

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΤΥΠΟΥΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Κωστοπούλου Ε.¹, Τολικά Κ.², Αναγνωστοπούλου Χ.², Μαχαίρας Π.²

¹ Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης
² Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας

Περίληψη

Η παρούσα εργασία έχει ως στόχο να ερευνήσει τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στους τύπους κυκλοφορίας που χαρακτηρίζουν την Ελληνική περιοχή σε σχέση με τις ακραίες βροχοπτώσεις. Για τη πραγματοποίηση της χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης, για έναν ορισμένο αριθμό σταθμών της Ελληνικής περιοχής, κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 1958-2000. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το ημερήσιο ημερολόγιο τύπων κυκλοφορίας της Ελληνικής περιοχής βασισμένο στην επιφάνεια των 500hPa. Ειδικότερα, κάθε τύπος κυκλοφορίας, αντικυκλωνικός ή κυκλωνικός, χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη συνοπτική κατάσταση που καθορίζει η ροή των ανέμων πάνω από την Ελληνική περιοχή. Οι ακραίες βροχοπτώσεις μελετήθηκαν με τη χρήση δεικτών. Υπάρχει ένα πλήθος δεικτών στη διεθνή βιβλιογραφία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των ακραίων καταστάσεων. Η επιλογή των δεικτών στη παρούσα εργασία βασίστηκε στην ικανότητα τους να περιγράφουν καλύτερα τις ακραίες καταστάσεις στην Ελληνική περιοχή. Επιλέχθηκαν οι ποσοστιαίοι δείκτες της βροχόπτωσης και δείκτες που εκφράζουν την ιδιαίτερη κλιματική κατάσταση της Ελληνικής περιοχής. Στο πρώτο στάδιο της ανάλυσης υπολογίστηκαν οι τάσεις των δεικτών σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$. Από τα πρώτα αποτελέσματα παρατηρήθηκε ότι οι δείκτες της βροχόπτωσης εμφανίζουν τάση, η σημαντικότητα της οποίας διαφέρει ανάλογα με τη περιοχή και την εποχή. Στο δεύτερο και τελικό στάδιο της εργασίας εντοπίζεται η σχέση που εμφανίζουν συγκεκριμένοι τύποι κυκλοφορίας (αντικυκλωνικοί ή κυκλωνικοί) με τους δείκτες της ακραίας βροχόπτωσης.

EXTREME PRECIPITATION EVENTS IN GREECE AND THEIR RELATIONS WITH CIRCULATION TYPES

Kostopoulou E.¹, Tolika K.², Anagnostopoulou C.², Maheras P.²

¹ National Observatory of Athens,

Institute for Environmental Research and Sustainable Development

²Aristotle University of Thessaloniki, Department of Geology, Division of Meteorology-Climatology

Abstract

Aim of this work is to study the relationships between circulation patterns and extreme precipitation events in Greece. Daily precipitation data during the period 1958-2000 were used from a number of Greek stations, as well as daily calendars of the circulation types at the 500hPa, which affect the Greek region. In particular, each type (anticyclonic or cyclonic) corresponds to a specific synoptic pattern with typical directions of the prevailing airflow. The extreme events were analysed by calculating indices of extreme precipitation. Several indices are used for the analysis of extreme climatic events. The indices used here were chosen so as to describe better extreme events in the area of Greece. Percentile-based indices of precipitation extremes were chosen adequate to outline the climate conditions of Greece. In the first stage of the analysis the trends of the indices were calculated at the significance level of 0.05. Primarily results revealed trends in the precipitation indices, which

vary by region and season. In the final stage of the study, the relationships between certain circulation types with indices of extreme precipitation are discussed.

Λέξεις κλειδιά: ακραία φαινόμενα, βροχόπτωση, τύποι κυκλοφορίας.

Key words: extreme events, precipitation, circulation types.

1. Εισαγωγή

Η αλλαγή του κλίματος και οι ακραίες καιρικές συνθήκες που παρατηρούνται όλο και συχνότερα τα τελευταία χρόνια έχουν προβληματίσει τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Διάφορα ερευνητικά προγράμματα επικεντρώθηκαν στην ανάλυση τέτοιων φαινομένων φιλοδοξώντας να συνεισφέρουν στην κατανόηση των αιτιών που τα προκαλούν και να προτείνουν λύσεις για την αντιμετώπιση των καταστροφικών συνεπειών τους. Βροχοπτώσεις που συνδέονται με μεγάλα ύψη βροχής συγκαταλέγονται ανάμεσα στα πιο μελετούμενα ακραία φαινόμενα διότι έχουν επιπτώσεις σε σημαντικούς κοινωνικό-οικονομικούς τομείς. Στην περιοχή της Μεσογείου έχει παρατηρηθεί μια γενική τάση ελάττωσης των βροχοπτώσεων (IPCC, 2001) όπως και της συχνότητας των 'βροχοφόρων' τύπων κυκλοφορίας (Maheras *et al.*, 1999; Kostopoulou and Jones, 2007). Ωστόσο, οι μεταβολές που παρατηρούνται είναι πολυπλοκότερες κυρίως όσον αφορά σε φαινόμενα ακραίας βροχόπτωσης. Μια πρόσφατη μελέτη (Kostopoulou and Jones, 2005) υποδεικνύει ότι κατά την περίοδο 1958-2000 παρατηρήθηκε αύξηση των βροχοπτώσεων στην κεντρική Μεσόγειο, τόσο σε επίπεδο ετήσιου ύψους, όσο και σε αριθμό και ένταση επεισοδίων ακραίας βροχόπτωσης. Αντίθετα, η ανατολική Μεσόγειος εμφανίζει τάση ξήρανσης με αυξανόμενες περιόδους συνεχών ξηρών ημερών. Η παρούσα εργασία στοχεύει στη μελέτη των φαινομένων ακραίας βροχόπτωσης σε πέντε σταθμούς της Ελληνικής περιοχής. Οι σταθμοί επιλέχθηκαν σε χαμηλό υψόμετρο (παράκτιοι ή νησιωτικοί) ώστε να μελετηθούν βροχοπτώσεις που οφείλονται κυρίως στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία και όχι στην αλληλεπίδραση με τοπικούς παράγοντες (ορογραφία). Αρχικά γίνεται στατιστική ανάλυση των ακραίων βροχοπτώσεων, ενώ στη συνέχεια μελετούνται οι συνοπτικές καταστάσεις που συνδέονται με ακραία φαινόμενα.

2. Δεδομένα

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα υψών βροχής που προέρχονται από πέντε μετεωρολογικούς σταθμούς (Αλεξανδρούπολη, Μυτιλήνη, Σκύρος, Σάμος και Ηράκλειο), οι οποίοι δέχονται την επίδραση του Αιγαίου Πελάγους. Η περίοδος μελέτης καλύπτει τα έτη από το 1958 ως το 2000. Λόγω του γεγονότος ότι στον ελλαδικό χώρο τα ύψη βροχής κατά τη θερμή θερινή περίοδο είναι χαμηλά ως και αμελητέα, η μελέτη επικεντρώθηκε στην ψυχρή – υγρή περίοδο Οκτωβρίου – Απριλίου. Οι χρονοσειρές που επιλέχθηκαν δεν περιλαμβάνουν ελλείπουσες τιμές και σύμφωνα με το τεστ ομοιογένειας Alexandersson (Alexandersson, 1986) έχουν κριθεί ως ομοιογενείς.

Οι τύποι κυκλοφορίας που αναλύθηκαν προέρχονται από μια νέα αυτόματη κατάταξη, βασισμένη στην προηγούμενη κατάταξη των Maheras and Anagnostopoulou (2003) και η οποία περιγράφεται αναλυτικά από τους Anagnostopoulou *et al.*, 2007. Στην νέα αυτή κατάταξη, ο αριθμός των τύπων κυκλοφορίας έχει μειωθεί στους 12. Η κυριότερη όμως βελτίωσή της, έγκειται στο ότι παρουσιάζει την ευελιξία να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ολόκληρη τη Μεσόγειο και όχι μόνο στην Ελληνική περιοχή. Για τη δημιουργία του ημερήσιου ημερολογίου των τύπων κυκλοφορίας για τη στάθμη των 500hPa χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα Re-analysis NCEP/NCAR (Kalnay *et al.*, 1996), για ένα χωρικό παράθυρο που καλύπτει ολόκληρο τον ευρωπαϊκό χώρο και με ανάλυση $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$. Για κάθε σταθμό έγινε ξεχωριστή κατάταξη, το κέντρο της οποίας αλλάζει ανάλογα με τη γεωγραφική θέση του σταθμού, στο σημείο πλέγματος που είναι πλησιέστερα σε αυτόν. Έτσι, στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν τα ακόλουθα κέντρα:

- α) Για το σταθμό της Αλεξανδρούπολης (κέντρο: 25° Ανατολικά και 40° Βόρεια)
- β) για το σταθμό της Μυτιλήνης (κέντρο: 25° Ανατολικά και 40° Βόρεια)
- γ) για το σταθμό της Σκύρου (κέντρο: 25° Ανατολικά και 37.5° Βόρεια)
- δ) για το σταθμό της Σάμου (κέντρο: 25° Ανατολικά και 30° Βόρεια)
- ε) και για το σταθμό του Ηρακλείου (κέντρο: 27.5° Ανατολικά και 37.5° Βόρεια)

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι για τη μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκε ο ακραίος δείκτης του 95^{ου} ποσοστημορίου. Ένας τέτοιος ποσοστιαίος δείκτης προτιμάται σε σχέση με κάποιο δείκτη καθορισμένου κατώφλιου, διότι είναι συγκρίσιμος για περιοχές που παρουσιάζουν διαφορετικά κλιματικά και βροχομετρικά τοπικά χαρακτηριστικά.

3. Στατιστική ανάλυση των ακραίων φαινομένων βροχής

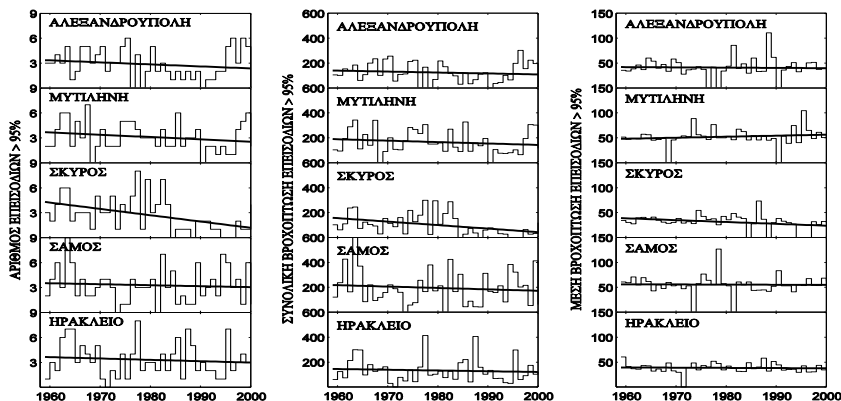
Η στατιστική ανάλυση ακραίων τιμών προτείνει τη χρήση ανωτέρων/κατωτέρων ορίων για τον καθορισμό των ακραίων τιμών. Τα όρια αυτά που είναι γνωστά ως κατώφλια, είναι απόλυτες τιμές ή ποσοστημόρια (percentiles). Ως ποσοστημόριο p ορίζεται η τιμή των διατεταγμένων τιμών μιας κατανομής, όπου τουλάχιστον το $100p$ % των δεδομένων είναι κάτω και το $100(1-p)$ % είναι πάνω από αυτήν την τιμή. Στην περίπτωση μελετών ακραίων βροχοπτώσεων υπολογίζεται το 90ο, το 95ο ή το 99ο ποσοστημόριο με βάση την κατανομή των τιμών υετού που καταγράφησαν στην περίοδο μελέτης. Τιμές που ξεπερνούν το κατώφλι του καθορισμένου ποσοστημορίου χαρακτηρίζονται ως ακραία φαινόμενα και επιλέγονται για περαιτέρω ανάλυση. Στην παρούσα εργασία ως κατώφλι ορίστηκε το 95ο ποσοστημόριο.

Η πρώτη στήλη του Πίνακα 1, παρουσιάζει το 95^ο ποσοστημόριο της βροχόπτωσης όπως υπολογίστηκε από τα ημερήσια δεδομένα βροχής των πέντε σταθμών μελέτης. Τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου Σάμος και Μυτιλήνη παρουσιάζουν τα μεγαλύτερα ύψη με 41.2 και 36.9 χιλιοστά βροχής αντίστοιχα. Ακολουθούν η Αλεξανδρούπολη, το Ηράκλειο και η Σκύρος με παραπλήσια ποσά (27.4, 25.4, 23.8 αντίστοιχα). Στη συνέχεια εντοπίστηκαν οι ημέρες όπου σημειώθηκαν βροχοπτώσεις με ποσά μεγαλύτερα του 95^{ου} ποσοστημορίου. Ενδιαφέρον παρουσιάζει και πάλι η Σάμος που αν και έχει το μεγαλύτερο κατώφλι (41.2 mm) εμφανίζει και μεγάλο αριθμό ημερών με ακραίες βροχοπτώσεις (138 ημέρες). Με μία περισσότερη ημέρα (139) το Ηράκλειο είναι ο σταθμός με τις περισσότερες ημέρες 'ακραίου' υετού. Ακολουθεί η Μυτιλήνη με 131 ημέρες υποδεικνύοντας ότι σταθμοί με υψηλά κατώφλια παρουσιάζουν επίσης τις περισσότερες ημέρες με επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων. Με αναφορά τα απόλυτα μέγιστα ποσά βροχής κατά τη μελετούμενη περίοδο, υπερέχει ο σταθμός του Ηρακλείου όπου σε διάστημα μιας ημέρας σημειώθηκαν 222.2 mm βροχής και ακολουθεί η Αλεξανδρούπολη με 140.2 mm. Η τελευταία στήλη του Πίνακα 1, δίνει τους λόγους ανάμεσα στην απόλυτη μέγιστη βροχόπτωση προς το 95^ο ποσοστημόριο. Οι λόγοι αυτοί έχουν ιδιαίτερη αξία αφού αποτελούν δείκτες της ραγδαιότητας της ημερήσιας βροχής που έχει παρατηρηθεί στις περιοχές μελέτης. Εξαιρετικά ακραία περίπτωση χαρακτηρίζεται το επεισόδιο των 222.2 mm του Ηρακλείου, το οποίο είναι σχεδόν 9-φορές μεγαλύτερο από το 95^ο ποσοστημόριο του σταθμού. Από τους μελετούμενους σταθμούς η Σκύρος είναι εκείνος με τα χαμηλότερα ποσά βροχής αλλά και τις λιγότερες ημέρες ακραίων βροχοπτώσεων.

Πίνακας 1. Στατιστικά χαρακτηριστικά των ακραίων βροχοπτώσεων στους πέντε μελετούμενους μετεωρολογικούς σταθμούς για την περίοδο Απριλίου-Σεπτεμβρίου των ετών 1958-2000.

	95% (mm)	Αριθμός ημερών με βροχ.>95%	Απόλυτη μέγιστη βροχ.(Α.Π.Μ.)	A.M.B./95%
Αλεξανδρούπολη	27.4	120	140.2	5.1
Μυτιλήνη	36.9	131	127.9	3.5
Σκύρος	23.8	115	90.0	3.8
Σάμος	41.2	138	165.6	4.0
Ηράκλειο	25.4	139	222.2	8.8

Η διαχρονική εξέλιξη (κατ'έτος) των ακραίων βροχοπτώσεων στους πέντε Ελληνικούς σταθμούς εξετάστηκε με ανάλυση των τάσεων τους. Υπολογίστηκαν οι τάσεις για τον αριθμό των ημερών με επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων (Σχήμα 1α), για το συνολικό ποσό βροχής (Σχήμα 1β) και για το μέσο ποσό βροχής (Σχήμα 1γ) των επεισοδίων που ξεπερνούν το κατώφλι του 95%. Η στατιστική σημαντικότητα των τάσεων υπολογίστηκε με το Kendall tau-test στη στάθμη σημαντικότητας $\alpha=0.05$. Εξετάζοντας ξεχωριστά κάθε σταθμό βλέπουμε ότι η Αλεξανδρούπολη παρουσιάζει πτωτικές τάσεις τόσο στον αριθμό των ημερών ακραίων βροχοπτώσεων όσο και στο συνολικό ποσό βροχής που σημειώνεται σε τέτοια επεισόδια. Ωστόσο οι τάσεις δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές. Αμετάβλητη παραμένει η μέση βροχόπτωση των ακραίων επεισοδίων βροχής, όπου απουσιάζει οποιαδήποτε τάση. Πτωτικές τάσεις παρουσιάζονται στις ημέρες με ακραία βροχόπτωση, αλλά και στα ποσά ολικής βροχόπτωσης στους υπόλοιπους τέσσερις Ελληνικούς σταθμούς. Εντονότερες τάσεις βρέθηκαν στη Σκύρο, που είναι στατιστικά σημαντικές στη στάθμη του 0.05. Παρουσιάζεται ελάττωση στον αριθμό των περιπτώσεων κατά 3 ημέρες στο σύνολο των μελετούμενων ετών και στο συνολικό ποσό βροχής ακραίων επεισοδίων κατά 2.8 mm ανά έτος. Οι τάσεις στα ποσά μέσης βροχής (Σχήμα 1γ) που σημειώνονται σε επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης διαφοροποιούνται στους πέντε μελετούμενους σταθμούς. Όπως στην Αλεξανδρούπολη έτσι και στη Σάμο και στο Ηράκλειο δεν παρατηρείται καμία τάση. Η Μυτιλήνη τείνει να αυξήσει τη μέση βροχόπτωση σε επεισόδια βροχής που ξεπερνούν το 95% (αν και τα επεισόδια ελαττώνονται αυξάνει το ποσό βροχής ανά επεισόδιο), ενώ σε αντίθεση η Σκύρος την ελάττωνει. Ωστόσο μόνο η περίπτωση της Σκύρου βρέθηκε στατιστικά σημαντική. Από το σύνολο των γραφημάτων του Σχήματος 1 αξίζει να αναφερθεί η αύξηση του αριθμού ημερών και του ολικού ποσού βροχής σε επεισόδια, που ξεπερνούν το 95%, κατά τα τελευταία χρόνια της μελετούμενης περιόδου. Προκύπτει ότι στο τέλος της δεκαετίας του 1990, τα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης έκαναν συχνότερη την εμφάνιση τους, ιδιαίτερα στους σταθμούς της Αλεξανδρούπολης και της Μυτιλήνης.

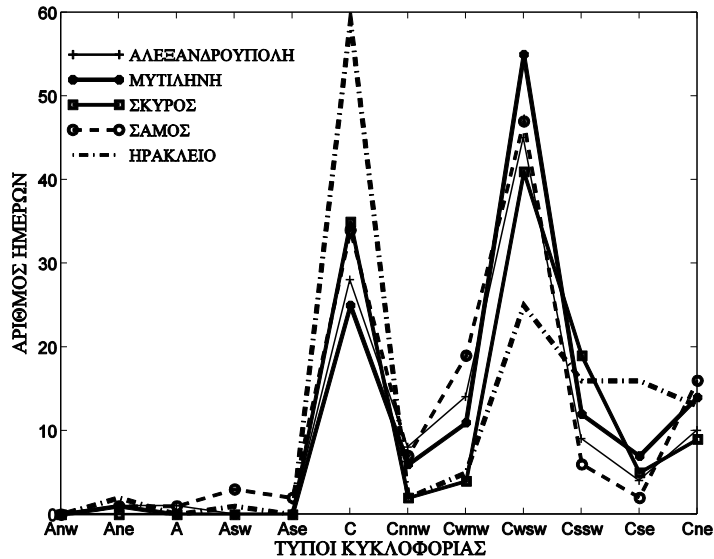


Σχήμα 1. Χρονοσειρές και τάσεις του αριθμού ημερών με επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων (α), της συνολικής (β) και της μέσης βροχόπτωσης (γ) σε επεισόδια βροχής που ξεπερνούν το 95%.

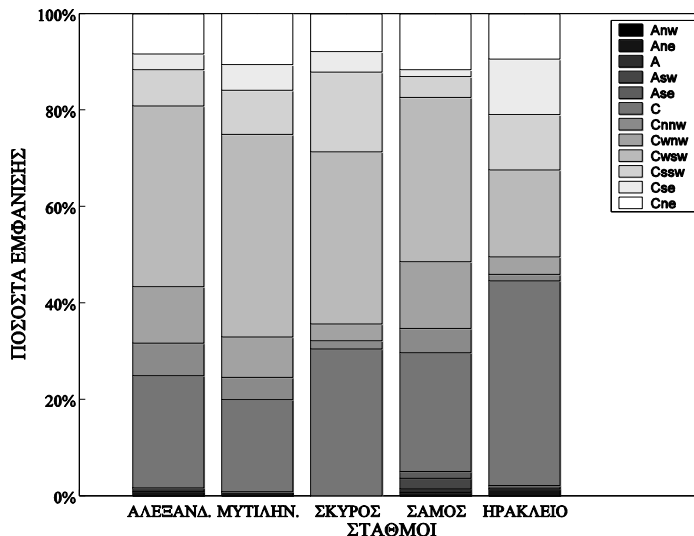
4. Δυναμική ανάλυση των ακραίων φαινομένων βροχής σε σχέση με τους επικρατούντες τύπους κυκλοφορίας.

Οι Eshel and Farrell (2000) έδειξαν ότι στην περιοχή της Μεσογείου οι έντονες βροχοπτώσεις συνδέονται με τύπους κυκλοφορίας νοτιοδυτικής συνιστώσας. Στην παρούσα εργασία οι ημέρες με υψηλά ποσά βροχής επιλέχθηκαν και για κάθε ημέρα προσδιορίστηκε η επικρατούσα συνοπτική κατάσταση βάσει της ταξινόμησης τύπων κυκλοφορίας των Maheras and Anagnostopoulou (2003). Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 2 όπου οι τύποι κυκλοφορίας C και C_{sw} παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σε όλους τους

σταθμούς. Στη συνέχεια τα ποσοστά εμφάνισης των τύπων υπολογίστηκαν και τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 3. Το σχήμα αυτό επίσης παρουσιάζει την μεγάλη συχνότητα εμφάνισης των τύπων C και C_{sw} κατά τις ημέρες όπου οι βροχοπτώσεις ξεπερνούν το κατώφλι του 95%. Ο C_{sw} είναι ο πιο συχνός τύπος κυκλοφορίας σε όλους τους σταθμούς, με εξαίρεση το Ηράκλειο όπου σχεδόν οι μισές ακραίες βροχοπτώσεις (42.4%) οφείλονται στην εμφάνιση του τύπου C.

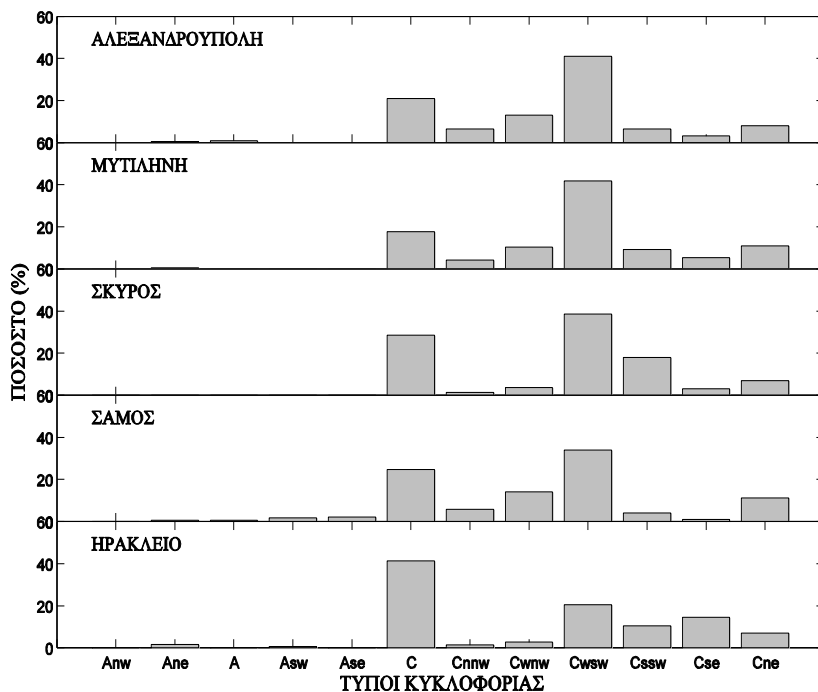


Σχήμα 2. Οι περιπτώσεις εμφάνισης των τύπων κυκλοφορίας στους σταθμούς μελέτης τις ημέρες με ακραία βροχόπτωση.



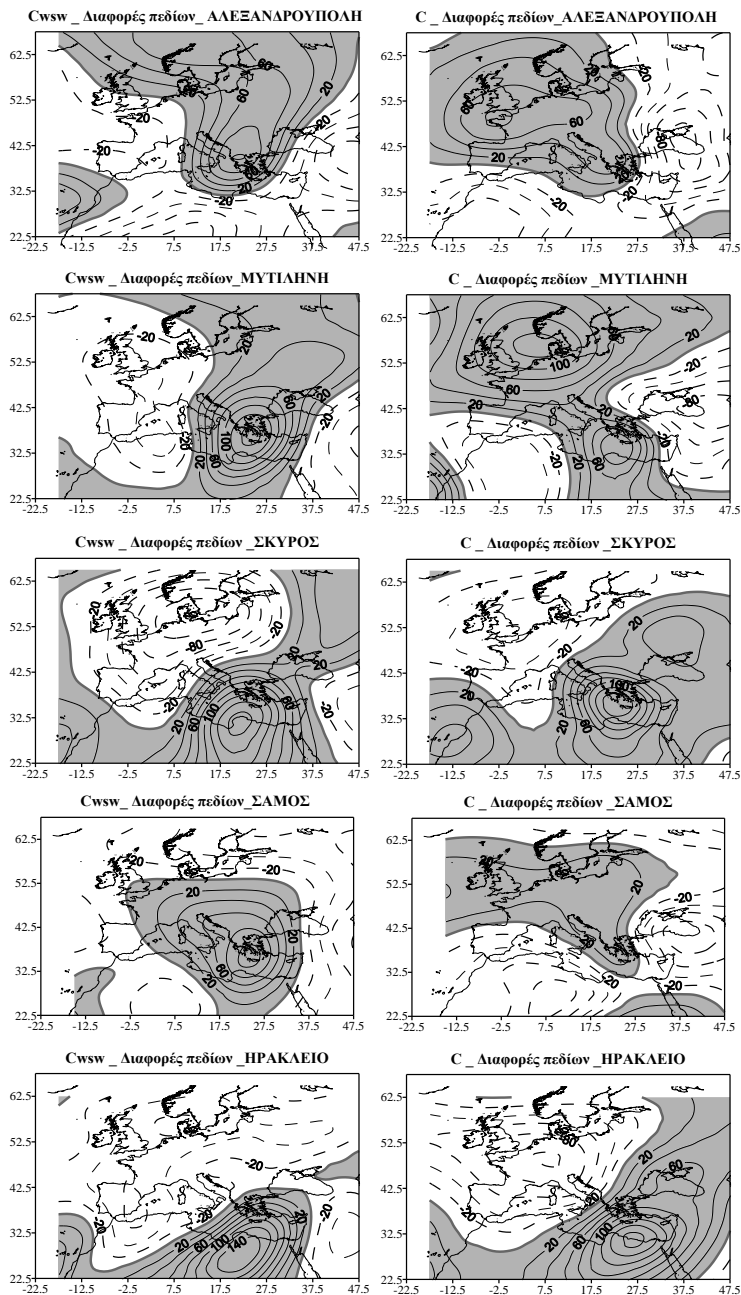
Σχήμα 3. Ποσοστά εμφάνισης του κάθε τύπου κυκλοφορίας σε επεισόδια βροχής που ξεπερνούν το 95%.

Επίσης υπολογίστηκε το ποσοστό συμμετοχής κάθε τύπου στο συνολικό ύψος βροχής που σημειώθηκε από επεισόδια βροχοπτώσης που ξεπερνούν το 95%, κατά τα 43 χρόνια της περιόδου μελέτης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 4, όπου γίνεται φανερό πως οι περισσότερες ακραίες βροχοπτώσεις σημειώνονται κατά την επικράτηση κυκλωνικών συνοπτικών καταστάσεων και οι ισχυρότερες αυτών με υφειακά συστήματα των τύπων C και C_{sw}. Είναι οι ίδιοι τύποι οι οποίοι επίσης είναι υπεύθυνοι για το μεγαλύτερο ποσοστό της συνολικής βροχοπτώσης για όλους τους σταθμούς στην Ελληνική περιοχή (Maheras *et al.*, 2004). Όπως προκύπτει από το Σχήμα 4, σε ορισμένους σταθμούς έχουν παρατηρηθεί περιπτώσεις ακραίων βροχοπτώσεων κατά την επικράτηση αντικυκλωνικών τύπων. Αναφέρεται η περίπτωση της Σάμου όπου μεμονωμένα επεισόδια με ακραίες βροχοπτώσεις παρατηρήθηκαν σχεδόν με όλους τους αντικυκλωνικούς τύπους. Ωστόσο, αυτές οι περιπτώσεις μπορούν να χαρακτηριστούν ως τυχαία γεγονότα.



Σχήμα 4. Ποσοστά συμμετοχής κάθε τύπου στο σύνολο της βροχοπτώσης που σημειώθηκε από ακραίες καταστάσεις κατά την περίοδο μελέτης 1958-2000.

Με σκοπό τη διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν τις ακραίες βροχοπτώσεις μελετήθηκαν οι συνοπτικές καταστάσεις με τη χρήση της στάθμης των 500hPa. Όπως προαναφέρθηκε δύο είναι οι τύποι κυκλοφορίας που συνδέονται περισσότερο με επεισόδια ακραίας βροχοπτώσης: C_{sw} και C. Για τους τύπους αυτούς υπολογίστηκαν τα μέσα γενικά πεδία τους για όλη την περίοδο μελέτης, καθώς και τα πεδία που προκύπτουν μόνο από τις ημέρες εκείνες όπου οι τύποι εμφάνισαν ακραίες βροχοπτώσεις. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι διαφορές ανάμεσα στη μέση και την 'ακραία' κατάσταση των τύπων, ώστε να εντοπιστεί ο βαθμός και ο τρόπος που διαφοροποιούνται οι τύποι αυτοί κατά τις ημέρες όπου καταγράφηκαν επεισόδια ακραίας βροχοπτώσης. Η χωρική απεικόνιση των διαφορών αυτών φαίνεται στο Σχήμα 5. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές έχουν πολλαπλασιαστεί επί 100 για να διευκολυνθεί η μελέτη των χαρτών. Οι σκιασμένες περιοχές των χαρτών παρουσιάζουν τις θετικές διαφορές, ενώ οι αρνητικές απεικονίζονται με διακεκομμένες γραμμές.



Σχήμα 5. Διαφορές ανάμεσα στο μέσο γενικό πεδίο και το πεδίο των περιπτώσεων (μέσο γενικό πεδίο – μέσο πεδίο περιπτώσεων) που συνδέονται με ακραίες βροχοπτώσεις των τύπων κυκλοφορίας Csws (αριστερή στήλη) και C (δεξιά στήλη) για τους πέντε μελετούμενους σταθμούς.

Όπως προκύπτει από το Σχήμα 5, πάνω από τον ελλαδικό χώρο κυριαρχούν θετικές διαφορές σε όλους τους χάρτες. Οι τύποι που εξετάζονται είναι υφειακοί και συνεπώς οι ανωμαλίες τους έχουν αρνητικές τιμές. Κατά συνέπεια οι θετικές διαφορές υποδηλώνουν μεγαλύτερες απόλυτες ανωμαλίες στις συνοπτικές καταστάσεις των περιπτώσεων ακραίας βροχόπτωσης, που σημαίνει ότι κατά τις ημέρες αυτές τα κυκλωνικά κέντρα των μελετούμενων τύπων είναι βαθύτερα σε σχέση με τη μέση κατάσταση τους. Συγκρίνοντας τους δύο τύπους, μεγαλύτερες διαφορές παρατηρούνται στον C_{sw} τύπο. Ενδιαφέρουσα είναι η διάταξη των θετικών διαφορών στους χάρτες του Σχήματος 5. Για τον τύπο C_{sw} τα θετικά κέντρα των ανωμαλιών για τους σταθμούς Αλεξανδρούπολη, Μυτιλήνη και Σάμο συμπίπτουν σχεδόν με τη θέση των σταθμών, ενώ στην Σκύρο και στο Ηράκλειο τα θετικά κέντρα βρίσκονται νοτιότερα της θέσης των σταθμών. Για τον τύπο C, για τους σταθμούς Αλεξανδρούπολη και Σάμο, τα κέντρα των ασθενών θετικών ανωμαλιών βρίσκονται βορειότερα του Ελληνικού χώρου, ενώ για τη Μυτιλήνη, τη Σκύρο και το Ηράκλειο βρίσκονται ελάχιστα νοτιότερα της θέσης των σταθμών.

5. Συζήτηση - συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία μελετώνται τα στατιστικά και δυναμικά χαρακτηριστικά των ακραίων βροχοπτώσεων που έχουν σημειωθεί σε πέντε Ελληνικούς σταθμούς χαμηλού υψομέτρου (νησιωτικούς και παράκτιους) κατά την περίοδο 1958-2000. Οι ημέρες με επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης εντοπίστηκαν βάσει του 95ου ποσοστημορίου του ύψους βροχής που έχει παρατηρηθεί σε κάθε σταθμό, κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου (Οκτωβρίου – Απριλίου) στο σύνολο των εξεταζόμενων 43 ετών. Η Μυτιλήνη και η Σάμος παρουσίασαν τόσο τα μεγαλύτερα ύψη βροχής όσο και τις περισσότερες ημέρες ακραίων επεισοδίων. Αντίθετα το απόλυτο μέγιστο ύψους βροχής σημειώθηκε στο Ηράκλειο. Στη συνέχεια μελετήθηκαν οι τάσεις των περιπτώσεων ακραίων βροχοπτώσεων, όπως και των συνολικών και μέσων ποσών βροχής σε επεισόδια βροχοπτώσεων που ξεπερνούν το κατώφλι του 95%. Η συνολική εικόνα των τάσεων έδειξε πτωτική πορεία των ακραίων επεισοδίων αλλά και του ύψους βροχής που τα συνοδεύουν. Οι μεγαλύτερες τάσεις εντοπίστηκαν στη Σκύρο όπου και βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές στη στάθμη σημαντικότητας 0.05. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην σημαντική ελάττωση της συχνότητας εμφάνισης των κυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας σε συνδυασμό με τη μηδενική συμμετοχή των αντικυκλωνικών συστημάτων στα φαινόμενα εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων στο σταθμό αυτό. Εξάλλου, ο σταθμός της Σκύρου παρουσιάζει σημαντική ελάττωση των συνολικών βροχοπτώσεων κατά την ίδια περίοδο μελέτης (Maheras et al., 2004).

Τα περισσότερα φαινόμενα ακραίας βροχόπτωσης προέκυψε ότι σημειώνονται κατά την επικράτηση δύο συγκεκριμένων υφειακών τύπων (C_{sw}, C). Είναι οι τύποι των οποίων το κέντρο των ανωμαλιών βρίσκεται πλησιέστερα της θέσης των σταθμών. Αναλύοντας τα πεδία τους προέκυψε ότι για τις ημέρες με ύψη βροχής που ξεπερνούν το 95ο ποσοστημόριο, οι τύποι C_{sw} και C εμφανίζονται με μεγαλύτερο βάθος. Από τη θέση των θετικών ανωμαλιών και για τους δύο τύπους προκύπτει ότι για το Ηράκλειο οι έντονες βροχοπτώσεις θα πρέπει να οφείλονται στο συνδυασμό δύο συστημάτων, ενός αντικυκλώνα στα βόρεια και ενός χαμηλού στα νότια (Maheras et al., 2000), όπου ο ρόλος της ορογραφίας συμβάλλει σημαντικά στην εμφάνιση του φαινομένου. Για τους υπόλοιπους σταθμούς κατά την επικράτηση του τύπου C_{sw} πολύ σημαντική επίδραση φαίνεται να έχει η ένταση του συστήματος (έντονες θετικές ανωμαλίες). Το ίδιο ισχύει και κατά την επικράτηση του τύπου C για τους σταθμούς της Σκύρου και της Μυτιλήνης. Τέλος, για τους υπόλοιπους σταθμούς (Αλεξανδρούπολη και Σάμος) κατά την επικράτηση του ίδιου τύπου τον σημαντικότερο ρόλο φαίνεται ότι παίζει η μετωπική δραστηριότητα (ασθενείς θετικές ανωμαλίες).

Βιβλιογραφία

Alexandersson H., 1986: A homogeneity test applied to precipitation data. Journal of Climatology, 6, 661-675.

Anagnostopoulou Chr., K. Tolika, P. Maheras, H. Kutiel, HA Flocas, 2007: Performance of the general circulation HadAM3P model in simulating circulation types over the Mediterranean region. Accepted for publication on the International Journal of Climatology.

Eshel G., B.F. Farrell, 2000: Mechanisms of eastern Mediterranean rainfall variability. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 57, 3219-3232.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.

Kalnay E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K.C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, D. Joseph, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 437-471.

Kostopoulou E., P.D. Jones, 2005: Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85.

Kostopoulou E., P.D. Jones, 2007: 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* (in press)

Maheras P., E. Xoplaki, H. Kutiel, 1999: Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation; 1860-1990. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 189-199.

Maheras P., I Patrikas, Th. Karacostas, Ch. Anagnostopoulou, 2000: Automatic classification of circulation types in Greece: Methodology, Description, Frequency, Variability and Trend Analyses. *Theoretical and Applied Climatology*, 67: 205-223

Maheras P., Ch. Anagnostopoulou, 2003: Circulation Types and their Influence on the Interannual variability and precipitation changes in Greece. *Mediterranean Climate-Variability and Trends*. Springer Verlag, Berlin. 215-239.

Maheras P., K. Tolika, Chr. Anagnostopoulou, M. Vafiadis, I. Patrikas, H. Flocas, 2004: On the relationships between circulation types and changes in rainfall variability in Greece. *International Journal of Climatology*, 24: 109-130.