όπου παρατηρούνται τα μεγαλύτερα ετήσια ύψη βροχόπτωσης (2235mm - 1638mm - 999mm), οι μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις είναι σχετικά χαμηλές (160mm - 177mm - 161mm αντίστοιχα). Αυτό υποδηλώνει την έλλειψη ακραίων επεισοδίων βροχόπτωσης αλλά την ύπαρξη πολύ συχνών επεισοδίων μικρότερου ύψους βροχής.

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η εποχικότητα των βροχοπτώσεων διαιρώντας το υδρολογικό έτος σε υγρή περίοδο (Οκτώβριος – Μάρτιος) και ξηρή περίοδο (Απρίλιος – Σεπτέμβριος). Υπολογίζοντας για κάθε Υ/Μ σταθμό τον λόγο του αθροίσματος των ημερήσιων υψών βροχόπτωσης κάθε περιόδου προς το συνολικό ύψος βροχόπτωσης της περιόδου μελέτης προέκυψαν τα ποσοστά του σχήματος 3-8 (Σχήμα 3-8). Οι βροχοπτώσεις στο νότιο τμήμα της Ελλάδας, την βόρεια Αφρική και την νοτιοανατολική Μεσόγειο κατά την ξηρή περίοδο αποτελούν ποσοστό μικρότερο του 20% του ετήσιου ύψους βροχής. Συνεπώς, η ξηρή και η υγρή περίοδος του υδρολογικού κύκλου είναι πιο ευδιάκριτες σε αυτές τις περιοχές. Στη βόρεια και βορειοδυτική Μεσόγειο, η εποχικότητα της βροχής δεν είναι τόσο εμφανής, καθώς στους περισσότερους σταθμούς παρατηρείται ότι το 40-50% του ετήσιου ύψους βροχής καταγράφεται κατά την ξηρή περίοδο. Σημειώνεται, τέλος, ότι το αντίστοιχο ποσοστό για τους υδρομετεωρολογικούς σταθμούς της Ρουμανίας, της Ουκρανίας και των Άλπεων υπερβαίνει το 50%.



Σχήμα 3-7 Μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση σε κάθε υδρομετεωρολογικό σταθμό.

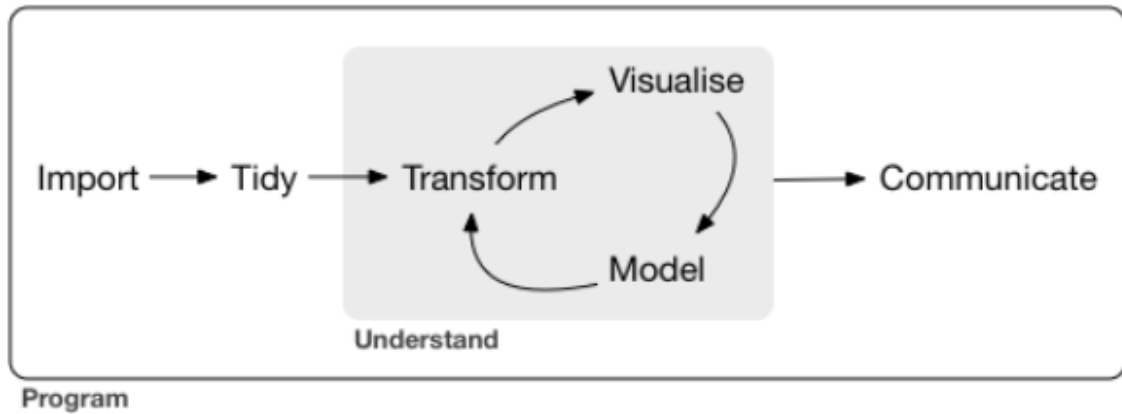


Σχήμα 3-8 Ποσοστό βροχόπτωσης κατά την ξηρή περίοδο (Απρίλιος - Σεπτέμβριος).

Λαμβάνοντας υπόψη τον όγκο των δεδομένων και επιδιώκοντας την βέλτιστη εποπτεία του σε συνδυασμό με ευέλικτη επεξεργασία, επιλέχθηκε ως βασικό εργαλείο της ανάλυσης η γλώσσα προγραμματισμού R. Το σετ δεδομένων που επιλέχθηκε για την ανάλυση αποτελείται από 17 167 ημερήσιες καταγραφές για 48 Υ/Μ σταθμούς. Το σύνολο των επεξεργασιών και των αριθμητικών υπολογισμών που πραγματοποιήθηκαν για το σετ δεδομένων όπως και η πλειοψηφία των πινάκων και σχημάτων διενεργήθηκε με την ανάπτυξη και την εκτέλεση κώδικα στη γλώσσα R και με τη βοήθεια του λογισμικού RStudio. Η ευρεία χρήση της γλώσσας για τη διεξαγωγή αναλύσεων δεδομένων στο πλαίσιο ερευνών σε συνδυασμό με τα πλεονεκτήματα της ελεύθερης πρόσβασης στον κώδικα (open source), έχουν ως αποτέλεσμα την συνεχή βελτίωσή της εμπλουτίζοντας τις διαθέσιμες βιβλιοθήκες. Συνεπώς, ο προσανατολισμός της γλώσσας στην ανάλυση δεδομένων παρέχει πρόσβαση σε πληθώρα επιλογών. Στο Σχήμα 3-9 φαίνεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την συλλογή, την τακτοποίηση και την επεξεργασία των δεδομένων.

Εκτός από τη βασική βιβλιοθήκη {base} του λογισμικού, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν βιβλιοθήκες όπως η {zoo} για την επεξεργασία των τάξεων των μεταβλητών και την προσαρμογή της μορφής των ημερομηνιών, οι {plyr}, {dplyr}, {matrixStats} και {data.table}

για τη διαχείριση και επεξεργασία πινάκων, οι {maps}, {mapsdata}, {maptools} και {qgraph} για την αποτύπωση των αποτελεσμάτων σε χάρτες και πίνακες κ.α. Εκτός από τα περιεχόμενα των παραπάνω βιβλιοθηκών, η αναγκαιότητα εκτέλεσης ιδιόμορφων διεργασιών οδήγησε στον ορισμό συναρτήσεων. Στο πλαίσιο αυτών εντάσσονται επαναληπτικές διαδικασίες και υπολογισμοί που απλουστεύουν και βελτιστοποιούν τα αποτελέσματα.



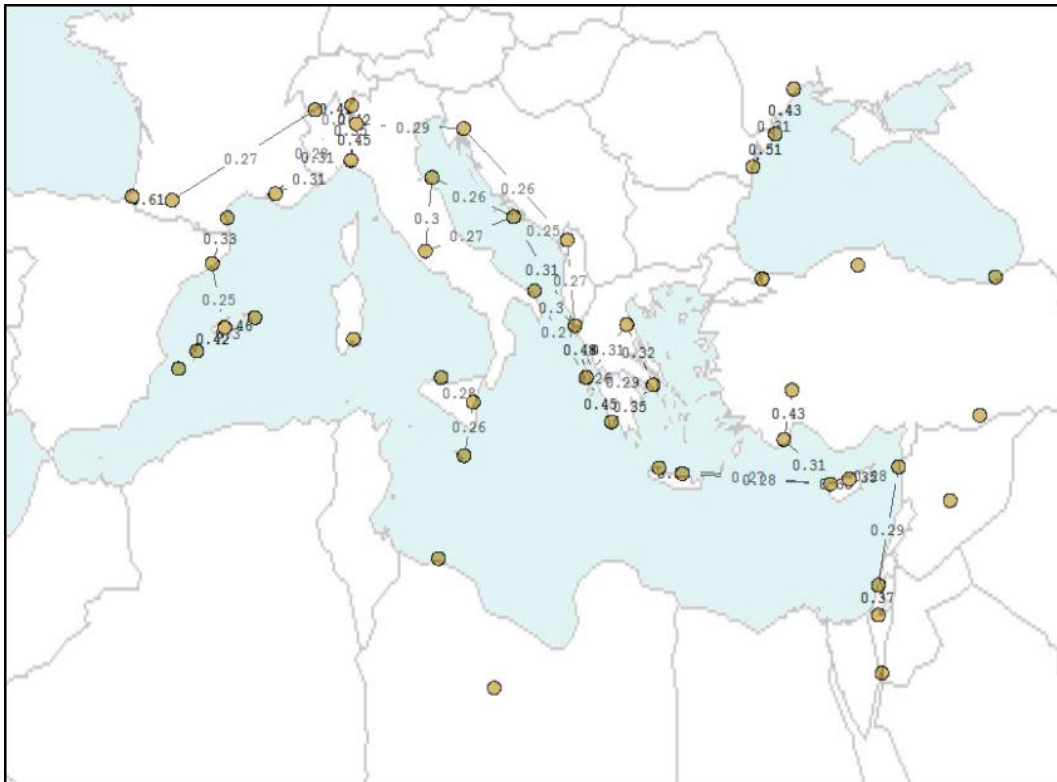
Σχήμα 3-9 Διαγραμματική αναπαράσταση της ανάλυσης δεδομένων. (πηγή: Wickham & Grolemund, 2016)

4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

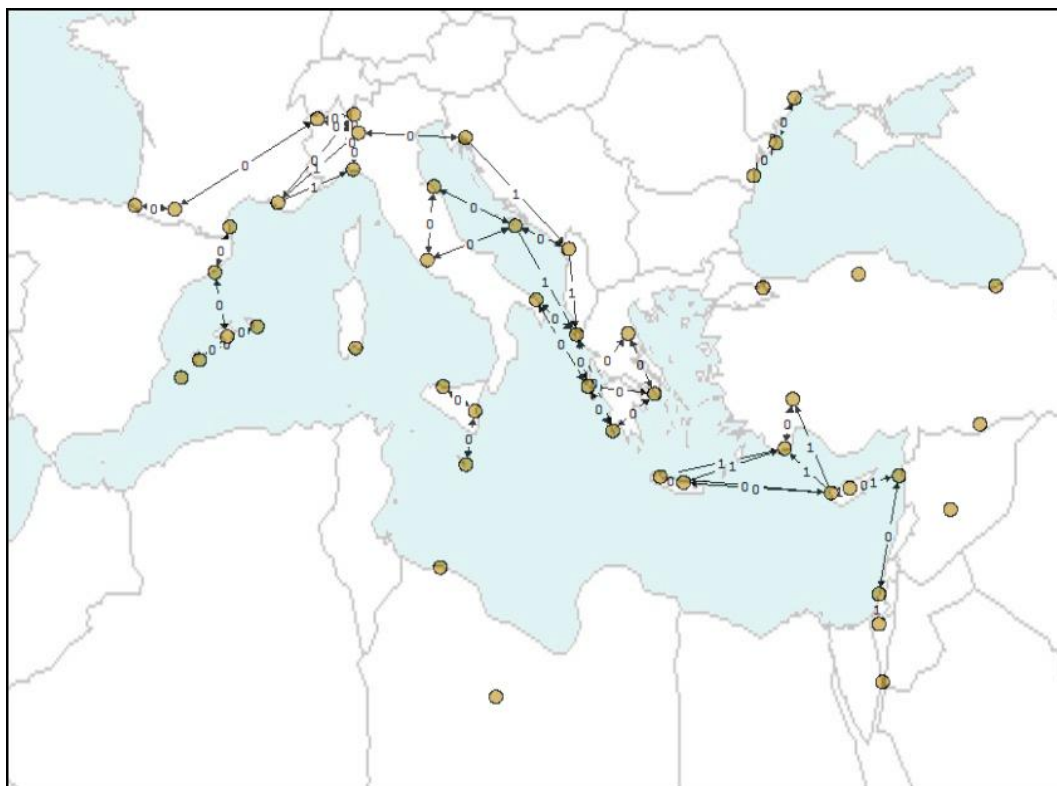
4.1 Δίκτυο Ετεροσυσχετίσεων

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται οι ετεροσυσχετίσεις των υδρομετεωρολογικών σταθμών και γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων και των διαφόρων μοτίβων που προκύπτουν. Αρχικά, έγινε ο υπολογισμός των ετεροσυσχετίσεων των ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης για την περίοδο όλου του έτους (Σχήμα 4-1). Πραγματοποιήθηκαν δοκιμές για όλες τις υστερήσεις (lags) από 0 έως 15 και στον τελικό πίνακα διατηρήθηκε η μέγιστη ετεροσυσχέτιση που προέκυψε, ενώ σε διαφορετικό πίνακα αποθηκεύτηκε η αντίστοιχη υστέρηση για την οποία παρατηρείται η μέγιστη ετεροσυσχέτιση (Σχήμα 4-2). Σε αυτό το σχήμα παρατηρούμε ότι οι μέγιστες ετεροσυσχετίσεις προκύπτουν για υστερήσεις 0 και 1, δηλαδή είτε για τις παρατηρήσεις τις ίδιας μέρας είτε για τις παρατηρήσεις με υστέρηση μίας ημέρας μεταξύ των χρονοσειρών δύο σταθμών. Για το λόγο αυτό στην περίπτωση των μηδενικών υστερήσεων οι σύνδεσμοι δεν είναι προσανατολισμένοι, ενώ στην περίπτωση της υστέρησης μίας ημέρας ο σύνδεσμος είναι προσανατολισμένος δείχνοντας τον κόμβο (Υ/Μ σταθμό) του οποίου η χρονοσειρά υστερεί.

Στο χάρτη του επόμενου σχήματος (Σχήμα 4-1) διατηρήθηκαν μόνο οι ετεροσυσχετίσεις οι οποίες ξεπερνάνε το 0.25, θεωρώντας ότι από το όριο αυτό και κάτω ελαττώνεται η στατιστική τους σημασία. Το δίκτυο ετεροσυσχετίσεων που προκύπτει αποτελείται από τρεις κύριους κλάδους. Δύο από αυτούς ξεκινούν από τη βόρεια και κεντρική Ιταλία και καταλήγουν στο Ιόνιο ενώ ο τρίτος έχει αφετηρία τη Μέση Ανατολή και καταλήγει στην Κρήτη. Στην ηπειρωτική Ελλάδα σχηματίζεται ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο το οποίο στο Ιόνιο εμφανίζει συντελεστές ετεροσυσχέτισης άνω του 0.40, ενώ ο σταθμός του Αργοστολίου συνδέεται με τους υπόλοιπους τέσσερις Υ/Μ σταθμούς της ηπειρωτικής Ελλάδας. Παρόλο που ενδέχεται να υπάρχουν ισχυρές ετεροσυσχετίσεις και για μεγαλύτερες υστερήσεις, υπερτερούν αυτές των μηδενικών και των μοναδιαίων υστερήσεων, γεγονός το οποίο δείχνει σχετική ομοιογένεια των υψών βροχής στο χώρο και στο χρόνο. Σημειώνεται ότι, λόγω της ύπαρξης πολλών ελλειπουσών τιμών και της απουσίας καταγραφών μηδενικών τιμών βροχόπτωσης στους Υ/Μ της Τουρκίας, όλες οι ελλείπουσες τιμές αντικαταστάθηκαν με μηδενικές τιμές για το κεφάλαιο της ανάλυσης (βλ. και υποκεφάλαιο 4.2). Τέλος, διατηρήθηκαν μόνο οι ετεροσυσχετίσεις οι οποίες ξεπερνάνε το 0.25 θεωρώντας ότι από το όριο αυτό και κάτω ελαττώνεται η σημαντικότητά τους.

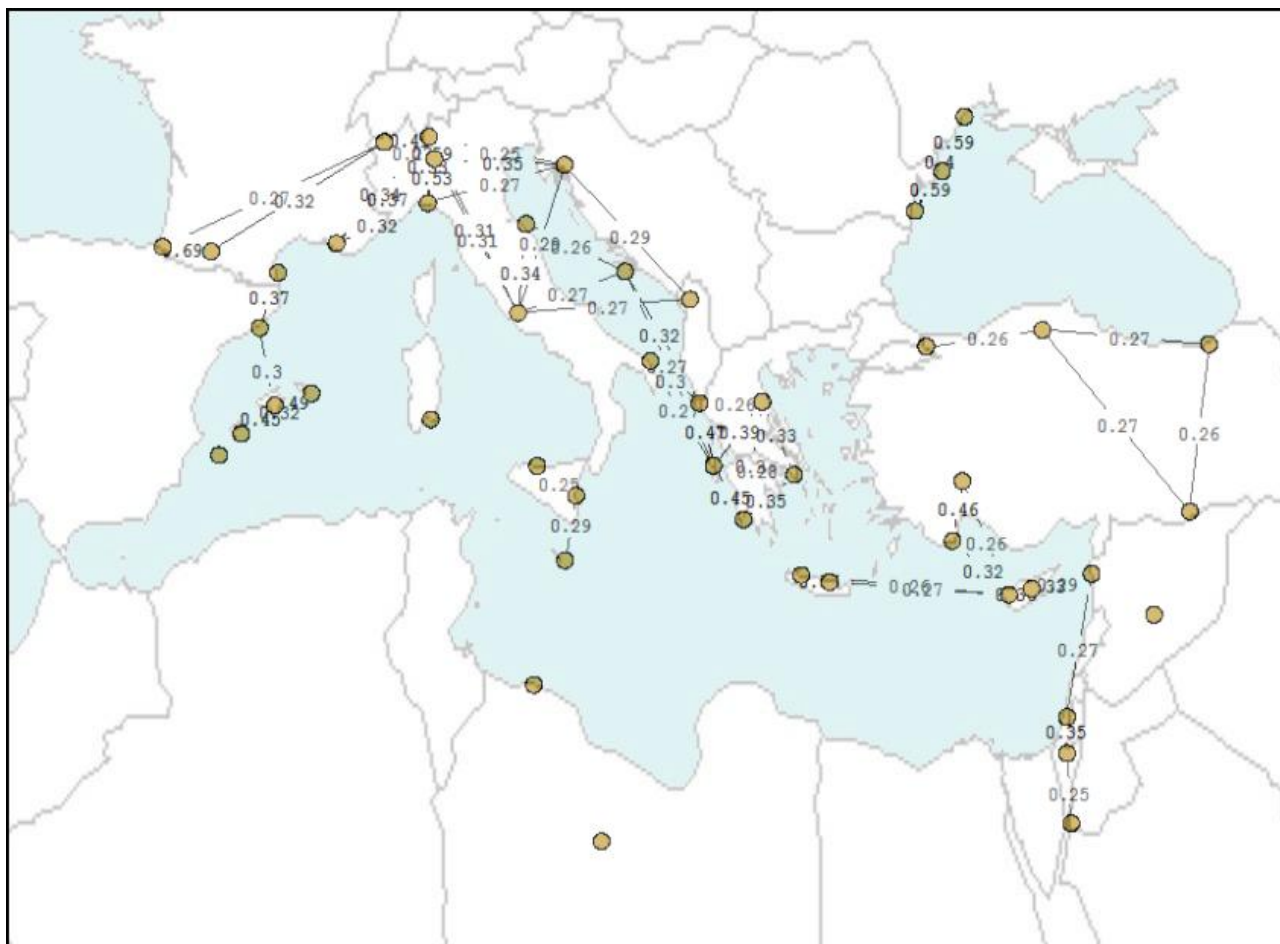


Σχήμα 4-1 Χάρτης ετεροσυσχετίσεων των βροχοπτώσεων των Υ/Μ σταθμών κατά τη διάρκεια όλου του έτους και με κατώτατο όριο 0.25.



Σχήμα 4-2 Υστερήσεις που αντιστοιχούν στις μέγιστες ετεροσυσχετίσεις του σχήματος 4-1.

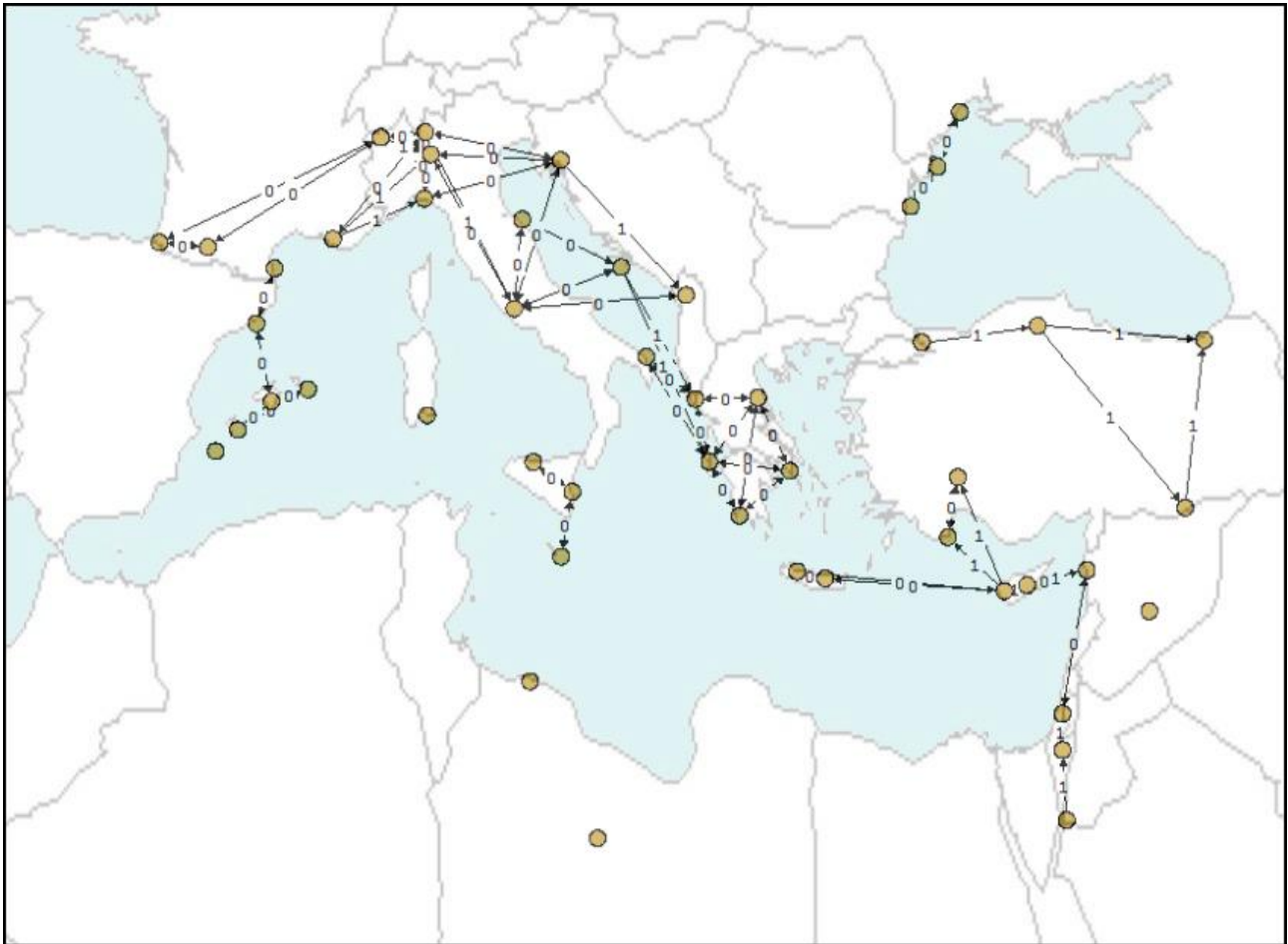
Χρησιμοποιώντας τις ίδιες παραδοχές για τις υστερήσεις, το όριο σημαντικότητας των συντελεστών ετεροσυσχέτισης και λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις παρατηρήσεις υψών βροχόπτωσης της υγρής περιόδου (Οκτώβριος - Μάρτιος) υπολογίστηκαν οι ετεροσυσχετίσεις (Σχήμα 4-3) και οι αντίστοιχες υστερήσεις (Σχήμα 4-4) μεταξύ των ημερήσιων βροχοπτώσεων που παρατηρήθηκαν στους Υ/Μ σταθμούς.



Σχήμα 4-3 Χάρτης ετεροσυσχετίσεων των βροχοπτώσεων των Υ/Μ σταθμών κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου και με κατώτατο όριο 0.25.

Παρατηρούμε ότι και στην περίπτωση της υγρής περιόδου διακρίνεται ένα δίκτυο ετεροσυσχετίσεων από τα δυτικά προς τα ανατολικά - νοτιοανατολικά και συγκεκριμένα από τα σύνορα Ισπανίας – Γαλλίας μέσω της βόρειας Ιταλίας στο Ιόνιο και την υπόλοιπη ηπειρωτική Ελλάδα αλλά και ένα δίκτυο από τη Μέση Ανατολή, στην Κύπρο, τη νοτιοδυτική Τουρκία και την Κρήτη. Στην περίπτωση που εξετάζεται η περίοδος Οκτωβρίου - Μαρτίου, το δίκτυο εμφανίζεται ισχυρότερο, με μεγαλύτερες ετεροσυσχετίσεις γεγονός το οποίο συνάδει με την εντονότερη κυκλωνική δραστηριότητα η οποία ευθύνεται για την πλειοψηφία των βροχοπτώσεων της υγρής

περιόδου.

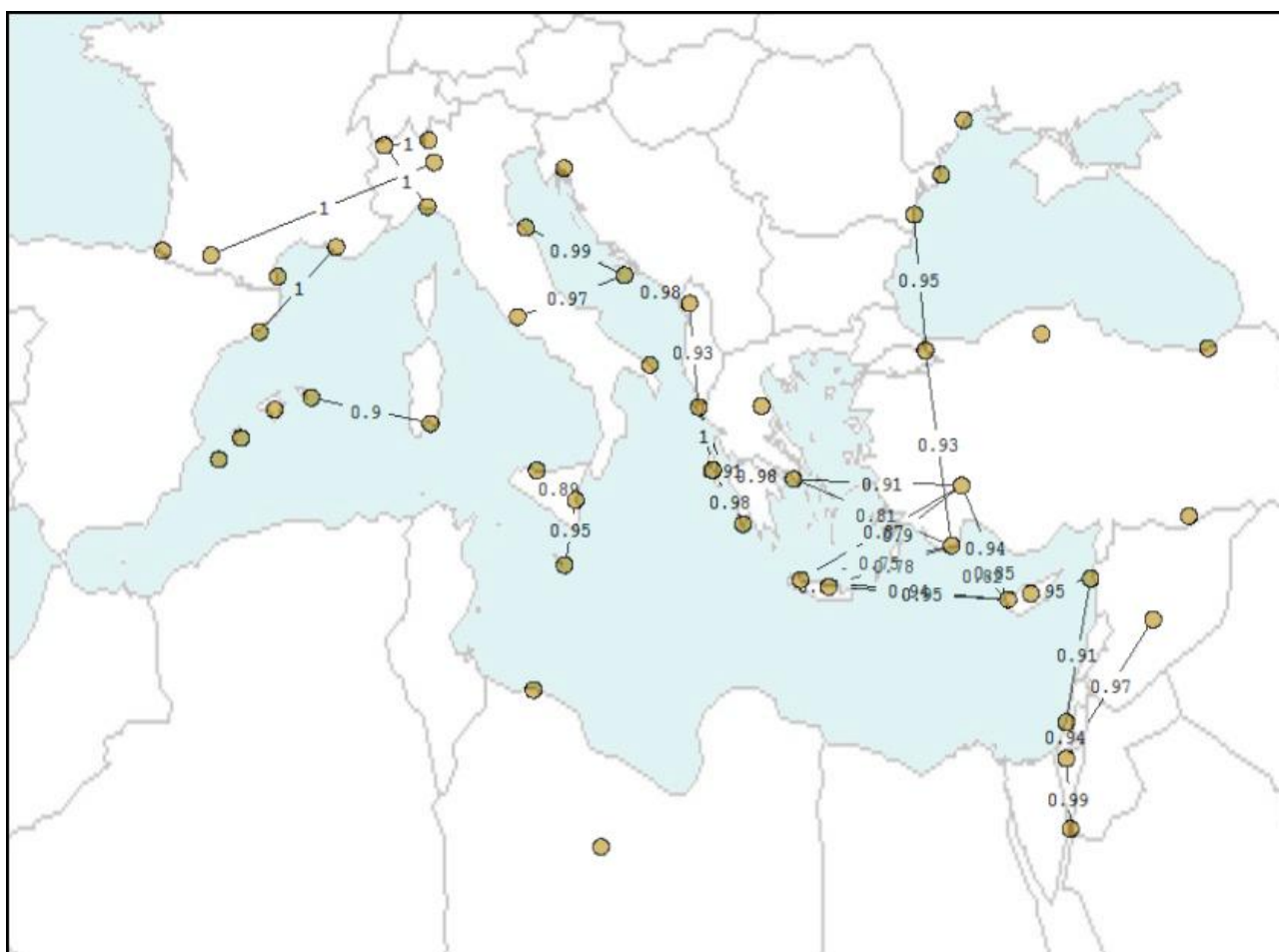


Σχήμα 4-4 Υστερήσεις που αντιστοιχούν στις μέγιστες ετεροσυσχετίσεις του σχήματος 4-3.

Οι υστερήσεις, για τις οποίες προκύπτουν οι μέγιστες ετεροσυσχετίσεις των ημερήσιων υψών βροχής, είναι 0 και 1, δηλαδή για την ίδια ή την επόμενη ημέρα. Αυτό δεν αποκλείει την ύπαρξη υψηλών ετεροσυσχετίσεων για μεγαλύτερες υστερήσεις, οι οποίες εξετάζονται στη συνέχεια. Το γεγονός ότι η πλειοψηφία των μέγιστων ετεροσυσχετίσεων προκύπτει την ίδια ημέρα, υποδεικνύει την ομοιογένεια των βροχοπτώσεων γειτονικών περιοχών χρονικά, αλλά ταυτόχρονα δεν αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την πρόβλεψη.

Στα σχήματα Σχήμα 4-5 και Σχήμα 4-6 φαίνονται οι λόγοι των χειμερινών συντελεστών ετεροσυσχέτισης προς τους ετήσιους συντελεστές ετεροσυσχέτισης με κατώτατο όριο το 0.20. Στην πλειοψηφία των συνδέσεων, οι λόγοι είναι μεγαλύτεροι της μονάδας που σημαίνει ότι τους χειμερινούς μήνες, στη διάρκεια των οποίων έχουμε τις περισσότερες βροχοπτώσεις, υπάρχει μεγαλύτερη ετεροσυσχέτιση, ενώ κατά τη διάρκεια της περιόδου Απριλίου - Οκτωβρίου, κατά την

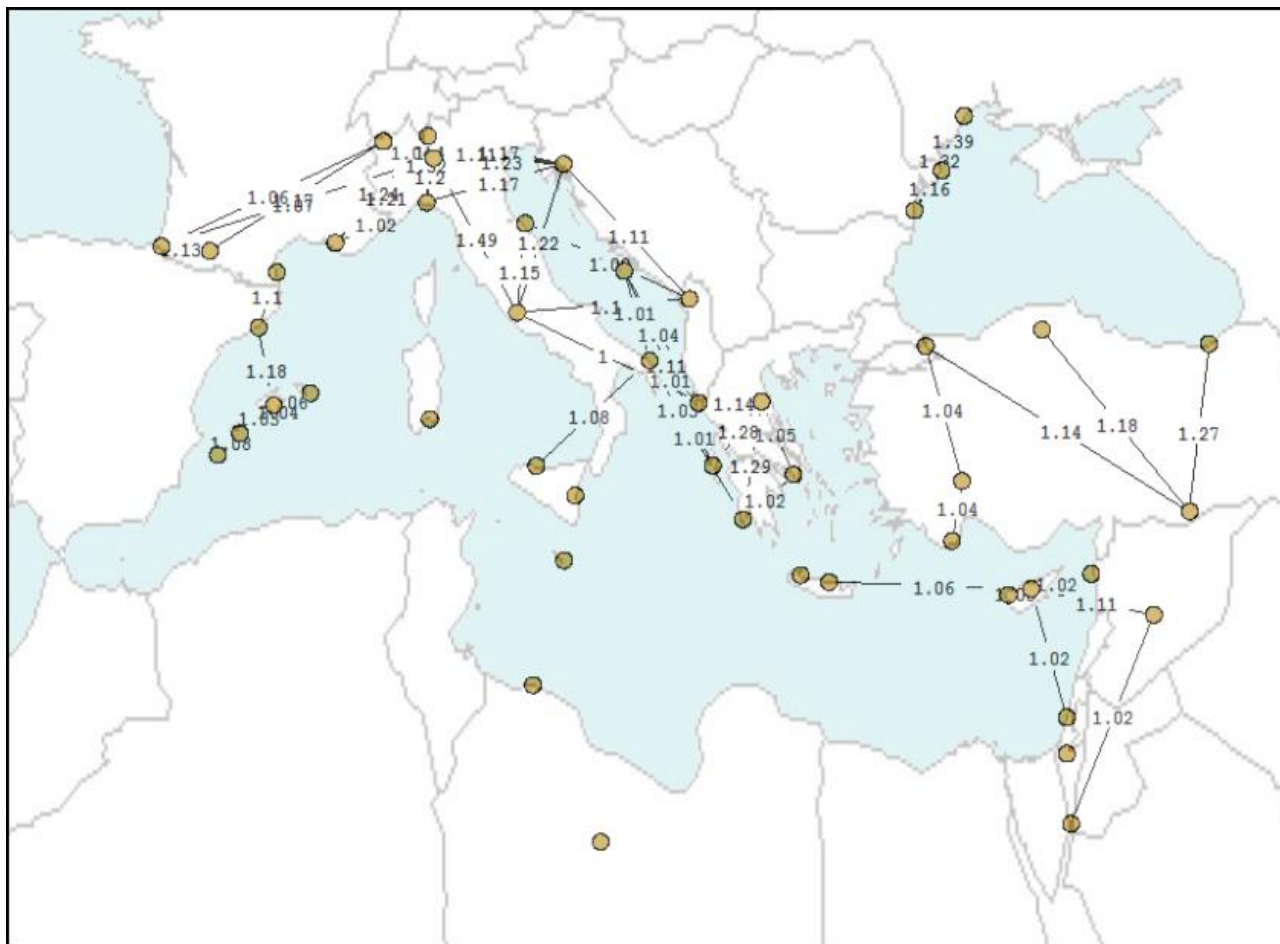
οποία οι βροχοπτώσεις οφείλονται κυρίως σε διεργασίες συναγωγής, οι ετεροσυσχέτισεις μειώνονται. Ωστόσο, στο νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου, όπου παρατηρούνται συγκεντρωμένες τιμές μικρότερες της μονάδας, ενδέχεται να είναι πιά έντονη η επίδραση των ξηρών καλοκαιρινών περιόδων, δηλαδή αύξηση της ετήσιας ετεροσυσχέτισης λόγω των πολλών μηδενικών τιμών βροχόπτωσης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, στην Αθήνα, την Κρήτη και την υπόλοιπη νοτιοανατολική Μεσόγειο η βροχόπτωση κατά την ξηρή περίοδο αποτελεί ποσοστό 10-20% της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης. Συνεπώς, η συνέχεια της ανάλυσης του δικτύου επικεντρώθηκε στις βροχοπτώσεις της περιόδου Οκτωβρίου - Μαρτίου οι οποίες είναι πιθανότερο να συσχετίζονται.



Σχήμα 4-5 Λόγοι ετεροσυσχετίσεων χειμερινής/ετήσιας περιόδου οι οποίοι είναι μικρότεροι του 1.

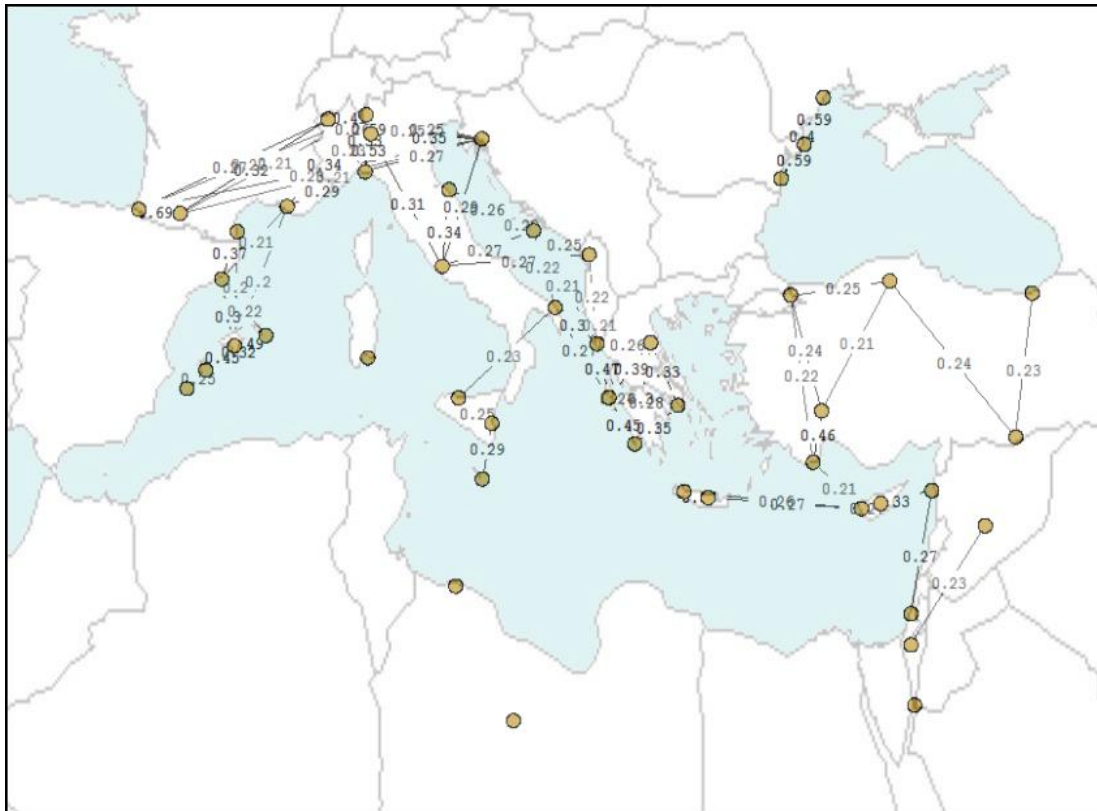
Οι ετεροσυσχέτισεις των βροχοπτώσεων για την υγρή περίοδο υπολογίστηκαν ξεχωριστά για κάθε υστέρηση από 0 έως 2, ώστε να υπάρχει καλύτερη εποπτεία του δικτύου σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Στο Σχήμα 4-7 απεικονίζεται το δίκτυο ετεροσυσχετίσεων των βροχοπτώσεων την ίδια ημέρα ενώ στο Σχήμα 4-8 το αντίστοιχο δίκτυο για υστέρηση μιας μέρας.

Στην περίπτωση της μηδενικής υστέρησης, η ετεροσυσχέτιση δύο Υ/Μ σταθμών έχει την ίδια τιμή είτε υπολογίζεται προς τη μία "κατεύθυνση" (π.χ. ARGOSTOLI -> CORFU) είτε υπολογίζεται προς την άλλη (CORFU -> ARGOSTOLI), όπως έχει αναφερθεί ήδη, επομένως τα βέλη στα άκρα των συνδέσμων παραλείπονται.

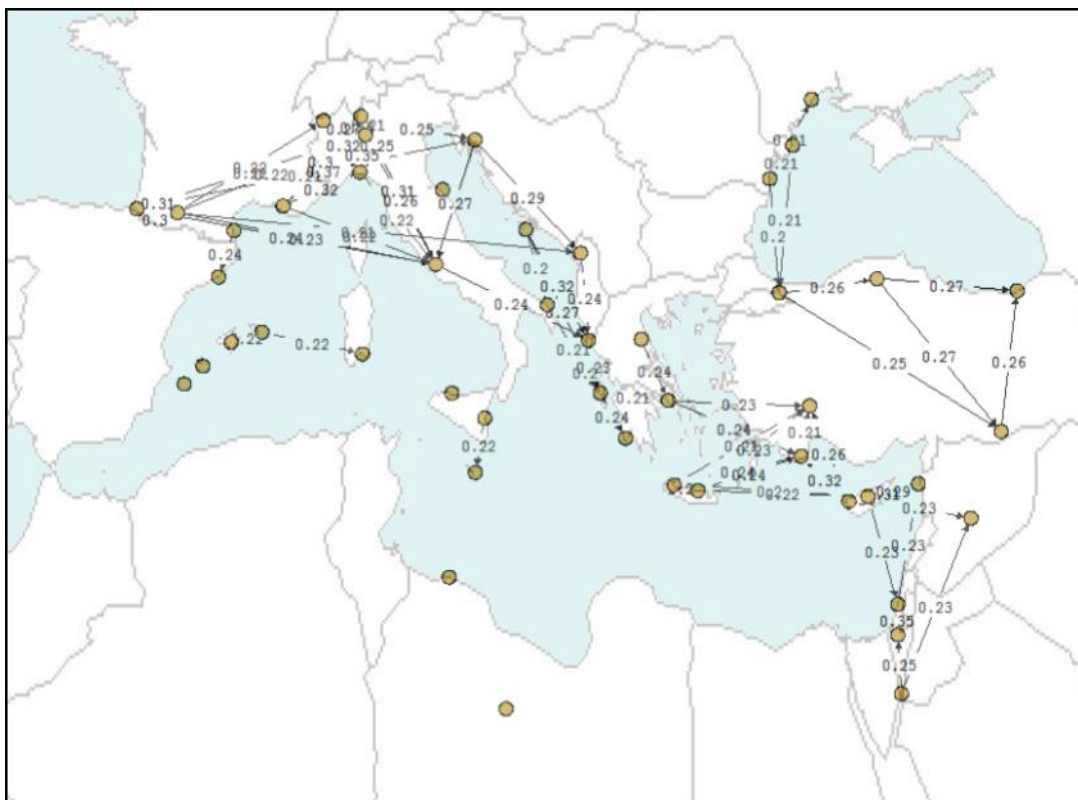


Σχήμα 4-6 Λόγοι ετεροσυσχετίσεων χειμερινής/ετήσιας περιόδου οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι του 1.

Αντίθετα, στις περιπτώσεις μη μηδενικών υστερήσεων, τα βέλη καταλήγουν στον κόμβο του οποίου η χρονοσειρά υστερεί κατά την αντίστοιχη υστέρηση. Έτσι, στο Σχήμα 4-8, το δίκτυο που σχηματίζεται για υστέρηση της μιας από τις δυο χρονοσειρές, έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση και παρέχει πληροφορίες για τη ροή των καιρικών φαινομένων στο χώρο και το χρόνο. Συγκεκριμένα, το δίκτυο ετεροσυσχετίσεων που σχηματίζεται έχει κατεύθυνση από τα σύνορα Ισπανίας – Γαλίας προς τη βόρεια και κεντρική Ιταλία καταλήγοντας στο Ιόνιο. Παράλληλα, φαίνεται να συσχετίζονται οι βροχοπτώσεις της ανατολικής Ελλάδας με τις βροχοπτώσεις της επόμενης μέρας στη νοτιοδυτική Τουρκία και την Κύπρο οι οποίες με τη σειρά τους συσχετίζονται με τις βροχοπτώσεις της επόμενης μέρας στη Μέση Ανατολή. Τέλος, στο βορειοανατολικό τμήμα της



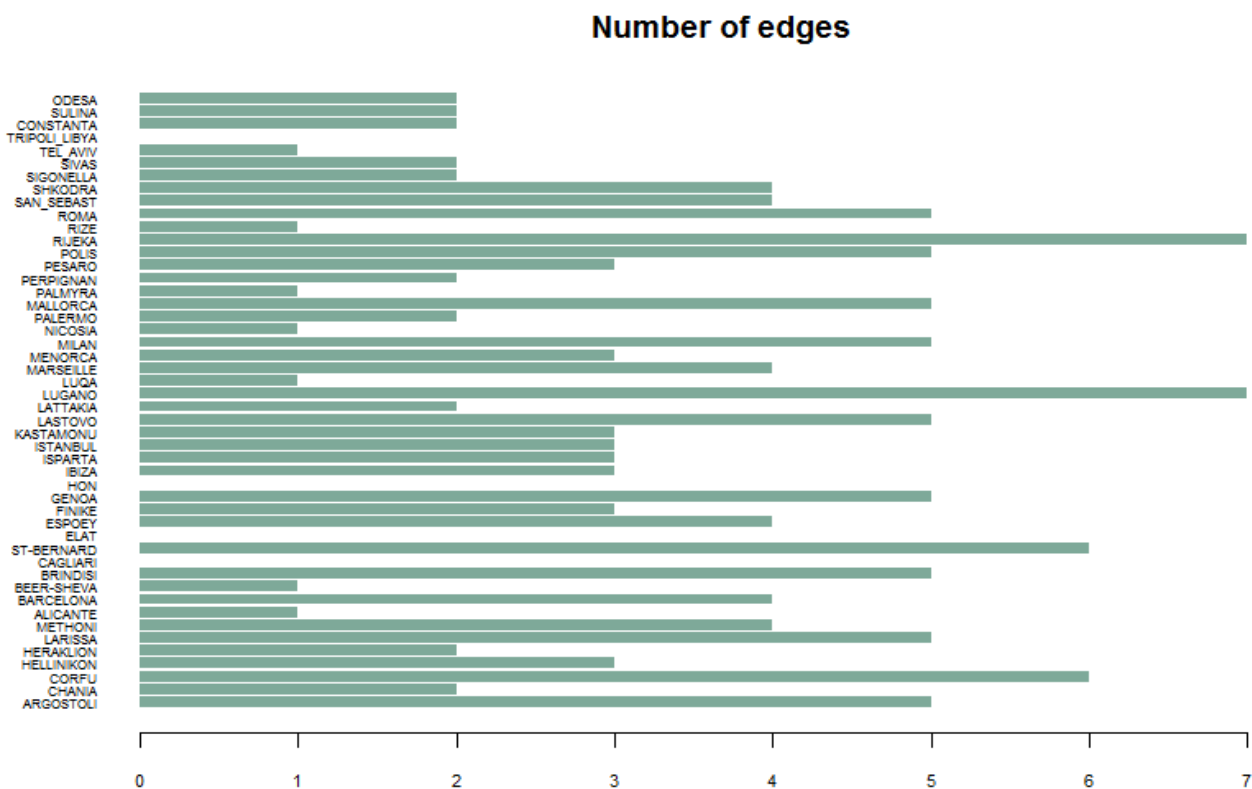
Σχήμα 4-7 Ετεροσυσχετίσεις περιόδου Οκτωβρίου - Μαρτίου για υστέρηση 0 και με κατώτατο όριο 0.20.



Σχήμα 4-8 Ετεροσυσχετίσεις περιόδου Οκτωβρίου - Μαρτίου για υστέρηση 1 και με κατώτατο όριο 0.20.

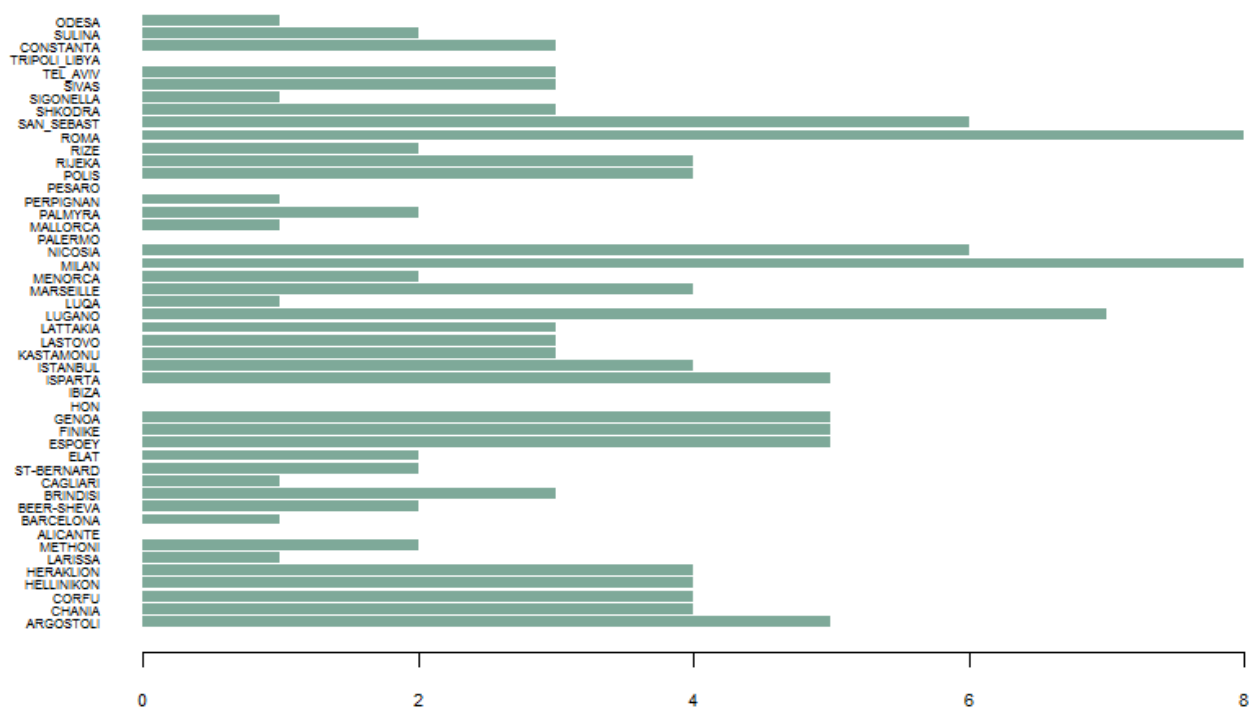
περιοχής μελέτης εμφανίζονται ανάλογες ετεροσυσχετίσεις για τις βροχοπτώσεις γύρω από τη Μαύρη θάλασσα με αντιωρολογιακή φορά

Στο Σχήμα 4-9 και στο Σχήμα 4-10 φαίνεται ο αριθμός των συνδέσμων κάθε Υ/Μ σταθμού για υστέρηση 0 και 1 αντίστοιχα. Σε αυτό τον αριθμό αντιστοιχεί το άθροισμα των συνδέσμων που ξεκινούν και καταλήγουν στον κάθε κόμβο. Παρατηρούμε ότι οι κόμβοι που συγκεντρώνουν πάνω από τέσσερις συνδέσμους και στις δύο θεωρήσεις είναι στη βόρεια Ιταλία (Μιλάνο Λουγκάνο και Γένοβα), την κεντρική Ιταλία (Ρώμη), το Ιόνιο (Αργοστόλι) και την Κύπρο (Λευκωσία – Πόλη). Σύμφωνα με τη θεωρία των κλιματικών δικτύων οι κόμβοι στους οποίους συγκεντρώνεται μεγάλος αριθμός συνδέσμων αποτελεί υπερ-κόμβο (supernode) ο οποίος παίζει σημαντικό ρόλο στη λήψη και μετάδοση πληροφοριών που αφορούν τα καιρικά φαινόμενα. Όπως έχει αναφερθεί ήδη, το δίκτυο της μηδενικής υστέρησης δεν παρέχει επαρκείς πληροφορίες για την εξέλιξη των βροχοπτώσεων σε παρακείμενες περιοχές της ροής, επομένως μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη συνέχεια της ανάλυσης παρουσιάζουν οι ετεροσυσχετίσεις που προκύπτουν για μη μηδενική υστέρηση.



Σχήμα 4-9 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση 0 και κατώτατο όριο ετεροσυσχέτισης βροχοπτώσεων 0.20.

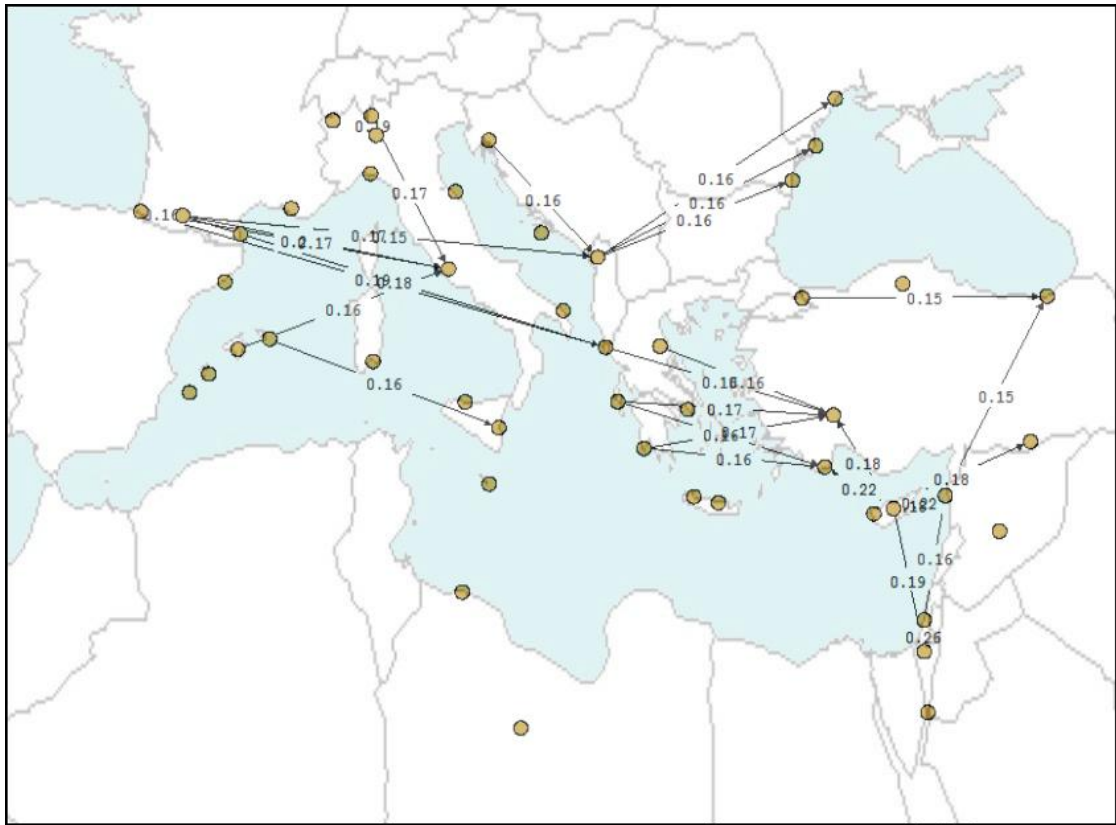
Number of edges



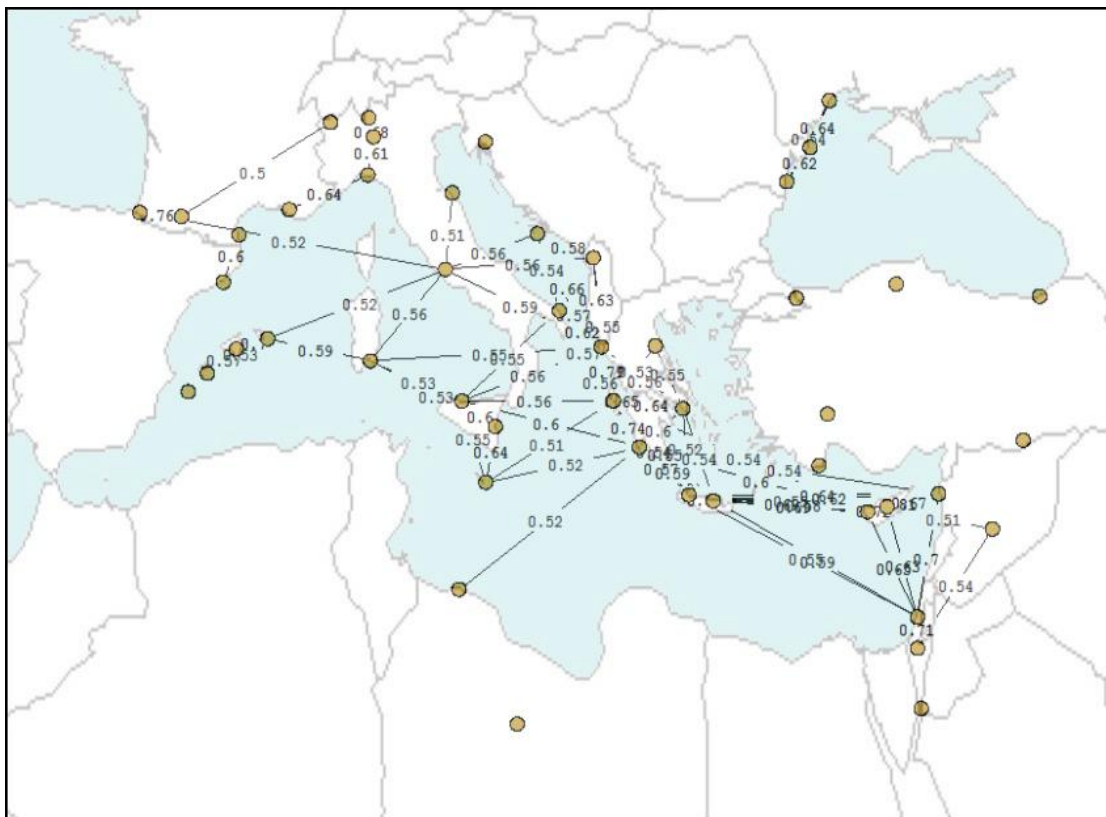
Σχήμα 4-10 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση 1 και κατώτατο όριο ετεροσυσχέτισης βροχοπτώσεων 0.20.

Στο Σχήμα 4-11 παρουσιάζονται οι ετεροσυσχετίσεις για υστέρηση 2 και όριο 0.15. Παρόλο που το όριο 0.15 δεν αντιπροσωπεύει σημαντική συσχέτιση, το μοτίβο των συνδέσεων υποδεικνύει την ύπαρξη ατμοσφαιρικής ροής από τα δυτικά προς τα ανατολικά στην δυτική και κεντρική Μεσόγειο, ενώ στη Μέση Ανατολή από τα νότια προς τα βόρεια, όπως είχε ήδη αποτυπωθεί και για τις υστερήσεις 0 και 1. Οι περισσότεροι σύνδεσμοι ξεκινούν είτε από την Ισπανία και καταλήγουν στη Ρώμη και το Ιόνιο είτε από την Ελλάδα και καταλήγουν στη νοτιοδυτική Τουρκία.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των μηνιαίων βροχοπτώσεων υπολογίστηκαν οι μηνιαίες ετεροσυσχετίσεις οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 4-12. Παρατηρήθηκε ότι λόγω πολλών ελλειπουσών τιμών στους Υ/Μ σταθμούς της Τουρκίας, εμφανίζονταν πολλοί υψηλοί συντελεστές ετεροσυσχέτισης. Συνεπώς, οι έξι Υ/Μ σταθμοί της Τουρκίας και ο νοτιότερος Υ/Μ σταθμός της Λιβύης (HON), οι οποίοι είχαν καταγραφές κάτω από το 50% της περιόδου μελέτης, αφαιρέθηκαν από την υπολογιστική διαδικασία. Σε αντίθεση με τους χάρτες συντελεστών ετεροσυσχέτισης ημερήσιων τιμών, δεν εμφανίζονται πολλοί και μεγάλοι συντελεστές ετεροσυσχέτισης στο τόξο



Σχήμα 4-11 Ετεροσυσχετίσεις βροχοπτώσεων των Υ/Μ για υστέρηση 2 και κατώτατο όριο 0.15.



Σχήμα 4-12 Χάρτης μηνιαίων ετεροσυσχετίσεων με κατώτατο όριο 0.50.

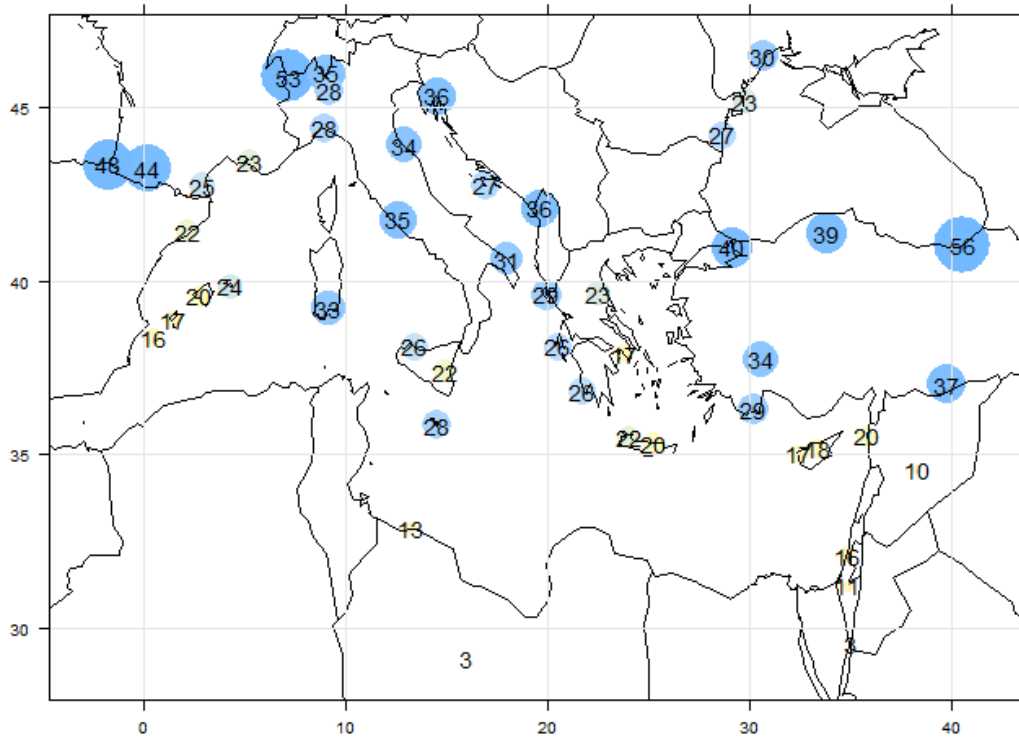
Ισπανία - βόρεια Ιταλία – Κροατία. Οι σύνδεσμοι που εκκινούν από τα δυτικά καταλήγουν στη Ρώμη, τη Σαρδηνία και τη Σικελία και από εκεί στην Αδριατική και τη δυτική Ελλάδα, όπου πληθαίνουν και αυξάνονται οι τιμές τους. Οι μεγάλες τιμές ετεροσυσχετίσεων στην περιοχή του Ιονίου σίγουρα οφείλονται στην ομοιογένεια των βροχοπτώσεων στην περιοχή αλλά και στην κοντινή απόσταση των Υ/Μ σταθμών της μελέτης. Οι μεγαλύτερες τιμές στο νοτιοανατολικό τμήμα παρατηρούνται μεταξύ των σταθμών της Κρήτης, της Κύπρου και του Τελ-Αβίβ.

4.2 Αλυσίδες Markov

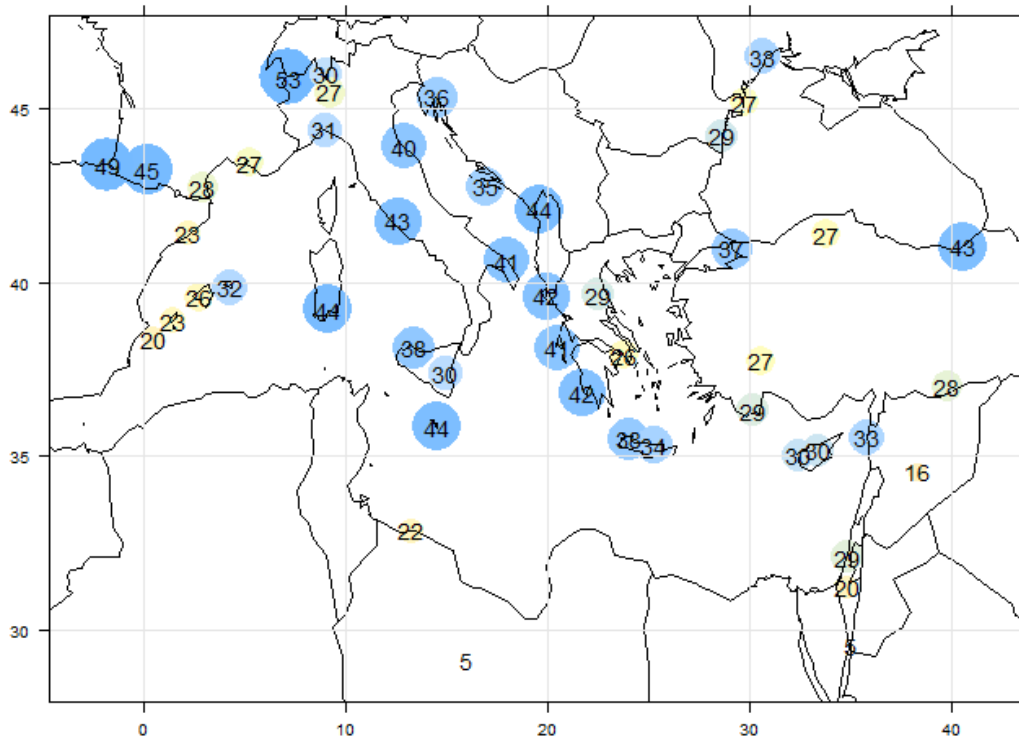
Η αδέσμευτη πιθανότητα βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό (δηλαδή η πιθανότητα να βρέξει οποιαδήποτε μέρα μιας ορισμένης περιόδου) ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των ημερών που έβρεξε τη συγκεκριμένη περίοδο προς τον συνολικό αριθμό ημερών της περιόδου. Ο υπολογισμός της παραπάνω πιθανότητας πραγματοποιήθηκε για δύο περιόδους: α) την συνολική περίοδο μελέτης και β) την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου για όλα τα έτη της περιόδου μελέτης. Έτσι προέκυψαν, η πιθανότητα βροχόπτωσης (επί τοις εκατό) οποιαδήποτε ημέρα του έτους και η πιθανότητα βροχόπτωσης οποιαδήποτε ημέρα κατά την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου, οι οποίες φαίνονται στα σχήματα Σχήμα 4-13 και Σχήμα 4-14 αντίστοιχα. Ακριβέστερα, σε σχέση με τον προηγούμενο ορισμό, υπολογίστηκε ως ο λόγος του αριθμού ημερών με μη-μηδενική βροχόπτωση προς τον συνολικό αριθμό παρατηρήσεων για κάθε σταθμό. Διαπιστώθηκε ότι, για τους Υ/Μ σταθμούς της Τουρκίας, το ποσοστό αυτό ήταν πολύ υψηλό (75% - 85% περίπου) για την περίοδο ολόκληρου του έτους. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη πολύ λίγων παρατηρήσεων κατά την ξηρή περίοδο (Απριλίου - Σεπτεμβρίου), οι οποίες στην πλειοψηφία τους είναι μη μηδενικές, όπως έχει ήδη διαπιστωθεί κατά τον υπολογισμό των ετεροσυσχετίσεων.

Για το λόγο αυτό, έγινε η υπόθεση ότι έχουν καταγραφεί στο σετ δεδομένων μόνο οι τιμές μεγαλύτερες του μηδενός και έτσι, για αυτούς τους έξι σταθμούς όλες οι ελλείπουσες τιμές αντικαταστάθηκαν με μηδέν και στη συνέχεια υπολογίστηκε η πιθανότητα βροχόπτωσης. Η θεώρηση αυτή γίνεται με επιφύλαξη καθώς όπως φαίνεται στους παρακάτω χάρτες, η πιθανότητα βροχόπτωσης κατά την υγρή περίοδο μειώνεται σε σχέση με την ετήσια. Ωστόσο, όπως φαίνεται από τη σύγκριση των πιθανοτήτων βροχόπτωσης της νοτιοδυτικής Τουρκίας με τους κοντινότερους σε απόσταση σταθμούς (π.χ. της Κύπρου), αυτές ομοιάζουν γεγονός που ενισχύει τη λογική της υπόθεσης που έγινε.

Συγκρίνοντας τα δύο σχήματα, η πιθανότητα βροχής σε κάθε σταθμό είναι παρόμοια κατά



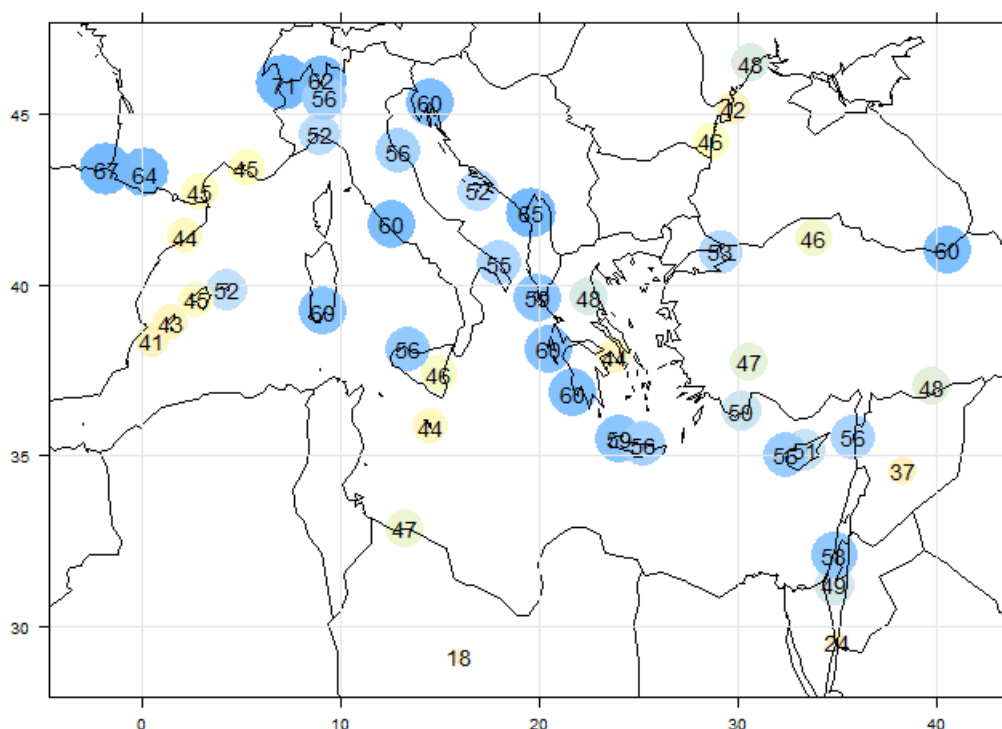
Σχήμα 4-13 Πιθανότητα βροχόπτωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.



Σχήμα 4-14 Πιθανότητα βροχόπτωσης κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου.

την υγρή περίοδο και σε ετήσια βάση, με ελαφρώς μεγαλύτερη την πιθανότητα βροχόπτωσης κατά την υγρή περίοδο στην πλειοψηφία των Υ/Μ σταθμών. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις της πιθανότητας βροχόπτωσης την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου παρατηρούνται στην κεντρική Μεσόγειο (Ρώμη, Σικελία και Ιόνιο), αλλά και στην νοτιοανατολική Μεσόγειο (Κρήτη, Κύπρος και Μέση Ανατολή). Η διαφορά αυτή αποδίδεται στην επίδραση της ξηρής περιόδου στον υπολογισμό της πιθανότητας βροχόπτωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Συνεπώς, μεγαλύτερο ενδιαφέρον, όσον αφορά το μοτίβο των βροχοπτώσεων, παρουσιάζει η περίοδος Οκτωβρίου – Μαρτίου και σε αυτή θα επικεντρωθεί κυρίως η συνέχεια της ανάλυσης των πιθανοτικών συσχετίσεων.

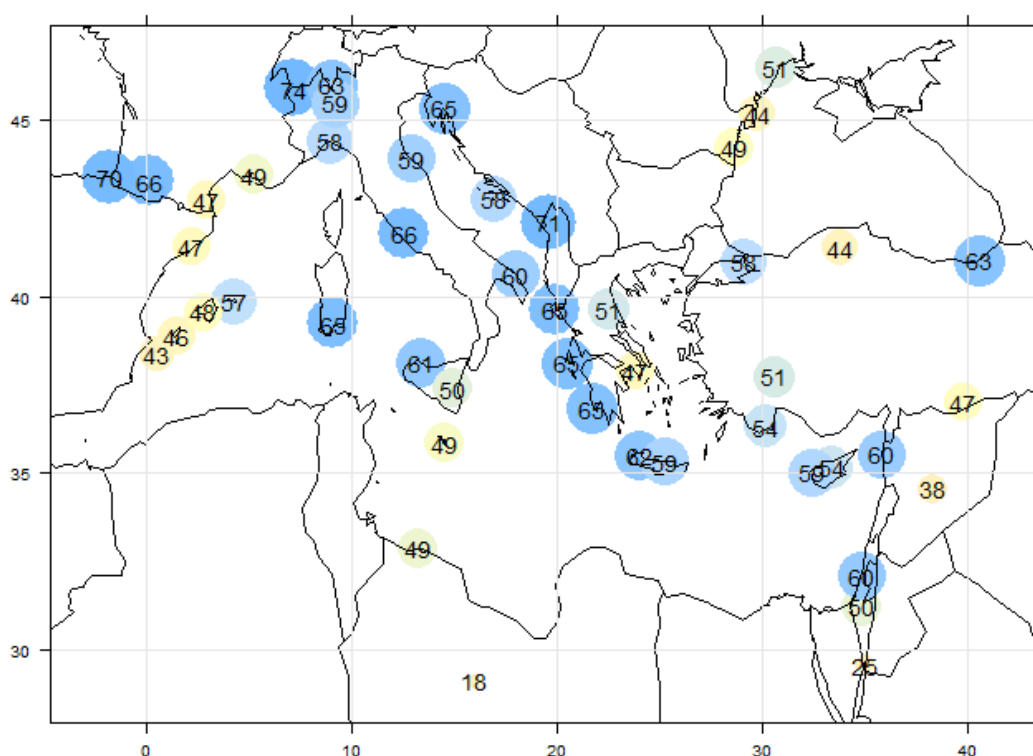
Στα σχήματα Σχήμα 4-15 και Σχήμα 4-16 φαίνεται η δεσμευμένη πιθανότητα μία βροχερή ημέρα να ακολουθείται από μία επίσης βροχερή ημέρα, δηλαδή η πιθανότητα βροχόπτωσης με δεδομένο ότι την προηγούμενη μέρα έχει βρέξει ($P(B_i | B_{i-1})$ - όπου $P(B_i)$ η πιθανότητα βροχόπτωσης την ημέρα i).



Σχήμα 4-15 Πιθανότητα βροχόπτωσης, εφόσον έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

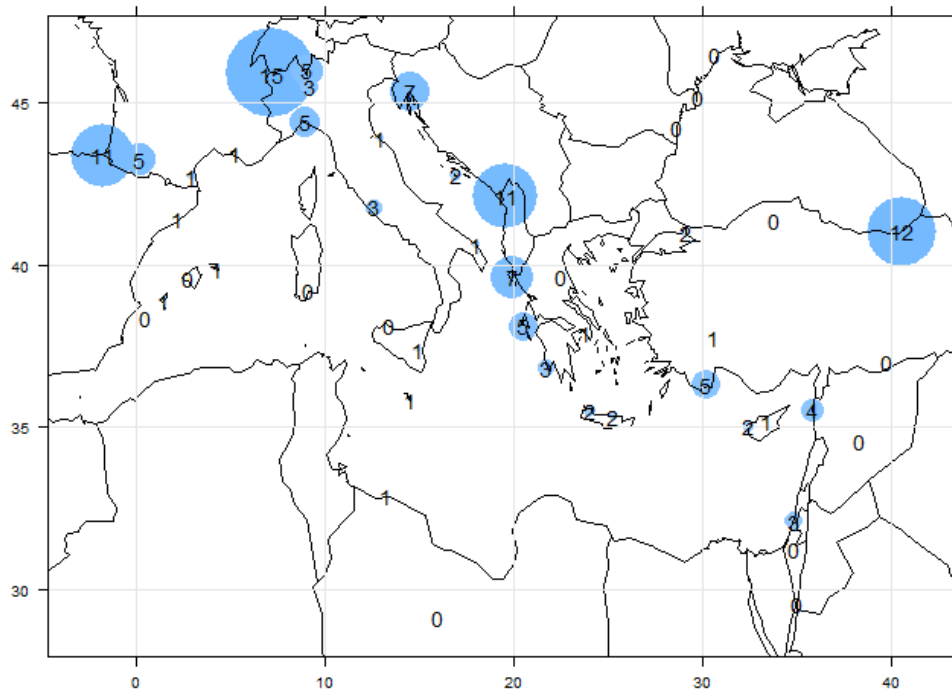
Πρόέκυψε ως ο λόγος του αριθμού των ημερών τις οποίες έβρεξε έπειτα από μια βροχερή

ημέρα προς των αριθμό των βροχερών ημερών συνολικά στην εκάστοτε ορισμένη χρονική περίοδο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο παραπάνω λόγος θα μπορούσε να προκύψει 1 μόνο εάν έβρεχε όλες τις ημέρες της περιόδου μελέτης. Η τελευταία ημέρα μίας ακολουθίας συνεχόμενων βροχερών ημερών αυξάνει την τιμή του παρονομαστή του λόγου. Συνεπώς, αν παραληφθεί η άθροιση αυτών των ημερών στον παρονομαστή για τα μπλοκ βροχόπτωσης που υπερβαίνουν τις τρεις ή τέσσερις ημέρες (θεωρώντας το εύλογο διάστημα έπειτα από το οποίο θα σταματήσει η διαταραχή), η πιθανότητα μπορεί να αυξηθεί. Όπως συνέβη και με την πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε ημέρα, η παραπάνω δεσμευμένη πιθανότητα αυξάνεται κατά την υγρή περίοδο στην πλειοψηφία των σταθμών.

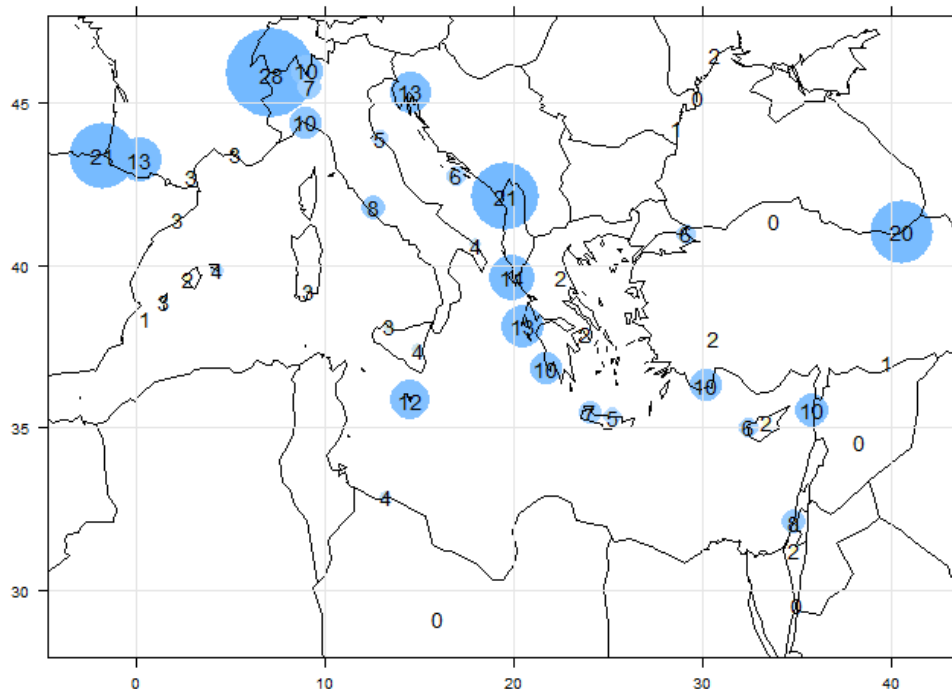


Σχήμα 4-16 Πιθανότητα βροχόπτωσης, εφόσον έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα, κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου.

Στα σχήματα Σχήμα 4-17 και Σχήμα 4-18 παρουσιάζεται η πιθανότητα κατά την υγρή περίοδο σε ένα μπλοκ πέντε ημερών οι τρεις από αυτές να έχουν βροχόπτωση μεγαλύτερη των 10mm ή 5mm αντίστοιχα. Ο υπολογισμός της έγινε διαιρώντας τον αριθμό των μπλοκ πέντε ημερών στα οποία τουλάχιστον τρεις από τις πέντε ημέρες το ύψος βροχής ήταν μεγαλύτερο των 10mm (ή 5mm), με το συνολικό αριθμό των μπλοκ πέντε ημερών στα οποία υπάρχουν παρατηρήσεις και τις



Σχήμα 4-17 Πιθανότητα ημερήσιας βροχόπτωσης άνω των 10mm τουλάχιστον 3 από τις 5 συνεχόμενες ημέρες κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου .

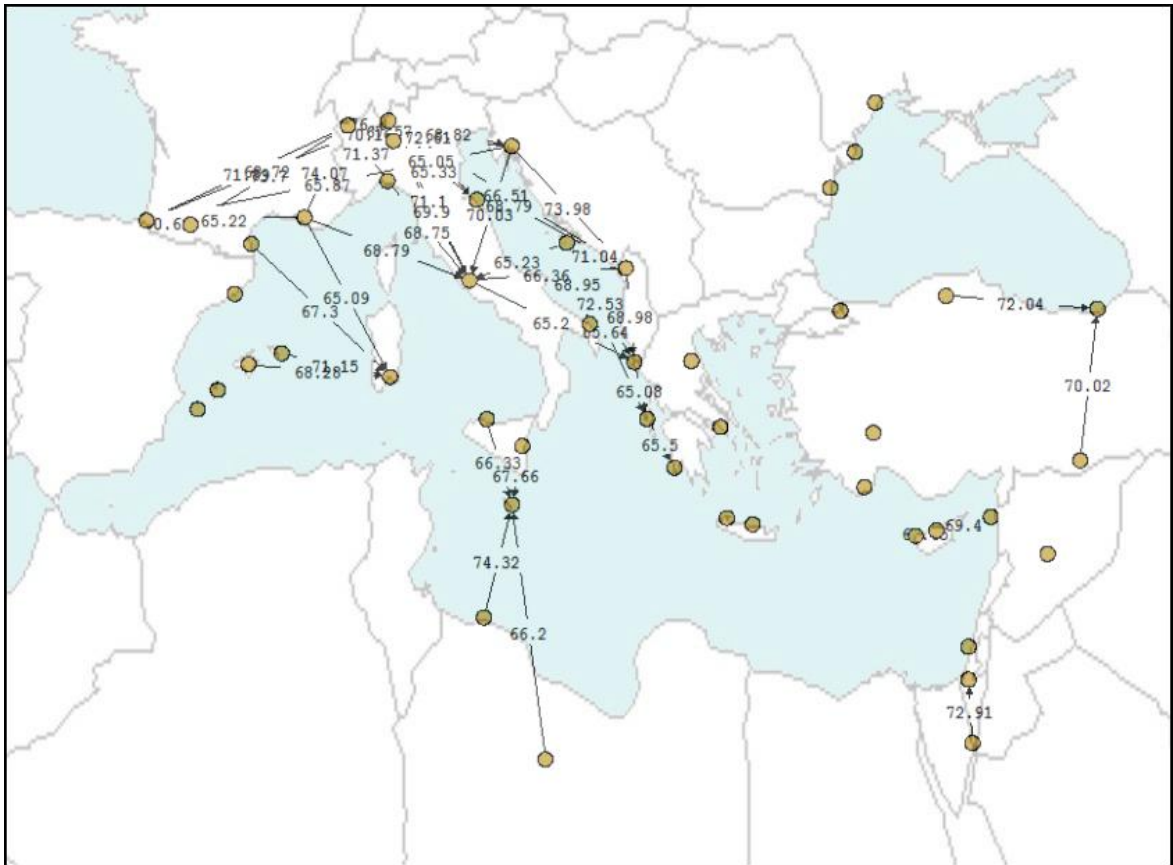


Σχήμα 4-18 Πιθανότητα ημερήσιας βροχόπτωσης άνω των 5mm τουλάχιστον 3 από τις 5 συνεχόμενες ημέρες κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου.

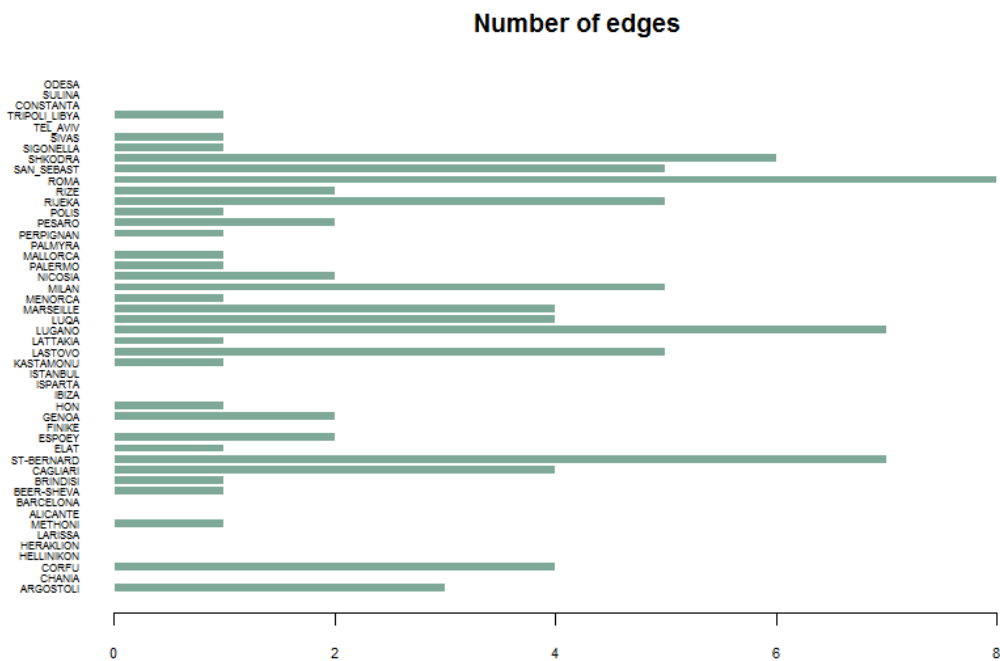
πέντε ημέρες. Παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες πιθανότητες συνεχόμενων βροχοπτώσεων άνω των 10mm ή 5mm εμφανίζονται κυρίως στο βόρειο και βορειοδυτικό τμήμα της Μεσογείου, ενώ όσον αφορά την τοπογραφία οι συγκεκριμένες περιοχές βρίσκονται κοντά σε ορεινούς όγκους όπως τα Πυρηνάια, οι Άλπεις και οι ανατολικές ακτές της Αδριατικής. Ο παραπάνω πιθανοτικός υπολογισμός είναι χρήσιμος καθώς δείχνει ποιές περιοχές επηρεάζονται από καιρικά συστήματα που εμμένουν για διάστημα ημερών και μπορούν να επηρεάσουν καλλιέργειες, αστικά κέντρα και τη γενικότερη διαχείριση υδατικών πόρων (ταμιευτήρες, αντιπλυμμηρικά έργα κλπ).

Στη συνέχεια, διερευνήθηκε η πιθανοτική ετεροσυσχέτιση, κατά την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου, των ημερήσιων βροχοπτώσεων για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς Υ/Μ σταθμών και για υστερήσεις μίας και δύο ημερών, δηλαδή υπολογίστηκε η πιθανότητα βροχόπτωσης σε κάποιο σταθμό (έστω Α) την ημέρα i , με δεδομένο ότι έχει βρέξει σε κάποιον άλλο σταθμό (έστω Β) την προηγούμενη μέρα ($i-1$ - υστέρηση μίας μέρας) ή δύο ημέρες πριν ($i-2$ - υστέρηση δύο ημερών). Υπολογίστηκε ως ο λόγος του αριθμού των ημερών που έβρεξε και στο σταθμό Β την ημέρα $i-1$ (ή $i-2$ για υστέρηση δύο ημερών) και στο σταθμό Α την ημέρα i , προς τον συνολικό αριθμό ημερών που έβρεξε στο σταθμό Β την ημέρα $i-1$ (ή $i-2$). Η παραπάνω πιθανότητα συμβολίζεται με μαθηματικούς όρους ως εξής: $P(A_i | B_{i-1}) = P(A_i \cap B_{i-1}) / P(B_{i-1})$. Σημειώνεται ότι ο παρονομαστής των πιθανοτήτων $P(A_i \cap B_{i-1})$ και $P(B_{i-1})$ είναι ίδιος εφόσον είναι ίσος με τον αριθμό των ημερών της περιόδου μελέτης και έτσι το σύνθετο κλάσμα απλοποιείται. Στα σχήματα Σχήμα 4-19 και Σχήμα 4-21 παρουσιάζονται οι σύνδεσμοι και οι αντίστοιχες πιθανότητες θεωρώντας ότι ο κόμβος αρχής είναι ο σταθμός Β και ο κόμβος τέλους είναι ο σταθμός Α όπως έχουν ήδη ορισθεί. Στα σχήματα Σχήμα 4-20 και Σχήμα 4-22 φαίνεται ο αντίστοιχος αριθμός συνδέσμων για κάθε Υ/Μ σταθμό για τις πιθανότητες βροχόπτωσης με υστερήσεις μίας και δύο ημερών αντίστοιχα.

Όπως παρατηρήθηκε και στην ανάλυση των ετεροσυσχετίσεων, η πυκνότητα των συνδέσμων και το μέγεθος των πιθανοτήτων για υστέρηση μίας ημέρας είναι μεγαλύτερο στο βορειοδυτικό τμήμα της Μεσογείου έχοντας κατεύθυνση προς τα νοτιανατολικά καταλήγοντας στη δυτική Ελλάδα. Το γεγονός ότι το δίκτυο δεν φαίνεται να επεκτείνεται ανατολικότερα στους Υ/Μ σταθμούς της ανατολικής Ελλάδας οι οποίοι έχουν συμπεριληφθεί στην ανάλυση (LARISSA, HELLINIKON) με υψηλές πιθανοτικές ετεροσυσχετίσεις, οφείλεται εν μέρει στη φυσιογραφία της ηπειρωτικής Ελλάδας (οροσειρά της Πίνδου) η οποία διαχωρίζει το ανατολικό και δυτικό τμήμα, αλλά και σε τοπικές ιδιομορφίες όπως το λεκανοπέδιο Αττικής. Οι διαφορές αυτές έχουν ήδη



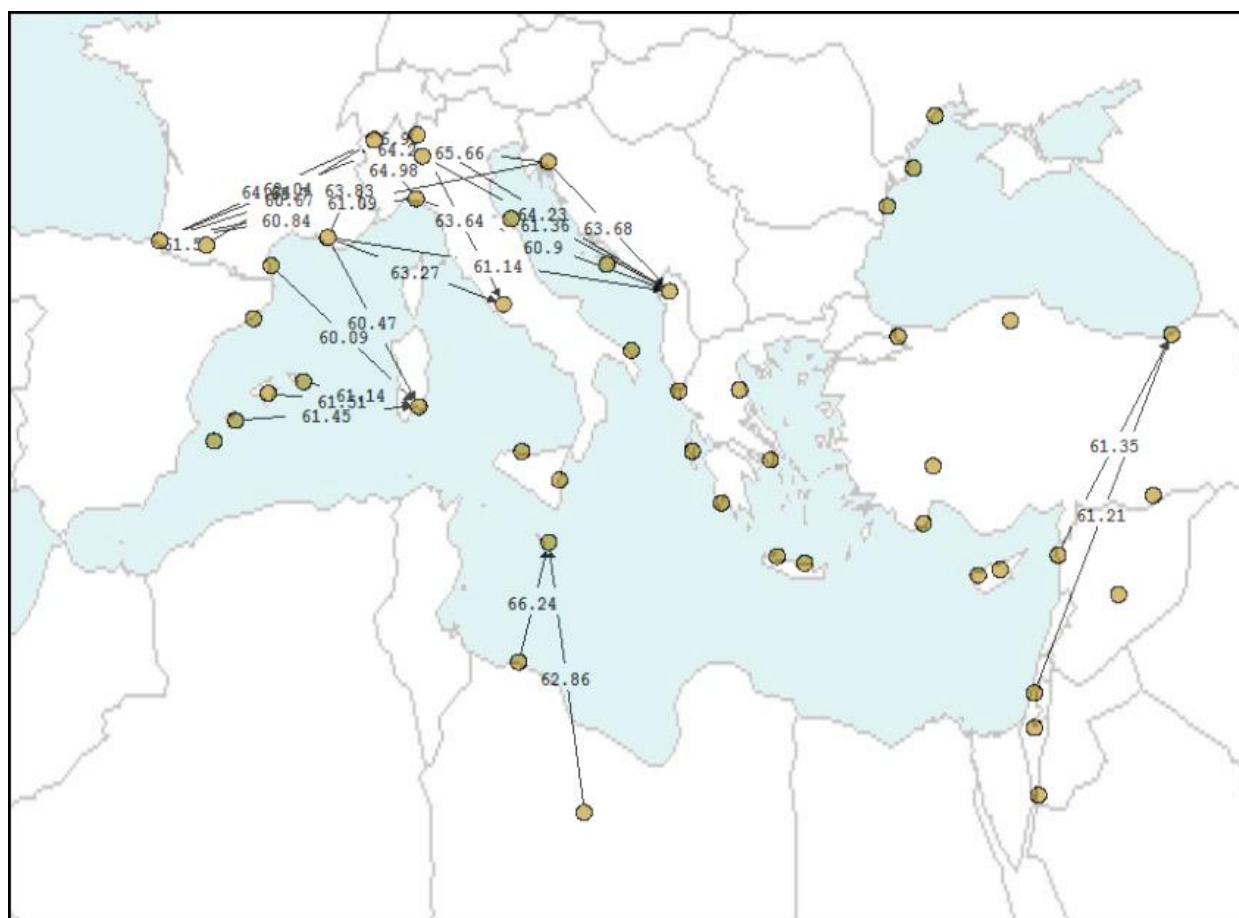
Σχήμα 4-19 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχόπτωσης σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα σε κάποιον άλλο με κατώτατο όριο 65%.



Σχήμα 4-20 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση μίας ημέρας και κατώτατο όριο πιθανότητας βροχόπτωσης 65%.

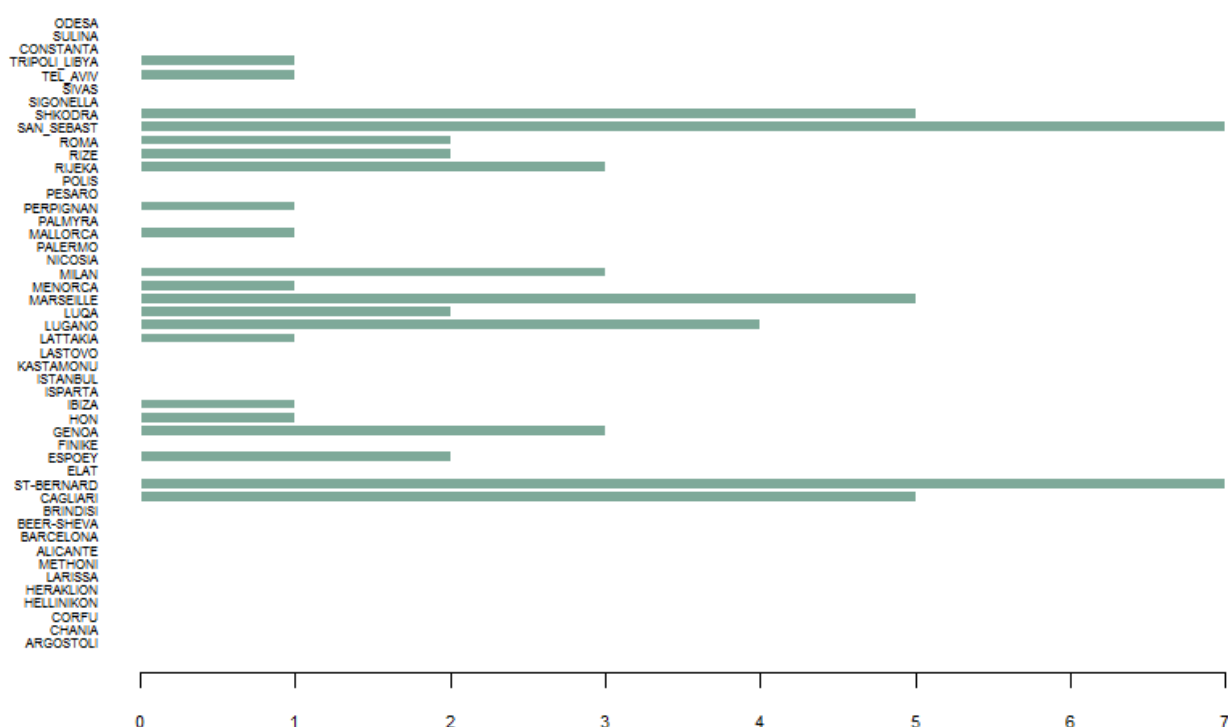
αποτυπωθεί και στις μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις του σχήματος Σχήμα 3 5 στο οποίο φαίνεται ότι το ετήσιο ύψος βροχής στη δυτική Ελλάδα (Ιόνιο πέλαγος) είναι υπερδιπλάσιο αυτού της ανατολικής διαμορφώνοντας διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Στην Ελβετία, τη Ρώμη και την Αλβανία καταλήγουν οι περισσότεροι σύνδεσμοι, ενώ οι περισσότεροι ξεκινούν από τη Μασσαλία και την Κροατία.

Στην περίπτωση υστέρησης δύο ημερών οι μεγαλύτερες πιθανοτικές ετεροσυσχετίσεις συγκεντρώνονται στη δυτική – βορειοδυτική Μεσόγειο ενώ οι Υ/Μ σταθμοί που συγκεντρώνουν τους περισσότερους συνδέσμους είναι κυρίως σταθμοί με καταγραφές μεγάλων ετήσιων υψών βροχής. Το στοιχείο αυτό μπορεί να αιτιολογηθεί από την γένεση και εξέλιξη ισχυρών κυκλωνικών συστημάτων σε αυτό το χρονικό διάστημα των δύο ημερών και έχει ως αποτέλεσμα βροχοπτώσεις και γενικότερη κακοκαιρία. Συγκεκριμένα, όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην περιοχή του κόλπου Γένοβας έχει παρατηρηθεί έντονη κυκλωνική δραστηριότητα και στο συνδυασμό της με την φυσιογραφία της ευρύτερης περιοχής μπορούν να



Σχήμα 4-21 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχόπτωσης σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει πριν δύο ημέρες σε κάποιον άλλο με κατώτατο όριο 60%.

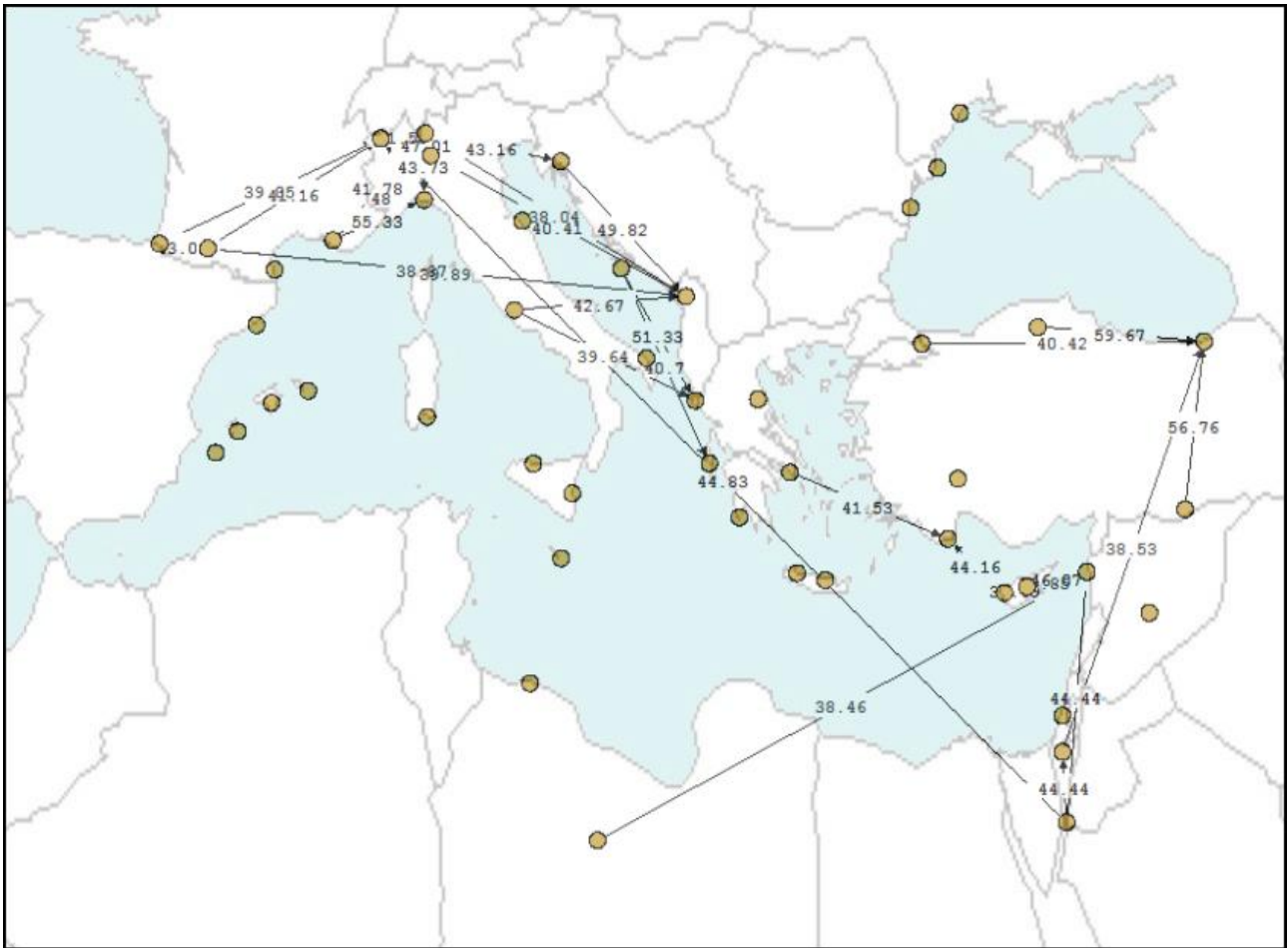
Number of edges



Σχήμα 4-22 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση δύο ημερών και κατώτατο όριο πιθανότητας βροχόπτωσης 60%.

αποδοθούν οι συσχετίσεις των καιρικών συνθηκών γύρω περιοχών. Οι περισσότεροι σύνδεσμοι εκκινούν από τη Μασσαλία προς τα δυτικά και από τη Γένοβα προς όλες τις κατευθύνσεις ενώ οι κόμβοι τέλους που συγκεντρώνουν τους περισσότερους συνδέσμους βρίσκονται στην Ελβετία, τη Σαρδηνία και την Αλβανία.

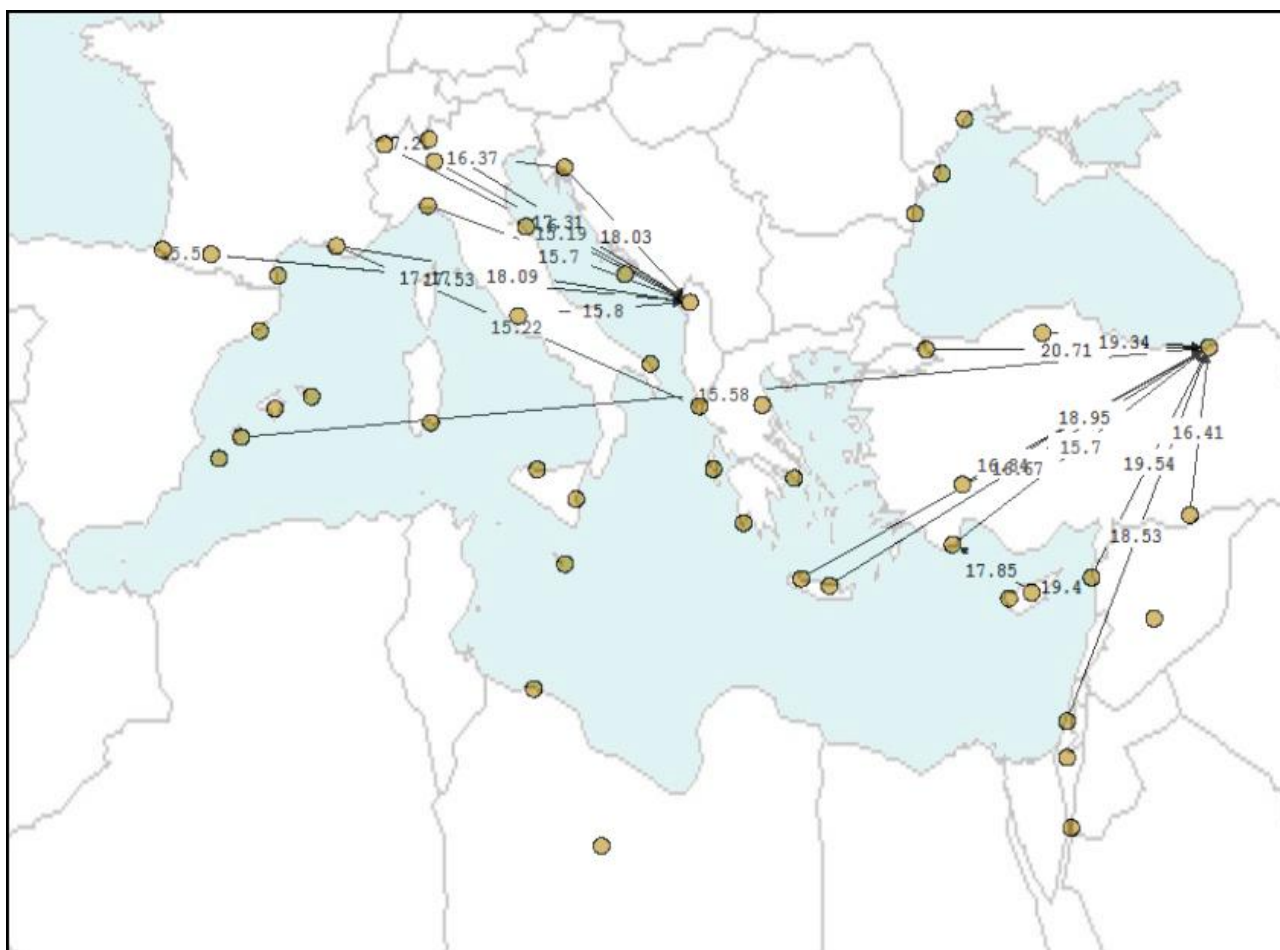
Η παραπάνω θεώρηση λαμβάνει υπόψη όλα τα επεισόδια βροχόπτωσης με ύψος μεγαλύτερο του μηδενός. Συνεπώς, στον παραπάνω υπολογισμό συμπεριλήφθηκαν ύψη βροχόπτωσης μικρότερα του χιλιοστού τα οποία θεωρούνται αμελητέα ποσότητα. Επιδιώκοντας να αποκτήσουμε μία σαφέστερη εικόνα για την πιθανοτική συσχέτιση των βροχερών ημερών και θεωρώντας ως όριο μία μέση βροχόπτωση της τάξης των 10mm/ημέρα, υπολογίστηκαν οι αντίστοιχες πιθανότητες μία βροχερή μέρα με συνολικό ύψος βροχής μεγαλύτερο των 10mm σε ένα σταθμό έστω Β, να ακολουθείται από μία βροχερή μέρα στο σταθμό Α με συνολικό ύψος βροχής μεγαλύτερο των 10mm. Τα αποτελέσματα για υστέρηση μίας και δύο ημερών παρουσιάζονται στα σχήματα Σχήμα 4-23 και Σχήμα 4-24 αντίστοιχα.



Σχήμα 4-23 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχόπτωσης άνω των 10mm σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα σε κάποιον άλλο πάνω από 10mm με κατώτατο όριο 38%.

Παρόλο που το κατώτατο πιθανοτικό όριο το οποίο τέθηκε στις δύο παραπάνω θεωρήσεις είναι μικρό (38% και 15% αντίστοιχα), δεν εμφανίζονται πολλοί σύνδεσμοι. Όσον αφορά το σχήμα υστέρησης μίας ημέρας, εκτός από τις συσχετίσεις του μπλοκ της βορειοδυτικής Μεσογείου το οποίο έχει αποτυπωθεί επανειλημμένα στη συντριπτική πλειοψηφία των σχημάτων της ανάλυσης μέχρι αυτό το σημείο, ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση μίας ισχυρής πιθανοτικής σύνδεσης (44.83%) ενός Υ/Μ σταθμού της Μέσης Ανατολής (ELAT) με ένα σταθμό της Ελβετίας (ST-BERNARD). Ο συνδυασμός των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των δύο Υ/Μ σταθμών ευθύνεται για την ύπαρξη αυτής της σύνδεσης των βροχοπτώσεων άνω των 10mm. Από τη μία μεριά στον Υ/Μ σταθμό του Ισραήλ η πιθανότητα βροχόπτωσης με ύψος άνω των 10mm είναι πολύ μικρή (μόλις 30 ημερήσιες καταγραφές στο διάστημα της περιόδου μελέτης), ενώ στον Υ/Μ σταθμό της Ελβετίας η αντίστοιχη πιθανότητα είναι αρκετά υψηλή. Πολλές από αυτές τις 30 βροχοπτώσεις με

ύψος άνω των 10mm είναι πολύ πιθανό να ακολουθούνται από βροχοπτώσεις ύψους άνω των 10mm στον Υ/Μ σταθμό στην περιοχή των Άλπεων. Συνεπώς, το γεγονός αυτό οφείλεται στην ιδιαίτερη κατανομή των βροχοπτώσεων στις δύο περιοχές και όχι στην άμεση συσχέτισή τους. Το δίκτυο της Μέσης Ανατολής με κατεύθυνση την Κύπρο και τη νοτιοδυτική Τουρκία αποτελείται από λίγους συνδέσμους και πιθανότητες 40-45% ενώ εμφανίζεται σύνδεσμος μεταξύ Αθήνας και νοτιοδυτικής Τουρκίας.



Σχήμα 4-24 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχοπτώσης άνω των 10mm σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει πριν δύο ημέρες σε κάποιον άλλο πάνω από 10mm με κατώτατο όριο 15%.

Στο ενδεχόμενο της υστέρησης δύο ημερών το σχήμα που προκύπτει δείχνει δύο Υ/Μ σταθμούς, αυτόν της Αλβανίας (SHKODRA) και αυτόν της βορειοανατολικής Τουρκίας (RIZE), να αποτελούν κόμβους τέλους μεγάλου πλήθους συνδέσμων. Και οι δύο παραπάνω Υ/Μ σταθμοί εμφανίζουν δύο από τις υψηλότερες μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις της περιοχής και της περιόδου μελέτης (1888mm και 2043mm αντίστοιχα). Στους κόμβους αρχής των συνδέσμων που καταλήγουν στον Υ/Μ της Αλβανίας παρατηρούνται παρόμοια ύψη ετήσιων βροχοπτώσεων με

αυτά του κόμβου τέλους και ο προσανατολισμός των συνδέσμων είναι προς τα ανατολικά. Αντίθετα, στην περίπτωση των συνδέσμων που καταλήγουν στον Υ/Μ της Τουρκίας παρατηρείται ότι οι κόμβοι αρχής είναι Υ/Μ σταθμοί με χαμηλές ετήσιες βροχοπτώσεις και μικρές πιθανότητες βροχοπτώσεων άνω των 10mm γενικά, γεγονός το οποίο ομοιάζει με την προηγούμενη περίπτωση σύνδεσης του Υ/Μ σταθμού του Ισραήλ με τον Υ/Μ σταθμό της Ελβετίας.

Τα δίκτυα των παραπάνω σχημάτων περιλαμβάνουν πληθώρα συνδέσμων κάποιοι από τους οποίους είναι ισχυροί, ωστόσο επιδιώκεται η απομόνωση των ισχυρότερων από αυτούς και συγκεκριμένα η απομόνωση κόμβων οι οποίοι συνδέονται διαδοχικά με υψηλές πιθανότητες βροχόπτωσης και καταλήγουν σε κάποιον ελληνικό σταθμό έτσι ώστε να προκύψουν αλυσίδες οι οποίες αποτελούνται από Υ/Μ σταθμούς (κόμβους) και πιθανότητες βροχόπτωσης (συνδέσμους). Για αυτό το λόγο, υπολογίστηκε ο λόγος της πιθανότητας αν βρέξει στο σταθμό Β την ημέρα $i-1$ να βρέξει στον σταθμό Α την ημέρα i ($P(A_i | B_{i-1})$), προς την πιθανότητα να βρέξει μια οποιαδήποτε ημέρα στο σταθμό Α ($P(A)$). Έτσι, βλέπουμε πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να βρέξει στον σταθμό Β και την επόμενη μέρα να βρέξει στον σταθμό Α σε σχέση με την πιθανότητα βροχόπτωσης οποιαδήποτε μέρα στον σταθμό Α. Ο λόγος αυτός για σταθμούς σε χαρακτηριστικές θέσεις σε όλο το εύρος της λεκάνης της Μεσογείου, που συγκεντρώνουν τους περισσότερους συνδέσμους (με βάση τις ετεροσυσχετίσεις αλλά και τις πιθανότητες) παρουσιάζεται στους πίνακες Πίνακας 4-1 και Πίνακας 4-2 για υστερήσεις μίας και δύο ημερών αντίστοιχα. Στους πίνακες αυτούς ελέγχθηκε η γραμμικότητα της σχέσης των ετεροσυσχετίσεων με τον αντίστοιχο λόγο για κάθε σταθμό και διαπιστώθηκε ότι δεν υπάρχει γραμμική σχέση που να συνδέει τα δύο μεγέθη.

Πίνακας 4-1 Ετεροσυσχετίσεις και λόγοι πιθανοτήτων βροχοπτώσεων Υ/Μ σταθμών σε χαρακτηριστικές θέσεις της λεκάνης της Μεσογείου για υστέρηση μίας ημέρας.

LAG 1

			CHANIA	CORFU	HELLINIKON	HERAKLION	METHONI	BRINDISI	ST-BERNARD	ESPOEY	FINIKE	GENOA	ISPARTA	LASTOVO	LATTAKIA	LUGANO	MARSEILLE	MILAN	PALMYRA	POLIS	RIJEKA	ROMA	SAN_SEBASTIAN	SHKODRA	TEL_AVIV	
Northeast Spain	ESPOEY	correlation							0.22									0.22					0.23	0.31		
		probability ratio							1.40										1.53					1.42	1.43	
	SAN_SEBASTIAN	correlation								0.31									0.22			0.21	0.24			0.21
		probability ratio								1.43									1.48			1.43	1.37			1.37
Northern Italy	LUGANO	correlation										0.32						0.30	0.55			0.25	0.31			
		probability ratio										2.04						1.86	2.46			1.91	1.65			
	MILAN	correlation								0.27	0.22		0.35					0.55	0.37				0.26		0.22	
		probability ratio								1.55	1.53		2.14					2.46	2.06				1.62		1.48	
	GENOA	correlation																0.32	0.32				0.22			
		probability ratio																2.04	1.94				1.60			
Central Italy	ROMA	correlation		0.24						0.23		0.22						0.31	0.22			0.27			0.24	
		probability ratio		1.56						1.42		1.60						1.65	1.60			1.63			1.37	
Ionian Sea	ARGOSTOLI	correlation		0.23	0.21			0.24	0.21						0.27											
		probability ratio		1.59	1.53			1.55	1.53						1.60											
Middle East	ISPARTA	correlation	0.21		0.23	0.23						0.21										0.26				
		probability ratio	1.88		2.04	1.85						1.88										1.98				
	FINIKE	correlation	0.24		0.24	0.24						0.21										0.32				
		probability ratio	1.88		1.96	1.89						1.88										2.06				
	NICOSIA	correlation	0.20				0.22											0.29			0.23	0.36				0.23
		probability ratio	1.73				1.85											2.13			1.97	2.26				1.91

Πίνακας 4-2 Ετεροσυσχετίσεις και λόγοι πιθανοτήτων βροχοπτώσεων Υ/Μ σταθμών σε χαρακτηριστικές θέσεις της λεκάνης της Μεσογείου για υστέρηση δύο ημερών.

LAG 2

			ARGOSTOLI	CORFU	HELLINIKON	LARISSA	METHONI	BEER-SHEVA	ESPOEY	FINIKE	GENOA	ISPARTA	LATTAKIA	LUGANO	MARSEILLE	MILAN	NICOSIA	MALLORCA	PESARO	ROMA	SAN_SEBASTIAN	SHKODRA	TEL_AVIV		
Northeast Spain	ESPOEY	correlation	0.14	0.18																	0.17	0.16		0.15	
		probability ratio	1.25	1.32																		1.33	1.24		1.35
	SAN_SEBASTIAN	correlation	0.14	0.19						0.16											0.13	0.20		0.17	
		probability ratio	1.23	1.30						1.24											1.26	1.29		1.31	
Northern Italy	LUGANO	correlation														0.19					0.17				
		probability ratio														1.74					1.48				
	MILAN	correlation									0.14				0.19	0.13									
		probability ratio									1.66				1.74	1.60									
Central Italy	ROMA	correlation							0.17						0.17	0.14				0.16			0.20		
		probability ratio								1.33						1.48	1.47			1.27			1.29		
Ionian Sea	ARGOSTOLI	correlation							0.14	0.16			0.17									0.14			
		probability ratio								1.25	1.53		1.57									1.23			
Middle East	ISPARTA	correlation	0.17	0.16	0.13	0.16	0.17														0.18				
		probability ratio	1.57	1.52	1.73	1.68	1.57														1.83				
	FINIKE	correlation	0.16	0.14			0.16															0.22			
		probability ratio	1.53	1.42			1.58															1.89			
	NICOSIA	correlation							0.19		0.22		0.18	0.22											0.15
		probability ratio							1.89		1.89		1.83	1.83											1.61

**Σημειώνεται ότι το χρώμα των τιμών του πίνακα αντιστοιχεί στο χρώμα του κόμβου τέλους ενώ το κατώτατο όριο ετεροσυσχετίσεων που περιλήφθηκαν στον πίνακα υστέρης μίας μέρας είναι 0.20 και στον πίνακα υστέρησης δύο ημερών 0.13.

Στους πίνακες Πίνακας 4-3 και Πίνακας 4-4 παρουσιάζονται οι λόγοι των προαναφερθέντων πιθανοτήτων όλων των ελληνικών σταθμών σε σχέση με όλους τους υπόλοιπους στην κατεύθυνση με τον μεγαλύτερο λόγο πιθανοτήτων για υστερήσεις 1 και 2 αντίστοιχα. Για υστέρηση μίας μέρας, οι λόγοι πιθανοτήτων που παρατηρούνται στους σταθμούς της νοτιοδυτικής Τουρκίας (FINIKE, ISPARTA) είναι ταυτόχρονα από τους μεγαλύτερους του πίνακα και είναι μεγαλύτεροι του 1.5 για όλους τους ελληνικούς Υ/Μ σταθμούς πλην αυτού της Κέρκυρας (CORFU). Συνεπώς, η πιθανότητα βροχόπτωσης σε κάποιον από αυτούς τους δύο σταθμούς της Τουρκίας αυξάνεται σε μεγάλο ποσοστό αν την προηγούμενη μέρα έχει βρέξει σε κάποιον από τους ελληνικούς Υ/Μ σταθμούς. Για παράδειγμα, στους Υ/Μ σταθμούς FINIKE και ISPARTA η πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε ημέρα της περιόδου Οκτωβρίου – Μαρτίου είναι 29% και 27% αντίστοιχα. Ωστόσο, αν την προηγούμενη ημέρα βρέξει στον Υ/Μ σταθμό της Αθήνας (HELLINIKON) η πιθανότητα αυτή διπλασιάζεται σχεδόν και για τους δύο σταθμούς, δηλαδή γίνεται 57% και 55% αντίστοιχα.

Όσον αφορά τις τιμές των λόγων μεταξύ ελληνικών σταθμών παρατηρούμε ότι οι περισσότεροι είναι μεγαλύτεροι του 1.5 ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται μεταξύ Λάρισας – Αθήνας (LARISSA -> HELLINIKON) και Αθήνας – Κρήτης (HELLINIKON -> HERAKLION και CHANIA). Η ύπαρξη πολλών υψηλών λόγων μεταξύ ελληνικών Υ/Μ σταθμών δείχνει ότι σε περίπτωση βροχόπτωσης σε κάποιον ελληνικό σταθμό, η πιθανότητα την επόμενη ημέρα να βρέξει σε κάποιον άλλο ελληνικό σταθμό είναι αυξημένη σε σχέση με την αδέσμευτη πιθανότητα βροχόπτωσης στον ίδιο σταθμό. Οι περισσότεροι και οι υψηλότεροι λόγοι με κόμβο αρχής κάποιον Υ/Μ του εξωτερικού και με κόμβο τέλους κάποιον ελληνικό Υ/Μ σταθμό (πορτοκαλί χρώμα) συγκεντρώνονται σε κοντινούς Υ/Μ σταθμούς όπως αυτοί της Σικελίας – Μάλτας (PALERMO, SIGONELLA – LUQA), της Ρώμης (ROMA), της Κροατίας (LASTOVO) και της Αλβανίας (SHKODRA) όσον αφορά το δυτικό τμήμα, και στους Υ/Μ σταθμούς της Κύπρου (NICOSIA, POLIS) όσον αφορά το ανατολικό τμήμα.

Παρόλο που εμφανίζονται υψηλοί λόγοι μεταξύ των Υ/Μ σταθμών της Λιβύης (TRIPOLI, HON) και αυτών της Κρήτης, λόγω των πολλών ελλειπουσών παρατηρήσεων στις χρονοσειρές των Υ/Μ σταθμών της Λιβύης, στη συνέχεια της ανάλυσης δεν λήφθηκαν ιδιαίτερα υπόψη. Στον πίνακα της υστέρησης δύο ημερών παρατηρούνται υψηλοί λόγοι μεταξύ όλων των ελληνικών Υ/Μ

Πίνακας 4-3 Λόγοι πιθανοτήτων βροχόπτωσης έπειτα από βροχόπτωση σε κάποιον άλλο Υ/Μ σταθμό με υστέρηση μίας μέρας προς την πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιοδήποτε μέρα στον κόμβο τέλους κατά την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου.

LAG 1

	ARGOSTOLI	CHANIA	CORFU	HELLINIKON	HERAKLION	LARISSA	METHONI	BEER-SHEVA	BRINDISI	FINIKE	HON	ISPARTA	ISTANBUL	LASTOVO	LATTAKIA	LUQA	NICOSIA	PALERMO	PALMYRA	POLIS	ROMA	SHKODRA	SIGONELLA	TEL_AVIV	TRIPOLI
ARGOSTOLI			1.59	1.67		1.56	1.55		1.53	1.53		1.57		1.60			1.56						1.50		
CHANIA				1.71	1.70	1.57	1.56	1.50		1.88	1.56	1.88			1.61	1.58	1.73		1.59	1.63					1.64
CORFU	1.59			1.62		1.64								1.74							1.56	1.65			
HELLINIKON	1.67	1.71	1.62		1.77	1.77	1.59		1.59	1.96		2.04	1.60			1.61		1.60		1.52			1.62		
HERAKLION		1.70		1.77		1.54	1.55	1.66		1.89	1.72	1.85			1.67	1.54	1.85		1.66	1.67				1.59	1.61
LARISSA	1.56	1.57	1.64	1.77	1.54		1.51		1.62	1.64		1.69	1.52	1.64				1.58					1.62		
METHONI	1.55	1.56		1.59	1.55	1.51				1.68		1.68				1.50		1.52							

Πίνακας 4-4 Λόγοι πιθανοτήτων βροχόπτωσης έπειτα από βροχόπτωση σε κάποιον άλλο Υ/Μ σταθμό με υστέρηση δύο ημερών προς την πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιοδήποτε μέρα στον κόμβο τέλους κατά την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου.

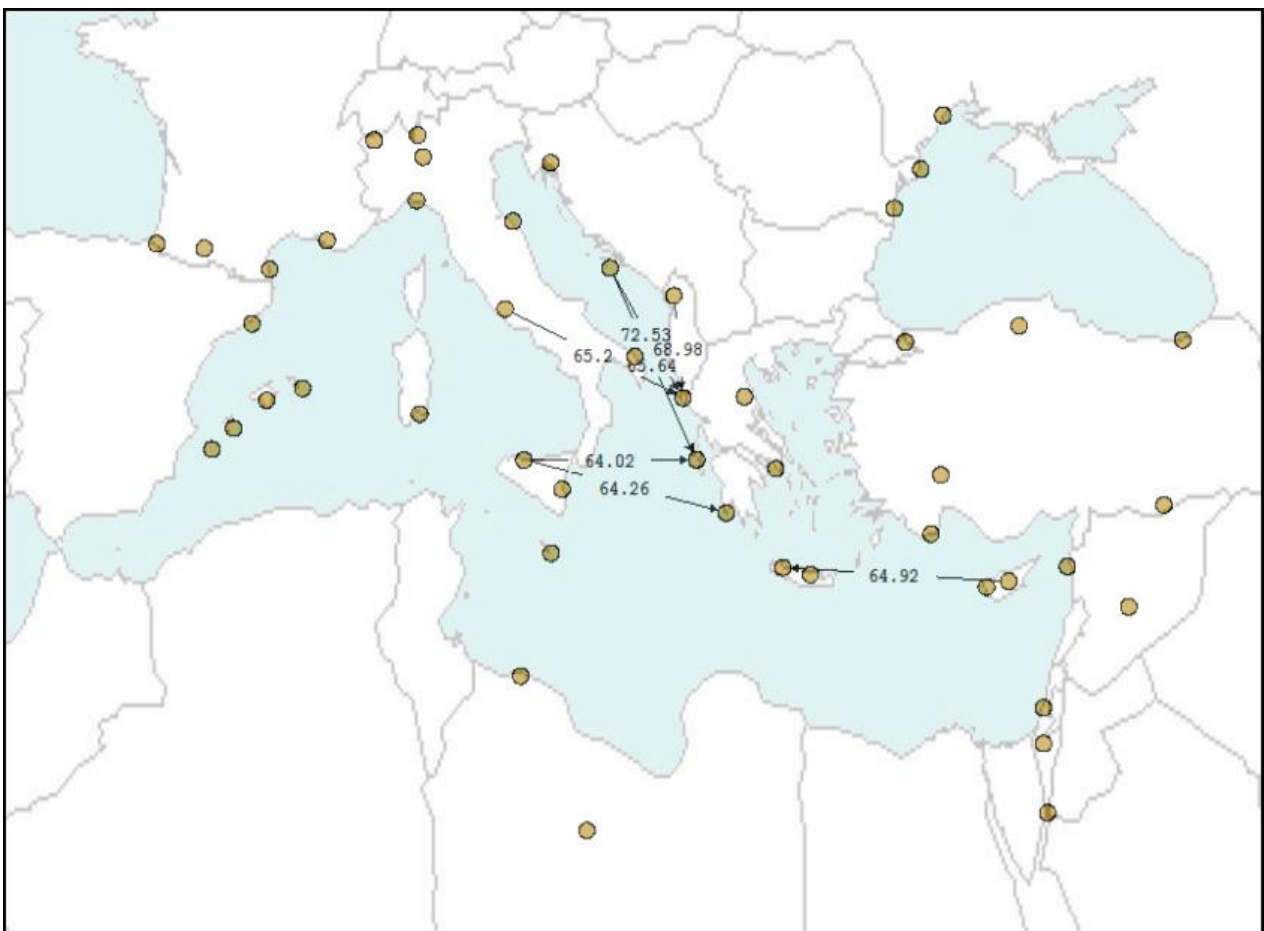
LAG 2

	BEER-SHEVA	FINIKE	HON	ISPARTA	ISTANBUL	KASTAMONU	LASTOVO	LATTAKIA	LUQA	NICOSIA	PALMYRA	SIGONELLA	SIVAS	TEL_AVIV	TRIPOLI
ARGOSTOLI		1.53		1.57			1.42								
CHANIA	1.44	1.49	1.48	1.41				1.44	1.43				1.41		1.59
CORFU		1.42		1.52			1.43								
HELLINIKON		1.62		1.73	1.41	1.43	1.42					1.41	1.44		
HERAKLION	1.54	1.44	1.49					1.46	1.44	1.45	1.41			1.41	1.62
LARISSA		1.55		1.68	1.44	1.42	1.48								
METHONI		1.58		1.57											

**Σημειώνεται ότι το χρώμα των τιμών του πίνακα αντιστοιχεί στο χρώμα του κόμβου τέλους ενώ το κατώτατο λόγω πιθανοτήτων που περιλήφθηκαν στον πίνακα υστέρησης μίας μέρας είναι 1.5 και στον πίνακα υστέρησης δύο ημερών 1.4.

σταθμών και των δύο Υ/Μ σταθμών της νοτιοδυτικής Τουρκίας (FINIKE, ISPARTA) όπως και στην περίπτωση υστέρησης μίας ημέρας. Επίσης, παρατηρείται ότι δεν υπάρχουν υψηλοί λόγοι μεταξύ ελληνικών Υ/Μ σταθμών γεγονός που σημαίνει ότι ενώ για υστέρηση μίας ημέρας οι πιθανότητες αυξάνονται σε μεγάλο ποσοστό, για υστέρηση δύο ημερών η πιθανότητα βροχόπτωσης δεν αυξάνεται σε αντίστοιχα σημαντικό ποσοστό.

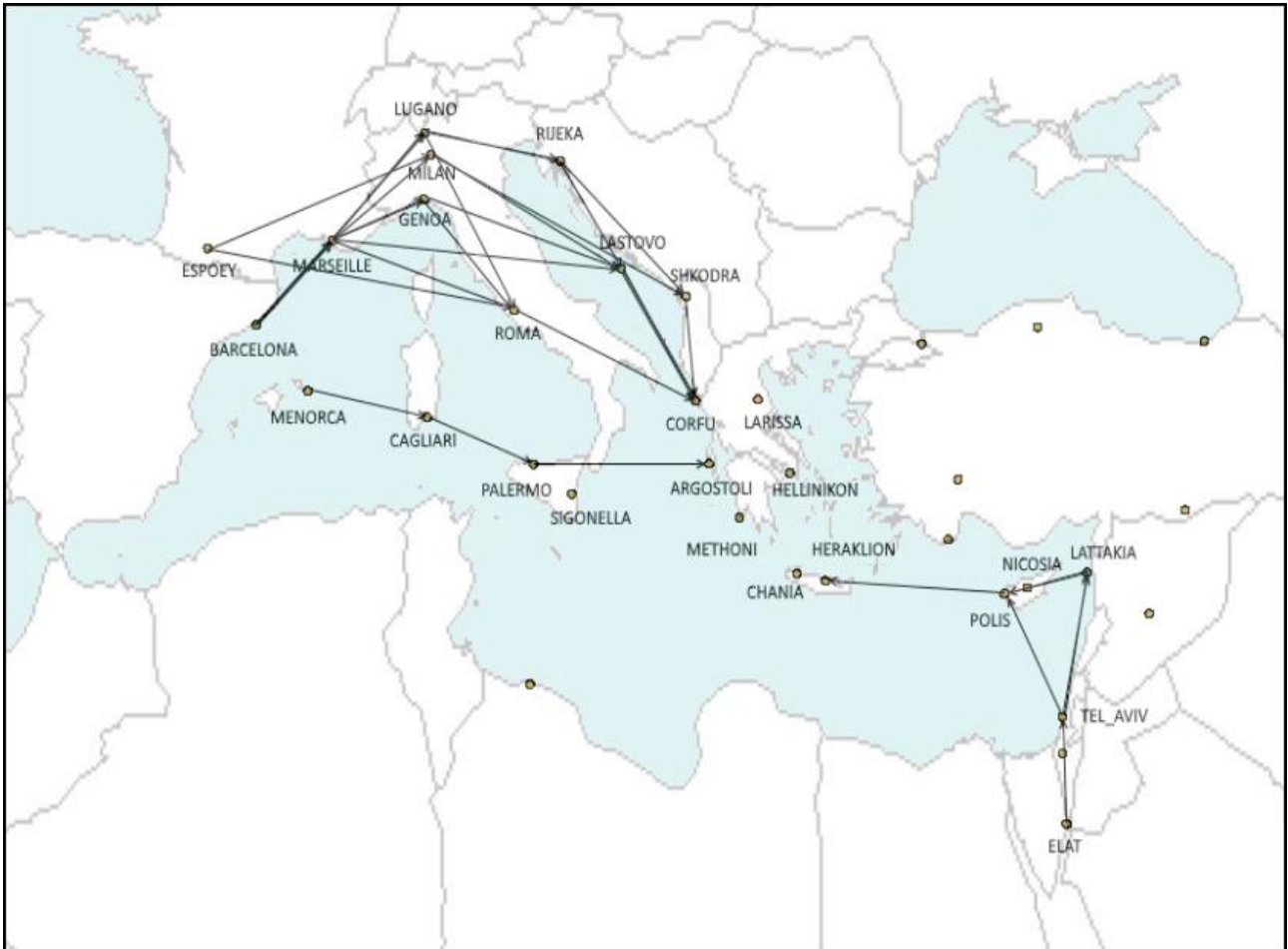
Με γνώμονα τους λόγους των πιθανοτήτων για υστέρηση μίας ημέρας οι οποίοι καταλήγουν σε ελληνικούς σταθμούς αλλά και των πιθανοτήτων βροχόπτωσης σε κάποιον ελληνικό Υ/Μ σταθμό όταν την προηγούμενη μέρα έχει βρέξει σε κάποιον άλλο, επιλέχθηκαν οι Υ/Μ σταθμοί εκτός Ελλάδας που φαίνονται στο Σχήμα 4-25 ώστε με ανάλογη διαδικασία (προς τα πίσω) να δημιουργηθούν αλυσίδες πιθανοτήτων που ξεκινούν από πιο απομακρυσμένους Υ/Μ σταθμούς της Μεσογείου και καταλήγουν σε κάποιον ελληνικό Υ/Μ σταθμό. Οι σταθμοί οι οποίοι επιλέχθηκαν ως το πρώτο βήμα είναι αυτοί του Παλέρμο (PALERMO), της Ρώμης (ROMA), του



Σχήμα 4-25 Πιθανότητα βροχόπτωσης με υστέρηση μίας ημέρας σε ελληνικούς σταθμούς με κατώτατο όριο 64%.

Λάστοβο (LASTOVO), της Σκόντρα (SHKODRA) και της Λευκωσίας (NICOSIA).

Επαναλαμβάνοντας την παραπάνω διαδικασία έως ότου δημιουργηθούν αλυσίδες το πολύ 5 κόμβων – 4 συνδέσμων, επιλέχθηκαν εκείνες με τους μεγαλύτερους λόγους και τις μεγαλύτερες πιθανότητες απο κόμβο σε κόμβο. Αυτές φαίνονται αθροιστικά στο Σχήμα 4-26.



Σχήμα 4-26 Αλυσίδες οι οποίες καταλήγουν σε ελληνικούς σταθμούς με τις μεγαλύτερες πιθανότητες και λόγους.

Ο σταθμός της Κέρκυρας παρουσιάζει ενδιαφέρον καθώς οι βροχοπτώσεις σε αυτόν φαίνεται να συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις βροχοπτώσεις στους σταθμούς της δύσης, ενώ οι βροχοπτώσεις των σταθμών της Κρήτης φαίνεται να συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με αυτές που λαμβάνουν χώρα στη Μέση Ανατολή. Το μοτίβο των αλυσίδων φαίνεται να συμφωνεί με το δίκτυο ετεροσυσχετίσεων το οποίο εξετάστηκε παραπάνω, ενώ η συντριπτική πλειοψηφία των συνδέσμων συγκεντρώνεται γύρω από δύο κέντρα χαμηλής πίεσης, της Γένοβας και της Κύπρου.

Λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης πληθυσμού στην πόλη της Αθήνας και λόγω της ιδιαίτερης

τοπογραφίας του λεκανοπεδίου (αντιπροσωπευτικός Υ/Μ σταθμός αυτός του Ελληνικού – HELLINIKON), εξετάζονται στη συνέχεια οι παραπάνω αλυσίδες με την προσθήκη ενός επιπλέον συνδέσμου ο οποίος καταλήγει στην Αθήνα. Στους πίνακες Πίνακας 4-5 και Πίνακας 4-6 φαίνεται η δεσμευμένη πιθανότητα να βρέξει στον τελικό Υ/Μ σταθμό την ημέρα i , με δεδομένο ότι έχει βρέξει στον αμέσως προηγούμενο σταθμό της αλυσίδας την ημέρα $i-1$, στον αμέσως προηγούμενο από αυτόν την ημέρα $i-2$ κ.ο.κ. Αν συμβολίσουμε έστω πέντε από τους Υ/Μ σταθμούς μιας αλυσίδας με A, B, C, D, E η πιθανότητα που υπολογίζεται είναι: $P(E_i | D_{i-1} \cap C_{i-2} \cap B_{i-3} \cap A_{i-4}) = P(E_i \cap D_{i-1} \cap C_{i-2} \cap B_{i-3} \cap A_{i-4}) / P(D_{i-1} \cap C_{i-2} \cap B_{i-3} \cap A_{i-4})$. Μελετήθηκαν οι αλυσίδες που φαίνονται στο Σχήμα 4-26 καθώς και τα υποσύνολά τους.

Όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες η πιθανότητα μη βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε ημέρα στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού, ο οποίος αποτελεί τον τελικό κόμβο όλων των αλυσίδων Μαρκόφ που εξετάστηκαν, ισούται με 73.82% και οι αντίστοιχοι όροι του λόγου είναι 6304 (ημέρες της περιόδου μελέτης τις οποίες δεν έβρεξε στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού) και 8540 (ημέρες της περιόδου μελέτης για τις οποίες υπάρχει καταγραφή μέτρησης βροχόπτωσης στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού). Όσον αφορά τα αποτελέσματα της ανάλυσης των αλυσίδων για το ενδεχόμενο της μη βροχόπτωσης (ύψος = 0mm), η μέγιστη πιθανότητα να μη βρέξει στο Ελληνικό παρατηρείται στην αλυσίδα MENORCA – CAGLIARI – PALERMO – ARGOSTOLI – HELLINIKON. Συγκεκριμένα, από τις 1786 ημέρες στις οποίες δεν έβρεξε στο εκάστοτε βήμα στους σταθμούς MENORCA – CAGLIARI – PALERMO – ARGOSTOLI, τις 1591 ημέρες δεν έβρεξε στο σταθμό του Ελληνικού στο τελευταίο βήμα – ημέρα. Συνεπώς η πιθανότητα να μη βρέξει στο Ελληνικό αν δεν έχει βρέξει στη Μενόρκα, στο Κάλιαρι, στο Παλέρμο και στο Αργοστόλι με υστέρηση μίας μέρας μεταξύ κάθε Υ/Μ σταθμού είναι 89.08%.

Όλες οι πιθανότητες μη βροχόπτωσης που υπολογίστηκαν μέσω των αλυσίδων είναι μεγαλύτερες από την πιθανότητα μη βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα στο Ελληνικό και ειδικότερα, για όλες τις αλυσίδες οι οποίες ξεκινούν από τα δυτικά (και περιέχονται στον Πίνακας 4-5) η πιθανότητα είναι άνω του 85%.

Πίνακας 4-5 Στατιστικά στοιχεία αλυσίδων Υ/Μ σταθμών της δυτικής – βορειοδυτικής Μεσογείου που καταλήγουν στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού (HELLINIKON).

Υδρομετεωρολογικοί Σταθμοί					Πιθανότητα μη βροχόπτωσης στο σταθμό του βήματος (i) με δεδομένο ότι δεν έχει βρέξει σε όλα τα προηγούμενα βήματα (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης στο σταθμό του βήματος (i) με δεδομένο ότι έχει βρέξει σε όλα τα προηγούμενα βήματα (%)			Συνολικός αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων	Συνολικός αριθμός ημερών που έβρεξε στους Υ/Μ όλων των βημάτων			Συνολικός αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων εκτός από αυτόν του βήματος i	Συνολικός αριθμός ημερών που έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων εκτός από αυτόν του βήματος i		
Βήμα (i-4)	Βήμα (i-3)	Βήμα (i-2)	Βήμα (i-1)	Βήμα (i)	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm
BARCELONA	MARSEILLE	ROMA	CORFU	HELLINIKON	85.77	41.44	9.09	2061	138	1	2403	333	11			
		ROMA	CORFU	HELLINIKON	86.04	40.66	12.07	2620	418	7	3045	1028	58			
		ROMA	CORFU	HELLINIKON	86.35	41.55	12.7	3094	964	39	3583	2320	307			
			CORFU	HELLINIKON	85.34	42.29	12.35	4248	1506	162	4978	3561	1312			
BARCELONA	MARSEILLE	LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	86.37	41.55	0	2268	118	0	2626	284	6			
			CORFU	HELLINIKON	86.23	40.89	9.3	2906	366	4	3370	895	43			
		LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	86.75	43.14	13.58	3568	915	47	4113	2121	346			
				CORFU	HELLINIKON	85.34	42.29	12.35	4248	1506	162	4978	3561	1312		
ESPOEY	MILAN	LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	87.43	41.07	5	2156	276	1	2466	672	20			
		LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	86.13	40.64	8.77	2943	369	5	3417	908	57			
MENORCA	CAGLIARI	PALERMO	ARGOSTOLI	HELLINIKON	89.08	39.75	0	1591	221	0	1786	556	1			
			ARGOSTOLI	HELLINIKON	88.09	43.29	8.33	2233	558	1	2535	1289	12			
		PALERMO	ARGOSTOLI	HELLINIKON	87.01	44.42	14.91	3054	828	17	3510	1864	114			
				ARGOSTOLI	HELLINIKON	85.94	43.84	16.03	3966	1401	165	4615	3196	1029		
MARSEILLE	GENOA	ROMA	CORFU	HELLINIKON	85.63	42.66	9.68	2234	273	3	2609	640	31			
		ROMA	CORFU	HELLINIKON	85.98	40.85	12.96	2563	464	14	2981	1136	108			
MARSEILLE	LUGANO	ROMA	CORFU	HELLINIKON	85.55	40.16	7.41	2256	247	2	2637	615	27			
		ROMA	CORFU	HELLINIKON	85.63	39.5	14.15	2599	455	15	3035	1152	106			
MARSEILLE	GENOA	LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	85.91	43.28	11.54	2457	232	3	2860	536	26			
		LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	86.21	40.73	15.49	2833	402	11	3286	987	71			

Πιθανότητα μη βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης ύψους άνω των 10mm μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στο HELLINIKON	Αριθμός ημερών που έβρεξε στο HELLINIKON	Αριθμός ημερών που έβρεξε πάνω από 10mm στο HELLINIKON
73.82	26.18	5.19	6304	2236	443

Πίνακας 4-6 Στατιστικά στοιχεία αλυσίδων Υ/Μ σταθμών της ανατολικής – νοτιοανατολικής Μεσογείου και συνδυαστικές αλυσίδες που καταλήγουν στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού (HELLINIKON).

Υδρομετεωρολογικοί Σταθμοί					Πιθανότητα μη βροχόπτωσης στο σταθμό του βήματος (i) με δεδομένο ότι δεν έχει βρέξει σε όλα τα προηγούμενα βήματα (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης στο σταθμό του βήματος (i) με δεδομένο ότι έχει βρέξει σε όλα τα προηγούμενα βήματα (%)			Συνολικός αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων	Συνολικός αριθμός ημερών που έβρεξε στους Υ/Μ όλων των βημάτων	Συνολικός αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων εκτός από αυτόν του βήματος i	Συνολικός αριθμός ημερών που έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων εκτός από αυτόν του βήματος i	
Βήμα (i-4)	Βήμα (i-3)	Βήμα (i-2)	Βήμα (i-1)	Βήμα (i)	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm
TEL_AVIV	LATTAKIA	POLIS	HERAKLION	HELLINIKON	76.78	31.48	0	1706	96	0	2222	305	7
		POLIS	HERAKLION	HELLINIKON	77.25	31.02	0	2048	174	0	2651	561	23
			POLIS	HERAKLION	HELLINIKON	76.46	29.39	1.92	3291	398	2	4304	1354
TEL_AVIV	LATTAKIA	POLIS	HERAKLION	HELLINIKON	76.69	31.88	4.13	4352	913	25	5675	2864	605
			CHANIA	HELLINIKON	77.5	34.77	0	1571	113	0	2027	325	6
			CHANIA	HELLINIKON	78.2	33.39	0	1912	199	0	2445	596	24
			CHANIA	HELLINIKON	77.63	31.21	1.59	2942	427	2	3790	1368	126
ESPOEY	ROMA	CORFU	HELLINIKON	86.89	41.28	12.4	2253	644	15	2593	1560	121	
			HELLINIKON	86.72	40.88	11.17	2925	930	59	3373	2275	528	
			HELLINIKON	88.04	44.5	15.54	2607	818	55	2961	1838	354	
			HELLINIKON	78.52	36.11	5.63	3502	442	4	4460	1224	71	
MARSEILLE	ROMA	CORFU	HELLINIKON	78.36	33.73	9.17	2560	764	22	3267	2265	240	
			HELLINIKON	78.72	33.39	8.2	2922	418	5	3712	1252	61	
			HELLINIKON	76.89	27.92	6.67	2874	351	4	3738	1253	60	
			HELLINIKON	78.72	32.47	9.15	3130	499	13	3976	1537	142	
BARCELONA	PALERMO	CORFU	HELLINIKON	78.92	34.06	0	2871	188	0	3638	552	15	
			HELLINIKON	82.75	38.77	0	3032	214	0	3664	552	15	
			HELLINIKON	79.67	35.11	7.41	2967	231	2	3724	658	27	
			HELLINIKON	88.37	47.71	17.63	3381	1177	104	3826	2467	590	
CORFU	ARGOSTOLI	CORFU	HELLINIKON	81.33	36.19	8.31	3085	891	49	3793	2462	590	
			HELLINIKON										

Πιθανότητα μη βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης ύψους άνω των 10mm μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στο HELLINIKON	Αριθμός ημερών που έβρεξε στο HELLINIKON	Αριθμός ημερών που έβρεξε πάνω από 10mm στο HELLINIKON
73.82	26.18	5.19	6304	2236	443

Στον Πίνακα 4-6 περιέχονται οι αλυσίδες Μαρκόφ που προέκυψαν για το ανατολικό - νοτιοανατολικό τμήμα της Μεσογείου, καθώς και κάποιες ειδικές περιπτώσεις αλυσίδων οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Παρατηρείται ότι για τις αλυσίδες που ξεκινούν από τα νοτιοανατολικά προκύπτει πιθανότητα μη βροχόπτωσης στο Ελληνικό μικρότερη του 80% αλλά μεγαλύτερη του 73.82% που είναι η πιθανότητα μη βροχόπτωσης μία τυχαία μέρα της περιόδου Μαρτίου – Οκτωβρίου στο Ελληνικό. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το στοιχείο που προαναφέρθηκε (πιθανότητα >85% για όλες τις αλυσίδες της δύσης), οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το καθεστώς των ξηρών – βροχερών ημερών στο Ελληνικό συσχετίζεται σε μεγαλύτερο βαθμό με το αντίστοιχο καθεστώς των προηγούμενων ημερών στη δυτική – βορειοδυτική Μεσόγειο σε σχέση με την ανατολική – νοτιοανατολική Μεσόγειο.

Αξιοσημείωτη είναι η πιθανότητα μη βροχόπτωσης στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού αν δεν έχει βρέξει την προηγούμενη μέρα ούτε στην Κέρκυρα ούτε στο Αργοστόλι η οποία είναι 88.37%. Εκτός από το γεγονός ότι η πιθανότητα αυτή είναι πολύ κοντά στη μέγιστη που παρουσιάζεται στον πίνακα (89.08%), οι όροι του λόγου από τον οποίο προκύπτει είναι αρκετά μεγάλοι αριθμητικά (3381/3826) σε αντίθεση με τους όρους της πιθανότητας 89.08% οι οποίοι είναι υποδιπλάσιοι (1591/1786) σε αντιστοιχία. Επίσης, η πιθανότητα να μη βρέξει στο Ελληνικό αν δεν έχει βρέξει δύο μέρες πριν ούτε στην Κέρκυρα ούτε στο Αργοστόλι είναι μικρότερη (81.33%) γεγονός που επιβεβαιώνει την ύπαρξη μεγαλύτερης συσχέτισης των ξηρών ημερών μεταξύ αυτών των σταθμών για υστέρηση μίας ημέρας σε σχέση με την υστέρηση δύο ημερών.

Όσον αφορά την ανάλυση των βροχερών ημερών του Υ/Μ σταθμού του Ελληνικού, προέκυψε ότι η πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε ημέρα στο χρονικό διάστημα Οκτωβρίου – Μαρτίου κατά την περίοδο μελέτης είναι 26.18% (2236/8540).

Η μέγιστη πιθανότητα βροχόπτωσης στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού που παρατηρείται στον πίνακα 4-5 είναι όταν έχει βρέξει την προηγούμενη μέρα στο Αργοστόλι και πριν δύο μέρες στο Παλέρμο (PALERMO – ARGOSTOLI – HELLINIKON) και ισούται με 44.42%. Αυτή η αλυσίδα αποτελεί υποσύνολο της αλυσίδας MENORCA – CAGLIARI – PALERMO – ARGOSTOLI – HELLINIKON για την οποία παρατηρείται η υψηλότερη πιθανότητα μη βροχόπτωσης (89.08%). Το στοιχείο αυτό ενδεχομένως υποδεικνύει ισχυρότερη συσχέτιση του καιρικού καθεστώτος τις αλυσίδας που προέρχεται από τα δυτικά και καταλήγει στο Ελληνικό, σε σχέση με τη συσχέτιση της καιρικής κατάστασης (είτε ξηρασία είτε βροχόπτωση) που επικρατεί στις αλυσίδες που προέρχονται από τα δυτικά αλλά καταλήγουν στο Ελληνικό από τα βορειοδυτικά.

Γενικά, στον πίνακα 4-5 όλες οι πιθανότητες βροχόπτωσης στον Υ/Μ του Ελληνικού είναι άνω του 39%, δηλαδή η πιθανότητα βροχόπτωσης αυξάνεται τουλάχιστον κατά 50% σε σχέση με την πιθανότητα βροχόπτωσης μία τυχαία μέρα στο Ελληνικό (περίπου 26%). Όπως προκύπτει για τις πιθανότητες μη βροχόπτωσης, έτσι και οι πιθανότητες βροχόπτωσης για τις αλυσίδες που προέρχονται από τα νοτιοανατολικά είναι μικρότερες εν γένει σε σχέση με αυτές των δυτικών – βορειοδυτικών αλυσίδων, ωστόσο εξακολουθούν να είναι υψηλότερες από την τυχαία πιθανότητα βροχόπτωσης στο Ελληνικό (>26%). Και στην περίπτωση της βροχόπτωσης, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το ενδεχόμενο βροχόπτωσης στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού με δεδομένο ότι έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα και στην Κέρκυρα και στο Αργοστόλι και συγκεκριμένα αποτελεί το πιθανότερο ενδεχόμενο της ανάλυσης των βροχερών ημερών με πιθανότητα 47.71%. Η πιθανότητα αυτή είναι αξιοσημείωτη καθώς είναι σχεδόν διπλάσια (1.82 φορές) από την πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε ημέρα στο Ελληνικό.

Για την απόκτηση σαφέστερης εικόνας σχετικά με τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης που ξεπερνούν το όριο μίας «μέσης» βροχόπτωσης, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση της αλληλουχίας των βροχοπτώσεων άνω των 10mm για τις ίδιες αλυσίδες. Η πιθανότητα ημερήσιας βροχόπτωσης άνω των 10mm στον Υ/Μ του Ελληνικού είναι 5.19% (443/8540). Κατά την εξέταση αυτού του ενδεχομένου, λόγω της ιδιαιτερότητας του και τον μικρό αριθμό καταγραφών μεγαλύτερων των 10mm, σε αρκετές περιπτώσεις και κυρίως στις αλυσίδες που αποτελούνται από τρεις κόμβους – Υ/Μ σταθμούς και πάνω παρατηρείται μηδενική πιθανότητα ή αοριστία (0/0). Η μεγαλύτερη πιθανότητα που προκύπτει για αλυσίδα αποτελούμενη από τέσσερις κόμβους – Υ/Μ σταθμούς έχει προέλευση από τα βορειοδυτικά και συγκεκριμένα είναι η ακολουθία GENOA – LASTOVO – CORFU – HELLINIKON με πιθανότητα βροχόπτωσης στο Ελληνικό στο τελευταίο βήμα – ημέρα 15.49% (11/71), ενώ η αντίστοιχη πιθανότητα που προκύπτει για την ακολουθία PALERMO – ARGOSTOLI – HELLINIKON είναι εξίσου υψηλή και ίση με 14.91% (17/114).

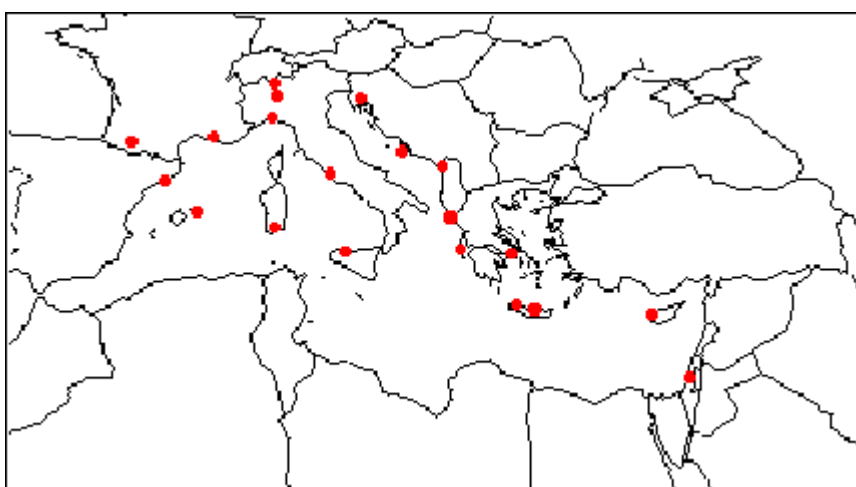
Για το ενδεχόμενο του ημερήσιου ύψους βροχόπτωσης μεγαλύτερο των 10mm, προκύπτει ότι οι αλυσίδες με κόμβο εκκίνησης τα νοτιοανατολικά παρουσιάζουν μικρές σχετικά πιθανότητες και συγκεκριμένα είναι είτε μηδενικές (είτε αοριστίες 0/0) είτε μικρότερες της αδέσμευτης πιθανότητας βροχόπτωσης άνω των 10mm στον Υ/Μ του Ελληνικού. Το στοιχείο αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι βροχοπτώσεις μέσου ή μεγάλου ύψους (>10mm) δεν σχετίζονται ιδιαίτερα με τη ροή καιρικών συστημάτων από τη Μέση Ανατολή αλλά σχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τα καιρικά συστήματα της δυτικής – βορειοδυτικής Μεσογείου. Το παραπάνω συμπέρασμα

ενισχύεται αν εξετάσουμε την πιθανοτική συσχέτιση των βροχοπτώσεων άνω των 10mm στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού, με τις βροχοπτώσεις άνω των 10mm την προηγούμενη ημέρα στους αμέσως κοντινότερους ελληνικούς Υ/Μ σταθμούς (CORFU, ARGOSTOLI, CHANIA, HERAKLION). Συγκεκριμένα, οι πιθανότητες αυτές για τους σταθμούς της Κέρκυρας και του Αργοστολίου είναι 12.35% και 16.03%, και περιλαμβάνονται στις υψηλότερες που προέκυψαν από την ανάλυση, ενώ οι αντίστοιχες πιθανότητες για τους σταθμούς των Χανίων (CHANIA) και του Ηρακλείου (HERAKLION) είναι 4.32% και 4.13%, και είναι οριακά μικρότερες της πιθανότητας βροχόπτωσης στο Ελληνικό ύψους βροχής μεγαλύτερο των 10mm (5.19%). Σημειώνεται ότι η μεγαλύτερη πιθανότητα όλων, προκύπτει όταν η ημερήσια βροχόπτωση είναι άνω των 10mm την προηγούμενη ημέρα και στην Κέρκυρα και στο Αργοστόλι και ισούται με 17.63% (104/590).

Γενικά από την παραπάνω ανάλυση επαληθεύουμε και ποσοτικοποιούμε το ρόλο που παίζει η οροσειρά της Πίνδου στην παρεμπόδιση των καιρικών συστημάτων που προέρχονται από τα βορειοδυτικά. Έτσι προκύπτει μεγαλύτερη πιθανοτική συσχέτιση των βροχοπτώσεων ή μη του Αργοστολίου με εκείνες του Ελληνικού σε σχέση με την αντίστοιχη μεταξύ Κέρκυρας – Ελληνικού ανεξάρτητα από το αν τα προηγούμενα βήματα των αλυσίδων βρίσκονται δυτικά (π.χ. PALERMO) ή βορειοδυτικά (π.χ. SHKODRA, LASTOVO). Συγκεκριμένα, παρατηρούμε ότι στις αλυσίδες (SHKODRA – CORFU – HELLINIKON) και (SHKODRA – ARGOSTOLI – HELLINIKON) σε όλα τα ενδεχόμενα που εξετάστηκαν (ξηρή ημέρα, βροχή, βροχή άνω των 10mm), η αλυσίδα με ενδιάμεσο σταθμό το Αργοστόλι παρουσιάζει μεγαλύτερη πιθανότητα (88.04% - 44.50% - 15.54%) σε σχέση με εκείνη που έχει ως ενδιάμεσο κόμβο την Κέρκυρα (86.72% - 40.88% - 11.17%). Το παραπάνω συμπέρασμα αποτελεί ένα ακόμα στοιχείο που ενισχύει την σημαντικότητα των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών στη ροή των καιρικών φαινομένων, όπως έχει ήδη αναφερθεί στο Κεφάλαιο 2. Επίσης, γενικό συμπέρασμα αποτελεί το ότι οι μέσες ή ισχυρές βροχοπτώσεις (>10mm/ημέρα) είναι πολύ πιθανότερο να προέρχονται από τα δυτικά παρά από τα νοτιοανατολικά γεγονός που ενισχύει τη θεώρηση των σχηματισμών μεγάλης κλίμακας που προέρχονται από τα δυτικά ως ισχυρή επιρροή στο καιρικό καθεστώς της Ελλάδας και της ευρύτερης Μεσογείου.

5 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ

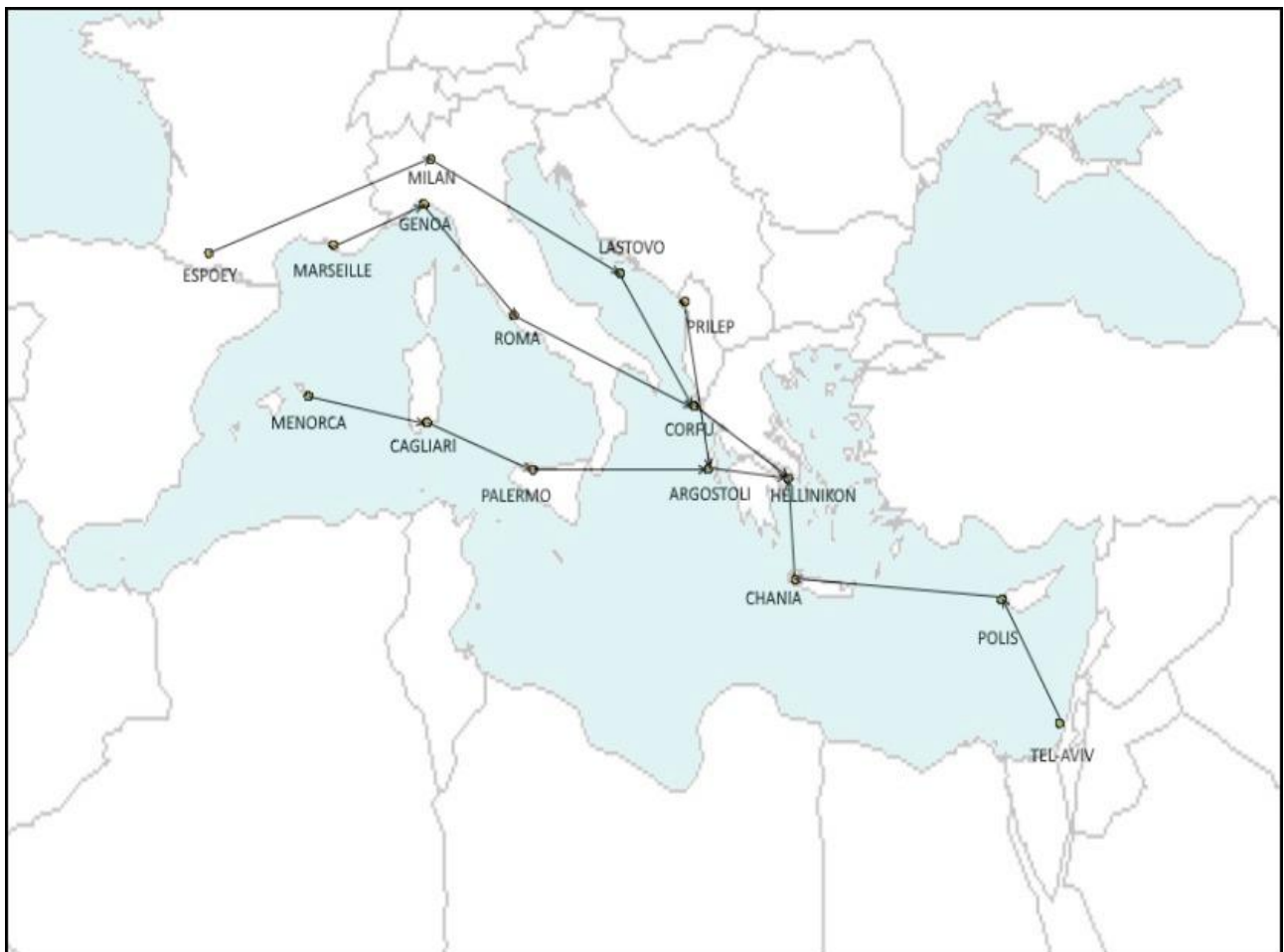
Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται οι πιθανοτικές ετεροσυσχετίσεις βροχερών και μη βροχερών ημερών για τις ισχυρότερες αλυσίδες της ανάλυσης του προηγούμενου κεφαλαίου για την τριετία που έπεται της περιόδου μελέτης, δηλαδή για τις ημερήσιες καταγραφές της περιόδου 2002-2004 και αντλήθηκαν από την ίδια πηγή δεδομένων. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν (Σχήμα 5-1) έχουν πλήρεις καταγραφές για την παραπάνω περίοδο ενώ ο μόνος σταθμός που αντικαταστάθηκε λόγω ελλιπουσών καταγραφών είναι ο Υ/Μ σταθμός της Αλβανίας (SHKODRA). Στη θέση του χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του πλησιέστερου σταθμού (PRILEP).



Σχήμα 5-1 Χάρτης Υ/Μ σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για το τεστ επαλήθευσης.

Μέσω της διαδικασίας αυτής επιδιώκεται να διερευνηθεί η συμπεριφορά των τιμών των παραπάνω πιθανοτικών ετεροσυσχετίσεων της ανάλυσης και να συγκριθούν με αυτές μιας μικρότερης περιόδου μελέτης. Επιλέχθηκαν να εξεταστούν οι κυριότερες αλυσίδες του προηγούμενου κεφαλαίου οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 5-2, ενώ ο Πίνακας 5-1 περιέχει τα αποτελέσματα υπολογισμού των πιθανοτήτων για την περίοδο μελέτης του ελέγχου με τα αποτελέσματα της αρχικής περιόδου μελέτης σε παρένθεση.

Η αδέσμευτη πιθανότητα βροχόπτωσης στην Αθήνα αυξάνεται κατά 9% και μειώνεται η αντίστοιχη μη βροχόπτωσης. Στην περίπτωση μη βροχόπτωσης, οι αλυσίδες που περιέχουν τον Υ/Μ σταθμό του Αργοστολίου εμφανίζουν αύξηση των πιθανοτικών ετεροσυσχετίσεών τους με τον σταθμό της Αθήνας σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση. Αντίθετα, στις αλυσίδες που περιέχεται ο σταθμός της Κέρκυρας, οι πιθανότητες μη βροχόπτωσης μειώνονται. Οι διαφορές



Σχήμα 5-2 Χάρτης αλυσίδων που εξετάστηκαν για τις υγρές περιόδους των ετών 2002-2004.

των πιθανοτήτων είναι σχετικά μικρές (<5%) ενώ οι μεγαλύτερες πιθανότητες παρατηρούνται για τις ακολουθίες MENORCA-CAGLIARI-PALERMO-ARGOSTOLI-HELLINIKON και στην αντίστοιχη αφαιρώντας τον σταθμό της Μενόρκα (91.03 και 91.06% αντίστοιχα). Σε όλες τις υποπεριπτώσεις της παραπάνω αλυσίδας οι πιθανότητες αυξάνονται. Η νοτιοανατολική ακολουθία που εξετάστηκε (TEL-AVIV-POLIS-CHANIA-HELLINIKON) παρουσιάζει αύξηση της πιθανότητας μη βροχόπτωσης, ωστόσο για όλα τα υποσύνολά της μειώνεται.

Σε όλα τα ενδεχόμενα που εξετάστηκαν, η πιθανότητα βροχόπτωσης στην Αθήνα αυξάνεται με τη μεγαλύτερη αύξηση να προκύπτει για την ακολουθία ESPOEY-MILAN-LASTOVO-CORFU-HELLINIKON από 41.07% σε 64.52%, δηλαδή αύξηση πάνω από 50%. Συγκεκριμένα η πιθανότητα βροχόπτωσης των βορειοδυτικών αλυσίδων παρουσιάζει μεγαλύτερες αυξήσεις σε σχέση με τις αλυσίδες που εκκινούν από τα δυτικά και από τα νοτιοανατολικά. Στον υπολογισμό των πιθανοτήτων και την ανάλυση των βροχοπτώσεων άνω των 10mm για την περίοδο μελέτης του ελέγχου, λόγω των ελάχιστων καταγραφών στις αλυσίδες τριών και τεσσάρων συνδέσμων,

Πίνακας 5-1 Στατιστικά στοιχεία αλυσίδων Υ/Μ σταθμών και συνδυαστικές αλυσίδες που καταλήγουν στον Υ/Μ σταθμό του ΕΛΛΗΝΙΚΟΝ (HELLINIKON) για τα δεδομένα του τεστ επαλήθευσης. Στις παρενθέσεις φαίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ανάλυσης του τρίτου κεφαλαίου.

Υδρομετεωρολογικοί Σταθμοί					Πιθανότητα μη βροχόπτωσης στο σταθμό του βήματος (i) με δεδομένο ότι δεν έχει βρέξει σε όλα τα προηγούμενα βήματα (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης στο σταθμό του βήματος (i) με δεδομένο ότι έχει βρέξει σε όλα τα προηγούμενα βήματα (%)			Συνολικός αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων			Συνολικός αριθμός ημερών που έβρεξε στους Υ/Μ σταθμούς όλων των βημάτων εκτός από αυτόν του βήματος i		
Βήμα (i-4)	Βήμα (i-3)	Βήμα (i-2)	Βήμα (i-1)	Βήμα (i)	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm	
ESPOEY →	MILAN →	LASTOVO →	CORFU →	HELLINIKON	85.42 (87.43)	64.52 (41.07)	NaN (5)	82 (2156)	20 (276)	0 (1)	96 (2466)	31 (672)	0 (20)	
			CORFU →	HELLINIKON	84.46 (86.13)	62.79 (40.64)	0 (8.77)	125 (2943)	27 (369)	0 (5)	148 (3417)	43 (908)	1 (57)	
	CORFU →	HELLINIKON	83.16 (86.75)	53.41 (43.14)	7.69 (13.58)	158 (3568)	47 (915)	1 (47)	190 (4113)	88 (2121)	13 (346)			
		HELLINIKON	84.90 (85.34)	53.09 (42.29)	19.18 (12.35)	298 (4248)	103 (1506)	14 (162)	351 (4978)	196 (3561)	73 (1312)			
MENORCA →	CAGLIARI →	PALERMO →	ARGOSTOLI →	HELLINIKON	91.03 (89.08)	50.94 (39.75)	0 (0)	142 (1591)	27 (221)	0 (0)	156 (1786)	53 (556)	1 (1)	
			ARGOSTOLI →	HELLINIKON	91.06 (88.09)	46.51 (43.29)	0 (8.33)	163 (2233)	40 (558)	0 (1)	179 (2535)	86 (1289)	2 (12)	
	ARGOSTOLI →	HELLINIKON	90.91 (87.01)	47.46 (44.42)	9.09 (14.91)	210 (3054)	56 (828)	1 (17)	231 (3510)	118 (1864)	11 (114)			
		HELLINIKON	87.38 (85.94)	50.66 (43.84)	18.57 (16.03)	277 (3966)	116 (1401)	13 (165)	317 (4615)	229 (3196)	70 (1029)			
MARSEILLE →	GENOA →	ROMA →	CORFU →	HELLINIKON	84.38 (85.63)	48 (42.66)	0 (9.68)	135 (2234)	12 (273)	0 (3)	160 (2609)	25 (640)	2 (31)	
			CORFU →	HELLINIKON	84.13 (85.98)	50 (40.85)	14.29 (12.96)	159 (2563)	24 (464)	1 (14)	189 (2981)	48 (1136)	7 (108)	
	CORFU →	HELLINIKON	83.40 (86.35)	46.32 (41.55)	12.5 (12.7)	206 (3094)	44 (964)	3 (39)	247 (3583)	95 (2320)	24 (307)			
		HELLINIKON	84.90 (85.34)	53.09 (42.29)	19.18 (12.35)	298 (4248)	103 (1506)	14 (162)	351 (4978)	196 (3561)	73 (1312)			
TEL_AVIV →	POLIS →	CHANIA →	HELLINIKON	83.52 (76.89)	34.62 (31.20)	NaN (0)	147 (2179)	9 (176)	0 (0)	176 (2834)	26 (564)	0 (12)		
		CHANIA →	HELLINIKON	76.74 (77.63)	40.32 (31.21)	0 (1.59)	231 (2942)	25 (427)	0 (2)	301 (3790)	62 (1368)	7 (126)		
		HELLINIKON	74.94 (78.03)	41.03 (33.37)	10.34 (4.32)	299 (3808)	48 (978)	3 (29)	399 (4880)	117 (2931)	29 (671)			
PRILEP (SHKODRA) →	ARGOSTOLI →	HELLINIKON	88.67 (88.04)	54.2 (44.5)	20 (15.54)	227 (2607)	71 (818)	2 (55)	256 (2961)	131 (1838)	10 (354)			
	& CORFU ARGOSTOLI →	HELLINIKON	89.36 (88.37)	57.23 (47.71)	16.67 (17.63)	252 (3381)	91 (1177)	6 (104)	282 (3826)	159 (2467)	36 (590)			

Πιθανότητα μη βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης ύψους άνω των 10mm μία οποιαδήποτε μέρα στο HELLINIKON (%)	Αριθμός ημερών που δεν έβρεξε στο HELLINIKON	Αριθμός ημερών που έβρεξε στο HELLINIKON	Αριθμός ημερών που έβρεξε πάνω από 10mm στο HELLINIKON
71.43 (73.82)	28.57 (26.18)	4.03 (5.19)	390 (6304)	156 (2236)	22 (443)

Πίνακας 5-2 Ποσοστό μεταβολής των πιθανοτήτων των αλυσίδων του ελέγχου σε σχέση με αυτές της αρχικής ανάλυσης.

Υδρομετεωρολογικοί Σταθμοί					Ποσοστό μεταβολής της πιθανότητας μη βροχόπτωσης του ελέγχου σε σχέση με τον αρχικό υπολογισμό (%)		
Βήμα (i-4)	Βήμα (i-3)	Βήμα (i-2)	Βήμα (i-1)	Βήμα (i)	ύψος βροχ = 0mm	ύψος βροχ > 0mm	ύψος βροχ > 10mm
ESPOEY	MILAN	LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	-2.3	+57.1	-
				HELLINIKON	-1.9	+54.5	-
	LASTOVO	CORFU	HELLINIKON	-4.1	+23.8	-43.4	
			HELLINIKON	-0.5	+25.5	+55.3	
MENORCA	CAGLIARI	PALERMO	ARGOSTOLI	HELLINIKON	+2.2	+28.2	-
				HELLINIKON	+3.4	+7.4	-
	PALERMO	ARGOSTOLI	HELLINIKON	+4.5	+6.8	-39	
			HELLINIKON	+1.7	+15.6	+15.8	
MARSEILLE	GENOA	ROMA	CORFU	HELLINIKON	-1.5	+12.5	-
				HELLINIKON	-2.2	+22.4	+10.3
	ROMA	CORFU	HELLINIKON	-3.4	+11.5	-1.6	
			HELLINIKON	-0.5	+25.5	+55.3	
TEL_AVIV	POLIS	CHANIA	HELLINIKON	+8.6	+11.	-	
			HELLINIKON	-1.1	+29.2	-	
			HELLINIKON	-4	+23.	+139.4	
PRILEP (SHKODR,			ARGOSTOLI	HELLINIKON	+7	+21.8	+28.7
			CORFU & ARGOSTOLI	HELLINIKON	+1.1	+20.	-5.4

Ποσοστό μεταβολής της πιθανότητας μη βροχόπτωσης του ελέγχου σε σχέση με τον αρχικό υπολογισμό στο HELLINIKON (%)	Ποσοστό μεταβολής της πιθανότητας βροχόπτωσης του ελέγχου σε σχέση με τον αρχικό υπολογισμό στο HELLINIKON (%)	Ποσοστό μεταβολής της πιθανότητας βροχόπτωσης άνω των 10mm του ελέγχου σε σχέση με τον αρχικό υπολογισμό στο HELLINIKON (%)
-3.2	+9.1	-22.4

προέκυψαν απροσδιοριστίες (0/0) αλλά και μηδενικές τιμές. Οι μεγαλύτερες τιμές πιθανότητας βροχόπτωσης άνω των 10mm στην Αθήνα προκύπτουν όταν έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα στην Κέρκυρα ή στο Αργοστόλι (19% περίπου). Αυτή η τιμή είναι πενταπλάσια της αδέσμευτης πιθανότητας βροχόπτωσης άνω των 10mm στην Αθήνα (4.03%).

Στον Πίνακα 5-2 έχει υπολογιστεί το ποσοστό μεταβολής των πιθανοτήτων για τις διάφορες καταστάσεις της κάθε αλυσίδας σε σχέση με την αρχική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε. Έτσι, ποσοτικοποιείται η διαφορά των πιθανοτήτων για τις δύο περιόδους που εξετάζονται. Όπως αναφέρθηκε ήδη, ενδιαφέρον στοιχείο αποτελεί το ότι για τις δύο αλυσίδες που εκκινούν από τα βορειοδυτικά οι πιθανότητες μη βροχόπτωσης μειώνονται, όπως επίσης μειώνεται η αδέσμευτη

πιθανότητα μη βροχόπτωσης στην Αθήνα, ενώ για την αλυσίδα MENORCA-CAGLIARI-PALERMO-ARGOSTOLI-HELLINIKON και όλα τα υποσύνολά της η πιθανότητα μη βροχόπτωσης αυξάνεται. Οι μεγάλες αυξήσεις στις βορειοδυτικές αλυσίδες υποδηλώνει την μεγαλύτερη επιρροή των καιρικών συστημάτων που πηγάζουν από εκεί. Μεγάλη αύξηση, επίσης, παρατηρείται για το ενδεχόμενο βροχόπτωσης άνω των 10mm στην Αθήνα όταν έχει βρέξει την προηγούμενη μέρα στα Χανιά αλλά και στην Κέρκυρα. Συνεπώς, σε συνδυασμό με την αύξηση των βροχερών ημερών φαίνεται να αυξάνεται και το ύψος των βροχοπτώσεων που προέρχονται από τα βορειοδυτικά αλλά και από το νότο.

6 ΣΧΟΛΙΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η κατανόηση των φυσικών και στατιστικών ιδιοτήτων πολλών χαρακτηριστικών της βροχής επιτυγχάνεται με τη συμβολή επιστημών όπως η μετεωρολογία, η κλιματολογία, η φυσική της ατμόσφαιρας, και η στατιστική. Οι θεωρητικές αυτές προσεγγίσεις αποτελούν τη βάση για τη μελέτη και μοντελοποίηση του φαινομένου της βροχόπτωσης στο χώρο και το χρόνο. Ωστόσο, λόγω της πολυπλοκότητας του μηχανισμού γένεσης της βροχής η ανάπτυξη ενός μοντέλου πρόβλεψης καιρού ή προσομοίωσης κλιματικών χαρακτηριστικών αυστηρά θεμελιωμένο στη φυσική βάση του φαινομένου είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Μελετώντας τη συσχέτιση ορισμένων χαρακτηριστικών της βροχής, με τις συνοπτικές συνθήκες (κυκλώνες, αντικυκλώνες) ή με μετεωρολογικά, γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά καθίσταται δυνατή η παραγωγή μοντέλων βασισμένων σε στοχαστικές θεωρήσεις. Η συσχέτιση αυτή εντοπίζεται εμπειρικά, ποσοτικοποιείται και αξιοποιείται χωρίς να είναι απαραίτητη η ακριβής περιγραφή και εξήγησή της, όπως συμβαίνει στα προσδιοριστικά μοντέλα, τα οποία βασίζονται στη χρήση μαθηματικών σχέσεων που περιγράφουν το φυσικό μηχανισμό της γένεσης της βροχής και θεμελιώνονται στη θερμοδυναμική, τη μηχανική των ρευστών και τη φυσική των νεφών (Μαμάσης 1997).

Οι εμπειρικές προσεγγίσεις μπορούν να συμβάλουν στην πρόγνωση της βροχής, σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους αφού ποσοτικοποιούν τη μετεωρολογική εμπειρία σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Η πλειοψηφία εμπειρικών προσεγγίσεων σχετίζονται με τους τύπους καιρού και η θεωρητική τους βάση στηρίζεται στην εμπειρική συσχέτιση των χαρακτηριστικών της βροχής με συγκεκριμένες συνοπτικές καταστάσεις ή μετεωρολογικές συνθήκες. Η μελέτη της βροχής και η κατάταξη των επεισοδίων με τη θεώρηση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης (η οποία προκάλεσε το φαινόμενο) έχει γίνει σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές με στόχο τη μοντελοποίηση της εξέλιξης της βροχόπτωσης στο χώρο και στο χρόνο. Οι προσεγγίσεις τύπων καιρού κατατάσσονται στις εμπειρικές, δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά της βροχής συνδέονται εμπειρικά με τον τύπο της συνοπτικής κατάστασης. Στις περισσότερες δημοσιευμένες επιστημονικές εργασίες γίνεται συνδυασμός των εμπειρικών προσεγγίσεων τύπων καιρού με στοχαστικά μοντέλα. Ο κύριος στόχος είναι η βελτίωση της στατιστικής εκτίμησης των παραμέτρων εκείνων οι οποίες συνδέονται με φυσικά χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης. Έτσι, οι διαφορές που εμπειρικά διαπιστώνονται στα χαρακτηριστικά της βροχής μεταξύ των διαφορετικών τύπων καιρού, αξιοποιούνται για να μειώσουν την τυχαιότητα των

στοχαστικών προσεγγίσεων, ενώ επισημαίνεται σε πολλές εργασίες επισημαίνεται η προφανής διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της βροχής μεταξύ αντικυκλώνων και υφειακών τύπων.

Οι πρώτες μέθοδοι που εφαρμόστηκαν στη μοντελοποίηση της βροχόπτωσης αφορούσαν στην προσαρμογή ορισμένων στατιστικών κατανομών σε ετήσια και μηνιαία ύψη βροχής. Η μελέτη μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης δεν παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την πρόγνωση του φαινομένου σε μικρότερα χρονικά βήματα καθώς το μηνιαίο ύψος βροχής εξαρτάται από πολλούς παράγοντες οι οποίοι είναι εξαιρετικά δύσκολο να παραμετροποιηθούν και έτσι η μηνιαία ανάλυση συνεισφέρει περισσότερο στην κατανόηση του μετεωρολογικού καθεστώτος και στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τα κλιματικά χαρακτηριστικά. Με τη μελέτη μηνιαίων χρονοσειρών βροχόπτωσης καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση τάσεων εμφάνισης ξηρασιών σε συγκεκριμένες περιοχές, στοιχείο το οποίο είναι σημαντικό για τη διαχείριση των υδατικών πόρων μεγάλων υδατικών συστημάτων. Οι μέθοδοι αυτές είναι ανεφάρμοστες σε μικρότερες χρονικές κλίμακες όπου το φαινόμενο είναι διαλείπον και στο μεγαλύτερο ποσοστό των χρονικών βημάτων δεν πραγματοποιείται βροχόπτωση. Έτσι για τη μοντελοποίηση σε ημερήσια βάση αναπτύχθηκαν τεχνικές που εξέταζαν την αλληλοδιαδοχή των βροχερών και ξηρών ημερών (αλυσίδες Markov) καθώς και τα χρονικά μήκη των υγρών και ξηρών περιόδων (Schaake et al. 1972, Haan et al. 1976, Mimikou 1983, Shaw 1983, Mimikou 1984).

Η πραγματοποίηση των διαφόρων τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε μία γεωγραφική περιοχή εξαρτάται από πολλούς φυσικούς (π.χ. γεωγραφικούς) και μετεωρολογικούς παράγοντες, ενώ όπως είναι γνωστό το όλο μετεωρολογικό σύστημα διέπεται από ακαθόριστη, χαοτική συμπεριφορά. Έτσι μικρές διαφορές στην αρχική κατάσταση ορισμένων παραγόντων όπως η θέση των μεγάλων κέντρων δράσης και η εκάστοτε χωρική κατανομή των αερίων μαζών, μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ διαφορετικές καταστάσεις καιρού μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, τυχαίες μικροδιακυμάνσεις στη θέση των μεγάλων αντικυκλώνων (Αζορών, Σιβηρίας), μπορούν να προκαλέσουν αποκλίσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων στην τροχιά μίας ύφεσης και κατά συνέπεια στον τύπο καιρού που πραγματοποιείται στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η εκδήλωση των διαφόρων τύπων κυκλοφορίας να μην μπορεί να προβλεφθεί παρά μόνο σε χρονικό ορίζοντα ωρών ή μερικών ημερών.

Παρά το γεγονός αυτό η μελέτη του εποχιακού καθεστώτος εκδήλωσης των διαφόρων τύπων καιρού μίας συγκεκριμένης περιοχής μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στα παρακάτω σημεία:

1. Στην καλύτερη κατανόηση του μετεωρολογικού καθεστώτος μίας περιοχής
2. Στον προσδιορισμό σχέσεων στην πιθανότητα διαδοχής κάθε τύπου καιρού από τον εαυτό του (εμμονή) και από κάθε έναν από τους υπόλοιπους τύπους. Οι σχέσεις αυτές εφόσον είναι στατιστικά σημαντικές μπορούν να αξιοποιηθούν στην πρόγνωση της χρονικής εξέλιξης των μετεωρολογικών μεταβλητών.
3. Στην ανίχνευση και επαλήθευση των ιστορικών κλιματικών μεταβολών.
4. Στον προσδιορισμό της επίδρασης των τύπων καιρού στο βροχομετρικό καθεστώς, αλλά και στη γεωγραφική κατανομή των ξηρασιών και των υγρών περιόδων (Μαμάσης 1997).

Η ανίχνευση στατιστικά σημαντικών σχέσεων στην ημερήσια πιθανότητα διαδοχής κάποιας καιρικής κατάστασης από την ίδια ή κάποια άλλη (π.χ. πιθανότητα βροχόπτωσης έπειτα από μία βροχερή μέρα) μπορεί να συμβάλει στη μοντελοποίηση και πρόγνωση της βροχής μέσα από τη μελέτη της εμμονής κάθε τύπου καιρού. Έτσι στην παρούσα εργασία υιοθετώντας την παραπάνω θεώρηση διερευνήθηκαν οι πιθανότητες εμφάνισης διαδοχικών βροχοπτώσεων σε διαφορετικά χωρικά και χρονικά σημεία.

Στην ανάλυση μελετήθηκε το καθεστώς των ημερήσιων βροχοπτώσεων της λεκάνης της Μεσογείου. Παρατηρήθηκε ότι στο νότιο τμήμα της (βόρεια Αφρική) και στο ανατολικό (Τουρκία) δεν υπήρχαν επαρκείς καταγραφές με αποτέλεσμα να γίνουν παραδοχές στην πορεία της ανάλυσης και να διατηρηθούν επιφυλάξεις για το ρόλο και την επιρροή της ατμοσφαιρικής ροής των παραπάνω περιοχών στο καθεστώς των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα και την ευρύτερη Μεσόγειο. Ειδικότερα, στο βόρειο τμήμα της Αφρικής διατηρήθηκαν μόνο δύο Υ/Μ σταθμοί για το κεφάλαιο της ανάλυσης οι οποίοι παρουσιάζουν ελλειψείς καταγραφές. Συνεπώς, είναι αδύνατη η εξαγωγή συμπερασμάτων για το ρόλο των καιρικών συστημάτων (π.χ κυκλώνες Shagan) στη διαμόρφωση του κλίματος της Μεσογείου και των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα.

Όπως αναφέρεται στο δεύτερο κεφάλαιο, σύμφωνα με την κατάταξη των Maheras et al. (2004) δύο κυκλωνικοί τύποι της ατμόσφαιρας της Μεσογείου συνδέονται με μεγάλο ποσοστό της χειμερινής βροχόπτωσης στην Ελλάδα οι οποίοι τοποθετούνται πάνω από την Ελλάδα (τύπος C) και νοτιοδυτικά αυτής (τύπος Csw). Ωστόσο, στην περιοχή που απαντάται ο τύπος Csw περιλαμβάνεται η Σικελία η οποία έχει περιληφθεί στην ανάλυση των ημερήσιων βροχοπτώσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην ανάλυση των αλυσίδων για τον υπολογισμό της πιθανότητας βροχόπτωσης στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού όταν έχει βρέξει σε μια σειρά Υ/Μ σταθμών σε διαφορετικά χρονικά βήματα, η ακολουθία σταθμών που συγκεντρώνει από τις μεγαλύτερες πιθανότητες είναι η Παλέρμο - Αργοστόλι - Ελληνικό με πιθανότητα 44.42% ενώ η πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε μέρα της χειμερινής περιόδου στο Ελληνικό είναι

26.18%. Επίσης, για την αλυσίδα 4 συνδέσμων Μενόρκα - Κάλιαρι - Παλέρμο - Αργοστόλι - Ελληνικό προκύπτει η μεγαλύτερη πιθανότητα μη βροχόπτωσης ίση με 89.08%.

Η κυκλωνική και αντικυκλωνική δραστηριότητα καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την εποχικότητα στη Μεσόγειο. Εκτεινόμενη σε ένα μεγάλο εύρος γεωγραφικών μηκών και πλατών και όντας μία κλειστή λεκάνη, το κλιματικό και βροχομετρικό καθεστώς διαμορφώνεται κυρίως από κυκλώνες που δημιουργούνται και εξελίσσονται εντός της λεκάνης ή κοντινές περιοχές. Κατά τη χειμερινή περίοδο παρατηρούνται τα περισσότερα περιστατικά κυκλώνων τα οποία καθορίζουν τον καιρό και το κλίμα. Όπως φάνηκε και από την ανάλυση των βροοπτώσεων στους Υ/Μ σταθμούς περιμετρικά της Μεσογείου, η πλειοψηφία των βροχερών ημερών του έτους, καθώς και το μεγαλύτερο ποσοστό της ετήσιας βροχόπτωσης, παρατηρείται τη χειμερινή και φθινοπωρινή περίοδο (υγρή περίοδος Οκτωβρίου – Μαρτίου). Τα ποσοστά αυτά είναι κοντά στο 50% στο κεντρικό και βόρειο – βορειοδυτικό μήμημα και αυξάνονται νοτιότερα και ανατολικότερα έως και 90% στη Μέση Ανατολή.

Κατά την υγρή περίοδο εμφανίζονται συνθήκες όπως μεγάλες κλίσεις ατμοσφαιρικών πιέσεων και αργή προσαρμογή της θερμότερης θάλασσας στην αλλαγή της θερμοκρασίας σε σχέση με τα χερσαία τμήματα. Σε συνδυασμό με την ορογραφία περιμετρικά της Μεσογείου οι συνθήκες αυτές είναι οι κατάλληλες για την κυκλογένεση στην υπήνεμη πλευρά οροσειρών. Δύο κύριες κυκλογενετικές περιοχές εμφανίζονται στη Μεσόγειο, μία στην υπήνεμη πλευρά της οροσειράς των Άλπεων (κυκλώνες Γένοβας) και μία βόρεια της οροσειράς του Άτλαντα (Σαχάρα, κυκλώνες Sharav). Ενώ οι κυκλώνες Sharav κυριαρχούν την άνοιξη και το καλοκαίρι και λόγω χαμηλών ποσοστών υγρασίας δε σχετίζονται με βροχόπτωση, στην κυκλογενετική περιοχή της Γένοβας παρατηρείται υψηλή κυκλωνική δραστηριότητα καθόλη τη διάρκεια του έτους. Οι υφέσεις της περιοχής αυτής ευθύνονται για μεγάλο ποσοστό των βροχοπτώσεων της ευρύτερης Μεσογείου κατά τη χειμερινή περίοδο. Πράγματι, στην περιοχή αυτή οι βροχοπτώσεις είναι εντονότερες με μεγάλα ημερήσια και ετήσια ύψη. Ταυτόχρονα, από την ανάλυση του συντελεστή ετεροσυσχέτισης προέκυψε ότι οι βροχοπτώσεις κατά την υγρή περίοδο ετεροσυσχετίζονται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τις βροχοπτώσεις ολόκληρου του έτους στη βόρεια και βορειοδυτική Μεσόγειο.

Εστιάζοντας στις ημερήσιες βροχοπτώσεις της υγρής περιόδου και ακολουθώντας τη μεθοδολογία ανάπτυξης ενός δικτύου ετεροσυσχέτισης των βροχοπτώσεων χωρικά και χρονικά, προέκυψε ένα ισχυρό δίκτυο στα βόρεια και βορειοδυτικά και άλλο ένα γύρω από την Κύπρο.

Συγκεκριμένα, οι μεγαλύτερες ετεροσυσχετίσεις για υστέρηση μίας μέρας συνδέουν Υ/Μ σταθμούς στα σύνορα Γαλλίας – Ισπανίας με τη βόρεια Ιταλία (Άλπεις), οι οποίοι συνδέονται με Υ/Μ σταθμούς της Αδριατικής. Επίσης, δέκτης πολλών συνδέσμων που προέρχονται από τις Άλπεις και τη νότια Γαλλία είναι ο Υ/Μ σταθμός της Ρώμης υποδεικνύοντας την κατεύθυνση κίνησης καιρικών συστημάτων. Από εκεί, καθώς και από τον κόλπο της Τεργέστης, μέσω της κεντρικής Ιταλίας και της Αδριατικής, οι τυχόν διαταραχές φαίνεται να κινούνται νοτιοανατολικά προς τη δυτική Ελλάδα, επεκτείνοντας το δίκτυο ετεροσυσχετίσεων των βροχοπτώσεων. Όπως αναφέρθηκε στο βιβλιογραφικό τμήμα της εργασίας, οι αλυσίδες βουνών στο βόρειο τμήμα της Μεσογείου, εκτός του ότι αποτελούν περιοχές κατάλληλες για την πραγματοποίηση κυκλογενέσεων, αποτελούν διαχωριστικό παράγοντα μεταξύ Μεσογείου και λοιπής Ευρώπης. Σε συνδυασμό με τον κόλπο της Τεργέστης και την κοιλάδα του ποταμού Πάδου ανάμεσα στα Απέννινα όρη και τις Άλπεις, η ιδιαίτερη αυτή τοπογραφία ευθύνεται για την κατεύθυνση αερίων μαζών μέσω της Αδριατικής στο Ιόνιο. Οι αέριες μάζες κινούμενες πάνω από τη θερμότερη Αδριατική θερμαίνονται στα κατώτερα στρώματα γεμίζοντας υδρατμούς ταυτόχρονα και κατευθύνονται στο Ιόνιο όπου παρατηρούνται οι μεγαλύτερες ετήσιες βροχοπτώσεις (Κέρκυρα, Αργοστόλι), καθώς και οι ισχυρότεροι σύνδεσμοι ετεροσυσχετίσεων από τα βορειοδυτικά. Το δίκτυο δε φαίνεται να είναι τόσο ισχυρό ανάμεσα στη δυτική και ανατολική Ελλάδα, στοιχείο που δείχνει το σημαντικό ρόλο της Πίνδου στην παρεμπόδιση της διέλευσης των υφειακών τύπων με δυτική τροχιά όσες μέρες και να διατηρηθεί η διαταραχή. Χαρακτηριστική είναι η διαφορά των ετήσιων βροχοπτώσεων Υ/Μ σταθμών της δυτικής (Κέρκυρα, Αργοστόλι) και ανατολικής (Λάρισα, Ελληνικό) Ελλάδας, περίπου 1000 και 400mm αντίστοιχα. Ωστόσο, ο Υ/Μ σταθμός του Ελληνικού ετεροσυσχετίζεται με αυτούς της νοτιοδυτικής Τουρκίας όπως επίσης και οι Υ/Μ σταθμοί της Κρήτης.

Όσον αφορά το δίκτυο περιφερειακά της Κύπρου, εκκινεί από τη Μ. Ανατολή και ακτευθύνεται βόρεια στην Κύπρο και πό κει στην Κρήτη και τη νοτιοδυτική Τουρκία. Το έντονο ανάγλυφο στην παράκτια ζώνη αναγκάζει τις αέριες μάζες που προέρχονται από τα δυτικά και τη βόρεια Αφρική (κυκλώνες Sharav) να κινηθούν κατά μήκος αυτής και ταυτόχρονα να αποφορτιστούν εμποδίζοντας τες να μεταβούν στο ηπειρωτικό τμήμα. Ένα άλλο ενδιαφέρον στοιχείο που συνδέεται με το δίκτυο ετεροσυσχετίσεων της περιοχής αυτής είναι τα κυκλωνικά συστήματα που εμφανίζονται πάνω από την Κύπρο. Έχει δειχθεί (π.χ. Lionello 2012) ότι τα συστήματα αυτά ευθύνονται για τη συντριπτική πλειοψηφία των ετήσιων βροχοπτώσεων στην ευρύτερη περιοχή – Λίβανος, Ισραήλ, Συρία, Ιορδανία. Συνεπώς, το δίκτυο που δημιουργείται σε

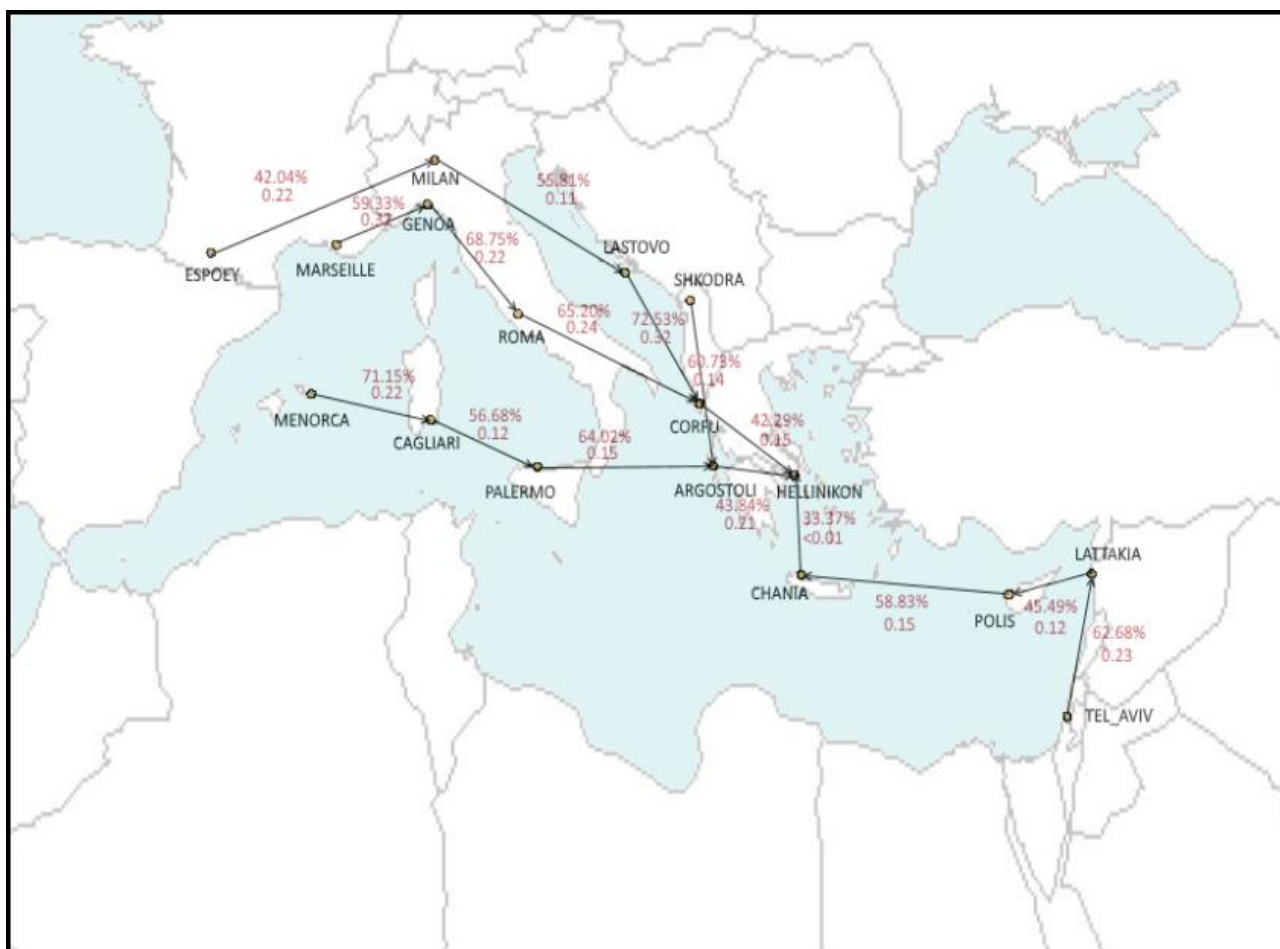
αυτό το τμήμα μπορεί να θεωρηθεί ένας συνδυασμός της δράσης του υφειακού τύπου πάνω από την Κύπρο σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη τοπογραφία.

Αντίστοιχα, με γνώμονα τη στοχαστική μεθοδολογία εξέτασης των ημερήσιων πιθανοτήτων βροχόπτωσης και την αλληλουχία βροχερών/ ξηρών ημερών προέκυψαν εξίσου ενδιαφέροντα αποτελέσματα για το καιρικό καθεστώς της περιοχής μελέτης. Αρχικά, παρατηρήθηκαν αυξημένες πιθανότητες βροχόπτωσης καθόλη τη διάρκεια του έτους περιμετρικά του κόλπου της Γένοβας (π.χ. Μιλάνο Λουγκάνο, Μασσαλία), περιοχές στις οποίες υπάρχει σταθερή κυκλωνική δραστηριότητα καθόλη τη διάρκεια του έτους. Επίσης, στην περιοχή της Αδριατικής και του Ιονίου οι πιθανότητες βροχόπτωσης είναι ιδιαίτερα αυξημένες στην υγρή περίοδο σε αντίθεση με την πιθανότητα βροχόπτωσης στην ανατολική Ελλάδα τονίζοντας το ρόλο των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών της ηπειρωτικής Ελλάδας. Μελετώντας την πιθανότητα διαδοχής μίας βροχερής μέρας από βροχερή μέρα προέκυψε ότι είναι μιάμιση με δύο φορές μεγαλύτερη από την πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιαδήποτε ημέρα υποδεικνύοντας την ομαδοποίηση των βροχερών ημερών σε κάθε περιοχή. Αυτή η τάση συγκέντρωσης των βροχερών ημερών μπορεί να αποδοθεί στη διέλευση καιρικών συστημάτων και το αντίστοιχο χρονικό διάστημα εμμονής της διαταραχής ανάλογα με την ταχύτητα και τροχιά κίνησής της.

Επιδιώκοντας την ανίχνευση περιοχών με αυξημένες πιθανότητες να πραγματοποιηθούν ισχυρές βροχοπτώσεις για μία σειρά διαδοχικών ημερών, υπολογίστηκε η πιθανότητα το ημερήσιο ύψος βροχόπτωσης να είναι πάνω από 5 ή 10mm τουλάχιστον τις 3 από 5 διαδοχικές ημέρες. Όπως αναμενόταν, οι υψηλότερες πιθανότητες παρατηρήθηκαν σε σταθμούς κοντά σε ορεινούς όγκους (Άνδεις, Άλπεις) αλλά και στη Γένοβα, την Κροατία, την Αλβανία, το Ιόνιο και περιμετρικά της Κύπρου. Στις περιοχές αυτές είναι ιδιαίτερη η σημασία της μελέτης των πιθανοτήτων βροχόπτωσης για τη διαχείριση των υδατικών πόρων, το σχεδιασμό αντιπλημμυρικών έργων και την εκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού για την παραγωγή ενέργειας.

Αντίστοιχη διαδικασία με αυτή της δημιουργίας ενός δικτύου ετεροσυσχετίσεων ακολουθήθηκε για την εξέταση της διαδοχής βροχερών ημερών από βροχερή μέρα σε διαφορετικά χωρικά σημεία και σε διαφορετικά χρονικά βήματα. Το δίκτυο υστέρησης μιας ημέρας, όπως και στην περίπτωση των ετεροσυσχετίσεων, είναι ισχυρότερο στο βορειοδυτικό τμήμα. Ειδικότερα, το τόξο από τις Άνδεις, τη βόρεια Ιταλία, Αδριατική το οποίο καταλήγει στο Ιόνιο, είναι πυκνό και παρουσιάζονται υψηλές πιθανότητες διαδοχής βροχερής μέρας από

βροερή μέρα σε κάθε χωρικό βήμα. Και σε αυτή την περίπτωση στον Υ/Μ σταθμό της Ρώμης καταλήγει το μεγαλύτερο πλήθος συνδέσμων. Οι περισσότεροι σύνδεσμοι εκκινούν κοντά από τις Άλπεις και τη Μασσαλία, ενώ εξίσου πολλοί καταλήγουν στην Αλβανία προερχόμενοι από τα δυτικά – βορειοδυτικά. Αξίζει να σημειωθεί ότι το δίκτυο που είχε εμφανιστεί στην Κύπρο δεν είναι αντίστοιχα ισχυρό στην περίπτωση των πιθανοτικών ετεροσυσχετίσεων. Στο Σχήμα 6-1 φαίνονται οι πιθανότητες βροχοπτώσης και οι αντίστοιχες ετεροσυσχετίσεις για υστέρηση μίας ημέρας και για τους κόμβους των κυριότερων αλυσίδων που εξετάστηκαν στο τελευταίο στάδιο της ανάλυσης. Για τις δύο αλυσίδες που προέρχονται από το βορρά προκύπτουν από τις μεγαλύτερες πιθανότητες μετάβασης. Εξετάζοντας τους μεμονωμένους συνδέσμους των αλυσίδων παρατηρείται ότι αρκετές πιθανότητες και οι ετεροσυσχετίσεις μετάβασης από κόμβο σε κόμβο δεν είναι από τις μεγαλύτερες που προέκυψαν στην ανάλυση, ωστόσο η πιθανότητα των αλυσιδωτών βροχοπτώσεων έως και το Ελληνικό είναι αρκετά μεγάλη. Παρόλαυτα, το γεγονός ότι οι αλυσίδες αυτές εκκινούν από την κυριότερη περιοχή κυκλογένεσης της Μεσογείου,



Σχήμα 6-1 Πιθανότητες διαδοχής βροχερής μέρας από βροχερή μέρα και ετεροσυσχετίσεις μεταξύ των κόμβων των κυριότερων αλυσίδων της ανάλυσης κατά την υγρή περίοδο.

αποτελεί ένδειξη για την ισχύ των διαταραχών που ξεκινούν από εκεί, την κατεύθυνση και τη διάρκειά τους.

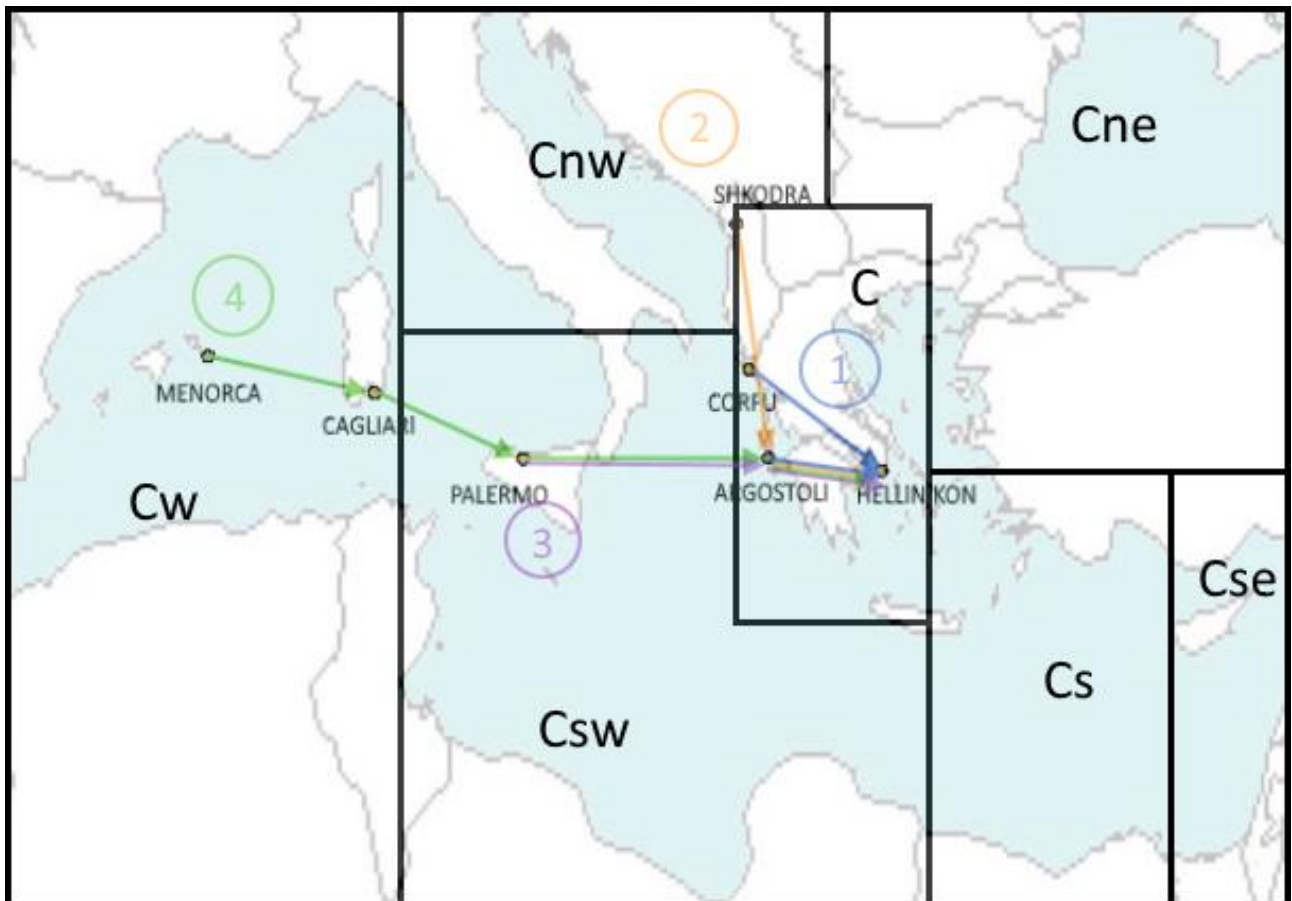
Στον Πίνακα 6-1 φαίνονται οι 4 αλυσίδες με τις μεγαλύτερες πιθανότητες βροχόπτωσης (ή μη) στο Ελληνικό και τα αντίστοιχα ποσοστά αύξησης των πιθανοτήτων σε σχέση με την αδέσμευτη πιθανότητα βροχόπτωσης (ή μη) στο Ελληνικό. Παρατηρείται ότι στην περίπτωση μη βροχόπτωσης η αλυσίδα με τη μεγαλύτερη πιθανότητα είναι η Μενόρκα – Κάλιαρι – Παλέρμο – Αργοστόλι – Ελληνικό και είναι 21% μεγαλύτερη από την αδέσμευτη. Η συσχέτιση αυτή των ξηρών ημερών μπορεί να αιτιολογηθεί από την εμφάνιση αντικυκλωνικών σχηματισμών πάνω από την Ιβηρική χερσόνησο οι οποίοι σχετίζονται συνήθως με ήπιο καιρό και ξηρές συνθήκες. Συνεπώς, μία τέτοιου είδους ατμοσφαιρική ροή είναι πιθανό να ευθύνεται για τη διαδοχή ξηρών συνθηκών στην αλυσίδα αυτή με κατεύθυνση τα ανατολικά.

Πίνακας 6-1 Συγκριτικός πίνακας αδέσμευτων πιθανοτήτων και πιθανοτήτων των κυριότερων αλυσίδων της ανάλυσης για το σταθμό του Ελληνικού.

	Πιθανότητα μη βροχόπτωσης (%)	Ποσοστό αύξησης της πιθανότητας μη βροχόπτωσης (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης (%)	Ποσοστό αύξησης της πιθανότητας βροχόπτωσης (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης >10mm (%)	Ποσοστό αύξησης της πιθανότητας βροχόπτωσης >10mm (%)
HELLINIKON	73.82	-	26.18	-	5.19	-
① CORFU & ARGOSTOLI - HELLINIKON	88.37	20	47.71	82	17.63	240
② SHKODRA - CORFU - HELLINIKON	88.04	19	44.5	70	15.54	200
③ PALERMO - ARGOSTOLI - HELLINIKON	87.01	18	44.42	70	14.91	187
④ MENORCA - CAGLIARI - PALERMO - ARGOSTOLI - HELLINIKON	89.08	21	39.75	52	-	-

Στην περίπτωση που στους σταθμούς της Κέρκυρας και του Αργοστολίου καταγράφεται μία βροχερή μέρα η πιθανότητα καταγραφής βροχερής μέρας στο Ελληνικό την επόμενη μέρα είναι η μεγαλύτερη σε σχέση με όλες τις αλυσίδες που εξετάστηκαν. Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται και για την πιθανότητα βροχόπτωσης άνω των 10mm. Συγκεκριμένα, η βελτίωση της πρόβλεψης μίας βροχερής μέρας στο Ελληνικό βελτιώνεται κατά 82% (από 26.18 σε 47.71%), ενώ στην περίπτωση της βροχόπτωσης άνω των 10mm κατα 240% (από 5.19 σε 17.63%). Η αντίστοιχη πιθανότητα ξηρής ημέρας είναι αρκετά κοντά στη μέγιστη (88.37 έναντι 89.08%). Στις αλυσίδες 2 και 3 παρατηρούνται εξίσου υψηλά ποσοστά για όλα τα ενδεχόμενα που εξετάστηκαν. Στο Σχήμα 6-2 παρουσιάζονται οι αλυσίδες του Πίνακα 6-1 ενώ απεικονίζεται και ο πίνακας κατάταξης κυκλωνικών συστημάτων που σχετίζονται με τη βροχόπτωση στην Ελλάδα. Όπως έχει αναφερθεί ήδη στο δεύτερο κεφάλαιο, σύμφωνα με την κατάταξη των Maheras et al. (2004) οι κυκλωνικοί

τύποι C και Csw συνδέονται με ένα μεγάλο ποσοστό της βροχόπτωσης στην Ελλάδα και συγκεκριμένα περισσότερο από το 60% της συνολικής χειμερινής βροχόπτωσης. Στις περιοχές αυτές εντοπίζονται οι τρεις αλυσίδες για τις οποίες παρατηρείται η μεγαλύτερη πιθανότητα διαδοχής μίας καιρικής κατάστασης από την ίδια στο επόμενο χρονικό – χωρικό βήμα. Συμπεραίνεται ότι η τροχιά των κυκλωνικών συστημάτων ευθύνεται για μεγάλα ποσοστά της βροχόπτωσης της υγρής περιόδου στην Ελλάδα, ενώ μέσω της ευρύτερης μελέτης τους, δύναται να βελτιωθεί η πρόγνωση καιρικών καταστάσεων.



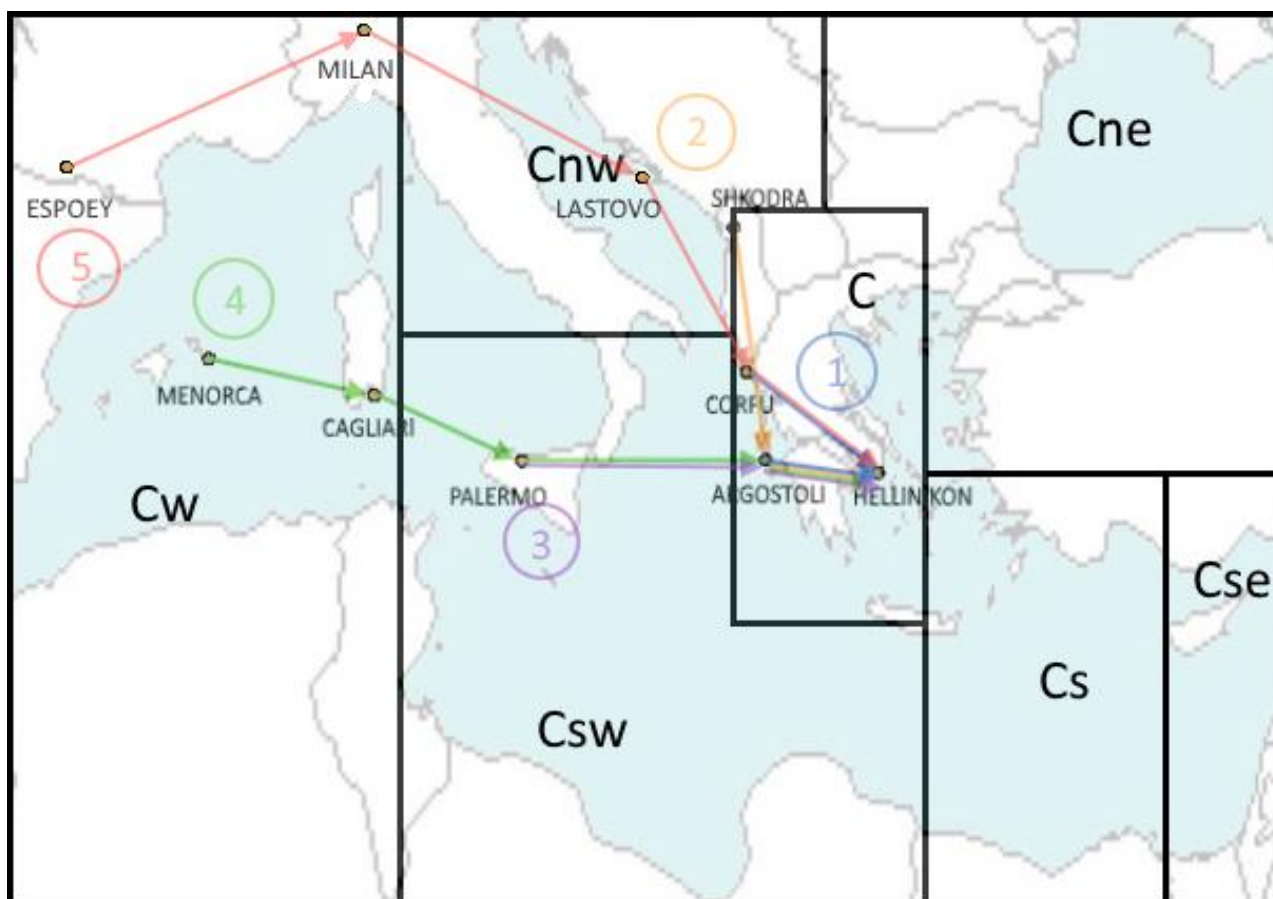
Σχήμα 6-2 Χάρτης αλυσίδων του πίνακα 6-1 και κατάταξη κυκλωνικών συστημάτων που ευθύνονται για την πλειοψηφία των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα κατά Maheras et al. (2004).

Στο τελευταίο σκέλος της ανάλυσης πραγματοποιήθηκε ανάλυση των ξηρών και βροχερών ημερών της αμέσως επόμενης τριετίας της αρχικής περιόδου μελέτης, ώστε να διερευνηθεί η προγνωστική ικανότητα της μεθοδολογίας που προτείνεται. Όπως φαίνεται στον Πίνακα 6-2 η μεγαλύτερη πιθανότητα μη βροχόπτωσης προκύπτει και πάλι για την ακολουθία που ξεκινά από τη Μενόρκα και συγκεκριμένα είναι μεγαλύτερη κατά 27% σε σχέση με την αδέσμευτη πιθανότητα μη βροχόπτωσης στο Ελληνικό τη συγκεκριμένη περίοδο. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η

αλυσίδα 5 για την οποία ενώ στην αρχική ανάλυση δεν παρατηρήθηκε μεγάλη πιθανότητα βροχόπτωσης, κατά την ανάλυση της τριετίας 2002 – 2004 προέκυψε η μεγαλύτερη πιθανότητα βροχόπτωσης με 64.52%, 2.3 φορές μεγαλύτερη από την αδέσμευτη στο Ελληνικό.

Πίνακας 6-2 Συγκριτικός πίνακας αδέσμευτων πιθανοτήτων και πιθανοτήτων των κυριότερων αλυσίδων της ανάλυσης και του ελέγχου επαλήθευσης για το σταθμό του Ελληνικού.

		Πιθανότητα μη βροχόπτωσης (%)	Ποσοστό αύξησης της πιθανότητας μη βροχόπτωσης (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης (%)	Ποσοστό αύξησης της πιθανότητας βροχόπτωσης (%)	Πιθανότητα βροχόπτωσης >10mm (%)	Ποσοστό αύξησης της πιθανότητας βροχόπτωσης >10mm (%)
HELLINIKON		analysis 73.82	-	26.18	-	5.19	-
		test 71.43	-	28.57	-	4.03	-
①	CORFU & ARGOSTOLI - HELLINIKON	analysis 88.37	20	47.71	82	17.63	240
		test 89.36	25	57.23	100	16.67	314
②	SHKODRA - CORFU - HELLINIKON	analysis 88.04	19	44.5	70	15.54	200
		test 88.67	24	54.2	90	20.00	396
③	PALERMO - ARGOSTOLI - HELLINIKON	analysis 87.01	18	44.42	70	14.91	187
		test 90.91	27	47.46	66	9.09	126
④	MENORCA - CAGLIARI - PALERMO - ARGOSTOLI - HELLINIKON	analysis 89.08	21	39.75	52	-	-
		test 91.03	27	50.94	78	-	-
⑤	ESPOEY - MILAN - LASTOVO - CORFU - HELLINIKON	analysis 87.43	18	41.07	57	-	-
		test 85.42	20	64.52	126	-	-



Σχήμα 6-3 Χάρτης αλυσίδων του πίνακα 6-2 και κατάταξη κυκλωνικών συστημάτων που ευθύνονται για την πλειοψηφία των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα κατά Maheras et al. (2004).

Τα παραπάνω αποτελούν χρήσιμες ενδείξεις για την πρόβλεψη καιρικών καταστάσεων,

ωστόσο από τον τελευταίο έλεγχο προέκυψαν διακυμάνσεις στις τιμές των πιθανοτήτων μετάβασης. Αυτή η ισχυρή μεταβολή της πιθανότητας της αλυσίδας 5 για τη συγκεκριμένη τριετία, υποδηλώνει την αύξηση της συσχέτισης των βροχοπτώσεων της Αθήνας με τις βροχοπτώσεις του τόξου της αλυσίδας αυτής. Συνεπώς, ανάλογα με τη χρονική περίοδο μελέτης η ένταση, η θέση και η τροχιά των καιρικών συστημάτων που ευθύνονται για τις βροχοπτώσεις στην Αθήνα μεταβάλλονται, διαφοροποιώντας και τις αντίστοιχες πιθανότητες πραγματοποίησης βροχοπτώσεων. Το βροχοπτωτικό καθεστώς στην Αθήνα φαίνεται να επηρεάζεται σε μεγαλύτερο βαθμό από την ροή καιρικών συστημάτων που προέρχονται από τον κόλπο της Γένοβας κατά τη διάρκεια της τριετίας αυτής. Ο συνδυασμός της γνώσης των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών κάθε τύπου καιρού με την ανάλυση δεδομένων με παρόμοιες μεθοδολογίες μπορεί να παράξει χρήσιμα αποτελέσματα για την πρόγνωση περιστατικών βροχοπτώσεων ή ξηρών ημερών.

Συνοψίζοντας, η εμπειρική προσέγγιση που υιοθετήθηκε στο βιβλιογραφικό τμήμα της παρούσας εργασίας περιγράφει το καθεστώς των βροχοπτώσεων της Μεσογείου, και της Ελλάδας ειδικότερα, με βάση τους καιρικούς σχηματισμούς μεγάλης κλίμακας (κυκλώνες/αντικυκλώνες). Από τον συνδυασμό της παραπάνω προσέγγισης με τη στοχαστική ανάλυση των βροχοπτώσεων και της αλληλοδιαδοχής αυτών στο χρόνο, μπορούν να προκύψουν σημαντικά ευρήματα, όπως η ανίχνευση μοτίβων, βελτιστοποιώντας έτσι τη δυνατότητα πρόβλεψης των καιρικών συνθηκών μίας περιοχής. Με τη συνδρομή της ανάλυσης των πιθανοτήτων μετάβασης από μία κατάσταση σε μία άλλη και με δεδομένη μία αρχική κατάσταση, μπορούν να πραγματοποιηθούν ακριβέστερες προβλέψεις. Από την ανάλυση που διενεργήθηκε σε συνδυασμό με τα στοιχεία για τη διαμόρφωση του κλίματος της λεκάνης της Μεσογείου με βάση τη δράση καιρικών σχηματισμών μεγάλης κλίμακας προέκυψαν τα παρακάτω:

- Η διαλείπουσα φύση του φαινομένου της βροχής καθιστά την ανάλυσή της βάσει στοχαστικών προσεγγίσεων αρκετά ικανοποιητική.
- Οι πληροφορίες που αντλούνται από τις εμπειρικές προσεγγίσεις (στην προκειμένη περίπτωση η ανάλυση του βροχοπτωτικού καθεστώτος κατά τύπους καιρού), αποτελούν πολύ χρήσιμα δεδομένα για τη διεξαγωγή περαιτέρω αναλύσεων.
- Η ανάλυση της διαδοχής καιρικών καταστάσεων και η ετεροσυσχέτιση των ποσοτήτων βροχόπτωσης σε ημερήσια βάση συντελούν στην κατανόηση του κλιματικού καθεστώτος και πώς αυτό μεταβάλλεται χωρικά και χρονικά.
- Μελετώντας τις πιθανότητες συνεχόμενων ημερήσιων βροχοπτώσεων μεγάλου ύψους

βελτιώνεται η πρόγνωση ακραίων καιρικών καταστάσεων (π.χ. πλημμύρες) και η διαχείρησή τους.

- Η ανάπτυξη προσανατολισμένου δικτύου χωρικά και χρονικά βοηθά στην αποτύπωση της κυρίαρχης ατμοσφαιρικής ροής.
- Από την ανάπτυξη ενός δικτύου ετεροσυσχέτισης της βροχής στο χώρο προέκυψαν κομβικά σημεία (υπερκόμβοι) που εμφανίζουν ιδιαίτερη συνδεσιμότητα με παρακείμενες περιοχές και παίζουν σημαντικό ρόλο στη λήψη και μετάδοση πληροφοριών. Παραδείγματα αποτελούν οι περιοχές κυκλογένεσης (Άλπεις – Λουγκάνο, Μιλάνο) και περιοχές στην τροχιά κίνησης αερίων μαζών (Ρώμη, Αλβανία).
- Η ορογραφία είναι πολύ σημαντικός παράγοντας αφενός διότι στην υπήνεμη πλευρά οροσειρών (Άλπεις, Άτλαντας) πραγματοποιείται κυκλογένεση υπό προϋποθέσεις και αφετέρου διότι οι ορεινοί όγκοι εμποδίζουν τη διέλευση καιρικών συστημάτων διαμορφώνοντας το κλίμα εκατέρωθεν.
- Όσον αφορά την Ελλάδα, το κλίμα διαμορφώνεται σε μεγάλο βαθμό από το συνδυασμό της ορογραφίας (Πίνδος) και από τη δυτικογενή ροή των καιρικών συστημάτων δημιουργώντας εκτεταμένες λεκάνες απορροής στο δυτικό τμήμα και πιο ξηρές πεδιάδες στο ανατολικό.
- Η εύρεση μοτίβων ή περιοδικότητας στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των καιρικών συστημάτων και η συσχέτισή τους με τον καιρό είναι χρήσιμα για την πρόγνωση και την ευρύτερη μελέτη του κλίματος.
- Η μελέτη διαφορετικών ενδεχομένων για την ροή καιρικών συστημάτων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τη δυνατότητα πρόγνωσης της βροχόπτωσης, όπως συνέβη με την περίπτωση της Αθήνας στην παραπάνω ανάλυση.

Η δυνατότητα μελέτης μεγάλων χρονοσειρών καιρικών δεδομένων αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα για τη διαχείριση υδατικών πόρων μιάς και βασίζεται στην μοντελοποίηση της βροχής. Τα στοχαστικά μοντέλα που αναπτύσσονται από μία τέτοια διαδικασία συνεισφέρουν τόσο στην παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βοηθώντας στην μακροχρόνια περιγραφή του καιρικού καθεστώτος όσο και στη βραχυχρόνια πρόγνωση του καιρού.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Alpert, P., B. Ziv, The Sharav cyclone: observation and some theoretical considerations, *J. Geophys. Res.*, 94, 18495–18514, 1989.
- Alpert, P., B. U. Neeman, Y. Shay-El, Climatological analysis of Mediterranean cyclones using ECMWF data, *Tellus 42A*, 65-77, 1990.
- Alpert, P., M. Tzidulko, S. Krichak, U. Stein, A multi-stage evolution of an ALPEX Cyclone, *Tellus 48A*, 209–220, 1996.
- Alpert, P., I. Osetinsky, B. Ziv, H. Shafir, Semi-objective classification for daily synoptic systems, application to the eastern Mediterranean climate change, *International Journal of Climatology*, 24, 1001-1011, 2004a.
- Alpert, P., I. Osetinsky, B. Ziv, H. Shafir, A new seasons definition based on classified daily synoptic systems: an example for the eastern Mediterranean, *International Journal of Climatology*, 24, 1013-1021, 2004b.
- Bartholy, J., R. Pongrácz, M. Pattantyús-Ábrahám, Analyzing the genesis, intensity, and tracks of western Mediterranean cyclones, *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 133–144, 2009.
- Bolle, H.-J., Mediterranean climate: variability and trends, Springer, 2003.
- Bottenberg, C., L. Schanus, R. Kluss, C. Kuball, The Mediterranean Climate, Iowa State University, Ames, Iowa, 2006, [<http://www.meteor.iastate.edu/~kuballc/portfolio/406%20Version%202.pdf>].
- Buzzi, A., S. Tibaldi, Cyclogenesis in the lee of the Alps: a case study, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 104, 271–287, 1978.
- Buzzi, A., E. Richard, R. Romero, Summary Report on MEDEX Studies and Scientific Results on Mediterranean Cyclones Causing High Impact Weather, MEDEX Project, 2005.
- Campins, J., A. Genoves, A. Jansa, J. A. Guijarro, C. Ramis, A catalogue and a classification of surface cyclones for the western Mediterranean, *International Journal of Climatology*, 20, 969-984, 2000.
- Campins, J., A. Genoves, M. A. Picornell, A. Jansa, Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset, *International Journal of Climatology*, 31, 1596-1614, 2011.
- Caskey, J. E., A Markov chain model for the probability of precipitation occurrence in intervals of various length, US Weather Bureau, *Monthly Weather Review*, 1963.
- Coutsoukis, Photius, 2004, [<http://www.photius.com>].
- Dünkeloh, A., and J. Jacobeit, Circulation dynamics of Mediterranean precipitation variability

1948–98, *International Journal of Climatology*, 23, 1843-1866, 2003.

- Egger, J., P. Alpert, A. Tafferfer, B. Ziv, Numerical experiments on the genesis of Sharav cyclones: idealized simulation, *Tellus 47A*, 162–174, 1995.
- Flocas, H. A., I. Simmonds, J. Kouroutzoglou, K. Keay, M. Hatzaki, V. Bricolas et al., On cyclonic tracks over the eastern Mediterranean, *J. Climate*, 23(19), 5243–5257, 2010.
- Fotiadi, A. K., D. A. Metaxas, A. Bartzokas, A statistical study of precipitation in northwest Greece, *International Journal of Climatology*, 19, 1221–1232, 1999.
- Goldreich, Y., *The Climate of Israel: Observation, Research and Application*, Springer/Kluwer Academic/Plenum Publishers, Israel/The Netherlands, p. 298, 2003.
- Haan, C. T., D. M. Allen, J. O. Street, A Markov chain model of the daily rainfall, *Water Resources Research*, 12(3), 443-449, 1976.
- HMSO, *Weather in the Mediterranean I: General Meteorology*, second ed. Her Majesty's Stationery Office, London, p. 362, 1962.
- Homar, V., A. Jansa, J. Campins, A. Genoves, C. Ramis, Towards a systematic climatology of sensitivities of Mediterranean high impact weather: a contribution based on intense cyclones, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 445-454, 2007.
- Jacob, D., H. Goettel, J. Jungclaus, M. Muskulus, R. Podzun, J. Marotzke, Slowdown of the thermohaline circulation causes enhanced maritime climate influence and snow cover over Europe, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L21711, 2005.
- Katz, R. W., Precipitation as a Chain-Dependent Process, *Journal of Applied Meteorology*, 16, 7, 1977.
- Karaca, M., A. Deniz, M. Tayanc, Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate, *International Journal of Climatology*, 20, 1225–1236, 2000.
- Kleiber, W., R. W. Katz, B. Rajagopalan, Daily spatiotemporal precipitation simulation using latent and transformed Gaussian processes, *Water Resources Research*, 48, 2012.
- Kostopoulou, E., and P. D. Jones, Comprehensive analysis of the climate variability in the eastern Mediterranean, Part II: relationships between atmospheric circulation patterns and surface climatic elements, *International Journal of Climatology*, 27, 1351-1371, 2007.
- Krown, L., An Approach to Forecasting Seasonal Rainfall in Israel, *Journal of Applied Meteorology*, 5(5), 590-594, 1966.
- Lionello, P., F. Dalan, E. Elvini, Cyclones in the Mediterranean region: the present and the doubled

CO2 climate scenarios, *Clim. Res.*, 22, 147–159, 2002.

Lionello, P., P. Malanotte-Rizzoli, R. Boscolo, Mediterranean Climate Variability, Elsevier, Amsterdam, p. 438, 2006.

Lionello, P., The Climate of the Mediterranean Region: From the Past to the Future, Elsevier, 2012.

Maheras, P., Climaologie de la mer Egee et de ses marges continentals, These d'Etat, Universite de Dijon, p. 783, 1979.

Maheras, P., H. Kutiel, Spatial and Temporal Variations in the Temperature Regime in the Mediterranean and their relationship with circulation during the last century, *International Journal of Climatology*, 19, 745-764, 1999.

Maheras, P., H. Flocas, I. Patrikas, C. Anagnostopoulou, A 40 year objective climatology of surface cyclones in the Mediterranean region: spatial and temporal distribution, *International Journal of Climatology*, 21, 109–130, 2001.

Maheras, P., H. A. Flocas, C. Anagnostopoulou, I. Patrikas, On the vertical structure of composite surface cyclones in the Mediterranean region, *Theoretical and Applied Climatology*, 71, 199–217, 2002.

Maheras, P., C. Anagnostopoulou, T. Karacostas, M. Vafiadis, Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 74, Issue 1-2, 77-91, 2003.

Maheras, P., K. Tolika, C. Anagnostopoulou, M. Vafiadis, I. Patrikas, H. Flocas, On the Relationships Between Circulation Types and Changes in Rainfall Variability in Greece, *International Journal of Climatology*, 24, 1695–1712, 2004.

Μαμάσης, Νικόλαος Π., Ανάλυση βροχοπτώσεων κατά τύπο καιρού, Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τομέας Υδατικών Πόρων Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων, Αθήνα, 1997.

Markonis, Y., D. Koutsoyiannis, S. C. Batelis, Y. Dimakos and E. Moschou, Temporal and spatial variability of rainfall over Greece, 5th EGU Leonardo Conference – Hydrofractals 2013 – STAHY '13, Kos Island, Greece, European Geosciences Union, International Association of Hydrological Sciences, International Union of Geodesy and Geophysics, 2013.

McGuinley, J., A diagnosis of Alpine lee cyclogenesis, *Mon. Weather Rev.*, 110, 1271–1287, 1982.

Mimikou, M. A., Daily precipitation occurrences modelling with Markov chain of seasonal order, *Journal des Sciences Hydrologiques*, 28, 2, 221-232, 1983.

Mimikou, M. A., A study for improving precipitation occurrences modelling with a Markov chain,

- Journal of Hydrology*, 70, 25-33, 1984.
- Nissen, K. M., G. C. Leckebusch, J. G. Pinto, D. Renggli, S. Ulbrich, U. Ulbrich, Cyclones causing wind storms in the Mediterranean: characteristics, trends and links to large-scale patterns, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 1379-1391, 2010.
- Pettersen, S., *Weather Analysis and Forecasting*, vol. I, McGraw – Hill, New York, NY, p. 428, 1956.
- Picornell, M.A., A. Jansà, A. Genovés, J. Campins, Automated database of mesocyclones from the Hirlam (INM)-0.5° analyses in the Western Mediterranean, *International Journal of Climatology*, 21, 335–354, 2001.
- Pinto, J.G., T. Spanghehl, U. Ulbrich, P. Speth, Sensitivities of a cyclone detection and tracking algorithm: individual tracks and climatology, *Meteorol. Z.*, 14, 823–838, 2005.
- Radinovic, D., *Mediterranean Cyclones and their Influence on the Weather and Climate*, WMO, PSMP Report Ser. No. 24, p. 131, Geneva, Switzerland, 1987.
- Raible, C.C., R. Blender, Northern Hemisphere mid-latitude cyclone variability in GCM simulations with different ocean representations, *Clim. Dyn.*, 22, 239–248, 2004.
- Raible, C.C., P. Della-Marta, C. Schwierz, H. Wernli, R. Blender, Northern hemisphere extratropical cyclones: a comparison of detection and tracking methods and different reanalyses, *Mon. Weather Rev.*, 136, 880–897, 2008.
- Reiter, E. R., *Handbook for Forecaster in the Mediterranean*, Tech. Paper No. 5-75, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, p. 334, 1975.
- Ritten, Michael E., *The Physical Environment: An Introduction to Physical Geography*, 2006, [http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritten/geog101/textbook/title_page.html].
- Robinson, Peter J., Anna Henderson – Sellers, *Contemporary Climatology*, 2nd ed., 162 pp, Adison Wesley Longman, Singapore (pte) LTD., 1999.
- Romem, M., B. Ziv, H. Saaroni, Scenarios in the development of Mediterranean cyclones, *Adv. Geosci.*, 12, 59–65, 2007.
- Saaroni, H., B. Ziv, A. Bitan, P. Alpert, Easterly wind storms over Israel, *Theor. Appl. Climatol.*, 59, 61–77, 1998.
- Saaroni, H., N. Halfon, B. Ziv, P. Alpert, H. Kutiel, Links between the rainfall regime in Israel and location and intensity of Cyprus Lows, *International Journal of Climatology*, 30, 1014–1025, 2010.
- Schaake, J. C., M. J. Ganslaw, J. W. Fothergill, T. E. Harbaugh, Multivariate rainfall generator for annual, seasonal, monthly and daily events, *Proceedings of the International Symposium on*

- Mathematical Modelling Technics in Water Resources Systems*, 2, 437-460, Ottawa, Canada, 1972.
- Shaw, E., *Hydrology in Practice*, 1983.
- Stein, U., P. Alpert, Factor separation in numerical simulations, *J. Atmos. Sci.*, 50, 2107–2115, 1993.
- Steinhaeuser, K., N. V. Chawla and A. R. Ganguly, An Exploration of Climate Data Using Complex Networks, *ACM SIGKDD Explorations*, 12(1), 25-32, 2010.
- Tafferer, A., J. Egger, Test of theories of lee cyclogenesis: ALPEX cases, *J. Atmos. Sci.*, 47(20), 2417–2428, 1990.
- Tantawy, A. H. I., On the cyclogenesis and structure of spring Sahara depressions in the subtropical Africa, *Meteorol. Res. Bull.*, 69, 68–107, United Arab Republic, Cairo, 1969.
- Thorncroft, C. D., H. A. Flocas, A case study of Saharan cyclogenesis, *Mon. Weather Rev.*, 125, 1147–1165, 1997.
- Trewartha, G. T., L. H. Horn, *An Introduction to Climate*, fifth ed. McGraw – Hill, New York, NY, pp. 148-156, 1980.
- Trigo, I. F., T. D. Davies, G. R. Bigg, Objective climatology of cyclones in the Mediterranean Region, *Journal of Climatology*, 12, 1685-1696, 1999.
- Trigo, I. F., T. D. Davies, Meteorological conditions associated with sea surges in Venice, *International Journal of Climatology*, 22, 787-803, 2002.
- Trigo, I. F., G. R. Bigg, T. D. Davis, Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean, *Mon. Weather Rev.*, 130, 549–569, 2002a.
- Trigo, R., E. Xoplaki, E. Zorita, J. Luterbacher, S.O. Krichak, P. Alpert et al., Chapter 3, Relations between variability in the Mediterranean region and mid-latitude Variability, *Dev. Earth Environ. Sci. 4 (C)*, 179–226, 2006.
- Turkes, M., Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variations in Turkey, *International Journal of Climatology*, 18, 649–680, 1998.
- Ulbrich, U., G.C. Leckebusch, J.G. Pinto, Extra-tropical cyclones in the present and future climate: a review, *Theor. Appl. Climatol.*, 96, 117–131, 2009.
- Wickham, H., G. Grolemund, *R for Data Science*, O’Reilly Media, 2016.
- Winstanley, D., Sharav, *Weather*, 27, 146–160, 1972.
- Xoplaki, E., J. F. Gonzalez-Rouco, J. Luterbacher, H. Wanner, Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends, *Climate Dynamics*, 23,

63-78, 2004.

Xoplaki, E., J. Luterbacher, R. Burkard, I. Patrikas, P. Maheras, Connection between the large-scale 500 hPa geopotential height fields and precipitation over Greece during wintertime, *Climate Research*, 14, 129–146, 2000.

Yates, D., S. Gangopadhyay, B. Rajagopalan, K. Strzepek, A technique for generating regional climate scenarios using a nearest-neighbor algorithm, *Water Resources Research*, 39, No 7, 1119, 2003.

Ziv, B., H. Saaroni, Y. Yair, M. Ganot, A. Baharad, D. Isaschari, Atmospheric factors governing winter thunderstorms in the coastal region of the Eastern Mediterranean, *Theor. Appl. Climatol.*, 95, 301–310, 2009.

Μαμάσης, Ν., Ανάλυση βροχοπτώσεων κατά τύπο καιρού, Διδακτορική διατριβή, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι. Ευρετήριο Σχημάτων και Πινάκων

Σχήμα 2-1 Αναπαράσταση της διαδικασίας αναγνώρισης «κοινοτήτων» όμοιων κλιματικών χαρακτηριστικών με τη μέθοδο των δικτύων ετεροσυσχετίσεων.	5
Σχήμα 2-2 α) Πυκνότητα κυκλωνικής δραστηριότητας, υπολογισμός σύμφωνα με Nissen et al. (2010), με ισοδιάσταση 5 περιστατικά/έτος/(βαθμό γεωγραφικού πλάτους) ² β) Κυκλογένεση (περιστατικά γένεσης αναγνωρισμένων κυκλώνων) με ισοδιάσταση 2.5 περιστατικά/έτος/(βαθμό γεωγραφικού πλάτους) ² (Lionello, 2012).....	10
Σχήμα 2-3 Κατάταξη αντικυκλωνικών (a) και κυκλωνικών συστημάτων (b) που σχετίζονται με τη βροχόπτωση στον Ελλαδικό χώρο (Maheras et al. 2004)	19
Σχήμα 3-1 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί (κόκκινες κουκίδες) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, κυκλογενετικές περιοχές και ατμοσφαιρική ροή.....	21
Σχήμα 3-2 Μέσος όρος των λόγων όλων των ετών για κάθε σταθμό.	28
Σχήμα 3-3 Μέση τιμή μηνιαίας βροχόπτωσης για την περίοδο 1955-2001 στους σταθμούς της Ελλάδας και σε 5 ενδεικτικούς της ευρύτερης Μεσογείου.	30
Σχήμα 3-4 Διάγραμμα «κουτιού» (boxplot) των ημερήσιων υψών βροχόπτωσης για την περίοδο 1955-2001 στους σταθμούς της Ελλάδας και σε 5 ενδεικτικούς της ευρύτερης Μεσογείου.....	31
Σχήμα 3-5 Μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης σε κάθε υδρομετεωρολογικό σταθμό.....	33
Σχήμα 3-6 Τυπική απόκλιση ετήσιου ύψους βροχόπτωσης για κάθε υδρομετεωρολογικό σταθμό.....	33
Σχήμα 3-7 Μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση σε κάθε υδρομετεωρολογικό σταθμό.	34
Σχήμα 3-8 Ποσοστό βροχόπτωσης κατά την ξηρή περίοδο (Απρίλιος - Σεπτέμβριος).....	35
Σχήμα 3-9 Διαγραμματική αναπαράσταση της ανάλυσης δεδομένων. (πηγή: Grolemond & Wickham, 2016)	36
Σχήμα 4-1 Χάρτης ετεροσυσχετίσεων των βροχοπτώσεων των Υ/Μ σταθμών κατά τη διάρκεια όλου του έτους και με κατώτατο όριο 0.25.	38
Σχήμα 4-2 Υστερήσεις που αντιστοιχούν στις μέγιστες ετεροσυσχετίσεις του σχήματος 4-1.....	38
Σχήμα 4-3 Χάρτης ετεροσυσχετίσεων των βροχοπτώσεων των Υ/Μ σταθμών κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου και με κατώτατο όριο 0.25.	39
Σχήμα 4-4 Υστερήσεις που αντιστοιχούν στις μέγιστες ετεροσυσχετίσεις του σχήματος 4-3.....	40
Σχήμα 4-5 Λόγοι ετεροσυσχετίσεων χειμερινής/ετήσιας περιόδου οι οποίοι είναι μικρότεροι του 1.	41

Σχήμα 4-6 Λόγοι ετεροσυσχετίσεων χειμερινής/ετήσιας περιόδου οι οποίοι είναι μεγαλύτεροι του 1.....	42
Σχήμα 4-7 Ετεροσυσχετίσεις περιόδου Οκτωβρίου - Μαρτίου για υστέρηση 0 και με κατώτατο όριο 0.20.	43
Σχήμα 4-8 Ετεροσυσχετίσεις περιόδου Οκτωβρίου - Μαρτίου για υστέρηση 1 και με κατώτατο όριο 0.20.	43
Σχήμα 4-9 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση 0 και κατώτατο όριο ετεροσυσχέτισης βροχοπτώσεων 0.20.	44
Σχήμα 4-10 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση 1 και κατώτατο όριο ετεροσυσχέτισης βροχοπτώσεων 0.20.	45
Σχήμα 4-11 Ετεροσυσχετίσεις βροχοπτώσεων των Υ/Μ για υστέρηση 2 και κατώτατο όριο 0.15.....	46
Σχήμα 4-12 Χάρτης μηνιαίων ετεροσυσχετίσεων με κατώτατο όριο 0.50.	46
Σχήμα 4-13 Πιθανότητα βροχόπτωσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.	48
Σχήμα 4-14 Πιθανότητα βροχόπτωσης κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου.	48
Σχήμα 4-15 Πιθανότητα βροχόπτωσης, εφόσον έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.	49
Σχήμα 4-16 Πιθανότητα βροχόπτωσης, εφόσον έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα, κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου.	50
Σχήμα 4-17 Πιθανότητα ημερήσιας βροχόπτωσης άνω των 10mm τουλάχιστον 3 από τις 5 συνεχόμενες ημέρες κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου	51
Σχήμα 4-18 Πιθανότητα ημερήσιας βροχόπτωσης άνω των 5mm τουλάχιστον 3 από τις 5 συνεχόμενες ημέρες κατά την περίοδο Οκτωβρίου - Μαρτίου.	51
Σχήμα 4-19 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχόπτωσης σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα σε κάποιον άλλο με κατώτατο όριο 65%.	53
Σχήμα 4-20 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση μίας ημέρας και κατώτατο όριο πιθανότητας βροχόπτωσης 65%.	53
Σχήμα 4-21 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχόπτωσης σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει πριν δύο ημέρες σε κάποιον άλλο με κατώτατο όριο 60%.	54
Σχήμα 4-22 Αριθμός συνδέσμων κάθε κόμβου για υστέρηση δύο ημερών και κατώτατο όριο πιθανότητας βροχόπτωσης 60%.	55
Σχήμα 4-23 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχόπτωσης άνω των 10mm σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει την προηγούμενη ημέρα σε κάποιον άλλο πάνω από 10mm με κατώτατο όριο 38%.	56
Σχήμα 4-24 Πιθανότητα (επί τις εκατό) βροχόπτωσης άνω των 10mm σε κάποιο σταθμό, όταν έχει βρέξει	

πριν δύο ημέρες σε κάποιον άλλο πάνω από 10mm με κατώτατο όριο 15%.	57
Σχήμα 4-25 Πιθανότητα βροχόπτωσης με υστέρηση μίας ημέρας σε ελληνικούς σταθμούς με κατώτατο όριο 64%.	62
Σχήμα 4-26 Αλυσίδες οι οποίες καταλήγουν σε ελληνικούς σταθμούς με τις μεγαλύτερες πιθανότητες και λόγους.	63
Σχήμα 5-1 Χάρτης Υ/Μ σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν για το τεστ επαλήθευσης.	70
Σχήμα 5-2 Χάρτης αλυσίδων που εξετάστηκαν για τις υγρές περιόδους των ετών 2002-2004.	71
Σχήμα 6-1 Πιθανότητες διαδοχής βροχερής μέρας από βροχερή μέρα και ετεροσυσχετίσεις μεταξύ των κόμβων των κυριότερων αλυσίδων της ανάλυσης κατά την υγρή περίοδο.	81
Σχήμα 6-2 Χάρτης αλυσίδων του πίνακα 6-1 και κατάταξη κυκλωνικών συστημάτων που ευθύνονται για την πλειοψηφία των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα κατά Maheras et al. (2004).	83
Σχήμα 6-3 Χάρτης αλυσίδων του πίνακα 6-2 και κατάταξη κυκλωνικών συστημάτων που ευθύνονται για την πλειοψηφία των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα κατά Maheras et al. (2004).	84
Πίνακας 3-1 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί.	22
Πίνακας 3-2 Λόγοι παρατηρήσεων υδρομετεωρολογικών σταθμών εκτός Ελλάδας. (Πράσινο >80%, κίτρινο <80% και >20% και κόκκινο <20%.)	26
Πίνακας 3-3 Λόγοι παρατηρήσεων υδρομετεωρολογικών σταθμών Ελλάδας. (Πράσινο >80%, κίτρινο <80% και >20% και κόκκινο <20%.)	27
Πίνακας 4-1 Ετεροσυσχετίσεις και λόγοι πιθανοτήτων βροχοπτώσεων Υ/Μ σταθμών σε χαρακτηριστικές θέσεις της λεκάνης της Μεσογείου για υστέρηση μίας ημέρας.	59
Πίνακας 4-2 Ετεροσυσχετίσεις και λόγοι πιθανοτήτων βροχοπτώσεων Υ/Μ σταθμών σε χαρακτηριστικές θέσεις της λεκάνης της Μεσογείου για υστέρηση δύο ημερών.	59
Πίνακας 4-3 Λόγοι πιθανοτήτων βροχόπτωσης έπειτα από βροχόπτωση σε κάποιον άλλο Υ/Μ σταθμό με υστέρηση μίας μέρας προς την πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιοδήποτε μέρα στον κόμβο τέλους κατά την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου.	61
Πίνακας 4-4 Λόγοι πιθανοτήτων βροχόπτωσης έπειτα από βροχόπτωση σε κάποιον άλλο Υ/Μ σταθμό με υστέρηση δύο ημερών προς την πιθανότητα βροχόπτωσης μία οποιοδήποτε μέρα στον κόμβο τέλους κατά την περίοδο Οκτωβρίου – Μαρτίου.	61
Πίνακας 4-5 Στατιστικά στοιχεία αλυσίδων Υ/Μ σταθμών της δυτικής – βορειοδυτικής Μεσογείου που καταλήγουν στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού (HELLINIKON).	65

Πίνακας 4-6 Στατιστικά στοιχεία αλυσίδων Υ/Μ σταθμών της ανατολικής – νοτιοανατολικής Μεσογείου και συνδυαστικές αλυσίδες που καταλήγουν στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού (HELLINIKON).....	66
Πίνακας 5-1 Στατιστικά στοιχεία αλυσίδων Υ/Μ σταθμών και συνδυαστικές αλυσίδες που καταλήγουν στον Υ/Μ σταθμό του Ελληνικού (HELLINIKON) για τα δεδομένα του τεστ επαλήθευσης. Στις παρενθέσεις φαίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα της ανάλυσης του τρίτου κεφαλαίου.....	72
Πίνακας 5-2 Ποσοστό μεταβολής των πιθανοτήτων των αλυσίδων του ελέγχου σε σχέση με αυτές της αρχικής ανάλυσης.....	73
Πίνακας 6-1 Συγκριτικός πίνακας αδέσμευτων πιθανοτήτων και πιθανοτήτων των κυριότερων αλυσίδων της ανάλυσης για το σταθμό του Ελληνικού.....	82
Πίνακας 6-2 Συγκριτικός πίνακας αδέσμευτων πιθανοτήτων και πιθανοτήτων των κυριότερων αλυσίδων της ανάλυσης και του ελέγχου επαλήθευσης για το σταθμό του Ελληνικού.....	84

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ. Προγραμματιστικός Κώδικας

```
# read files for the environment - workspace

greecedaily<-read.csv("C:/Users/Documents/R/data/my data/greeceALL.csv")

greecedaily[,greecedaily$station == "SOUDA_BAY_CRETE"] = NA

greecedaily <- droplevels(greecedaily)

restdaily<-read.csv("C:/Users/Documents/R/data/my data/restALL.csv")

restdaily55<-restdaily[restdaily$year>1954 & restdaily$year<2002,]

# excluding station CAPO_BELLAVISTA, from restdaily55 and including TRIPOLI_LIBYA,
CONSTANTA, SULINA, ODESA

restdaily55<-restdaily55[which(!(restdaily55$station=="CAPO_BELLAVISTA")),]

TRIPOLI_LIBYA<-read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/raw data
REST/TRIPOLI_LIBYA.csv")

CONSTANTA <- read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/raw data
REST/CONSTANTA.csv")

SULINA <- read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/raw data REST/SULINA.csv")

ODESA <- read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/raw data REST/ODESA.csv")

TRIPOLI_LIBYA<-TRIPOLI_LIBYA[TRIPOLI_LIBYA$year>1954 & TRIPOLI_LIBYA$year<2002,]

restdaily55<-rbind(restdaily55, TRIPOLI_LIBYA, CONSTANTA, SULINA, ODESA)

# excluding stations BIZARTE_KAROUBA, CAIRO_EZ, EL_SUEZ, HERMEL, SALLOUM,
SFAX, SIWA, TRIPOLI_LEBANON

restdaily55<-restdaily55[which(!(restdaily55$station=="BIZERTE_KAROUBA"
| restdaily55$station=="CAIRO_EZ"
| restdaily55$station=="EL_SUEZ"
| restdaily55$station=="HERMEL"
| restdaily55$station=="SALLOUM"
| restdaily55$station=="SFAX"
| restdaily55$station=="SIWA"
```

```

        | restdaily55$station=="TRIPOLI_LEBANON")
    ),]

restdaily55 = droplevels(restdaily55)

# metadata excluding stations BIZARTE_KAROUBA, CAIRO_EZ, EL_SUEZ, HERMEL, SALLOUM,
SFAX, SIWA, TRIPOLI_LEBANON

metadata<-read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/station data/station
data.csv")

metadata<-metadata[which(!(metadata$station=="BIZERTE_KAROUBA"
        | metadata$station=="CAIRO_EZ"
        | metadata$station=="EL_SUEZ"
        | metadata$station=="HERMEL"
        | metadata$station=="SALLOUM"
        | metadata$station=="SFAX"
        | metadata$station=="SIWA"
        | metadata$station=="TRIPOLI_LEBANON"
        | metadata$station=="SOUDA_BAY_CRETE"))
    ),]

metadata <- droplevels(metadata)

# GREECE

#adding column with station name in monthlysum greece

monthlysum<-list.files("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/raw data GREECE",
pattern="*sum.csv", full.names=TRUE)

monthlysum <-monthlysum[-(8)] # excluding SOUDA_BAY_CRETE

monthlysum

stationnameadd<-function(monthlysum) {

```

```

monthlysum2<-gsub("[a-z:]" , "",monthlysum)

monthlysum2<-gsub("C/U/B/D/R// / GREECE/", "",monthlysum2)

monthlysum2<-substr(monthlysum2, 1,nchar(monthlysum2)-2)

monthlysum3<<-read.csv(monthlysum)

monthlysum3$station<<-monthlysum2

return(monthlysum3)

}

monthlysum<-lapply(monthlysum, stationnameadd)

monthlysum ## list of 8 dataframes

grecemonthly<-do.call("rbind", monthlysum )

# greece monthlysums

grecemonthlysum<-grecemonthly[which(!(grecemonthly$year=="mean")),]

# grecemonthlymean

grecemonthlymean<-grecemonthly[which(grecemonthly$year=="mean"),]

grecemonthlymean<-grecemonthlymean[,2:14]

# REST monthlysums

restmonthlysum<-restmonthly[which(!(restmonthly$year=="mean")),]

# subsetting 1955-2004 values + excluding 9 stations

restmonthlysum<-
restmonthlysum[which(!(restmonthlysum$station=="BIZERTE_KAROUBA"

| restmonthlysum$station=="CAIRO_EZ"

| restmonthlysum$station=="EL_SUEZ"

| restmonthlysum$station=="HERMEL"

| restmonthlysum$station=="SALLOUM"

| restmonthlysum$station=="SFAX"

| restmonthlysum$station=="SIWA"

```



```

|
restmonthlysum$station=="TRIPOLI_LEBANON")
|
),]

restmonthlysum$year<-as.numeric(as.character(restmonthlysum$year))

restmonthlysum<- restmonthlysum[which(restmonthlysum$year>1954),]

restmonthlysum<- restmonthlysum[which(restmonthlysum$year<2002),]

restmonthlysum[restmonthlysum=="-999.9"] <- NA

# REST monthlymean

restmonthlymean<-restmonthly[which(restmonthly$year=="mean"),]

restmonthlymean<-
restmonthlymean[which(!(restmonthlymean$station=="BIZERTE_KAROUBA"
| restmonthlymean$station=="CAIRO_EZ"
| restmonthlymean$station=="EL_SUEZ"
| restmonthlymean$station=="HERMEL"
| restmonthlymean$station=="SALLOUM"
| restmonthlymean$station=="SFAX"
| restmonthlymean$station=="SIWA"
|
restmonthlymean$station=="TRIPOLI_LEBANON")
),]

restmonthlymean<-restmonthlymean[,2:14]

# RATIO S

greeceratio<-read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/greeceALLratio.csv")

greeceratio <- greeceratio[,which(!(greeceratio$station == "SOUDA_BAY_CRETE"))]

greeceratio <- droplevels(greeceratio)

greeceratiotab<-read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my

```

```

data/greeceALLratiotab.csv")

greeceratiotab <- greeceratiotab[1:7,1:48]

greeceratiotab[is.na(greeceratiotab)] <- 0

greeceratiotab<-data.frame(greeceratiotab, means=rowMeans(greeceratiotab[,-1] ,
na.rm= FALSE))

colnames(greeceratiotab)<-c("station", 1955:2001, "means")

greeceratiotab <- droplevels(greeceratiotab)

greeceratiotab[greeceratiotab == 0] <- NA

restratio55<-read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/restALLratio.csv")

restratio55<-restratio55[which(restratio55$year>1954 & restratio55$year<2002),]

restratio55<-restratio55[which(!(restratio55$station=="BIZERTE_KAROUBA"
| restratio55$station=="CAIRO_EZ"
| restratio55$station=="EL_SUEZ"
| restratio55$station=="HERMEL"
| restratio55$station=="SALLOUM"
| restratio55$station=="SFAX"
| restratio55$station=="SIWA"
|
restratio55$station=="TRIPOLI_LEBANON"
|
restratio55$station=="CAPO_BELLAVISTA")
),]

restratio55 <-droplevels(restratio55)

restratio55tab<-read.csv("C:/Users/ /Documents/R/data/my data/restALLratiotab.csv")

restratio55tab <- restratio55tab[,1:48]

```

```

restratio55tab<-
restratio55tab[which(!(restratio55tab[,1]=="BIZERTE_KAROUBA"
| restratio55tab[,1]=="CAIRO_EZ"
| restratio55tab[,1]=="EL_SUEZ"
| restratio55tab[,1]=="HERMEL"
| restratio55tab[,1]=="SALLOUM"
| restratio55tab[,1]=="SFAX"
| restratio55tab[,1]=="SIWA"
|
restratio55tab[,1]=="TRIPOLI_LEBANON"
|
restratio55tab[,1]=="CAPO_BELLAVISTA")
),]

restratio55tab[is.na(restratio55tab)] <- 0

restratio55tab<-data.frame(restratio55tab, means=rowMeans(restratio55tab[,-1] ,
na.rm= TRUE))

colnames(restratio55tab)<-c("station", 1955:2001, "means")

restratio55tab[restratio55tab == 0] <-NA

restratio55tab <- droplevels(restratio55tab)

# 25% and 75% quantiles of monthlysums

# greece

quant2575 <- c(0.25, 0.75)

greecequant2575 <-list()

grecemonthlysumsplit <- split(grecemonthlysum, grecemonthlysum$station)

```

```

    for (i in 1:length(greecemonthlysumsplit)) {

        greecequant2575[[i]]
colQuantiles(greecemonthlysumsplit[[i]][2:nrow(greecemonthlysumsplit[[i]]),2:13],
probs=quant2575, drop = F, na.rm= T)

    }

## 3 column date to 1 column date with "-" seperator

dailyvalues<-read.csv("C:/Users/ /Documents/R/raw data GREECE/ARGOSTOLI.csv")

dailyvalues<-as.data.frame(dailyvalues)

dailyvalues$date<-      as.POSIXct(paste(dailyvalues$year,      dailyvalues$month,
dailyvalues$day), format="%Y%m%d", tz = "GMT")

# GREECEdaily

greecedaily.date = data.frame(station = greecedaily$station)

greecedaily.date$date = as.Date(as.POSIXct(paste(greecedaily$year, greecedaily$month,
greecedaily$day), format="%Y%m%d", tz = "GMT"))

greecedaily.date$rain = greecedaily$rain

greecedaily.table = dcast(greecedaily.date, date~station)

corgreece.day = cor(greecedaily.table[,2:8], use = "pairwise.complete.obs")

# RESTdaily

restdaily.date = data.frame(station = restdaily55$station)

restdaily.date$date = as.Date(as.POSIXct(paste(restdaily55$year, restdaily55$month,
restdaily55$day), format="%Y%m%d", tz = "GMT"))

restdaily.date$rain = restdaily55$rain

restdaily.table = dcast(restdaily.date, date~station)

correst.day = cor(restdaily.table[,2:42], use = "pairwise.complete.obs")

```

```

# all daily data (row bind) correlation

ALLdaily.date <- rbind(greecedaily.date, restdaily.date)

ALLdaily.table = dcast(ALLdaily.date, date~station)

corALL.day = cor(ALLdaily.table[,2:49], use = "pairwise.complete.obs")

## BARPLOT

# greece monthlymean barplot ALL stations

datadas<-greecemonthlymean

datadas<-split(datadas, row(datadas))

cols <- c("#6495ED", "#EDBC64", "#64DAED", "#DAED64", "#ED6495", "#7864ED",
"#ED7864")

for (i in 1:7) {

  barplot(as.matrix(datadas[[i]][,1:12]), xlab="month", ylab=paste("average
precipitation in", datadas[[i]][,13]), names.arg=c(1:12), col=cols[i])

}

# REST ALICANTE, GENOA, TEL_AVIV_READING, PALERMO, ISTANBUL

datarest<-restmonthlymean[which(restmonthlymean$station=="ALICANTE"

| restmonthlymean$station=="GENOA"

| restmonthlymean$station=="TEL_AVIV_READING"

| restmonthlymean$statio=="PALERMO"

| restmonthlymean$station=="ISTANBUL"),]

datarest<- split(datarest, row(datarest))

cols2 <- c("#95ED64", "#CFCFC4", "#D0EDFE", "#78AA9F", "#AA7883")

for (i in 1:5) {

  barplot(as.matrix(datarest[[i]][,1:12]), xlab="month", ylab=paste("average
precipitation in", datarest[[i]][,13]), names.arg=c(1:12), col=cols2[i])

}

```

```

# map for greek stations and the 5 of the rest

cords <- cbind(metadata$Lon, metadata$Lat)

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

points(cords[c(1:8,17,21,31,44),], col = 2, pch=20)

# map data with red dots, ALL stations

cords <- cbind(metadata$Lon, metadata$Lat)

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

points(cords, col = 2, pch=20)

## TURKEYS NA'S ARE REPLACED WITH 0

ALLdaily.table <- ALLdailyNAturkey.table #run this to have ALLdaily.table with the
# original data (with NA in Turkeys stations)

turkcols <- c(17,21,22,23,39,44) #run this to replace any NA with 0

# in the original Turkey station data set

for (i in turkcols) {

  for (j in 1:17167) {

    if (is.na(ALLdaily.table[j,i]) == T ) {

      ALLdaily.table[j,i] <- 0

    }

  }

}

ALLdaily103.table <- ALLdaily103NAturkey.table #run this to have ALLdaily.table
with the

# original data (with NA in Turkeys stations)

```

```

turkcols <- c(17,21,22,23,39,44) #run this to replace any NA with 0

# in the original Turkey station data set

for (i in turkcols) {

  for (j in 1:8566) {

    if (is.na(ALLdaily103.table[j,i]) == T ) {

      ALLdaily103.table[j,i] = 0

    }

  }

}

# matrix with the max correlation of any lag between 1:15 for whole year period

listofcori.names <- colnames(ALLdaily.table[2:49])

listofcori <- listoflags <- vector("list", length(listofcori.names))

names(listoflags) <- names(listofcori) <-listofcori.names

lagmax = 15

thres = 0.25

for (i in 2:49 ) {

  for (j in 2:49) {

    corALLlag <- ccf(ALLdaily.table[,i],ALLdaily.table[,j], lag.max=lagmax,
na.action= na.exclude, plot = F)

    listofcori[[i-1]][j-1] <- max(corALLlag$acf[1:(lagmax*2+1)])

    listoflags[[i-1]][j-1] <- corALLlag$lag[which.max(corALLlag$acf[1:(lagmax*2+1)])]

  }

}

```

```

dimnamescor <- list(listofcori.names,listofcori.names)

corALLlag.matrix <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnamescor)

for (i in 1:48) {

  corALLlag.matrix[,i] <- listofcori[[i]]

}

corALLlag.matrix[corALLlag.matrix<thres] <- NA

diag(corALLlag.matrix) <- NA

dimnameslag <- list(listofcori.names,listofcori.names)

lagALLlag.matrix <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnameslag)

for (i in 1:48) {

  lagALLlag.matrix[,i] <- listoflags[[i]]

}

for (i in 1:48) {

  for (j in 1:48) {

    if (is.na(corALLlag.matrix[i,j]) == T ) {

      lagALLlag.matrix[i,j] = NA

    }

  }

}

lagALLlag.matrix[lagALLlag.matrix<0] = NA

diag(lagALLlag.matrix) <- NA

thres = 0.25

color.ra = c("#cba94a", "#4acba9", "#4a6ccb", "#cb694a", "#a94acb",
"red4","aquamarine4")

qgraph(corALLlag.matrix, minimum=0,maximum=0.2, layout = cords[1:48,], vsize = 1,

```



```

threshold=thres, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

        font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels = F,
edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

lag0kail <- lagALLlag.matrix

lag0kail[lag0kail==0] <- 0.001

color.ra = c("#cba94a", "#4acba9", "#4a6ccb", "#cb694a", "#a94acb",
"red4","aquamarine4")

qgraph(lag0kail, minimum=0,maximum=0.1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

        font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, bidirectional =T, color =
"#cba94a", labels = F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

# matrix with max correlation for lags 1:15 & for period OCTOBER-MARCH

listofcori.names <- colnames(ALLdaily103.table[2:49])

listofcori103 <- listoflags103 <- vector("list", length(listofcori.names))

names(listoflags103) <- names(listofcori103) <-listofcori.names

lagmax = 15

thres=0.25

for (i in 2:49 ) {

  for (j in 2:49) {

    corALLlag103 <- ccf(ALLdaily103.table[,i],ALLdaily103.table[,j], lag.max=lagmax,
na.action= na.exclude, plot = F)

    listofcori103[[i-1]][j-1] <- max(corALLlag103$acf[1:(lagmax*2+1)])

    listoflags103[[i-1]][j-1] <-
corALLlag103$lag[which.max(corALLlag103$acf[1:(lagmax*2+1)])]

```

```

    }
}

dimnamescor <- list(listofcori.names,listofcori.names)

corALLlag103.matrix <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnamescor)

for (i in 1:48) {

  corALLlag103.matrix[,i] <- listofcori103[[i]]

}

corALLlag103.matrix[corALLlag103.matrix<thres] <- NA

diag(corALLlag103.matrix) <- NA

dimnameslag <- list(listofcori.names,listofcori.names)

lagALLlag103.matrix <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnameslag)

for (i in 1:48) {

  lagALLlag103.matrix[,i] <- listoflags103[[i]]

}

for (i in 1:48) {

  for (j in 1:48) {

    if (is.na(corALLlag103.matrix[i,j]) == T ) {

      lagALLlag103.matrix[i,j] = NA

    }

  }

}

}

```

```

lagALLlag103.matrix[lagALLlag103.matrix<0] = NA

diag(lagALLlag103.matrix) <- NA

thres = 0.25

color.ra = c("#cba94a", "#4acba9", "#4a6ccb", "#cb694a", "#a94acb",
"red4","aquamarine4")

qgraph(corALLlag103.matrix, minimum=0,maximum=1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=thres, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels = F,
edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

lag0kail <- lagALLlag103.matrix

lag0kail[lag0kail==0] <- 0.001

color.ra = c("#cba94a", "#4acba9", "#4a6ccb", "#cb694a", "#a94acb",
"red4","aquamarine4")

qgraph(lag0kail, minimum=0,maximum=0.1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, bidirectional =T, color =
"#cba94a", labels = F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

# number of non-missing values

table(!is.na(corALLlag103.matrix))/2 # number of total connections

table(!is.na(lagALLlag103.matrix))/2 # number of total connections

a <- table(lagALLlag103.matrix)

a[names(a)==0]/2 # number of links with lag 0

a[names(a)==1] #number of links with lag 1

percentagelag0 =
((a[names(a)==0])/2)/((table(!is.na(corALLlag103.matrix))[2])/2) #number 8 represents the
double of non-(0 or 1 values in lagALL)

percentagelag1 = (a[names(a)==1])/((table(!is.na(corALLlag103.matrix))[2])/2)

```

```

#number 8 represents the double of non-(0 or 1 values in lagALL)

# pie chart for percentages of lag0 & 1 THRESHOLD 0.2

slices <- c(percentagelag1*100,percentagelag0*100)

lbls <- c("lag 1

", "lag 0

")

pct <- round(slices)

lbls <- paste(lbls, pct) # add percents to labels

lbls <- paste(lbls,"%",sep="") # ad % to labels

opar <- par(no.readonly = TRUE) # saving the original-default line thickness !

par(lwd=2)

pie(slices,labels = lbls, col=c("#ffc194","#94d2ff"),

main="", edges= 1000, radius= 0.7, init.angle =305, cex =1.3)

#correlations for lags 0 & 1 seperately threshold is 0.2 NOT 0.25

#IT IS NOT USED! SEE "CORRELATION LAG0, LAG1, LAG2"

listofcori.names <- colnames(ALLdaily103.table[2:49])

listofcori103 <- listoflags103 <- vector("list", length(listofcori.names))

names(listoflags103) <- names(listofcori103) <-listofcori.names

lagmax = 15

thres=0.2

for (i in 2:49 ) {

for (j in 2:49) {

corALLlag103 <- ccf(ALLdaily103.table[,i],ALLdaily103.table[,j],

lag.max=lagmax, na.action= na.exclude, plot = F)

```

```

        listofcori103[[i-1]][j-1] <- max(corALLlag103$acf[1:(lagmax*2+1)])

        listoflags103[[i-1]][j-1] <-
corALLlag103$lag[which.max(corALLlag103$acf[1:(lagmax*2+1)])]

    }

}

dimnamescor <- list(listofcori.names,listofcori.names)

corALLlag103.matrix0.2 <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnamescor)

for (i in 1:48) {

    corALLlag103.matrix0.2[,i] <- listofcori103[[i]]

}

corALLlag103.matrix0.2[corALLlag103.matrix0.2<thres] <- NA

diag(corALLlag103.matrix0.2) <- NA

dimnameslag <- list(listofcori.names,listofcori.names)

lagALLlag103.matrix0.2 <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnameslag)

for (i in 1:48) {

    lagALLlag103.matrix0.2[,i] <- listoflags103[[i]]

}

for (i in 1:48) {

    for (j in 1:48) {

        if (is.na(corALLlag103.matrix0.2[i,j]) == T ) {

```

```

lagALLlag103.matrix0.2[i,j] = NA

}

}

}

lag0 <- lagALLlag103.matrix0.2

lag0[!(lag0==0)] <- NA

cor0 <- corALLlag103.matrix0.2

for (i in 1:48) {

  for (j in 1:48) {

    if (is.na(lag0[i,j]) == T) {

      cor0[i,j] = NA

    }

  }

}

}

lag0[lag0==0] = 0.0001

# graph only for lag 0

qgraph(cor0, minimum=0,maximum=0.1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels
= F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

qgraph(lag0, minimum=0,maximum=0.1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels
= F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

# graph only for lag 1

lag1 <- lagALLlag103.matrix0.2

```

```

lag1[!(lag1==1)] <- NA

lag1[lag1<0] <- NA

cor1 <- corALLlag103.matrix0.2

for (i in 1:48) {

  for (j in 1:48) {

    if (is.na(lag1[i,j]) == T) {

      cor1[i,j] = NA

    }

  }

}

qgraph(cor1, minimum=0,maximum=0.1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels
= F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

qgraph(lag1, minimum=0,maximum=0.1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels
= F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

# correlation ratio wet period abovethreshold / yearly abovethreshold threshold is
0.2

corALLlag103.matrix.abovethress = corALLlag103.matrix0.2

```

```

corALLlag103.matrix.abovethress[corALLlag103.matrix.abovethress<thres] = NA

corALLlag103.matrix.abovethress[corALLlag103.matrix.abovethress<0] = NA

# counting number of connections above threshold

listofcori.names <- colnames(ALLdaily.table[2:49])

listofcori <- listoflags <- vector("list", length(listofcori.names))

names(listoflags) <- names(listofcori) <-listofcori.names

lagmax = 15

thres = 0.2

for (i in 2:49 ) {

  for (j in 2:49) {

    corALLlag <- ccf(ALLdaily.table[,i],ALLdaily.table[,j], lag.max=lagmax,
na.action= na.pass, plot = F)

    listofcori[[i-1]][j-1] <- max(corALLlag$acf[1:(lagmax*2+1)])

    listoflags[[i-1]][j-1] <- corALLlag$lag[which.max(corALLlag$acf[1:(lagmax*2+1)])]

  }

}

dimnamescor <- list(listofcori.names,listofcori.names)

corALLlag.matrix0.2 <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnamescor)

for (i in 1:48) {

  corALLlag.matrix0.2[,i] <- listofcori[[i]]

}

```



```

table(!is.na(corALLlag.matrix.abovethress))

thres=0.2

corALLlag.matrix.abovethress = corALLlag.matrix0.2

corALLlag.matrix.abovethress[corALLlag.matrix.abovethress<thres] = NA

corALLlag.matrix.abovethress[corALLlag.matrix.abovethress<0] = NA

corratiowetyear <- corALLlag103.matrix.abovethress/corALLlag.matrix.abovethress

# counting number of connections in wet period above threshold
table(!is.na(corALLlag103.matrix.abovethress))

# counting number of connections in yearly data above threshold
table(!is.na(corALLlag.matrix.abovethress))

# counting non-NA s in corratiowetyear
table(!is.na(corratiowetyear))

# counting ratios > 1 in corratiowetyear
table(!is.na(corratiowetyear[corratiowetyear>1]))

corratiowetyearover1 <- corratiowetyear

corratiowetyearover1[corratiowetyearover1<1] <- NA

qgraph(corratiowetyearover1, minimum=0,maximum=3, layout =
cords[1:48,], vsize = 1, threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels =
colnames(corALLlag.matrix), label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .9, color =
"#cba94a", labels = F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

# counting ratios < 1 in corratiowetyear
table(!is.na(corratiowetyear[corratiowetyear<1]))

corratiowetyearunder1 <- corratiowetyear

corratiowetyearunder1[corratiowetyearunder1>1] <- NA

```

```

qgraph(corratiowetyearunder1, minimum=0,maximum=3, layout =
cords[1:48,], vsize = 1, threshold=0, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels =
colnames(corALLlag.matrix), label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .9, color =
"#cba94a", labels = F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

# correlation for monthlysums

#Monthly precipitation correlation whole year

ALLmonthlysum.string <- ALLmonthlysum[order(ALLmonthlysum$station),]

rownames(ALLmonthlysum.string) <-
c(1:length(ALLmonthlysum.string$year))

ALLmonthlysum.string <- melt(ALLmonthlysum.string, na.rm=F,
id=c("station", "year"))

names(ALLmonthlysum.string)<- c("station", "year", "month",
"monthlysum")

ALLmonthlysum.string$month <- as.numeric(ALLmonthlysum.string$month)

ALLmonthlysum.string$year <-
as.numeric(levels(ALLmonthlysum.string$year)) [ALLmonthlysum.string$year]

ALLmonthlysum.string <-
ALLmonthlysum.string[order(ALLmonthlysum.string$station,ALLmonthlysum.string$year,
ALLmonthlysum.string$month), ]

ALLmonthlysum.date = data.frame(station = ALLmonthlysum.string$station)

ALLmonthlysum.date$date = as.yearmon(paste(ALLmonthlysum.string$year,
ALLmonthlysum.string$month), format="%Y%m")

ALLmonthlysum.date$rain = ALLmonthlysum.string$monthlysum

ALLmonthlysum.table = dcast(ALLmonthlysum.date, date~station)

ALLmonthlysum.table <-

```

```

ALLmonthlysum.table[1:nrow(ALLmonthlysum.table),1:49]

    cords_ordered <- metadata

    cords_ordered$station      <-      revalue(cords_ordered$station,
c("PALMA_DE_MALLORCA_/ _SON_SAN_JU"="MALLORCA"))

    cords_ordered$station <- as.character(cords_ordered$station)

    cords_ordered <-  cords_ordered[with(cords_ordered, order(station)),]

    cords_ordered <- cords_ordered[,3:4]

    cords_ordered <- as.matrix(cords_ordered)

    #finike, isparta, hon, istanbul, kastamonu, rize, sivas are excluded by
NA-ing the cols

    x <-c(14,18,20,21,22,41,46)

    ALLmonthlysum.table[,x] <- NA

    cor_monthly      <-cor(ALLmonthlysum.table[,2:49],      use      =
"pairwise.complete.obs")

    diag(cor_monthly)<-NA

    qqgraph(cor_monthly, minimum=0,maximum=1, layout = cords_ordered, vsize
= 1, threshold=0.5,      #label.scale      =F, label.cex      = 1, #labels      =
colnames(corALLlag.matrix), label.color = "#cb4a6c",

      font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color =
"#cba94a", labels = F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

    #Monthlysum OCT - MARCH

    ALLmonthlysum103.string      <-
ALLmonthlysum.string[which(ALLmonthlysum.string$month > 9 | ALLmonthlysum.string$month <
4),]

```

```

ALLmonthlysum103.date = data.frame(station =
ALLmonthlysum103.string$station)

ALLmonthlysum103.date$date =
as.yearmon(paste(ALLmonthlysum103.string$year,
ALLmonthlysum103.string$month),
format="%Y%m")

ALLmonthlysum103.date$rain = ALLmonthlysum103.string$monthlysum

ALLmonthlysum103.table = dcast(ALLmonthlysum103.date, date~station)

ALLmonthlysum103.table <- ALLmonthlysum103.table[1:282,1:49] #282 is
the number of the row with the December 2001 observations

#Monthly OCT - MARCH precipitation correlation

qgraph(cor(ALLmonthlysum103.table[,2:49],
use =
"pairwise.complete.obs"), minimum=0,maximum=1, layout = cords_ordered, vsize = 1,
threshold=0.5, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .9, color =
"#cba94a", labels = F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

#Monthly OCT - MARCH precipitation correlation w/o seasonality

datesforZOO <- ALLmonthlysum103.table[,1]

monthly.diff = function(data.set, dates = datesforZOO){

NoSta = ncol(data.set)

#missing rows due to NAs

a = data.set[,2] #na.omit(zoo(data.set[,2], dates))

mat = a-ave(a, format(time(a), "%m"))

for(i in 3:(NoSta)){

a = na.omit(zoo(data.set[,i], dates))

a.demean = a-ave(a, format(time(a), "%m"))

mat = merge(mat,a.demean)

}

```

```

return(mat)

}

aksl <- monthly.diff(ALLmonthlysum103.table)

ALLmonthlysum103.tableseasonality <- aksl

colnames(ALLmonthlysum103.tableseasonality) <-
colnames(ALLmonthlysum103.table[2:49])

corALLmonthlysum103 = cor(ALLmonthlysum103.tableseasonality[,1:48], use
= "pairwise.complete.obs")

cords_ordered <- metadata

cords_ordered$station <- revalue(cords_ordered$station,
c("PALMA_DE_MALLORCA/_SON_SAN_JU"="MALLORCA"))

cords_ordered$station <- as.character(cords_ordered$station)

cords_ordered <- cords_ordered[with(cords_ordered, order(station)),]

cords_ordered <- cords_ordered[,3:4]

cords_ordered <- as.matrix(cords_ordered)

#Monthly OCT - MARCH precipitation correlation w/o seasonality

thres = 0.5

qgraph(corALLmonthlysum103, minimum=0,maximum=1, layout =
cords_ordered, vsize = 1, threshold=thres, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels =
colnames(corALLlag.matrix), label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color =
"#cba94a", labels = F, edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

# ratio dry period - yearly rain for each station

```

```

# 1. calculated as the ratio of ALLdaily103.table / ALLdaily.table for each column

sumrain103 <- colSums(ALLdaily103.table[,2:49], na.rm=T)

sumrainyearly <- colSums(ALLdaily.table[,2:49], na.rm=T)

ratio103yearly <- sumrain103/sumrainyearly

ratio103yearly <- ratio103yearly*100

ratio103yearly.dframe <- data.frame(unlist(ratio103yearly))

ratio103yearly.dframe$station <- row.names.data.frame(ratio103yearly.dframe)

names(ratio103yearly.dframe) <- c("ratiowetannual", "station")

row.names(ratio103yearly.dframe) = c(1:48)

metadata_ratio103yearly.dframe<-merge(ratio103yearly.dframe,      metadata,      by.x=
"station", by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_ratio103yearly.dframe$ratiowetannual) # ratio of dry period rain

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff", "#73b9ff"
))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_ratio103yearly.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch
=16, cex =6*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

  panel=function(x, y, ...) {

    panel.xyplot(x, y, ...)

    panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

    panel.xyplot(x      =      metadata_ratio103yearly.dframe$Lon,      y      =
metadata_ratio103yearly.dframe$Lat, type = 'g')

    ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2))}

```

```

# 2. calculated as the mean of each year's ratio

ratio <-data.frame(matrix(NA, nrow=47, ncol=48))

print("The loop you are about to enter costs several minutes!")

for (i in 2:49 ) {

  for (yearnum in 1955:2001) {

    ratio[yearnum-1954,      i-1]      <-      sum(subset (ALLdaily103.table,
substr(date,1,4)==yearnum,
select=colnames (ALLdaily.table[i])),
na.rm=T)/sum(subset (ALLdaily.table,
select=colnames (ALLdaily.table[i])), na.rm=T)
substr(date,1,4)==yearnum,

  }

}

average_ratio <- apply(ratio, 2, mean, na.rm=T)

names(average_ratio) <- names(ratio103yearly)

average_ratio <- average_ratio*100

average_ratio.dframe <- data.frame(unlist(average_ratio))

average_ratio.dframe$station <- row.names.data.frame(average_ratio.dframe)

names(average_ratio.dframe) <- c("ratiowetannual", "station")

row.names(average_ratio.dframe) = c(1:48)

metadata_average_ratio.dframe<-merge(average_ratio.dframe, metadata, by.x= "station",
by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_average_ratio.dframe$ratiowetannual) # ratio of dry period rain

rr2 <- range(z)

```

```

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff", "#73b9ff"
))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_average_ratio.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch
=16, cex =6*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_average_ratio.dframe$Lon, y =
metadata_average_ratio.dframe$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2))

# annual mean for each station

ALLmonthlysum <- rbind(greecemonthlysum,restmonthlysum)

ALLannualsum <- apply(ALLmonthlysum[,2:13], 1, sum, na.rm=TRUE)

ALLannualsum <- data.frame(year=ALLmonthlysum[,1], rain=as.numeric(ALLannualsum),
station=ALLmonthlysum[,14])

ALLannualmean <- tapply(ALLannualsum$rain, ALLannualsum$station, mean)

ALLannualmean.dframe <- data.frame(unlist(ALLannualmean))

ALLannualmean.dframe$station <- row.names.data.frame(ALLannualmean.dframe)

ALLannualmean.dframe[ALLannualmean.dframe=="MALLORCA"] <-
("PALMA_DE_MALLORCA/_SON_SAN_JU")

names(ALLannualmean.dframe) <- c("annualmean", "station")

row.names(ALLannualmean.dframe) = c(1:48)

```



```

metadata_ALLannualmean.dframe<-merge(ALLannualmean.dframe, metadata, by.x= "station",
by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_ALLannualmean.dframe$annualmean)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffe6bf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff",
"#73b9ff"))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_ALLannualmean.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch
=16, cex =0.002*z+2, xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_ALLannualmean.dframe$Lon, y =
metadata_ALLannualmean.dframe$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2))

# annual SD for each station

ALLannualsd <- tapply(ALLannualsum$rain, ALLannualsum$station, sd, na.rm=TRUE)

ALLannualsd.dframe <- data.frame(unlist(ALLannualsd))

ALLannualsd.dframe$station <- row.names.data.frame(ALLannualsd.dframe)

ALLannualsd.dframe[ALLannualsd.dframe=="MALLORCA"] <-
("PALMA_DE_MALLORCA/_SON_SAN_JU")

names(ALLannualsd.dframe) <- c("annualsd", "station")

row.names(ALLannualsd.dframe) = c(1:48)

```

```

metadata_ALLannualsd.dframe<-merge(ALLannualsd.dframe, metadata, by.x= "station",
by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_ALLannualsd.dframe$annualsd)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffe6bf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff",
"#73b9ff"))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_ALLannualsd.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch
=16, cex =0.01*z+2, xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_ALLannualsd.dframe$Lon, y =
metadata_ALLannualsd.dframe$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2))

# daily MAX (of ALL years) for each station

ALLdailymax <- apply(ALLdaily.table[,2:49], 2, max, na.rm=TRUE)

ALLdailymax.dframe <- data.frame(unlist(ALLdailymax))

ALLdailymax.dframe$station <- row.names.data.frame(ALLdailymax.dframe)

ALLdailymax.dframe[ALLdailymax.dframe=="MALLORCA"] <-
("PALMA_DE_MALLORCA/_SON_SAN_JU")

names(ALLdailymax.dframe) <- c("dailymax", "station")

row.names(ALLdailymax.dframe) = c(1:48)

```

```

metadata_ALLdailymax.dframe<-merge(ALLdailymax.dframe, metadata, by.x= "station",
by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_ALLdailymax.dframe$dailymax)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff", "#73b9ff"
))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_ALLdailymax.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch
=16, cex =0.01*z+2, xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_ALLdailymax.dframe$Lon, y =
metadata_ALLdailymax.dframe$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2))

# CV - variance coefficient

ALLannualCV.dframe <- ALLannualsd.dframe[,1]/ALLannualmean.dframe[,1]

ALLannualCV.dframe <- ALLannualCV.dframe*100

ALLannualCV.dframe <- data.frame(unlist(ALLannualCV.dframe))

ALLannualCV.dframe$station <- row.names.data.frame(ALLannualCV.dframe)

ALLannualCV.dframe[ALLannualCV.dframe=="MALLORCA"] <-
("PALMA_DE_MALLORCA/_/_SON_SAN_JU")

names(ALLannualCV.dframe) <- c("annualcv", "station")

row.names(ALLannualCV.dframe) = c(1:48)

```

```

metadata_ALLannualCV.dframe<-merge(ALLannualCV.dframe, metadata, by.x= "station",
by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_ALLannualCV.dframe$annualcv)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff",
"#73b9ff"))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_ALLannualCV.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch
=16, cex =0.01*z+2, xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_ALLannualCV.dframe$Lon, y =
metadata_ALLannualCV.dframe$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2)})

## correlations only for lag 0 thres 0.2

listofcori.names <- colnames(ALLdaily103.table[2:49])

#listofcori0103 <- vector("list", length(listofcori.names))

#names(corALLlag0103) <-listofcori.names

corALLlag0103.matrix <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,

```

```

dimnames=listofcori.names)

thres <- 0.20

corALLlag0103.matrix <- cor(ALLdaily103.table[,2:49], ALLdaily103.table[,2:49], use
= "pairwise.complete.obs")

sjd0 <- corALLlag0103.matrix

sjd0[sjd0<thres] <- NA

diag(sjd0) <- NA

color.ra = c("#cba94a", "#4acba9", "#4a6ccb", "#cb694a", "#a94acb",
"red4","aquamarine4")

qgraph(corALLlag0103.matrix, minimum=0,maximum=1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=thres, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .9, color = "#cba94a", labels = F,
edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

numberofedges0 <- apply(sjd0, 2, function(x) length(which(!is.na(x))))

numberofedges0

```

```

par(las=1)

barplot(numberofedges0, main="Number of edges", horiz=TRUE,

        names.arg=colnames(sjd0), border = F, cex.names= 0.5, col = "#7EA999",
cex.axis = 0.7)

## correlations only for lag 1 thres 0.2

listofcori.names <- colnames(ALLdaily103.table[2:49])

listofcori1103 <- vector("list", length(listofcori.names))

names(listofcori1103) <-listofcori.names

lag1 <-1

thres <- 0.2

for (i in 2:49 ) {

  for (j in 2:49) {

## NA EXCLUDE

    corALLlag1103 <- ccf(ALLdaily103.table[,i],ALLdaily103.table[,j], lag.max=lag1,
na.action= na.exclude, plot = F)

    listofcori1103[[i-1]][j-1] <- corALLlag1103$acf[lag1*2+1]

  }

}

dimnamescor <- list(listofcori.names,listofcori.names)

corALLlag1103.matrix <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnamescor)

for (i in 1:48) {

  corALLlag1103.matrix[,i] <- listofcori1103[[i]]

```

```

}

#sjd <- abs(corALLlag1103.matrix)

#sjd[sjd<thres] <- NA

#diag(sjd) <- NA

corALLlag1103.matrix[corALLlag1103.matrix< thres] <- NA

diag(corALLlag1103.matrix) <- NA

thres = 0.2

color.ra = c("#cba94a", "#4acba9", "#4a6ccb", "#cb694a", "#a94acb",
"red4","aquamarine4")

qgraph(corALLlag1103.matrix, minimum=0,maximum=1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=thres, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= F, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels = F,
edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

numberofedges1a <- apply(corALLlag1103.matrix, 2, function(x)
length(which(!is.na(x))))

numberofedges1a

numberofedges1b <- apply(corALLlag1103.matrix, 1, function(x)
length(which(!is.na(x))))

numberofedges1b

numberofedges1 <- numberofedges1a + numberofedges1b

```

```

par(las=1)

barplot(numberofedges1, main="Number of edges", horiz=TRUE,

        names.arg=colnames(corALLlag1103.matrix), border= F, cex.names= 0.5, col =
"#7EA999", cex.axis = 0.7)

# correlation for lag 2

listofcori.names <- colnames(ALLdaily103.table[2:49])

listofcori2103 <- vector("list", length(listofcori.names))

names(listofcori2103) <-listofcori.names

lag2 <-2

thres <- 0.15

for (i in 2:49 ) {

  for (j in 2:49) {

    corALLlag2103 <- ccf(ALLdaily103.table[,i],ALLdaily103.table[,j], lag.max=lag2,
na.action= na.exclude, plot = F)

    listofcori2103[[i-1]][j-1] <- corALLlag2103$acf[lag2*2+1]

  }

}

dimnamescor <- list(listofcori.names,listofcori.names)

corALLlag2103.matrix <- matrix(data= NA, nrow=48, ncol=48, byrow = FALSE,
dimnames=dimnamescor)

for (i in 1:48) {

  corALLlag2103.matrix[,i] <- listofcori2103[[i]]

}

```



```

#sjd2 <- abs(corALLlag2103.matrix)

#sjd2[sjd2<thres] <- NA

#diag(sjd2) <- NA

corALLlag2103.matrix[corALLlag2103.matrix<thres] <- NA

diag(corALLlag2103.matrix) <- NA

thres = 0

color.ra = c("#cba94a", "#4acba9", "#4a6ccb", "#cb694a", "#a94acb",
"red4","aquamarine4")

qgraph(corALLlag2103.matrix, minimum=0,maximum=1, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=thres, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels = F,
edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

numberofedges2a <- apply(corALLlag2103.matrix, 2, function(x)
length(which(!is.na(x))))

numberofedges2a

numberofedges2b <- apply(corALLlag2103.matrix, 1, function(x)
length(which(!is.na(x))))

numberofedges2b

numberofedges2 <- numberofedges2a + numberofedges2b

par(las=1)

barplot(numberofedges2, main="Number of edges", horiz=TRUE,

names.arg=colnames(corALLlag2103.matrix), border= F, cex.names= 0.5, col =
"#7EA999", cex.axis = 0.7)

## possibility of raining 3 to 5 consecutive days

```

```

countblocks <- matrix(data= 0, nrow=1, ncol=48)

colnames(countblocks) <- dimnamescor[[1]]

rownames(countblocks) <- "blocks"

count4nonnato5 <- matrix(data= 0, nrow=1, ncol=48)

colnames(count4nonnato5) <- dimnamescor[[1]]

rownames(count4nonnato5) <- "4nonnato5"

x <- y <- 0

for (i in 2:49) {

  for (j in 1:8562) {

    if (!is.na(ALLdaily103.table[j,i]) == T) {

      y <- y+1

      if (ALLdaily103.table[j,i]>5) {

        x <- x + 1

      }

    }

    if (!is.na(ALLdaily103.table[j+1,i]) == T) {

      y <- y+1

      if (ALLdaily103.table[j+1,i]>5) {

        x <- x + 1

      }

    }

    if (!is.na(ALLdaily103.table[j+2,i]) == T) {

      y <- y+1

```

```

if (ALLdaily103.table[j+2,i]>5) {

  x <- x + 1

}

}

if (!is.na(ALLdaily103.table[j+3,i]) == T) {

  y <- y+1

  if (ALLdaily103.table[j+3,i]>5) {

    x <- x + 1

  }

}

if (!is.na(ALLdaily103.table[j+4,i]) == T) {

  y <- y+1

  if (ALLdaily103.table[j+4,i]>5) {

    x <- x + 1

  }

}

if (y>3) {          ### number 3 or 4 to count only blocks with 4to5 or 5to5
non NA's

  count4nonnato5[i-1] <- count4nonnato5[i-1] + 1

}

if (x>2) {

  countblocks[i-1] <- countblocks[i-1] + 1

}

x <- y <- 0

}

}

```

```

pass3to5 <-countblocks/count4nonnato5

pass3to5 <- pass3to5*100

pass3to5 <-t(pass3to5)

pass3to5.dframe <- data.frame(pass3to5)

pass3to5.dframe$station <- row.names(pass3to5)

names(pass3to5.dframe) <- c("possibility3to5", "station")

row.names(pass3to5.dframe) = c(1:48)

metadata_pass3to5.dframe<-merge(pass3to5.dframe, metadata, by.x= "station", by.y=
"station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_pass3to5.dframe$possibility3to5) # ratio of dry period rain

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff", "#73b9ff"
))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_pass3to5.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch =16,
cex =10*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_pass3to5.dframe$Lon, y =
metadata_pass3to5.dframe$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2))

## possibility of raining 3 to 5 consecutive days

countblocks <- matrix(data= 0, nrow=1, ncol=48)

```

```

colnames(countblocks) <- dimnamescor[[1]]

rownames(countblocks) <- "blocks"

count4nonnato5 <- matrix(data= 0, nrow=1, ncol=48)

colnames(count4nonnato5) <- dimnamescor[[1]]

rownames(count4nonnato5) <- "4nonnato5"

x <- y <- 0

for (i in 2:49) {

  for (j in 1:8562) {

    if (!is.na(ALLdaily103.table[j,i]) == T) {

      y <- y+1

      if (ALLdaily103.table[j,i]>10) {

        x <- x + 1

      }

    }

  }

  if (!is.na(ALLdaily103.table[j+1,i]) == T) {

    y <- y+1

    if (ALLdaily103.table[j+1,i]>10) {

      x <- x + 1

    }

  }

  if (!is.na(ALLdaily103.table[j+2,i]) == T) {

    y <- y+1

    if (ALLdaily103.table[j+2,i]>10) {

      x <- x + 1

    }

  }

}

```

```

    }

}

if (!is.na(ALLdaily103.table[j+3,i]) == T) {

  y <- y+1

  if (ALLdaily103.table[j+3,i]>10) {

    x <- x + 1

  }

}

if (!is.na(ALLdaily103.table[j+4,i]) == T) {

  y <- y+1

  if (ALLdaily103.table[j+4,i]>10) {

    x <- x + 1

  }

}

if (y>4) {          ### number 3 or 4 to count only blocks with 4to5 or 5to5
non NA's

  count4nonnato5[i-1] <- count4nonnato5[i-1] + 1

}

if (x>2) {

  countblocks[i-1] <- countblocks[i-1] + 1

}

x <- y <- 0

}

}

```

```

pass3to5 <-countblocks/count4nonnato5

pass3to5 <- pass3to5*100

pass3to5 <-t(pass3to5)

pass3to5.dframe <- data.frame(pass3to5)

pass3to5.dframe$station <- row.names(pass3to5)

names(pass3to5.dframe) <- c("possibility3to5", "station")

row.names(pass3to5.dframe) = c(1:48)

metadata_pass3to5.dframe<-merge(pass3to5.dframe, metadata, by.x= "station", by.y=
"station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_pass3to5.dframe$possibility3to5) # ratio of dry period rain

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff", "#73b9ff"
))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_pass3to5.dframe, col = col.for.sd[rank(z)], pch =16,
cex =10*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

  panel=function(x, y, ...) {

    panel.xyplot(x, y, ...)

    panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

    panel.xyplot(x = metadata_pass3to5.dframe$Lon, y =
metadata_pass3to5.dframe$Lat, type = 'g')

    ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1, cex=1.2))

# WHOLE YEAR

# calculating times that rained after a rainy day

productALLdaily <- ALLdaily.table[1:17167, 2:49] * ALLdaily.table[2:17168, 2:49]

rainafterrain <-data.frame(matrix(NA, ncol=48, nrow=2))

```

```

names(rainafterrain) <- names(productALLdaily)

for (i in 1:48) {

  rainafterrain[,i] <- table(productALLdaily[,i]>0, useNA="no")

}

rainafterrain <- rainafterrain[2,]

# calculating how many times it rained in each station

raindays <- data.frame(matrix(NA, ncol=48, nrow=2))

names(raindays) <- names(ALLdaily.table[2:49])

for (i in 1:48) {

  raindays[,i] <- table(ALLdaily.table[,i+1]>0, useNA="no") ## counts all rainy
days, even if next day is NA!!!

} ##after this step, first row of raindays is the number of dry days and second
row number of wet days (rain>0)

raindays <- raindays[2,] ## we keep only the raindays in one row data frame

# ratio rainafterrain/raindays

chanceofrainafterrain <- rainafterrain/ raindays

chanceofrainafterrain <- chanceofrainafterrain*100

chanceofrainafterrain.dframe <- data.frame(unlist(chanceofrainafterrain))

chanceofrainafterrain.dframe$station <-
row.names.data.frame(chanceofrainafterrain.dframe)

```



```

names(chanceofrainafterrain.dframe) <- c("chanceofrainafterrain", "station")

row.names(chanceofrainafterrain.dframe) = c(1:48)

metadata_chanceofrainafterrain <- merge(chanceofrainafterrain.dframe, metadata,
by.x= "station", by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_chanceofrainafterrain$chanceofrainafterrain)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff",
"#73b9ff" ))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_chanceofrainafterrain, col = col.for.sd[rank(z)],
pch =16, cex =6*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_chanceofrainafterrain$Lon, y =
metadata_chanceofrainafterrain$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1,
cex=1.2)})

# chance of rain any day - raindays/non NA days whole year

numberofNONNA <- apply(ALLdaily.table[,2:49], 2, function(x)
length(which(!is.na(x))))

chanceofrain <- raindays/numberofNONNA

```

```

chanceofrain <- chanceofrain*100

chanceofrain.dframe <- data.frame(unlist(chanceofrain))

chanceofrain.dframe$station <- row.names.data.frame(chanceofrain.dframe)

names(chanceofrain.dframe) <- c("chanceofrain", "station")

row.names(chanceofrain.dframe) = c(1:48)

metadata_chanceofrain <- merge(chanceofrain.dframe, metadata, by.x= "station",
by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_chanceofrain$chanceofrain)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff",
"#73b9ff" ))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_chanceofrain, col = col.for.sd[rank(z)], pch =16,
cex =6*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_chanceofrain$Lon, y =
metadata_chanceofrain$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1,
cex=1.2)})

```

```

# PERIOD OCT-MAR

# calculating times that rained after a rainy day

productALLdaily103      <-      ALLdaily103.table[1:17167,      2:49]      *
ALLdaily103.table[2:17168, 2:49]

rainafterrain103 <-data.frame(matrix(NA, ncol=48, nrow=2))

names(rainafterrain103) <- names(productALLdaily103)

for (i in 1:48) {

  rainafterrain103[,i] <- table(productALLdaily103[,i]>0, useNA="no")

}

rainafterrain103 <- rainafterrain103[2,]

# calculating how many times it rained in each station

raindays103 <- data.frame(matrix(NA, ncol=48, nrow=2))

names(raindays103) <- names(ALLdaily103.table[2:49])

for (i in 1:48) {

  raindays103[,i] <- table(ALLdaily103.table[,i+1]>0, useNA="no")

}

raindays103 <- raindays103[2,]

# calculating how many days had NO rain in each station

NOraindays103 <- data.frame(matrix(NA, ncol=48, nrow=2))

names(NOraindays103) <- names(ALLdaily103.table[2:49])

```

```

        for (i in 1:48) {
            NOraindays103[,i] <- table(ALLdaily103.table[,i+1]==0,
useNA="no")
        }

        NOraindays103 <- NOraindays103[2,]

# ratio rainafterrain/raindays

chanceofrainafterrain103 <- rainafterrain103/ raindays103

chanceofrainafterrain103 <- chanceofrainafterrain103*100

chanceofrainafterrain103.dframe <- data.frame(unlist(chanceofrainafterrain103))

chanceofrainafterrain103.dframe$station <-
row.names.data.frame(chanceofrainafterrain103.dframe)

names(chanceofrainafterrain103.dframe) <- c("chanceofrainafterrain", "station")

row.names(chanceofrainafterrain103.dframe) = c(1:48)

metadata_chanceofrainafterrain103 <- merge(chanceofrainafterrain103.dframe,
metadata, by.x= "station", by.y= "station")

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_chanceofrainafterrain103$chanceofrainafterrain)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff",
"#73b9ff" ))(length(z))

```

```

    xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_chanceofrainafterrain103, col =
col.for.sd[rank(z)], pch =16, cex =6*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

    panel=function(x, y, ...) {

        panel.xyplot(x, y, ...)

        panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

        panel.xyplot(x = metadata_chanceofrainafterrain103$Lon, y =
metadata_chanceofrainafterrain103$Lat, type = 'g')

        ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1,
cex=1.2)})

# chance of rain any day - raindays/non NA days OCT - MARCH

    numberofNONNA103 <- apply(ALLdaily103.table[,2:49], 2, function(x)
length(which(!is.na(x))))

    chanceofrain103 <- raindays103/numberofNONNA103

    chanceofrain103 <- chanceofrain103*100

    chanceofrain103.dframe <- data.frame(unlist(chanceofrain103))

    chanceofrain103.dframe$station <- row.names.data.frame(chanceofrain103.dframe)

    names(chanceofrain103.dframe) <- c("chanceofrain", "station")

    row.names(chanceofrain103.dframe) = c(1:48)

    metadata_chanceofrain103 <- merge(chanceofrain103.dframe, metadata, by.x=
"station", by.y= "station")

```

```

mm <- map('worldHires', xlim = c(-20,48), ylim = c(25,55))

z <- (metadata_chanceofrain103$chanceofrain)

rr2 <- range(z)

col.for.sd <- colorRampPalette(c("#ffefbf", "#ffffbf", "#bfdfff", "#8cc6ff",
"#73b9ff" ))(length(z))

xyplot(Lat ~ Lon, data=metadata_chanceofrain103, col = col.for.sd[rank(z)], pch
=16, cex =6*z/max(z), xlab = "", ylab = "",

panel=function(x, y, ...) {

panel.xyplot(x, y, ...)

panel.lines(mm$x, mm$y, col = "black")

panel.xyplot(x = metadata_chanceofrain103$Lon, y =
metadata_chanceofrain103$Lat, type = 'g')

ltext(x=x, y=y, labels=formatC(z,digits=0, format="f"), offset=1,
cex=1.2)})

#calculating how many times it rained OVER 10mm in each station

raindays10310 <- data.frame(matrix(NA, ncol=48, nrow=2))

names(raindays10310) <- names(ALLdaily103.table[2:49])

for (i in 1:48) {

raindays10310[,i] <- table(ALLdaily103.table[,i+1]>10, useNA="no")

}

raindays10310 <- raindays10310[2,]

## possibility of raining in a neighbour station (j+1) the next day, after raining
in a station (j)

```

```

countrain_rainplus1 <- matrix(data= 0, nrow=48, ncol=48)

colnames(countrain_rainplus1) <- rownames(countrain_rainplus1) <- dimnamescor[[1]]

countraindays <- matrix(data= 0, nrow=48, ncol=48)

colnames(countraindays) <- rownames(countraindays) <- dimnamescor[[1]]

for (k in 2:49) {
  for (i in 2:49) {
    for (j in 1:8565) {
      if (!is.na(ALLdaily103.table[j,k]) == T) {
        if (ALLdaily103.table[j,k]>0 & !is.na(ALLdaily103.table[j+1,i]) == T) {
          countraindays[k-1,i-1] <- countraindays[k-1,i-1] + 1
          if ( ALLdaily103.table[j+1, i]>0) {
            countrain_rainplus1[k-1,i-1] <- countrain_rainplus1[k-1,i-1] + 1
          }
        }
      }
    }
  }
}

possrain_rainplus1 <- countrain_rainplus1/countraindays

possrain_rainplus1 <- possrain_rainplus1*100

for (i in 1:48) {
  for (j in 1:48) {

```

```

if (!is.na(possrain_rainplus1[i,j])==T & !is.na(possrain_rainplus1[j,i])==T)

  if (possrain_rainplus1[i,j] > possrain_rainplus1[j,i]) {

    possrain_rainplus1[j,i] <- NA

  } else {

    possrain_rainplus1[i,j] <- NA

  }

}

}

```

```

qgraph(possrain_rainplus1, minimum=0,maximum=60, layout = cords[1:48,], vsize = 1,
threshold=65, #label.scale =F, label.cex = 1, #labels = colnames(corALLlag.matrix),
label.color = "#cb4a6c",

font= 11,edge.labels= T, edge.label.cex = .8, color = "#cba94a", labels = F,
edge.width = 0.3, edge.color = 'black')

```

```

thres = 65

```

```

sjdposs1 <- possrain_rainplus1

```

```

sjdposs1[sjdposs1<thres] <- NA

```

```

numberofedgesposs1a <- apply(sjdposs1, 2, function(x) length(which(!is.na(x))))

```

```

numberofedgesposs1a

```

```

numberofedgesposs1b <- apply(sjdposs1, 1, function(x) length(which(!is.na(x))))

```



```

numberofedgesposs1b

numberofedgesposs1 <- numberofedgesposs1a + numberofedgesposs1b

par(las=1)

barplot(numberofedgesposs1, main="

      Number of edges", horiz=TRUE,

      names.arg=UNofficial_namesforbplots, border= F, cex.names= 0.5, col =
"#7EA999", cex.axis = 0.7)

### for CORRELATION - PROBABILITY TABLE. RATIO: possrain_rainplus1/chanceofrain103

# dividing each COLUMN with the corresponding chanceofrain103, FULL table

countrain_rainplus1FULL <- matrix(data= 0, nrow=48, ncol=48)

colnames(countrain_rainplus1FULL) <- rownames(countrain_rainplus1FULL) <-
dimnamescor[[1]]

countraindaysFULL <- matrix(data= 0, nrow=48, ncol=48)

colnames(countraindaysFULL) <- rownames(countraindaysFULL) <- dimnamescor[[1]]

for (k in 2:49) {

  for (i in 2:49) {

    for (j in 1:8565) {

      if (!is.na(ALLdaily103.table[j,k]) == T) {

        if (ALLdaily103.table[j,k]>0 & !is.na(ALLdaily103.table[j+1,i]) == T) {

          countraindaysFULL[k-1,i-1] <- countraindaysFULL[k-1,i-1] +1

```

