

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΒΟΥΔΟΥΡΗ ΜΑΡΙΑ ΟΛΓΑ

ΑΕΜ: 5092

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Κωνσταντία Τολίκα



ΑΚΡΑΙΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2018

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου Κωνσταντία Τολίκα για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξή της κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	σελ. 4 - 5
------------------------------	------------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικές έννοιες

1.1.Ορισμός της βροχής.....	σελ. 6 - 8
1.2.Προσδιορισμός ακραίας βροχόπτωσης.....	σελ. 9 - 12

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Περιοχή μελέτης

2.1.Η γεωμορφολογία της Ελλάδας.....	σελ. 13
2.2. Το κλίμα της Ελλάδας.....	σελ. 14 - 15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Το φαινόμενο των ακραίων βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο

3.1. Οι βροχοπτώσεις στην Ελλάδα.....	σελ. 16 - 18
3.2. Ακραίες βροχοπτώσεις στην Ελλάδα.....	σελ. 19 - 27
3.3. Το ζήτημα της πρόγνωσης των ακραίων βροχοπτώσεων.....	σελ. 28 - 29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μελλοντικές εκτιμήσεις για το φαινόμενο των ακραίων βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο

4.1.Μελλοντικές εκτιμήσεις για τις βροχοπτώσεις στην Ελλάδα.....	σελ. 30 - 33
4.2.Μελλοντικές εκτιμήσεις για τις ακραίες βροχοπτώσεις στην Ελλάδα.....	σελ. 34 - 35

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ. 36 - 37
---------------------------	--------------

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ. 38 - 43
---------------------------	--------------

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC, 2007) προβλέπει ότι η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας θα συνεχίσει, την παρατηρούμενη ήδη από τον 20ό αιώνα, ανοδική της τάση στις περισσότερες περιοχές του πλανήτη και κατά τον 21ο αιώνα. Η ίδια Επιτροπή (IPCC, 2013) παρατήρησε ότι σε πολλές περιοχές παράλληλα με την αυξητική τάση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας παρουσιάζεται και μία αυξημένη συχνότητα εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων. Αυτό συμβαίνει γιατί ακόμα και μία μικρή μεταβολή της μέσης τιμής και της μεταβλητότητας των κλιματικών παραμέτρων, μπορεί να οδηγήσει σε μεταβολές στην ένταση και τη συχνότητα των ακραίων φαινομένων. (Σαλβάνου κ.ά., 2004)

Κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα το ύψος της βροχόπτωσης στις ηπειρωτικές περιοχές εμφάνισε αυξητικές τάσεις κυρίως στα μέσα και μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη, σε αντίθεση με τις τροπικές περιοχές όπου επικράτησαν πτωτικές τάσεις. Το ύψος της βροχής επηρεάζεται από τοπικούς παράγοντες καθώς και από το γεωλογικό ανάγλυφο καθιστώντας τις εκτιμήσεις σχετικά με αυτό αρκετά περίπλοκες. Ωστόσο, αναμένεται και κατά τον 21ο αιώνα να παρουσιάσει περαιτέρω αυξητικές τάσεις στα μέσα και ανώτερα γεωγραφικά πλάτη, καθώς και στη ζώνη της Ισημερινής Σύγκλισης και μείωση στους τροπικούς. (IPCC, 2007)

Οι ακραίες κλιματικές συνθήκες που σχετίζονται με τη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις επιδρούν στα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα, τους υδάτινους πόρους, τη γεωργία, τη δασοκομία, την υγεία, την ενέργεια, τη βιομηχανία ακόμα και τον τουρισμό. Ακραία φαινόμενα όπως οι πλημμύρες, η ξηρασία και οι καύσωνες, εξαιτίας των αυξημένων απωλειών σε ανθρώπινες ζωές, καθώς επίσης και των μεγάλων χρηματικών ποσών που δαπανώνται σε χρηματικές αποζημιώσεις και ασφάλειες, έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας. (Αναγνωστοπούλου κ.ά, 2006)

Έτσι, όλοι και περισσότεροι μετεωρολόγοι, κλιματολόγοι, αλλά και γεωλόγοι και μηχανικοί στρέφουν το ερευνητικό τους ενδιαφέρον στα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις επιπτώσεις τους. Ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά στο φαινόμενο των ακραίων βροχοπτώσεων το ενδιαφέρον εστιάζεται σε τρία κυρίως ερευνητικά πεδία. Στην

κλιματολογική μελέτη με στόχο την κατανόηση του φαινομένου και τη συνακόλουθη προσπάθεια εκτίμησής του, στη μελέτη των συνοπτικών, δυναμικών και μικροφυσικών χαρακτηριστικών του, στοχεύοντας στη βραχυπρόθεσμη πρόγνωση και την τροποποίηση του καιρού και στην παθητική προστασία και την αποκατάσταση των ζημιών. (Καραγιαννίδης, 2009)

Ανάμεσα στις διάφορες περιοχές του πλανήτη η Νότια Ευρώπη, και ειδικότερα η ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, θεωρούνται ιδιαίτερα ευάλωτες στις επιπτώσεις που προκαλεί η κλιματική αλλαγή στον φυσικό, κοινωνικό και οικονομικό τομέα. Η μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων σε μία τέτοια περιοχή, η οποία εξαιτίας της γεωγραφικής της θέσης παρουσιάζει διαφορετικά τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά, αποκτά μεγαλύτερο ερευνητικό ενδιαφέρον. (Τολικά κ.ά, 2008)

Η ιδιαιτερότητα αυτή της Μεσογείου έγκειται στο γεγονός ότι περικλείεται από τις ερημικές περιοχές της Β. Αφρικής και τη ζώνη βροχοπτώσεων των μέσων γεωγραφικών πλατών. Αυτό έχει ως συνέπεια τη δημιουργία ενός έντονου βροχομετρικού εποχικού κύκλου στην περιοχή που χαρακτηρίζεται από ψυχρούς-υγρούς χειμώνες και θερμά-ξηρά καλοκαίρια. Επιπλέον, το πολύπλοκο ανάγλυφο της περιοχής τροποποιεί σημαντικά τη δομή και τη διαδρομή, τόσο των συνοπτικών συστημάτων, όσο και των συστημάτων τοπικής κυκλοφορίας. (Μπαλιούσκας κ.ά., 2008)

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η εξέταση του φαινομένου των ακραίων βροχοπτώσεων σε μία περιοχή της λεκάνης της Μεσογείου, στη συγκεκριμένη περίπτωση του ελλαδικού χώρου. Η εργασία διακρίνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, αναλύονται οι θεωρητικές έννοιες της βροχής και της ακραίας βροχόπτωσης. Στο δεύτερο θα γίνει μία γεωμορφολογική και κλιματολογική παρουσίαση της περιοχής μελέτης. Στο τρίτο κεφάλαιο θα εξεταστεί αρχικά γενικά το φαινόμενο των βροχοπτώσεων στην Ελλάδα, στη συνέχεια θα επικεντρώσουμε το ενδιαφέρον μας στις ακραίες βροχοπτώσεις στη χώρα καθώς και στο ζήτημα της πρόγνωσης τους. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι μελλοντικές εκτιμήσεις τόσο για τις βροχοπτώσεις εν γένει όσο και για την ακραία μορφή τους στον ελλαδικό χώρο. Μεθοδολογικά, η εκπόνηση της εργασίας βασίστηκε σε δευτερογενείς πηγές, μελέτες και επιστημονικά άρθρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Θεωρητικές έννοιες

1.1. Ορισμός της βροχής

Η βροχή αποτελεί την πιο κοινή μορφή κατακρημνισμάτων ή υδρομετεώρων ή υετού. Αποτελείται από υδροσταγόνες που φτάνουν στην επιφάνεια της Γης σε υγρή μορφή. Οι υδροσταγόνες δημιουργούνται μέσα στα νέφη μέσω της συνένωσης πολλών υδροσταγονιδίων ή παγοκρυστάλλων. Το φαινόμενο της βροχής δημιουργείται όταν υδροσταγονίδια ή παγοκρύσταλλοι του νέφους κατά την κάθοδό τους προς το έδαφος διατηρήσουν την υγρή τους μορφή πριν φτάσουν στην επιφάνεια της γης. Το μέγεθος των βροχοσταγόνων που φθάνουν στο έδαφος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως το αρχικό τους μέγεθος, την εξάτμιση που συμβαίνει κατά την κάθοδό τους και τα καθοδικά ρεύματα αέρα. (Στάθης, 2015) Οι σταγόνες αυτές ανάλογα με το μέγεθός τους και τον τρόπο καθόδου τους λαμβάνουν διάφορες ονομασίες, όπως όμβρος (όταν προέρχονται από νέφη ανοδικών κινήσεων με απότομη έναρξη και λήξη, καθώς και απότομες μεταβολές στην ένταση), ψιχάλα (όταν αποτελούνται από πολύ μικρές και πολυάριθμες υδροσταγόνες που αιωρούνται και ακολουθούν τα αέρια ρεύματα), κ.λπ. (Μαχαίρας & Μπαλαφούτης, 1985)

Ανάλογα με τον τρόπο που προκαλείται η συμπύκνωση των υδρατμών λόγω ψύξης οι βροχές διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες (Φλόκας, 1994):

α) **Βροχές μεταφοράς.** Αυτές σχηματίζονται από ισχυρές ανοδικές κινήσεις (κατακόρυφης μεταφοράς) ή από μεταφορά θερμών και υγρών αερίων μαζών πάνω σε ψυχρότερες περιοχές (οριζόντια μεταφορά). Αποτελούν συνήθως μικρής διάρκειας αλλά μεγάλης σφοδρότητας βροχοπτώσεις.

β) **Υφεσιακές ή κυκλωνικές βροχές.** Αυτές αποδίδονται στην ανάμιξη ή εκτόνωση αερίων μαζών που σημειώνεται κατά τις ανοδικές κινήσεις που δημιουργούνται κοντά στα θερμά ή ψυχρά μέτωπα.

γ) **Ορεογραφικές ή βροχές αναγλύφου.** Αυτές οφείλονται στην εκτόνωση της αέριας μάζας κατά τη διάρκεια των ανοδικών κινήσεων στις προσήνεμες πλευρές των βουνών. Τα βουνά δεν προκαλούν άμεσα βροχόπτωση σε κάθε αέριο ρεύμα που

αναρριχάται σ' αυτά. Η δράση της ορογραφίας καθορίζεται από τη διάταξη και το μέγεθος των οροσειρών και μπορεί, συνήθως, να ενεργοποιήσει ένα είδους ατμοσφαιρικής αστάθειας (κατά συνθήκη ή δυναμική), γιατί εξαναγκάζει τον αέρα σε μια ανοδική κίνηση.

Η βροχόπτωση μετριέται σε χιλιοστά ύψους του υδάτινου στρώματος σε οριζόντια επιφάνεια. Η ποσοτική έκφραση του 1 χιλιοστού ύδατος σε επιφάνεια 1 τετραγωνικού μέτρου ισοδυναμεί με 1 λίτρο ύδατος. Η βροχόπτωση η οποία πέφτει σε διάστημα μίας ημέρας, ονομάζεται ημερήσια βροχόπτωση, το άθροισμα των ημερήσιων βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια ενός μήνα αποτελεί το μηνιαίο ύψος της βροχής για τον μήνα αυτό, ενώ αντίστοιχα το σύνολο της βροχής που πέφτει και στους 12 μήνες του χρόνου αποτελεί το ετήσιο ύψος της βροχής. (Στάθης, 2015)

Το φαινόμενο της βροχόπτωσης δεν εκδηλώνεται ταυτόχρονα σε ολόκληρο τον πλανήτη. Μελέτες έχουν δείξει ότι ορισμένες περιοχές παρουσιάζουν ετήσιες βροχοπτώσεις που φτάνουν ή και υπερβαίνουν τα 3.000mm, ενώ σε άλλες περιοχές δεν υπερβαίνουν τα 50mm σε ύψος.

Η ετήσια πορεία της βροχόπτωσης μίας περιοχής αποτελεί θεμελιώδες κλιματικό χαρακτηριστικό της. Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό και ανάλογα με τους επικρατούντες σε κάθε περιοχή μορφολογικούς, θερμικούς και δυναμικούς παράγοντες κάθε τόπος κατατάσσεται σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες βροχομετρικών συστημάτων (Στάθης, 2015):

α) το **θαλάσσιο βροχομετρικό σύστημα**: επικρατεί επάνω από τους ωκεανούς και το μέγιστο των βροχών σημειώνεται κατά το φθινόπωρο και τον χειμώνα, αλλά τα ποσά της βροχής είναι σημαντικά και τους υπόλοιπους μήνες του έτους

β) το **ηπειρωτικό βροχομετρικό σύστημα**: επικρατεί στα εσωτερικά των ηπείρων, με αυξημένες θερινές βροχές και χειμερινή συνήθως ξηρασία

γ) το **μεσογειακό ή υποτροπικό βροχομετρικό σύστημα**: απαντάται στις χώρες της Μεσογείου, την Καλιφόρνια, τη Νότια Αυστραλία και τη Νότια Αφρική. Χαρακτηρίζεται από θερινό ελάχιστο και χειμερινό μέγιστο της βροχόπτωσης

δ) το **μουσωνικό βροχομετρικό σύστημα**: χαρακτηρίζεται από άφθονες θερινές βροχοπτώσεις και χειμερινή ξηρασία. Απαντάται στις περιοχές όπου επικρατεί το σύστημα των μουσώνων

ε) το **ισημερινό βροχομετρικό σύστημα**: κυριαρχεί στην ισημερινή ζώνη που περικλείεται μεταξύ των παραλλήλων 10° βόρεια και νότια του Ισημερινού. Χαρακτηρίζεται από δύο μέγιστα βροχής, τα οποία σημειώνονται κατά τις ισημερίες.

Και τέλος, στ) το **τροπικό βροχομετρικό σύστημα**: χαρακτηρίζει τις περιοχές των ανατολικών ακτών της τροπικής ζώνης, όπου κάνουν συχνή την εμφάνισή τους οι τροπικοί κυκλώνες. Επειδή η εποχή δράσης τους είναι το φθινόπωρο, οι βροχοπτώσεις έχουν τα μέγιστά τους κατά την εποχή αυτή.

Στην περιοχή της Μεσογείου επικρατεί ο ομώνυμος Μεσογειακός τύπος στον οποίο παρατηρείται θερινό ελάχιστο της βροχόπτωσης και χειμερινό μέγιστο. (Ιορδανίδου, 2016)

Ο ρυθμός της βροχής διαφέρει σημαντικά σε έναν τόπο από επεισόδιο σε επεισόδιο βροχής. Άλλοτε η βροχή είναι πολύ έντονη και άλλοτε πολύ ασθενής. Για τη μελέτη της συμπεριφοράς της βροχής χρησιμοποιείται η έννοια της ραγδαιότητας ή της έντασης αυτής, η οποία εκφράζει το ύψος της βροχής σε χιλιοστά που φτάνει στην επιφάνεια της Γης σε ορισμένο χρονικό διάστημα. Η κοινότερη έκφραση είναι η βροχόπτωση/24ωρο ή η βροχόπτωση/ώρα, ωστόσο σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται εντάσεις μικρότερης διάρκειας όπως βροχοπτώσεις/ημίωρο, ανά 15λεπτο, 10λεπτο ή ακόμα και πεντάλεπτο της ώρας. (Στάθης, 2015)

Για τη μέτρηση των κατακρημνισμάτων που φτάνουν στη γη γίνεται χρήση ειδικών οργάνων τα οποία μπορεί να είναι: α) απλά βροχόμετρα, τα οποία κάνουν απλή παρατήρηση, β) βροχογράφοι, οι οποίοι κάνουν αυτόματη μηχανική καταγραφή, γ) αισθητήρες και data loggers που κάνουν ηλεκτρονική καταγραφή για μεγαλύτερα διαστήματα και τέλος δ) πιο σύγχρονα συστήματα, τα οποία αποτελούνται από ειδικούς αισθητήρες και τηλεμετάδοση σε κεντρικά συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Για τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα χρησιμοποιούνται: α) βροχόμετρα, β) βροχογράφοι, γ) ραντάρ, δ) δορυφόροι. (Ιορδανίδου, 2016)

1.2. Προσδιορισμός ακραίας βροχόπτωσης

Ως ακραίο κλιματικό φαινόμενο ορίζεται μία ασυνήθιστη περίπτωση για την οποία μια κλιματική παράμετρος ή συνδυασμός πολλών παραμέτρων, όπως η βροχή ξεπερνούν κάποιο συγκεκριμένο κατώφλι, το οποίο συνήθως ορίζεται σε τοπική κλίμακα και για συγκεκριμένη χρονική περίοδο και το οποίο προκαλεί συχνά μεγάλες κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Πιο συγκεκριμένα, ως επεισόδιο ακραίας/εξαιρετικής βροχόπτωσης ορίζεται η καταγραφή ύψους βροχής που υπερβαίνει ένα κατώφλι ημερήσιου ύψους βροχής (P_{min}), στον ίδιο ή και γειτονικούς σταθμούς για δύο εικοσιτετράωρα, τουλάχιστον. Ως γειτονικοί σταθμοί θεωρούνται αυτοί που απέχουν λιγότερο από μία προσδιοριζόμενη μέγιστη απόσταση (d_{max}). Η διαδικασία προσδιορισμού και καθορισμού των κατάλληλων P_{min} και d_{max} είναι σύνθετη και πολύπλοκη. Έτσι, διαμορφώνεται ένα πλήθος χρονοσειρών που καλύπτουν την μελετώμενη περιοχή και εξασφαλίζουν τον έντονο και εξαιρετικό χαρακτήρα των επεισοδίων που εξετάζονται. (Καραγιαννίδης κ.ά, 2008)

Ωστόσο, ο μη καθορισμός ενός συγκεκριμένου κατωφλίου για όλες τις περιπτώσεις και η διαφορετική σε κάθε έρευνα κλίμακα στην οποία αναφέρεται (χωρική ή χρονική) είναι πιθανόν να οδηγήσει σε αμφισβητήσιμα αποτελέσματα, καθώς είναι πιθανό το επεισόδιο που θεωρείται ακραίο καιρικό φαινόμενο για μία περιοχή να θεωρείται φυσικό για μία άλλη. Το γεγονός αυτό φαίνεται μάλιστα να απασχολεί τους New et al. (2001) οι οποίοι αναφέρουν χαρακτηριστικά ότι οι ορισμοί των έντονων βροχοπτώσεων διαφέρουν μεταξύ των περισσότερων ερευνών, με αποτέλεσμα η σύγκριση των συμπερασμάτων να θεωρείται προβληματική.

Για τον καθορισμό του κατωφλίου της έντονης βροχόπτωσης, χρησιμοποιούνται δυο βασικές μέθοδοι, οι παραμετρικές και οι μη παραμετρικές. Η πρώτη μέθοδος χαρακτηρίζεται ως παραμετρική, διότι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των θεωρητικών κατανομών που χρησιμοποιούνται, εξαρτώνται από τις αριθμητικές τιμές

των παραμέτρων αυτών. Συγκεκριμένα, η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μελέτη της στατιστικής συμπεριφοράς μιας ακολουθίας ανεξαρτήτων τυχαίων μεταβλητών που αποτελούν είτε τα απόλυτα μέγιστα (Block Maxima) καθορισμένων χρονικών διαστημάτων (π.χ. σε μηνιαία, ετήσια βάση), είτε μια ακολουθία τιμών X_i που υπερβαίνουν ένα υψηλό κατώφλι (Peak Over Threshold). Στην περίπτωση της χρήσης της μεθόδου Block Maxima, λαμβάνονται υπόψη μόνο οι απόλυτες μέγιστες τιμές καθορισμένων χρονικών διαστημάτων, με αποτέλεσμα ορισμένες «ακραίες» παρατηρήσεις να απουσιάζουν από την ακολουθία των ανεξαρτήτων τυχαίων μεταβλητών. Η δεύτερη τεχνική αναφέρεται σε δείκτες, οι οποίοι ορίζονται είτε με τη χρήση ενός απολύτου κατωφλίου, είτε με τη χρήση των ποσοστιαίων σημείων (percentiles). Οι μεν πρώτοι περιγράφουν το σύνολο των ημερών ή των τιμών που υπερβαίνουν μια καθορισμένη απόλυτη τιμή. Οι δεύτεροι δείκτες απαιτούν τη μελέτη της «ουράς» της εκάστοτε κατανομής. Οι δείκτες, οι οποίοι βασίζονται στη χρήση ποσοστιαίων σημείων, παρουσιάζουν εμφανές πλεονέκτημα σε σχέση με αυτούς που βασίζονται σε καθορισμένα απόλυτα κατώφλια, καθώς σε αυτούς της δεύτερης τεχνικής γίνεται σύγκριση των ίδιων τμημάτων των κατανομών των έντονων βροχοπτώσεων. Από την άλλη πλευρά, όμως, οι δείκτες που βασίζονται στη χρήση ενός καθορισμένου απολύτου κατωφλίου αποτελούν σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη του αντίκτυπου που φέρουν τα ακραία περιστατικά στην κοινωνία και το περιβάλλον (Kostopoulou & Jones, 2005, Δούκα, 2018)

Προκειμένου να αποκτηθεί μια ενιαία αντίληψη για τα ακραία καιρικά φαινόμενα ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO), η ειδική ομάδα ανίχνευσης της κλιματικής αλλαγής του προγράμματος ETCCDMI (Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices), καθώς και το ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα STARDEX συνέστησαν για την περιγραφή των ακραίων κλιματικών φαινομένων. Πιο συγκεκριμένα, στο πλαίσιο του προγράμματος STARDEX δημιουργήθηκε ένας αλγόριθμος υπολογισμού 57 δεικτών ακραίων φαινομένων, από τους οποίους οι 33 αφορούν το φαινόμενο της βροχόπτωσης. (<https://crudata.uea.ac.uk/projects/stardex/>)

Αναλυτικότερα, οι σημαντικότεροι δείκτες βροχόπτωσης είναι οι:

- **Pq90**: 90^ο εκατοστημόριο ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day)
- **Pxcdd**: Μέγιστος αριθμός συνεχόμενων ξηρών ημερών. Αν R_{ij} είναι η ημερήσια βροχόπτωση της ημέρας i μιας περιόδου j , τότε μετράται ο μέγιστος

αριθμός συνεχόμενων ημερών όπου $R_{ij} < wd_cutoff$, όπου wd_cutoff είναι μία μεταβλητή που ορίζεται από τον χρήστη και προσδιορίζει πότε μία μέρα θεωρείται μέρα βροχής.

- **Px5d**: μέγιστη βροχόπτωση σε διάρκεια 5 συνεχόμενων ημερών.
- **Pnl90**: αριθμός γεγονότων με βροχόπτωση $> 90^\circ$ εκατοστημόριο της συνολικής. Αν R_{wj} είναι η ημερήσια βροχόπτωση μια ημέρας βροχής $w(R > wd_cutoff)$ μιας περιόδου j και R_{w90} το 90° εκατοστημόριο των ημερών βροχής για όλη την περίοδο που εξετάζεται, τότε μετρώνται οι περιπτώσεις όπου $R_{wj} > R_{w90}$.
- **Pfl90**: % βροχόπτωσης για ημέρες με βροχόπτωση $> 90^\circ$ εκατοστημόριο της συνολικής. Αν R_j είναι το άθροισμα ημερήσιας βροχόπτωσης μιας περιόδου j , R_{wj} η ημερήσια βροχόπτωση μιας ημέρας βροχής $w(R > wd_cutoff)$ της περιόδου j και R_{w90} το 90° εκατοστημόριο βροχόπτωσης των ημερών βροχής για όλη την περίοδο που εξετάζεται, τότε υπολογίζεται ως:

$$Pfl90 = \frac{\sum_{w=1}^W R_{wj}}{R_j}, \text{ όπου } R_{wj} > R_{w90}$$

Τους παραπάνω δείκτες συμπληρώνουν οι εξής:

- **Pav**: Μέση κλιματολογική βροχόπτωση (mm/day)
- **Pq20**: 20° εκατοστημόριο ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day)
- **Pq40**: 40° εκατοστημόριο ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day)
- **Pq50**: 50° εκατοστημόριο ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day)
- **Pq60**: 60° εκατοστημόριο ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day)
- **Pq80**: 80° εκατοστημόριο ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day)
- **Pq95**: 95° εκατοστημόριο ημερήσιας βροχόπτωσης (mm/day)
- **Pf20**: ποσοστό συνολικής >20 ο ετήσιο εκατοστημόριο
- **Pf40**: ποσοστό συνολικής >40 ο ετήσιο εκατοστημόριο
- **Pf50**: ποσοστό συνολικής >50 ο ετήσιο εκατοστημόριο
- **Pf60**: ποσοστό συνολικής >60 ο ετήσιο εκατοστημόριο
- **Pf80**: ποσοστό συνολικής >80 ο ετήσιο εκατοστημόριο
- **Pf90**: ποσοστό συνολικής >90 ο ετήσιο εκατοστημόριο
- **Pf95**: ποσοστό συνολικής >95 ο ετήσιο εκατοστημόριο

- **Pn10mm:** Αριθμός ημερών με βροχόπτωση $\geq 10\text{mm}$
- **Pxcwd:** Μέγιστος αριθμός συνεχόμενων υγρών ημερών
- **Ppww:** Μέση παραμονή υγρών ημερών
- **Ppdd:** Μέση παραμονή ξηρών ημερών
- **Ppcr:** Συσχέτιση της διάρκειας υγρών και ξηρών χρονικών διαστημάτων
- **Pwsav:** Μέση διάρκεια υγρού χρονικού διαστήματος
- **Pwsmed:** Διάμεσος διάρκεια υγρού διαστήματος
- **Pwssdv:** Τυπική απόκλιση διάρκειας υγρού χρονικού διαστήματος
- **Pdsav:** Μέση διάρκεια ξηρού χρονικού διαστήματος
- **Pdsmed:** Διάμεσος διάρκεια ξηρού χρονικού διαστήματος
- **Pdssdv:** Τυπική απόκλιση διάρκειας ξηρού χρονικού διαστήματος
- **Px3d:** Μέγιστη βροχόπτωση σε διάρκεια 3 ημερών
- **Px10d:** Μέγιστη βροχόπτωση σε διάρκεια 10 ημερών
- **Pint:** Ημερήσια ένταση της βροχόπτωσης (βροχή ανά ημέρα βροχής)
- **Pnl90:** Αριθμός ημερών με βροχόπτωση $>90^\circ$ εκατοστημόριο της συνολικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Περιοχή μελέτης

2.1. Η γεωμορφολογία της Ελλάδας

Η Ελλάδα ($34^{\circ} \text{N} < \varphi < 42^{\circ} \text{N}$, $19^{\circ} \text{E} < \lambda < 29^{\circ} \text{E}$) βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Ευρώπης και στο νοτιότερο άκρο της χερσονήσου του Αίμου και χαρακτηρίζεται από πολύπλοκη τοπογραφία. Έχει ακτές στην Ανατολική Μεσόγειο, όπου βρίσκονται τα νησιωτικά της συμπλέγματα και το μεγαλύτερο νησί της χώρας, η Κρήτη. Συνορεύει στα βορειοδυτικά με την Αλβανία, στα βόρεια με τη Βουλγαρία και την πρώην Γιουγκοσλαβική Δημοκρατία της Μακεδονίας (Π.Γ.Δ.Μ.) και στα βορειοανατολικά με την Τουρκία. Βρέχεται στα ανατολικά από το Αιγαίο Πέλαγος, στα δυτικά από το Ιόνιο Πέλαγος και νότια από το Λιβυκό Πέλαγος. Τα ακραία σημεία της ελληνικής επικράτειας είναι στο Βορρά ο οικισμός Ορμένιο στο Νομό Έβρου, στο Νότο το νησί Γαύδος στο Λιβυκό πέλαγος, στα Ανατολικά η νησίδα Στρογγυλή, στα Δωδεκάνησα και Δυτικά η νησίδα Οθωνοί στο Ιόνιο πέλαγος.

Η χώρα παρουσιάζει εντονότατο οριζόντιο διαμελισμό με μήκος ελληνικών ακτών περισσότερα από 15.000 χλμ. καταλαμβάνοντας περίπου τα 2/5 του συνόλου των ευρωπαϊκών ακτών, από τα οποία 11.000 είναι στα νησιά και τα υπόλοιπα στην ηπειρωτική χώρα. Ο κατακόρυφος διαμελισμός με τη σειρά του χαρακτηρίζεται από σχηματισμούς οροσειρών και απομονωμένων βουνών με μέγιστο υψόμετρο το 2918m (Όλυμπος), ενώ το μέσο υψόμετρο της ηπειρωτικής ενδοχώρας διαμορφώνεται στα 600m περίπου και οι τυπικές βαθμίδες του ανάγλυφου στα 100-200m ανά χιλιόμετρο.

2.2. Το κλίμα της Ελλάδας

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικά μεσογειακό: ήπιοι και υγροί χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και γενικά μακρές περίοδοι ηλιοφάνειας κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Ωστόσο, το πλούσιο ανάγλυφο και η πολύπλοκη μορφή του οριζόντιου και κατακόρυφου διαμελισμού της χώρας οδηγούν σε μία όχι ενιαία μορφή του μικροκλίματος το οποίο παρουσιάζει διαφοροποιήσεις. (Ζαμπάκας, 1981)

Στον ελληνικό χώρο, λοιπόν, διαμορφώνονται τέσσερις μεσογειακοί κλιματικοί τύποι (Ζερεφός κ.ά, 2011):

α) ο **θαλάσσιος**, με χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος, που επικρατεί στα δυτικά παράλια της χώρας στα Ιόνια Νησιά. Ο ίδιος τύπος επικρατεί και ανατολικότερα στα Δωδεκάνησα.

β) ο **χερσαίος**, που επικρατεί στη νοτιοανατολική Ελλάδα, και περιλαμβάνει μέρος της Στερεάς Ελλάδας, τμήματα της ανατολικής Πελοποννήσου, τα νησιά και τα παράλια του κεντρικού Αιγαίου καθώς και την Κρήτη, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες.

γ) ο **ηπειρωτικός**, που επικρατεί στο μεγαλύτερο τμήμα της Θράκης, της Μακεδονίας και της Ηπείρου καθώς και σε τμήμα της Θεσσαλίας, και ο οποίος παρουσιάζει χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος των βορειότερων βαλκανικών περιοχών. Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι τα νησιά του βορείου Αιγαίου παρουσιάζουν ένα μεταβατικό τύπο ηπειρωτικού προς χερσαίο κλίμα.

και τέλος, δ) ο **ορεινός**, που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους που διασχίζουν την Ελλάδα. Οι ορεινοί αυτοί όγκοι περιλαμβάνουν με τη σειρά τους δασώδεις περιοχές με κλίμα δάσους, καθώς και περιοχές με μεγάλο υψόμετρο που διαθέτουν αλπικό κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία):

α) την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου μέχρι το τέλος Μαρτίου και

β) τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο.

Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, κατά τη διάρκεια των οποίων ο μέσος όρος της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας κυμαίνεται στις παραθαλάσσιες περιοχές μεταξύ 5-10°C, και μεταξύ 0-5°C στις ηπειρωτικές περιοχές, ενώ χαμηλότερες τιμές, υπό του μηδενός, σημειώνονται στις βόρειες περιοχές της χώρας. Η χειμερινή εποχή είναι δριμύτερη στη Βόρεια και Δυτική Ελλάδα σε αντίθεση με το κλίμα που επικρατεί στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου. Οι βροχές ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός δεν μένει συννεφιασμένος για συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της Γης. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα «Αλκυονίδες ημέρες».

Κατά τη δεύτερη περίοδο, τη θερμή και άνομβρη εποχή, ο καιρός δεν παρουσιάζει αστάθεια, ο ουρανός είναι σχεδόν αίθριος και ο ήλιος λαμπερός. Η θερμότερη περίοδος εκτείνεται από το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου μέχρι το πρώτο του Αυγούστου, οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29°C έως 35°C. Κατά την εποχή αυτή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο. Ωστόσο, δεν λείπουν αν και δεν συναντώνται με μεγάλη συχνότητα, οι ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας.

Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, ενώ το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα και μέχρι τα μισά του Δεκεμβρίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Το φαινόμενο των ακραίων βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο

3.1. Οι βροχοπτώσεις στην Ελλάδα

Η βροχόπτωση αποτελεί μία από τις κυριότερες μετεωρολογικές παραμέτρους που επιδρούν και χαρακτηρίζουν τις τοπικές κλιματικές συνθήκες (τοπικό κλίμα). Έτσι, η δίαυτα και η γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης στην ελληνική περιοχή αποτέλεσαν αντικείμενο έρευνας πολλών μελετητών τις τελευταίες δεκαετίες.

Η ξηρασία κατά την περίοδο του θέρους και η βροχερή περίοδος από τα μέσα του φθινοπώρου μέχρι τα μέσα της άνοιξης που χαρακτηρίζει τα μεσογειακά παράλια και τον τύπο βροχής που πέφτει σε αυτά είναι αυτός που επικρατεί και στον ελληνικό χώρο. Ωστόσο, η γεωγραφική θέση της Ελλάδας, το γεγονός ότι περιβάλλεται από θάλασσα και η ύπαρξη υψηλών βουνών και οροσειρών διαφόρων διευθύνσεων προκαλούν ανομοιογένεια στην κατανομή, αλλά και στο ύψος της βροχής στις διάφορες περιοχές της χώρας. Η γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων ακολουθεί το ανάγλυφο της Ελλάδας και συνεπώς παρατηρούνται μεγαλύτερης έντασης και διάρκειας βροχοπτώσεις στο βορρά και στη δύση.

Οι θερμές και υγρές αέριες μάζες που κινούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά, αλλά και εκείνες του νότιου τομέα που συναντούν τις οροσειρές, η κατεύθυνση των οποίων από βορρά προς νότο είναι σχεδόν κάθετη προς τη ροή των ανέμων, όταν ανυψώνονται στην ομβροπλευρά των βουνών, ψύχονται και απελευθερώνουν τη μεγαλύτερη ποσότητα βροχής στα προσήνεμα μέρη των βουνών. Περνώντας τις κορυφογραμμές οι αέριες μάζες δεν υφίστανται πλέον ανύψωση, αντίθετα κατολισθαίνουν και θερμαίνονται, δίνοντας μικρότερη ποσότητα βροχής στα υπήνεμα μέρη (ομβροσκιά). (Στάθης, 2015)

Σε ό,τι αφορά τις οροσειρές που διασχίζουν τη χώρα το μέσο ετήσιο ύψος της βροχής είναι περισσότερο από 2.200 χιλιοστά στην Πίνδο, ενώ φθάνει τα 1.800 χιλιοστά στα Λευκά Όρη της Κρήτης και τα 1.600 χιλιοστά στα βουνά της Πελοποννήσου. Οι περιοχές της ανατολικής Πελοποννήσου, της Αττικής και του Σαρωνικού κόλπου χαρακτηρίζονται από τιμές του ύψους βροχής μικρότερες από 400 χιλιοστά. Στα

νησιά του Ιονίου το μέσο ετήσιο ύψος της βροχής είναι 1.000-1.400 χιλιοστά, στα δυτικά παράλια της Ηπείρου κυμαίνεται μεταξύ 1.000 και 1.200 χιλιοστών και βαίνει αυξανόμενο προς τους ορεινούς όγκους, ελαττούμενο όμως προς στις ανατολικές υπήνεμες πλευρές των οροσειρών. Οι ανατολικές περιοχές της Εύβοιας, τα νησιά των Βόρειων Σποράδων, τα βουνά της Μακεδονίας και της Θεσσαλίας παρουσιάζουν αύξηση του ύψους της βροχής, ενώ μείωση παρουσιάζουν οι ακτές του Αιγαίου. Στα βορειοανατολικά της χώρας, στην Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, το ετήσιο ύψος της βροχής αυξάνεται από τα παράλια προς το εσωτερικό. Παρομοίως, στην περιοχή της Κρήτης το ετήσιο ύψος της βροχής μειώνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά. (Ζερεφός κ.ά., 2011)

Εκτός από τη γεωγραφική κατανομή των βροχοπτώσεων σημασία έχει και η κατανομή του ετήσιου ύψους της βροχής ανά εποχές. Παρατηρούμε λοιπόν, ότι κατά τη διάρκεια των μηνών που αποτελούν την ψυχρή περίοδο του έτους η κατανομή του μέσου ετήσιου ύψους βροχής είναι περίπου ίδια, η ποσότητα βροχής αυξάνει από το φθινόπωρο προς το χειμώνα και ελαττώνεται προς την άνοιξη. Κατά τη θερινή περίοδο οι βροχές είναι σπάνιες και όταν συμβαίνουν πρόκειται για τοπικές θερμικές καταιγίδες, οι οποίες αν και είναι τις περισσότερες φορές μικρής διάρκειας μπορούν να δώσουν μεγάλες ποσότητες βροχής. (Ζερεφός κ.ά., 2011)

Η πορεία των ετήσιων ημερών βροχής ακολουθεί εκείνη του ετήσιου ύψους βροχής. Παρατηρούνται λοιπόν, αυξητικές τάσεις από τα δυτικά παράλια προς το εσωτερικό με μέγιστο στις κεντρικές οροσειρές και ελαττώνονται προς τα παράλια του Αιγαίου, όπου σημειώνεται και ο ελάχιστος ετήσιος αριθμός ημερών βροχής. (Ζερεφός κ.ά., 2011)

Το ετήσιο ύψος, λοιπόν, της βροχής στην Ελλάδα μεταβάλλεται σημαντικά από έτος σε έτος, με το μέσο ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης για ολόκληρη τη χώρα να φθάνει τα 800 περίπου χιλιοστά. Μελέτες δεδομένων βροχής που προέρχονται από μεγάλο αριθμό βροχομετρικών σταθμών της χώρας και καλύπτουν χρονικά το β' μισό του 20^{ού} αιώνα έδειξαν ότι σε ό,τι αφορά τις βροχοπτώσεις καταγράφεται τάση ελάττωσης και σε ορισμένες μάλιστα περιοχές η μείωση της βροχόπτωσης είναι στατιστικά σημαντική. Πιο συγκεκριμένα, για την περίοδο 1961 - 1990 οι Maheras & Anagnostopoulou (2003) παρατήρησαν πτώση στη μέση χειμερινή βροχόπτωση της τάξης των 60 χιλιοστών βροχής (περίπου 20%) με τη μεγαλύτερη πτώση στη δυτική

Ελλάδα και τη μικρότερη στην Αθήνα και στο νότιο Αιγαίο. Η τάση αυτή αφορά όχι μόνο την Ελλάδα αλλά ολόκληρη την Ανατολική Μεσόγειο, όπου οι βροχοπτώσεις παρουσιάζουν ελάττωση από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από βορρά προς νότο, αλλά και διαφοροποιήσεις από περιοχή σε περιοχή, καθώς και έντονη μεταβλητότητα από έτος σε έτος, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε τόσο στην τοπογραφία όσο και στις μεταβολές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην ευρύτερη περιοχή. (Maheras et al., 2004)

3.2. Ακραίες βροχοπτώσεις στην Ελλάδα

Η προσπάθεια αναγνώρισης και κατανόησης της δίαιτας, της μεταβλητότητας και της τάσης των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τις ακραίες συνθήκες βροχόπτωσης μιας περιοχής είναι ιδιαίτερα σημαντική και αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητών.

Μελετητές που ασχολήθηκαν με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα ακραία κλιματικά φαινόμενα κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η λεκάνη της Μεσογείου θα οδηγηθεί σε σημαντικά θερμότερο κλίμα, το οποίο περιλαμβάνει παρατεταμένα κύματα καύσωνα, λιγότερες βροχοπτώσεις, αλλά εντονότερα επεισόδια βροχής. (Τολικά κ.α., 2008)

Οι Tolika et al. (2004) επιχείρησαν να μελετήσουν τις τάσεις των ακραίων καιρικών συνθηκών που διαμορφώθηκαν στον ευρύτερο ελληνικό χώρο κατά το β' μισό του 20ού αιώνα αναλύοντας τις τάσεις 6 δεικτών που χαρακτηρίζουν τις ακραίες βροχοπτώσεις (Pq90, Px5d, Pint, Pxcdd, Pf90, Pn90). Τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν προέκυψαν από χρονοσειρές ημερησίων ποσών βροχόπτωσης 22, ομοιόμορφα κατανεμημένων στον ελλαδικό χώρο, μετεωρολογικών σταθμών.

Η μελέτη της συμπεριφοράς των έξι, χαρακτηριστικών για τις ακραίες βροχοπτώσεις, δεικτών, για την περίοδο 1958-2000, έδειξε ότι οι περισσότεροι από αυτούς παρουσιάζουν αρνητική πτωτική τάση. Τα ακραία ποσά βροχής (Pq90) φαίνεται να μειώνονται κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Εξάιρεση αποτελούν οι σταθμοί της Αττικής και των νησιών των Κυκλάδων. Μάλιστα στο σταθμό της Νάξου η αύξηση των ακραίων ποσών βροχής είναι στατιστικά σημαντική. Εκτός από τα ποσά βροχής, μείωση γενικά παρουσιάζει και η ένταση του υετού (Pint) με εξαίρεση τους σταθμούς της κεντρικής Ελλάδας, οι οποίοι εμφανίζουν θετικές τάσεις. Το καλοκαίρι οι θετικές αυτές τάσεις εντοπίζονται και στη νότια και νοτιοδυτική Ελλάδα, ενώ το φθινόπωρο στο ανατολικό Αιγαίο. Επίσης, η κατανομή των τάσεων του δείκτη Px5d παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με τους προηγούμενους. Μόνο το φθινόπωρο το πλήθος των σταθμών με θετική τάση είναι μεγαλύτερο. Τέλος, πτωτικές τάσεις παρουσιάζουν και οι δείκτες Pf90 και Pn90 κυρίως σε ετήσια κλίμακα και κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αντίθετη συμπεριφορά

με τους υπόλοιπους δείκτες παρουσιάζει ο Pxcdd (μέγιστη ξηρή ακολουθία), όπου θετικές τάσεις χαρακτηρίζουν το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. (Tolika et al., 2004)

Οι Tolika et al. (2004) μελέτησαν τις τάσεις των ακραίων βροχοπτώσεων με τη βοήθεια δεικτών ακραίων τιμών (δεκατημόρια, ένταση βροχής, κ.ά.) Οι Αναγνωστοπούλου κ.ά. (2006) λαμβάνοντας υπόψη τους ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις είναι δύσκολο να περιγραφούν από τις κοινές στατιστικές μεθόδους, εξαιτίας της σπανιότητάς τους και του μικρού αριθμού τους, και θέλοντας να μελετήσουν τις ακραίες βροχοπτώσεις επιχείρησαν να χρησιμοποιήσουν στατιστικές μεθόδους που περιγράφουν ικανοποιητικά τις ακραίες τιμές της βροχόπτωσης, όπως η οικογένεια κατανομών GEV (Generalized Extreme Value), μέλος της οποίας είναι και η κατανομή Gumbel και η κατανομή Pareto (Pareto Distribution).

Χρησιμοποίησαν λοιπόν, τις ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης 22, ομοιόμορφα κατανεμημένων στην ελληνική περιοχή, μετεωρολογικών σταθμών για τη χρονική περίοδο 1958-2000. Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προέκυψαν συμπεράσματα για τον εντοπισμό των ορίων και την περίοδο επανάλληψης των ακραίων βροχοπτώσεων στην περιοχή μελέτης. (Αναγνωστοπούλου κ.ά., 2006)

Σε ό,τι αφορά τις ακραίες τιμές σε ετήσια δεδομένα η ανάλυση έγινε σε χρονοσειρές των ετήσιων μέγιστων βροχοπτώσεων για τη χρονική περίοδο 1958-2000. Στα νέα δεδομένα που προέκυψαν εφαρμόστηκαν τα μοντέλα των κατανομών GEV και Gumbel. Οι παράμετροι των δύο κατανομών εμφανίζουν παρόμοιες τιμές ανά σταθμό και υποπεριοχή. Από τη μελέτη των διαγραμμάτων της πιθανότητας, της ποσότητας και της πυκνότητας των παραμέτρων των δύο κατανομών εξήγαγαν το συμπέρασμα ότι είναι δύσκολη η επιλογή ανάμεσα στις δύο κατανομές. Παρά τις ομοιότητες των δυο κατανομών υπάρχει μία βασική διαφορά και αυτή αφορά το εύρος του διαστήματος εμπιστοσύνης. Έτσι, παρατηρήθηκε ότι για το ίδιο διάστημα εμπιστοσύνης (95%) η κατανομή GEV εμφανίζει μεγαλύτερο εύρος σε σχέση με αυτό της κατανομής Gumbel, ιδιαίτερα για μεγάλες περιόδους επανάλληψης. (Αναγνωστοπούλου κ.ά., 2006)

Σε ό,τι αφορά τις ακραίες τιμές σε ημερήσια δεδομένα, για να εφαρμοστεί η κατανομή Pareto έπρεπε να οριστεί το όριο βροχόπτωσης, πάνω από το οποίο οι τιμές θα θεωρούνταν ακραίες. Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα επιλέχθηκαν δύο

ίδια όρια (30mm και 50mm) για κάθε σταθμό και για αυτά εφαρμόστηκε η κατανομή Pareto στα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης. Από τα στοιχεία που προέκυψαν από τη μελέτη φάνηκε ότι το όριο των 30 mm είναι ικανοποιητικό για όλους τους σταθμούς. Εξάιρεση αποτέλεσε ο σταθμός της Μυτιλήνης, ο οποίος έδωσε ικανοποιητικά δεδομένα για το όριο των 50mm. Οι υπόλοιποι σταθμοί για το όριο των 50mm, εξαιτίας του μικρού δείγματος που μελετήθηκε δεν εμφάνισαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. (Αναγνωστοπούλου κ.ά., 2006)

Σύμφωνα με τους Αναγνωστοπούλου κ.ά. (2006) οι ακραίες τιμές βροχόπτωσης που προέκυψαν από τις δύο κατανομές GEV και Pareto μπορούν να χαρακτηριστούν ικανοποιητικές. Οι επιπλέον πληροφορίες που μπορεί να προκύπτουν από τα ημερήσια δεδομένα, η επιλογή του σωστού ορίου και το μέγεθος του δείγματος που εξετάζεται είναι από τις κυριότερες αιτίες που κάνει την κατανομή Pareto να πλεονεκτεί σε σχέση με αυτή της GEV.

Τις μεταβολές των ημερήσιων βροχοπτώσεων στην Ελλάδα κατά την περίοδο των 45 ετών (1957-2001) εξέτασαν οι Nastos & Zerefos (2008). Τα σύνολα δεδομένων βροχόπτωσης που εξετάστηκαν αφορούσαν ημερήσια σύνολα που καταγράφηκαν σε 21 επιφανειακούς μετεωρολογικούς σταθμούς της Ελληνικής Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, οι οποίοι κατανέμονταν ομοιόμορφα στην ελληνική περιφέρεια. Αρχικά, εφάρμοσαν τον παράγοντα ανάλυσης με αποτέλεσμα την ομαδοποίηση των μετεωρολογικών σταθμών με παρόμοια χρονική διακύμανση. Οι κύριες υποομάδες αντιπροσώπευαν τις βόρειες, νότιες, δυτικές, ανατολικές και κεντρικές περιοχές της Ελλάδας με κοινά χαρακτηριστικά βροχοπτώσεων. Για τους αντιπροσωπευτικούς σταθμούς των υποομάδων που εξήχθησαν εκτίμησαν τις τάσεις και τη χρονική μεταβλητότητα του αριθμού των ημερών (%) άνω των 30mm και 50 mm που είναι το όριο για πολύ ακραίες και σπάνιες περιπτώσεις ακραίας βροχόπτωσης. Η ανάλυση των συνολικών ακραίων ημερησίων τιμών βροχόπτωσης κατέδειξαν την ύπαρξη θετικής τάσης, όχι όμως στατιστικά σημαντικής, που παρατηρήθηκε στις συνολικές ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης να υπερβαίνει τα 30-50mm στις ανατολικές και νότιες περιοχές της χώρας. Φαινόμενα ακραίων βροχοπτώσεων εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις δυτικές και ανατολικές περιοχές και κυρίως το φθινόπωρο στην υπόλοιπη χώρα.

Κατά τον ίδιο τρόπο και οι Kioutsioukis et al (2010) επικέντρωσαν το ενδιαφέρον τους στα ακραία γεγονότα βροχοπτώσεων και στις αλλαγές που παρατηρήθηκαν σχετικά με το εύρος και τη συχνότητά τους κατά τα έτη 1955-2002 στην Ελλάδα. Χρησιμοποίησαν δεκαέξι κλιματικούς δείκτες και ανέλυσαν τις τάσεις που προέκυψαν για τον εντοπισμό πιθανών αλλαγών σε ένα δίκτυο ομοιογενώς κατανεμημένων σταθμών μέτρησης που κάλυπτε την περιοχή μελέτης. Επιπλέον, εξέτασαν τις αλλαγές στην κατανομή πιθανότητας των δεικτών, και ανέλυσαν τη χρονική εξέλιξη του εύρους και της συχνότητας των ακραίων συμβάντων μέσω των παραμέτρων της ακραίας κατανομής τιμών. Εξετάστηκε η χρονική σταθερότητα των κατανομών και διερευνήθηκε η χωρική κατανομή της τάσης τους καθώς και οι μεταβολές τους.

Τα αποτελέσματα της έρευνάς τους κατέδειξαν ότι η συνολική ετήσια βροχόπτωση καθώς και η συχνότητα και η ένταση της ακραίας βροχόπτωσης έχουν μειωθεί σημαντικά σε σχέση με την περιοχή. Ωστόσο, το ποσοστό ακραίας κατακρημνίσεως έχει ένα ευρύτατο πρότυπο χωρίς σαφή τάση. Αυτό το αποτέλεσμα είναι αντίθετο σε σχέση με την παγκόσμια θετική τάση στην συνολική κατακρήμνιση ή την αύξηση των ακραίων βροχοπτώσεων στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Οι μεταβολές των ακραίων κατακρημνίσεων σχετίζονται με μεταβολές στη κλίμακα και τη θέση της προσαρμοσμένης κατανομής. Παράλληλα το επίπεδο βροχόπτωσης στο τελευταίο τρίμηνο του εικοστού αιώνα παρουσίασε παρόμοιες τιμές σε σύγκριση με το προηγούμενο τρίμηνο. Ωστόσο, το πρότυπο διαφέρει σημαντικά για το ανατολικό τμήμα του τομέα (θαλάσσιο). (Kioutsioukis et al, 2010)

Το γεγονός ότι η χρήση επίγειων δεδομένων για την καταγραφή της γεωγραφικής κατανομής των βροχοπτώσεων περιορίζεται από την υψηλή χωρική και χρονική μεταβλητότητα που αυτή παρουσιάζει καθώς και την αδυναμία κάλυψης απομακρυσμένων και δυσπρόσιτων περιοχών από βροχομετρικούς σταθμούς, οδήγησε ορισμένους επιστήμονες να χρησιμοποιήσουν τεχνικές εκτίμησης βροχόπτωσης που βασίζονται σε μετρήσεις στο υπέρυθρο των γεωστάσιμων δορυφόρων και οι οποίες προσφέρουν μεγαλύτερη χωρική κάλυψη και υψηλή χρονική ανάλυση. Με σκοπό λοιπόν, την εκτίμηση του ύψους βροχής σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων στον ελληνικό χώρο, ο Φείδας (2004) αξιολόγησε τρεις δορυφορικές τεχνικές με τη χρήση δεδομένων του Meteosat στο κανάλι του υπέρυθρου. Πρόκειται για τις τεχνικές Arkin technique (ARKT), Negri-Adler-Wetzel

technique (NWAT) και convective stratiform technique. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνάς του, κοινό χαρακτηριστικό και των τριών τεχνικών που εξετάστηκαν είναι η υπερεκτίμηση της βροχόπτωσης στον ελληνικό χώρο. Κατέληξε έτσι στο συμπέρασμα πως από όλες τις τεχνικές, αυτή που μπορεί να αναπαραστήσει καλύτερα τα επεισόδια έντονων βροχοπτώσεων στην περιοχή της Ελλάδας είναι η βελτιστοποιημένη τεχνική NAWT.

Επιχειρώντας οι Tolika et al. (2004) να ερμηνεύσουν τα συμπεράσματα της μελέτης τους, με κυριότερα την πτωτική τάση τόσο των ακραίων ποσών βροχής, όσο και της έντασης του υετού στο μεγαλύτερο μέρος της ελληνικής περιοχής, υποστήριξαν ότι αυτά πιθανότατα οφείλονται στην παρατηρούμενη επικράτηση των αντικυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας στον ελληνικό χώρο. Η επικράτηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της νέφωσης και κατά συνέπεια της βροχόπτωσης, ευνοώντας παράλληλα τις περιόδους ξηρασίας. Οι όποιες παρατηρούμενες διαφοροποιήσεις οφείλονται πιθανότητα σε τοπικά αίτια και δεν μπορούν να ερμηνευθούν από τη γενικότερη κυκλοφορία της ατμόσφαιρας στην περιοχή μελέτης.

Οι Houssos & Bartzokas (2006) μελετώντας με τη σειρά τους ακραία γεγονότα βροχόπτωσης στη ΒΔ Ελλάδα κατέληξαν και εκείνοι πως η αιτία ήταν το βαρομετρικό χαμηλό δυτικά της Ελλάδας. Η θέση και η έντασή τους διαφέρει από γεγονός σε γεγονός. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ύφεση διαπιστώθηκε ότι βρίσκεται είτε στη θάλασσα του Ιονίου ή πάνω από την Ιταλία και είναι συνδεδεμένη είτε με υψηλότερου γεωγραφικού πλάτους κυκλοφορία ή εμφανίζεται ως ένας απομονωμένος κυκλώνας.

Οι Tolika et al (2017) συνεχίζοντας την έρευνά τους για τη σχέση μεταξύ των ακραίων βροχοπτώσεων με τους τύπους κυκλοφορίας, βρήκαν ότι τα περισσότερα φαινόμενα βροχόπτωσης σημειώνονται κατά την επικράτηση 2 συγκεκριμένων υφεσιακών τύπων. Πρόκειται για τους C και C_{WSW} . Έχοντας ως σκοπό τη διερεύνηση των αιτιών που προκαλούν τις ακραίες βροχοπτώσεις μελέτησαν τις συνοπτικές καταστάσεις με τη χρήση της στάθμης των 500 hPa. Για τους 2 τύπους κυκλοφορίας που προαναφέρθηκαν υπολογίστηκαν τα μέσα γενικά πεδία τους για όλη την περίοδο μελέτης καθώς και τα πεδία που προέκυψαν 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 αλλά και ο τρόπος που διαφοροποιούνται οι τύποι αυτοί κατά τις ημέρες όπου καταγράφηκαν επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης. Το ποσοστό συμμετοχής κάθε τύπου στο συνολικό ύψος βροχής που σημειώθηκε από επεισόδια βροχόπτωσης είναι το 90-95%. Από τη μελέτη των Tolika et al (2017) για σταθμούς της Ανατολικής Ευρώπης, αλλά και της αντίστοιχης των Κωστοπούλου κ.ά. (2007) που εφαρμόστηκε σε σταθμούς της ελληνικής περιοχής, γίνεται φανερό πως οι περισσότερες ακραίες βροχοπτώσεις σημειώνονται κατά την επικράτηση κυκλωνικών συνοπτικών καταστάσεων και οι ισχυρότερες αυτών σχετίζονται με υφεσιακά συστήματα των τύπων C και C_{WSW}.

Το πώς σχετίζεται η ατμοσφαιρική κυκλοφορία με το φαινόμενο των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ελλάδα μελέτησαν επίσης οι Houssos et al (2008) καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι τα περισσότερα από τα μελετώμενα επεισόδια ακραίας βροχόπτωσης χαρακτηρίζονταν από ενισχυμένη κυκλωνική δραστηριότητα πάνω ή κοντά στην ελληνική περιοχή. Οι όποιες διαφορές προέκυψαν μεταξύ των 369 μελετώμενων περιπτώσεων οφείλονταν: α) στην ακριβή θέση και στην ένταση της επιφάνειας και των ανώτερων συστημάτων αέρα, β) στην εποχή της επικράτησής τους και γ) στην ακριβή κατεύθυνση της ροής του αέρα της επιφάνειας, ο οποίος είναι ισχυρά συνδεδεμένος με την χωρική κατανομή των ακραίων βροχοπτώσεων στην ελληνική περιοχή.

Οι Toreti et al (2010) επιχείρησαν να διερευνήσουν επίσης τη σχέση μεταξύ των ακραίων βροχοπτώσεων και της μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της άνω, μέσης και κάτω τροπόσφαιρας χρησιμοποιώντας δεδομένα που προέρχονταν από 20 σταθμούς της Μεσογείου. Ειδικά για την Ανατολική Μεσόγειο, τα αναγνωρισμένα πρότυπα ανωμαλίας υποδηλώνουν οριζόντια μεταφορά θερμού αέρα, τα οποία συνδέονται με ανώμαλη ανοδική τάση και με μία αύξηση της χαμηλής προς μέσης τροποσφαιρικής υγρασίας.

Οι Σαλβάνου κ.ά. (2004) με τη σειρά τους επιχείρησαν να διερευνήσουν τις τάσεις, σε ετήσια και εποχιακή βάση, των βροχοπτώσεων σε επιλεγμένους ελληνικούς σταθμούς και να διευθετήσουν ορισμένα ζητήματα, τα οποία αφορούσαν στη σχέση μεταξύ της μεταβολής του μέσου κλίματος και της συχνότητας των ακραίων φαινομένων. Για το λόγο αυτό επέλεξαν να αναλύσουν τα δεδομένα τριών σταθμών των οποίων οι μηνιαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης υπερέβαιναν τα 95 έτη.

Η βροχόπτωση εμφάνισε πτωτικές τάσεις σε Αθήνα και Κέρκυρα. Αυξητική τάση παρατηρήθηκε μόνο στις εαρινές βροχοπτώσεις της Αθήνας και τις χειμερινές και εαρινές της Θεσσαλονίκης. Η ελάττωση της βροχόπτωσης στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Ελλάδας κυρίως μετά το 1980 συνδέεται με την αύξηση της πίεσης πάνω από την περιοχή της Κεντρικής Μεσογείου και την ελάττωση των μεσημβρινών τύπων κυκλοφορίας. Ωστόσο, ο περιορισμένος αριθμός υποπεριόδων στις οποίες διαιρέθηκαν οι χρονοσειρές δεν επαρκούσε, για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της συχνότητας των ακραίων φαινομένων και των μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Έτσι, για τις περιπτώσεις όπου παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική μεταβολή στη μέση τιμή/τυπική απόκλιση, οι χρονοσειρές βροχόπτωσης διαιρέθηκαν σε ένα πλήθος επικαλυπτόμενων περιόδων μήκους 40 ετών. (Σαλβάνου κ.ά. 2004)

Η ανάλυση τάσης των επιμέρους χρονοσειρών βροχόπτωσης σε ετήσια και εποχιακή βάση, στους τρεις επιλεγμένους σταθμούς, με τη μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης, έδωσε διαφορετικά αποτελέσματα σε σχέση με εκείνα τα οποία προέκυψαν κατά την ανάλυση τάσης ολόκληρων των χρονοσειρών. Η σημαντική ελάττωση της βροχόπτωσης στο σταθμό της Κέρκυρας συνδέεται με την ελάττωση των μεσημβρινών τύπων κυκλοφορίας. Σε αντίθεση με τη μέση τιμή, μόνο η μεταβλητότητα των θερινών θερμοκρασιών στη Θεσσαλονίκη παρουσίασε σημαντική μεταβολή. Η διαχρονική συμπεριφορά της συχνότητας των ακραίων εποχών στους επιλεγμένους σταθμούς σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990, επηρεάζεται κυρίως από τη μέση τιμή. (Σαλβάνου κ.ά. 2004)

Εκτός από την εκτίμηση των τάσεων που διαμορφώνονται σχετικά με τα φαινόμενα των ακραίων βροχοπτώσεων και την προσπάθεια διερεύνησης της συσχέτισης των ακραίων βροχοπτώσεων με τους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ερευνητές έχουν ασχοληθεί επίσης με τα συνοπτικά και δυναμικά χαρακτηριστικά επεισοδίων εξαιρετικής βροχόπτωσης στην περιοχή της Ελλάδας.

Αυτό ακριβώς αποτέλεσε το αντικείμενο έρευνας των Καραγιαννίδη κ.ά. (2008) οι οποίοι μελέτησαν τα κυριότερα συνοπτικά και δυναμικά χαρακτηριστικά ορισμένων επεισοδίων εξαιρετικής βροχόπτωσης στον ελλαδικό χώρο. Για να το πετύχουν αυτό χρησιμοποίησαν δύο σύνολα δεδομένων, τα οποία εκτείνονταν χρονικά από το 1958-2000. Το πρώτο αποτελούνταν από ημερήσια ύψη βροχής 20 ελληνικών

μετεωρολογικών σταθμών, ενώ το δεύτερο σύνολο δεδομένων αποτελούνταν από δεδομένα κόμβων πλέγματος μιας σειράς μεγεθών σε ορισμένες ισοβαρικές επιφάνειες της ατμόσφαιρας καθώς και στη μέση στάθμη της θάλασσας. Αφού όρισαν τις προϋποθέσεις για να θεωρηθεί ένα επεισόδιο ως γεγονός εξαιρετικής βροχόπτωσης, εντόπισαν συνολικά εννέα επεισόδια εξαιρετικής βροχόπτωσης στα όρια του ελληνικού χώρου.

Παρατήρησαν λοιπόν, ότι καταγράφεται σημαντική οριζόντια απόκλιση στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας (300 hPa) κατά τις D-1, D0 και D1 ημέρες, η οποία συνδέεται με τις ισχυρές ανοδικές κινήσεις στην κατώτερη και μέση τροπόσφαιρα. Τα παραπάνω στοιχεία χαρακτηρίζουν οργανωμένα υφειακά συστήματα, τα οποία με την προϋπόθεση ύπαρξης επαρκούς υγρασίας στα μέσα και κατώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας, συνδέονται με έντονες βροχοπτώσεις. Συνεχίζοντας, θετικές τιμές καθ' όλη τη διάρκεια των εξεταζόμενων επεισοδίων παρουσίασε ο μέσος σχετικός ισοβαρικός στροβιλισμός, ο οποίος μειώνεται όσο το υφειακό σύστημα περνά σταδιακά ανατολικότερα του ελλαδικού χώρου. (Καραγιαννίδης κ.ά., 2008)

Παρατήρησαν επίσης κατά τη διάρκεια των επεισοδίων εξαιρετικής βροχόπτωσης, μία συνεχή πτώση του μέσου και μέσου μεγίστου γεωδυναμικού ύψους, το οποίο όμως στη συνέχεια παρουσιάζει συνεχή αύξηση. Αυτό οφείλεται στη βαροκλιτικότητα που παρουσιάζει η ατμόσφαιρα κατά την διάρκεια των επεισοδίων εξαιρετικής βροχόπτωσης. Τέλος, παρατήρησαν ότι η διέλευση κυκλωνικών συστημάτων πάνω από μία περιοχή έχει ως αποτέλεσμα τη ραγδαία πτώση της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας πριν την άφιξή τους και την εξίσου ραγδαία αύξησή της αμέσως μετά την έλευσή τους. (Καραγιαννίδης κ.ά., 2008)

Πολλές επιστημονικές μελέτες επίσης επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους στη μελέτη των ακραίων χαρακτηριστικών των βροχοπτώσεων σε συγκεκριμένες περιοχές της χώρας. Έτσι, οι Nastos & Zerefos (2007) επικεντρώνοντας το ενδιαφέρον τους στην Αθήνα, επεξεργάστηκαν τα δεδομένα της ημερήσιας βροχόπτωσης για τα έτη 1891-2004 που προέρχονταν από το Αστεροσκοπείο Αθηνών και βρήκαν αρνητική τάση στον αριθμό των ημερών βροχής, η οποία συνοδεύεται όμως από μία σαφή θετική τάση σε επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων.

Οι Feloni et al (2017) σε μία πρόσφατη μελέτη θεωρώντας ότι τα ευρήματα σχετικά με τα εποχιακά συνοπτικά χαρακτηριστικά των ισχυρών βροχοπτώσεων θα

μπορούσαν να συμβάλουν σε περαιτέρω μελέτες ή συγκεκριμένες εφαρμογές στον τομέα πολιτικής προστασίας και τις Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες, μελέτησαν την περίοδο 2007-2013 και εντόπισαν συνολικά 26 γεγονότα, στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, τα οποία έχουν αναλυθεί και ταξινομηθεί εντός των βροχοπτώσεων του φθινοπώρου και του χειμώνα.

Αντίστοιχες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και για άλλες περιοχές όπως η Θεσσαλονίκη Tolika et al (2017), Douka et al (2017), η Χαλκιδική (Κασσωμένος κ.ά. 2014) κ.ά.

Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνει κανείς υπόψη του ότι αρνητικές επιπτώσεις στον φυσικό και κοινωνικοοικονομικό τομέα δεν προκαλούνται μόνο από την παρουσία ακραίων βροχοπτώσεων αλλά και από την απουσία των βροχοπτώσεων εν γένει. Τα εξαιρετικά χαμηλά ποσά βροχόπτωσης που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια του 1989 και το πρώτο εξάμηνο του 1990 σε συνδυασμό με την παρατεταμένη ξηρή περίοδο που επικρατούσε ταυτόχρονα σε όλη τη χώρα, επέφεραν σημαντικά κοινωνικά προβλήματα ιδιαιτέρως στα αστικά κέντρα. Το ζήτημα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο έρευνας από τους Tselepidaki et al (1992), οι οποίοι μελέτησαν τα ετήσια δεδομένα βροχόπτωσης για τις παράκτιες περιοχές της χώρας.

Από τη μελέτη των δεδομένων που προήλθαν από τους παράκτιους σταθμούς συμπεράναν ότι δεν υπάρχουν σαφείς ενδείξεις αρνητικής τάσης βροχόπτωσης. Τα εξαιρετικά χαμηλά που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια του 1989-90 πρέπει να ληφθούν σαν ένα εξαιρετικό φαινόμενο ξηρασίας υποθέτοντας ότι δεν θα επαναληφθεί, καθώς οι επιπτώσεις σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο ήταν δριμύτατες και επηρέασαν πολλές πόλεις σε όλη την επικράτεια της Ελλάδας. (Tsepelaki et al, 1992)

3.3. Το ζήτημα της πρόγνωσης των ακραίων καιρικών φαινομένων

Η δυνατότητα βελτίωσης της πρόγνωσης βροχόπτωσης σε τοπική κλίμακα έχει σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα σε περιοχές όπως η Ανατολική Μεσόγειος, η οποία είναι ευάλωτη σε έντονες αλλαγές καιρού και αντιμετωπίζει προβλήματα διαχείρισης υδάτινων πόρων. (Οικονόμου κ.ά., 2006)

Η δυνατότητα «πρόγνωσης» των ακραίων τιμών σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο έχει μεγάλη σημασία για τη μελέτη των ακραίων καταστάσεων. Λαμβάνοντας αυτό υπόψη τους οι Αναγνωστοπούλου κ.ά. (2006) υπολόγισαν στο πλαίσιο της έρευνάς τους τις ακραίες τιμές βροχόπτωσης (RL τιμές) για τις περιόδους επανάλληψης των 30, 50, 70, 100, 150, 200 και 250 ετών σύμφωνα με τις κατανομές Pareto (για όριο 30mm) και GEV.

Από την ανάλυση των στοιχείων προέκυψε ότι για τους σταθμούς του Ηρακλείου, της Μυτιλήνης, της Κέρκυρας και της Θεσσαλονίκης, η κατανομή GEV εμφανίζει μεγαλύτερες RL τιμές βροχόπτωσης, σε σχέση με αυτές της κατανομής Pareto για τις διαφορετικές περιόδους επανάλληψης. Για παράδειγμα στα 70 χρόνια, στο σταθμό του Ηρακλείου μπορεί μία ημέρα να εμφανίσει βροχόπτωση της τάξης των 180mm (GEV) ή 153mm (Pareto), στη Μυτιλήνη 134mm και 139mm, ενώ στη Θεσσαλονίκη από 84mm (Pareto) και 94mm (GEV). Για τον σταθμό της Αθήνας οι δύο κατανομές διαφέρουν σημαντικά, με την κατανομή Pareto να εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές. Για την Αθήνα στα εκατό χρόνια, η κατανομή Pareto δίνει 113,8mm, βροχόπτωση που καταγράφηκε στη διάρκεια των 43 μελετημένων ετών, ενώ η κατανομή GEV δίνει μόνο 93,1mm. (Αναγνωστοπούλου κ.ά., 2006)

Τα τελευταία χρόνια η χρήση διάφορων τρισδιάστατων ή και τετραδιάστατων συστημάτων εισαγωγής παρατηρήσεων στις αρχικές συνθήκες των μοντέλων πρόγνωσης καιρού (3/4 DVAR Data Assimilation) έχει καθιερωθεί με σκοπό τη βελτίωση των αποτελεσμάτων της αριθμητικής πρόγνωσης. Τα συστήματα αυτά μπορούν να δεχτούν τόσο συμβατικά δεδομένα, όσο και μετρήσεις από μία πληθώρα δορυφορικών πλατφορμών των οποίων η εμφάνιση από τη δεκαετία του 1980 και μετέπειτα έχει συμβάλλει συστηματικά στην πρόγνωση καιρού. Παρά την ευρύτατη χρήση των συστημάτων εισαγωγής παρατηρήσεων, υπάρχουν περιορισμοί στην

επιτυχημένη καιρική πρόβλεψη όταν αυτά εφαρμόζονται σε κλίμακα λίγων χιλιομέτρων και πάνω από πολύπλοκη τοπογραφία, όπως αυτή του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου. (Οικονόμου κ.ά, 2006)

Ένα από τα 3DVAR συστήματα είναι αυτό του ατμοσφαιρικού μη-υδροστατικού μοντέλου MM5, το οποίο έχει αναπτυχθεί στο Penn State University. Το MM5 χρησιμοποιείται από το 2000 στο Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης του Εθνικού Αστεροκοπείου Αθηνών. Το MM5 παρέχει καθημερινά προβλέψεις στο κοινό μέσω της ιστοσελίδας του Ινστιτούτου για τρία πλέγματα: το πρώτο με ανάλυση 24km που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, το δεύτερο με ανάλυση 8km που καλύπτει την ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου, και τέλος το τρίτο που καλύπτει την περιοχή της Αθήνας με ανάλυση 2km. Το μοντέλο MM5 αναπτύχθηκε για συνοπτικές και μεσοπρόθεσμες μετεωρολογικές προγνώσεις και έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία από αρκετές εθνικές μετεωρολογικές υπηρεσίες σε όλο τον κόσμο. (Οικονόμου κ.ά., 2006)

Σκοπός του συστήματος αυτού είναι να συνδυάσει σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή τις διαθέσιμες μετρήσεις y^o με το αποτέλεσμα x^b του αριθμητικού μοντέλου MM5 για την ίδια χρονική στιγμή, ώστε να πάρουμε μία βέλτιστη εκτίμηση της κατάστασης x στην οποία θα είναι η ατμόσφαιρα σε μία μελλοντική στιγμή. Το κατά πόσο βέβαια αυτή η πρόβλεψη είναι βέλτιστη, ορίζεται από τις εκτιμήσεις των σφαλμάτων B, E και F που είναι αντίστοιχα τα σφάλματα της αρχικής εκτίμησης, τα σφάλματα των μετρήσεων και τέλος τα αντιπροσωπευτικά σφάλματα των πινάκων συσχέτισης. (Οικονόμου κ.ά., 2006)

Οι Οικονόμου κ.ά. (2006) πρότειναν για την επίτευξη της βελτίωσης της πρόγνωσης της βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης, να εξεταστεί η εισαγωγή στο 3DVAR του MM5 δορυφορικών μετρήσεων υγρασίας από το δορυφόρο SSM/1 αλλά και θερμοκρασίας φωτεινότητας είτε από τον SSM/1 είτε από τον TRMM που συνδέονται με την ύπαρξη νεφών. Υποστήριξαν μάλιστα, ότι η καλύτερη περιγραφή της υγρασίας στα αρχικά στάδια της προσομοίωσης θα οδηγήσει σε βελτίωση των προγνώσεων βροχής. (Οικονόμου κ.ά., 2006)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Μελλοντικές εκτιμήσεις για το φαινόμενο των ακραίων βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο

4.1.Μελλοντικές εκτιμήσεις για τις βροχοπτώσεις στην Ελλάδα

Οι εκτιμώμενες τάσεις για την βροχόπτωση στην Μεσόγειο, παρουσιάζουν σημαντική εποχιακή πτώση με σημαντικές διακυμάνσεις (Sánchez et al, 2004).

Οι ειδικοί του Κέντρου Έρευνας Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας της Ακαδημίας Αθηνών (ΚΕΦΑΚ) έχουν αναπτύξει βάσεις δεδομένων και προσομοιώσεων προτύπων με βάση τα Σενάρια Εκπομπών που αναπτύχθηκαν στο πλαίσιο της τρίτης έκθεσης του Ο.Η.Ε για την κλιματική αλλαγή, IPCC (2000)

Παρακάτω παρατίθενται τα προαναφερθέντα σενάρια:

ΟΝΟΜΑ ΣΕΝΑΡΙΟΥ	ΠΡΟΒΛΕΨΕΙΣ
A2	μέτρια αύξηση του μέσου παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος, ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας, ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, αργή και τμηματική τεχνολογική ανάπτυξη, μέτριες έως μεγάλες αλλαγές στη χρήση γης, ραγδαία αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 850 ppm το 2100
A1B	ραγδαία οικονομική ανάπτυξη, ιδιαίτερα έντονη κατανάλωση ενέργειας, διάδοση νέων και αποδοτικών τεχνολογιών, χρήση τόσο ορυκτών καυσίμων όσο και εναλλακτικών πηγών ενέργειας, μικρές αλλαγές στη χρήση γης, ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια, έντονη αύξηση της συγκέντρωσης του CO ₂ στην ατμόσφαιρα, η οποία θα φθάσει τα 720 ppm το 2100

B2	ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας με μέτριους ρυθμούς, ηπιότερες τεχνολογικές αλλαγές σε σύγκριση με τα άλλα σενάρια εκπομπών, ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα με μέτριους αλλά σταθερούς ρυθμούς, η οποία θα φθάσει τα 620 ppm το 2100
B1	μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου κατά κεφαλήν εισοδήματος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, μείωση της χρήσης των συμβατικών πηγών ενέργειας και στροφή στη χρήση τεχνολογιών που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές, ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι το έτος 2050 και σταδιακή μείωσή του στη συνέχεια, αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα με σχετικά ήπιους ρυθμούς, ιδίως από το 2050 και μετά, η οποία θα φθάσει τα 550 ppm το 2100

Η Ελλάδα χωρίστηκε σε 13 κλιματικές περιοχές, για τις οποίες υπολογίστηκαν οι αναμενόμενες μεταβολές των μέσων εποχικών και μέσων ετήσιων τιμών έξι κλιματικών παραμέτρων για τις περιόδους από το 2021 μέχρι το 2050 και από το 2071 μέχρι το 2100. Οι κλιματικές παράμετροι που μελετήθηκαν ήταν: α) μέση θερμοκρασία του αέρα (°C), β) βροχόπτωση (mm/year), γ) σχετική υγρασία (%), δ) κλάσμα νεφοκάλυψης (%), ε) εισερχόμενη ολική ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος στην επιφάνεια (W/m²) και στ) ταχύτητα ανέμου στα 10 m από την επιφάνεια (m/s). (Ζερεφός κ.α., 2011)

Ειδικότερα σε ό,τι αφορά στις βροχοπτώσεις και με βάση τα αποτελέσματα των κλιματικών προσομοιώσεων, ο υετός κατά τη διάρκεια του έτους θα μειωθεί στο μέλλον στο σύνολο της ελληνικής επικράτειας για την περίπτωση και των τριών σεναρίων εκπομπών. Η μείωση του υετού εκτιμάται ότι θα είναι ιδιαίτερα σημαντική

για την περίπτωση των Σεναρίων A2 και A1B και πιο ήπια για την περίπτωση του Σεναρίου B2. (Ζερεφός κ.α., 2011)

Στην περίπτωση του Σεναρίου A2, το ύψος του υετού ανά την επικράτεια εκτιμάται ότι κατά την περίοδο 2071-2100 θα μειωθεί σε σχέση με την περίοδο αναφοράς κατά 16% το χειμώνα, κατά 19% την άνοιξη, κατά 47% το θέρος, κατά 10% το φθινόπωρο και κατά 17% για το έτος συνολικά. Η εκατοστιαία μείωση του μέσου ετήσιου υετού εικάζεται ότι θα είναι μεγαλύτερη στα δυτικά ηπειρωτικά και την Ανατολική Πελοπόννησο, όπου θα ξεπεράσει το 20%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος εκτός του Βόρειου Αιγαίου η μείωση θα κυμανθεί μεταξύ 15% - 20% και στο Βόρειο Αιγαίο δεν αναμένεται να ξεπεράσει το 10%. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ο οποίος αποτελεί και την εποχή κατά την οποία καταγράφεται το μεγαλύτερο ύψος υετού στην Ελλάδα, η μεγαλύτερη εκατοστιαία μείωση του υετού αναμένεται να σημειωθεί στα ανατολικά ηπειρωτικά τμήματα της χώρας, στη Δυτική Πελοπόννησο και στο Νότιο Αιγαίο και να ξεπεράσει το 18%. Αντίθετα, στο Βόρειο Αιγαίο η μείωση της βροχόπτωσης θα είναι μικρότερη από 8%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές η μείωση θα κυμανθεί μεταξύ 9% - 12%. Η εκατοστιαία μείωση της βροχόπτωσης φθάνει στη μέγιστη τιμή της κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αφορά το μεγαλύτερο τμήμα της χώρας και ξεπερνά το 40%, με εξαίρεση τη Βόρεια Ελλάδα. Κατά την διάρκεια της άνοιξης το ύψος του υετού στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας θα παρουσιάσει αρνητικές τάσεις σε ποσοστό μεγαλύτερο του 20%, ενώ και στις υπόλοιπες περιοχές η μείωση θα προσεγγίσει το 15%. Τέλος, κατά το φθινόπωρο αναμένεται ότι θα παρουσιαστεί στη Δυτική Ελλάδα, τη Δυτική Πελοπόννησο και την Ανατολική Μακεδονία-Θράκη σημαντική μείωση του υετού, μεγαλύτερη του 18%. (Ζερεφός κ.α., 2011)

Στην περίπτωση του Σεναρίου A1B το ύψος του υετού στην επικράτεια κατά την περίοδο 2021- 2050 θα μειωθεί σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς περίπου κατά 5%. Η εκατοστιαία μείωση του μέσου ετήσιου υετού κατά την περίοδο 2021-2050 προβλέπεται ότι θα είναι μεγαλύτερη στην Κρήτη και στην Πελοπόννησο (περίπου 15%), ενώ στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος θα κυμανθεί μεταξύ 5% - 10%, ενώ στο Βόρειο Αιγαίο θα παρουσιάσει μικρή αύξηση. Μεγαλύτερη προβλέπεται ότι θα είναι η μείωση του υετού που κατακρημνίζεται σε όλη την έκταση της χώρας στο τέλος του 21ου αιώνα. Για την περίοδο 2071- 2100 το μέσο ύψος του υετού

προβλέπεται ότι θα μειωθεί κατά 16% τη χειμερινή περίοδο, κατά 26,5% την άνοιξη, κατά 37% το θέρος, κατά 12,5% το φθινόπωρο, ενώ η μείωση για το σύνολο του έτους θα φθάσει 19%. Η εκατοστιαία μείωση του μέσου ετήσιου υετού προβλέπεται ότι θα είναι μεγαλύτερη στην Κρήτη και στην Πελοπόννησο, όπου θα προσεγγίσει το 25%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδος θα είναι ίση περίπου με 20% και στο Βόρειο Αιγαίο θα είναι μικρότερη από 15%. Κατά τον χειμώνα η μεγαλύτερη εκατοστιαία μείωση του υετού αναμένεται να ξεπεράσει το 20% για τη νότια νησιωτική Ελλάδα και την Πελοπόννησο, το 15% στη Δυτική Ελλάδα, το Ιόνιο και τα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου, ενώ θα φτάσει το 10% στις υπόλοιπες περιοχές. Κατά το θέρος η εκατοστιαία μείωση του υετού θα προσεγγίσει ή και θα ξεπεράσει το 40% στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας, ενώ κατά την άνοιξη η μείωση θα ξεπεράσει το 20%. Τέλος, κατά το φθινόπωρο αναμένεται να σημειωθεί σημαντική μείωση της βροχόπτωσης στην Κρήτη και τη Δυτική Πελοπόννησο, ενώ αντίθετα στην Κεντρική-Ανατολική Ελλάδα και το Βόρειο Αιγαίο, η αντίστοιχη μείωση δεν θα ξεπεράσει το 7%. (Ζερεφός κ.α., 2011)

Στην περίπτωση του Σεναρίου B2 αναμένεται μικρότερη μείωση της βροχόπτωσης κατά την περίοδο 2071-2100. Σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων, περίπου κατά 10%, προβλέπεται για τον χειμώνα και την άνοιξη, και μόνο για τη Νότια Ελλάδα. Για την περίοδο του φθινοπώρου, το ύψος των βροχοπτώσεων αναμένεται ότι θα μειωθεί σημαντικά μόνο στη Δυτική Ελλάδα, σε αντίθεση με τη νησιωτική Ελλάδα για την οποία προβλέπονται αυξημένες τιμές βροχόπτωσης έως και 10%. Τέλος, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η βροχόπτωση αναμένεται ότι θα μειωθεί σημαντικά σε όλη την επικράτεια και ιδιαιτέρως στην Βόρεια Ελλάδα. (Ζερεφός κ.α., 2011)

4.2. Μελλοντικές εκτιμήσεις για τις ακραίες βροχοπτώσεις στην Ελλάδα

Οι Oikonomou et al (2008) επιχείρησαν να εκτιμήσουν τις πιθανές μελλοντικές μεταβολές που μπορεί να επέλθουν στη διάρκεια των ακραίων ξηρών και υγρών περιόδων, καθώς και στην ένταση της βροχόπτωσης στην Ανατολική Μεσόγειο. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποίησαν τα στοιχεία καθημερινών ποσοτήτων κατακρημνίσεων, που προέρχονταν από το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο του UK Hadley Center HadRM3P. Τα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για τη χρονική περίοδο 1960-1990 και για τη μελλοντική περίοδο 2070-2100.

Για την αναγνώριση των ακραίων βροχοπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν τρεις κλιματικοί δείκτες: α) CWD, β) CDD και γ) SDII. Μέσω αυτών, υπολόγισαν την παρούσα και τη μελλοντική περίοδο, σε εποχιακή και ετήσια βάση. Εντόπισαν λοιπόν, μία γενική μελλοντική τάση προς μία ξηρότερη Ανατολική Μεσόγειο, με μειωμένη ένταση βροχής. Αναμένεται επίσης, μεγαλύτερη ξηρή περίοδος σε όλες τις εποχές, εκτός από το φθινόπωρο, με τη μεγαλύτερη αύξηση στο νότιο τμήμα της περιοχής. Οι ακραίες υγρές περίοδοι θα μειωθούν παντού κατά τη διάρκεια όλων των εποχών, εκτός από το φθινόπωρο. Η ένταση της βροχόπτωσης βρέθηκε μειωμένη για όλες τις εποχές και κυρίως για το καλοκαίρι στο Νότιο Αιγαίο.

Οι Τολικά κ.ά. (2008) χρησιμοποίησαν τρία σύγχρονα μοντέλα δυναμικού υποβιβασμού κλίμακας για να δημιουργήσουν μελλοντικές προβολές των ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Τα τρία μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα CNRM-RM4, C4IRCA3 και KNMI-RACMO2. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των παραπάνω δυναμικών μοντέλων, δίνεται η δυνατότητα απόκτησης μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας μελλοντικών εκτιμήσεων των μεταβολών ακραίων καιρικών καταστάσεων λόγω της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου στην περιοχή μελέτης. Στην περίπτωση των ακραίων θερμοκρασιών φαίνεται ότι και τα τρία μοντέλα συμφωνούν, προβλέποντας αύξησή τους κατά την μελλοντική περίοδο, η οποία θα είναι μεγαλύτερη κατά την τελευταία 30ετία του 21^{ου} αιώνα. Αντίθετα, οι μελλοντικές εκτιμήσεις των ακραίων βροχοπτώσεων διαφοροποιούνται.

Οι Μπαλιούσκας κ.ά. (2008) μελετώντας τα ακραία χαρακτηριστικά των βροχοπτώσεων στη χώρα μας την περίοδο 1960-2003 και χρησιμοποιώντας τη θεωρία των ακραίων τιμών, εκτιμούν τη στάθμη των τιμών αυτών για τα προσεχή 50 και 100

έτη. Χρησιμοποίησαν λοιπόν, τα ημερήσια ύψη βροχόπτωσης που καταγράφηκαν την περίοδο 1960-2003 σε 30 συνοπτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Οι βροχομετρικοί αυτοί σταθμοί ήταν κατανεμημένοι χωροταξικά και κάλυπταν όλες τις φυσικογεωγραφικές περιοχές του ελληνικού χώρου. Για τον έλεγχο της ποιότητας και της ομοιογένειας των χρονοσειρών χρησιμοποίησαν το λογισμικό RH.

Από την ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων στους 30 σταθμούς της ΕΜΥ διαπιστώθηκε η μεταβλητότητα, όσον αφορά τη συχνότητα και την ένταση, στο καθεστώς των ακραίων (μέγιστων) υψών της ημερήσιας βροχόπτωσης στον ελλαδικό χώρο κατά το δεύτερο ήμισυ του 20^{ου} αιώνα. Η εκτίμηση χαρακτηριστικών παραμέτρων της κατανομής των ακραίων τιμών της βροχόπτωσης στα έτη 2010 και 2050 προβλέπει αύξηση των μέγιστων υψών βροχόπτωσης κατά 8,6% και 33% αντίστοιχα. Τα συγκεκριμένα ευρήματα μάλιστα συμφωνούν με σενάρια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος STARDEX για τον 21^ο αιώνα. (Μπαλιούσκας κ.ά., 2008)

Οι Ζερεφός κ.ά. (2011) εκτιμούν ότι για τη μελλοντική περίοδο 2021-2050 ορισμένες περιοχές της Ελλάδος δεν θα εμφανίσουν καμία ουσιαστική μεταβολή, όπως η Δυτική Ελλάδα, η Ανατολική Μακεδονία-Θράκη και η Κρήτη. Ωστόσο, ορισμένες περιοχές παρουσιάζουν σημαντικές αυξήσεις της έντασης των ακραίων βροχοπτώσεων. Ειδικότερα στην ανατολική ηπειρωτική χώρα, η συνολική ποσότητα βροχής που καταγράφεται σε διάστημα τριών ημερών αυξάνεται κατά 20%. Η κατάσταση φαίνεται ότι θα αλλάξει σημαντικά μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα. Στις περιοχές της Δυτικής Ελλάδος και της Θράκης η ποσότητα των ραγδαίων βροχοπτώσεων μειώνεται κατά 10-20%, ενώ αντίθετα στην Ανατολική Στερεά και τη Βορειοδυτική Μακεδονία, η παράμετρος αυτή αυξάνεται κατά 30%, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές υπάρχουν μικρές αυξομειώσεις. (Ζερεφός κ.ά., 2011)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για τα ακραία κλιματικά φαινόμενα έχει αυξηθεί σημαντικά, εξαιτίας των έντονων επιπτώσεών τους στο περιβάλλον, στα οικοσυστήματα, στη γεωργία, στην οικονομία και στον τουρισμό. Η μεγάλη δημοσιοποίηση φαινομένων όπως είναι οι πλημμύρες, η ξηρασία ή οι καύσωνες καθώς και τα μεγάλα χρηματικά ποσά που δαπανώνται σε αποζημιώσεις και ασφάλειες έχουν αυξήσει την ανάγκη της μελέτης και κατανόησης των ακραίων κλιματικών καταστάσεων και ιδιαίτερα των ακραίων βροχοπτώσεων.

Η συχνότητα και η ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων έχουν συνήθως μεγαλύτερη επίδραση και επιπτώσεις στο περιβάλλον και στις ανθρώπινες δραστηριότητες από ότι οι αλλαγές στο μέσο κλίμα. Οι πλημμύρες μάλιστα, αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνά εμφανιζόμενη φυσική καταστροφή μετά τις δασικές πυρκαγιές. Σοβαρά πλημμυρικά επεισόδια που σχετίζονται με τις έντονες βροχοπτώσεις έχουν καταγραφεί σε ολόκληρο, σχεδόν, τον πλανήτη, με σημαντικές επιπτώσεις σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο.

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων και των ισχυρών βροχοπτώσεων, ηλεκτρικών εκκενώσεων, σιφώνων και ισχυρών ανέμων, εμφανίζονται λόγω της αλληλεπίδρασης των συνθηκών του περιβάλλοντος ευρείας κλίμακας με τοπικές συνθήκες που σχετίζονται με την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ορογραφία, κλπ. (Nastos, et al., 2014)

Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, η περιοχή τόσο της Ανατολικής Μεσογείου όσο και της Ελλάδας, παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα εξαιτίας της γεωμορφολογίας τους που χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά πολύπλοκες ακτογραμμές και έντονες εναλλαγές ανάμεσα σε ηπειρωτική και νησιωτική τοπογραφία εδάφους.

Από τα αποτελέσματα των ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί παρατηρείται ότι υπάρχει αύξηση της ξηρής περιόδου συνοδευόμενη από πιο έντονες θερμές περιόδους και αυτό οδηγεί τις περισσότερες περιοχές της επικράτειας σε πιο ξηρές συνθήκες. Παρά την παρατηρούμενη μείωση του ποσού βροχής, ο αριθμός των ημερών με έντονη βροχόπτωση (ημέρες με βροχή άνω των 20 mm) αυξάνεται. Το γεγονός αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας συγκεντρώνεται

περισσότερη βροχή σε μικρότερα χρονικά διαστήματα και συνεπώς αυξάνεται η πιθανότητα εμφάνισης έντονων πλημμυρικών φαινομένων.

Οι μελλοντικές εκτιμήσεις συνεχίζουν την ίδια παρατηρούμενη μεταβολή. Αύξηση αναμένεται λοιπόν στις εκατοστιαίες μεταβολές της μέγιστης ποσότητας νερού που κατακρημνίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα (εντός τριών συνεχών ημερών) κατά τη διάρκεια του έτους. Η αυξητική τάση αυτής της παραμέτρου που συνδυάζεται με παράλληλη μείωση της συνολικής ετήσιας βροχόπτωσης συνεπάγεται ότι περισσότερες και πιο ραγδαίες βροχές θα σημειώνονται σε σύντομα χρονικά διαστήματα, αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμυρικών φαινομένων.

Οι μεταβολές του κλίματος πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη από την Πολιτεία, η οποία οφείλει να ενημερώνεται για τις πολυάριθμες και αξιόλογες επιστημονικές μελέτες που διερευνούν τα αίτια, τις δυνατότητες πρόβλεψης και αντιμετώπισης των ακραίων καιρικών φαινομένων και στη δική μας περίπτωση των ακραίων βροχοπτώσεων. Μόνο έτσι θα είναι σε θέση να αντιμετωπιστούν με επιτυχία οι επιπτώσεις της παρατηρούμενης μεταβλητότητας στον ελλαδικό χώρο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνόγλωση

- Αναγνωστοπούλου, Χ., Τολικά, Κ., Μιχαηλίδου, Χ., Μαχαίρας, Π., 2006. «Μελέτη των ακραίων βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο: θεωρία και εφαρμογή των κατανομών GEV (Generalized Extreme Value distribution) και PARETO», 8^ο Συνέδριο Μετεωρολογίας Κλιματολογίας & Φυσικής της ατμόσφαιρας, σσ. 17-24.
- Δούκα Μ., 2018. Στατιστική μελέτη των έντονων βροχοπτώσεων στη Θεσσαλονίκη για την χρονική περίοδο 1947-2003. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Θεσσαλονίκη.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, «Το κλίμα της Ελλάδας». Διαθέσιμο στο: <http://www.hnms.gr/emv/el/climatology/climatology>
- Ζαμπάκας Ι., 1981. Γενική Κλιματολογία. Εκδόσεις Αθηνά
- Ζερεφός, Χρ. (συντονιστής έκδοσης), 2011. Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδας.
- Ιορδανίδου, Β., 2016. *Μελέτη ακραίων υδρο-μετεωρολογικών φαινομένων στην Ανατολική Μεσόγειο*. Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Διδακτορική Διατριβή. Χανιά.
- Καραγιαννίδης, Α., Καρακώστας, Θ., Μακρογιάννης, Τ., Μαχαίρας Π., 2008. «Συνοπτικά και δυναμικά χαρακτηριστικά επεισοδίων εξαιρετικής βροχόπτωσης στον Ελλαδικό χώρο», 9^ο COMECAP, Πρακτικά Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, σσ.83-90.
- Καραγιαννίδης, Α., 2009. *Στατιστική, συνοπτική και δυναμική μελέτη επεισοδίων εξαιρετικής βροχόπτωσης στον ευρύτερο ευρωπαϊκό χώρο*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Θετικών Επιστημών,

Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.

- Κασσωμένος Π., Ευσταθίου Γ.Α., Λώλης Χ.Ι., 2014. «Ισχυρές βροχοπτώσεις και πλημμυρικά επεισόδια στη χερσόνησο της Χαλκιδικής». *Τμητικός τόμος για τον Καθηγητή Απόστολο Φλόκα*. Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, σσ.75-81.
- Κωστοπούλου Ε., Τολικά Κ., Αναγνωστοπούλου Χ. Μαχαίρας Π., 2007. «Μελέτη της σχέσης των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης με τύπους κυκλοφορίας στην ελληνική περιοχή», *Πρακτικά του 8ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας. Τόμος Ι. Γεωμορφολογία, Παράκτια Γεωμορφολογία-Ωκεανογραφία, Κλιματολογία, Περιβάλλον, Γεώτοποι, Γεωγραφική εκπαίδευση*. σσ. 327-335.
- Μπαλαφούτης, Χ., Μαχαίρας, Π., 1985. *Μαθήματα γενικής κλιματολογίας : με στοιχεία βιοκλιματολογίας*. Θεσσαλονίκη, ΓΙΑΧΟΥΔΗ Ο.Ε.
- Μπαλιούσκας, Γ., Πνευματικός, Ι., Τζανάκου, Μ., 2008. «Εκτίμηση των ημερησίων ανά έτος ακραίων τιμών βροχόπτωσης στον ελλαδικό χώρο», 9^ο COMECAP, Πρακτικά Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη, σσ. 441-448.
- Οικονόμου, Ε., Κοτρώνη, Β., Λαγουβάρδος, Κ., 2006. «Πρόγνωση έντονων βροχοπτώσεων στην Ανατολική Μεσόγειο με τη χρήση συστήματος εισαγωγής δορυφορικών και συνοπτικών παρατηρήσεων», 8^ο Συνέδριο Μετεωρολογίας Κλιματολογίας & Φυσικής της ατμόσφαιρας, Αθήνα, σσ. 31-37.
- Σαλβάνου, Ι.Μ., Μαυρομαμάτης, Θ., Πεννάς, Π., Γκουντουβά, Ε., 2004. «Μελέτη τάσεων και συχνότητας ακραίων εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην Ελλάδα», 7^ο Πανελλήνιο (Διεθνές) Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής Ατμόσφαιρας, Κύπρος, σσ. 728-735.
- Σκλαβενίτη, Σ., 2013. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων περιοχικών κλιματικών μοντέλων για το παρόν κλίμα στον ελλαδικό χώρο». Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας

Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αθήνα.

- Στάθης, Δ., 2015. Μαθήματα δασικής μετεωρολογίας και κλιματολογίας. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/4657>
- Τολίκα, Κ., Αναγνωστοπούλου, Χ., Μαχαίρας, Π., 2004. «Μελέτη των τάσεων των ακραίων καιρικών συνθηκών στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο για το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα. (Μέρος I-Βροχόπτωση)», *7^ο Πανελλήνιο (Διεθνές) Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής Ατμόσφαιρας*, Κύπρος, σσ. 484-491.
- Τολίκα, Κ., Κωστοπούλου, Ε., Τεγούλιας, Ι., Αναγνωστοπούλου, Χ., Μαχαίρας, Π., 2008. «Μελλοντικές εκτιμήσεις ακραίων βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών στη Μεσόγειο: Σενάρια τριών συγχρόνων δυναμικών μοντέλων», *9^ο COMECAP, Πρακτικά Συνεδρίου*, Θεσσαλονίκη, σσ. 505-512.
- Φειδάς, Χ., 2004. «Εφαρμογή τριών δορυφορικών τεχνικών για την εκτίμηση του ύψους της βροχής σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων στην Ελλάδα», *7^ο Πανελλήνιο (Διεθνές) Συνέδριο Μετεωρολογίας, Κλιματολογίας και Φυσικής Ατμόσφαιρας*, Κύπρος, σσ. 86-92.
- Φλόκας, Απ., 1994. *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Ξενόγλωσση

- Douka M., Karacostas T.S., Katragkou E., Anagnostopoulou C., 2017. “Annual and Seasonal Extreme Precipitation Probability Distributions at Thessaloniki Based Upon Hourly Values”. In: Karacostas T., Bais A., Nastos P. (eds) *Perspectives on Atmospheric Sciences*. Springer Atmospheric Sciences. Springer International Publishing Switzerland, pp.521-527.

- Feloni, E., Nastos, P.T., Matsangouras, I.T., 2017. “Seasonal synoptic characteristics of heavy rain events in the Attica region”. *Perspectives on Atmospheric Sciences*, Springer Atmospheric Sciences, Vol. 1, pp. 391-396.
- Houssos E. E., Bartzokas A., 2006. “Extreme precipitation events in NW Greece. Advances in Geosciences”, *European Geosciences Union*, 7, pp.91-96.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00296832/document>
- Houssos, E. E., Lolis, C. J. and Bartzokas A., 2008. “Atmospheric circulation patterns associated with extreme precipitation amounts in Greece”. *Advances in Geosciences*, 17, 5–11.
- IPCC, 2001, “Climate Change 2001: The Scientific Basis“, in Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C.A. Johnson (eds), Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007, “Climate change 2007: The physical science basis”, in Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, New York.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kioutsoukis, I., Melas, D., Zerefos, C., 2010. “Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002)”, *International Journal of Climatology*, 30, pp.1723–1737.

- Kostopoulou, E., Jones, P.D., 2005. “Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean”. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89(1) pp.69-85.
- Maheras P., Anagnostopoulou C., 2003. “Circulation Types and Their Influence on the Interannual Variability and Precipitation Changes in Greece”. In: Bolle HJ. (eds) *Mediterranean Climate. Regional Climate Studies*. Springer, Berlin, Heidelberg , pp.215-239.
- Maheras, P., Tolika, K., Anagnostopoulou,C., Vafiadis, M., Patrikas, I. and Floca, H., 2004. “On the relationship between circulation types and changes in rainfall variability in Greece”, *International Journal of Climatology*, 24, pp. 1695-1712.
- Nastos, P. T., and Zerefos, C. S.,2007. “On extreme daily precipitation totals at Athens, Greece”. *Advances in Geosciences*, European Geosciences Union, 10, pp. 59–66.
- Nastos P.T., Zerefos C.S., 2008. “Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece”, *Advances in Geosciences*, European Geosciences Union 16, pp.55-62.
- Nastos, P.T., I.T., Matsangouras, , T.G., Chronis, 2014. Spatio-temporal analysis of lightning activity over Greece - Preliminary results derived from the recent state precision lightning network, *Atmos. Res.*, 144, 207-217.
- New, M., Todd, M., Hulme, M., Jones, P., 2001. “Precipitation measurements and trends in the twentieth century”. *International Journal of Climatology* 21, pp. 1922– 1999.
- Oikonomou, Ch, Flocas, H.A., Hatzaki, M., Asimakopoulos, D.N., Giannakopoulos, C., 2008. “Future changes in the occurrence of extreme precipitation events in the Eastern Mediterranean”, *Global Nest Journal*, vol 10, pp. 255-262.
- Sánchez, E., Gallardo, C., Gaertner, M.A., Arribas, A., Castro, M., 2004. “Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional

climate model: a first approach”. *Global and Planetary Change*.44, pp.183-180.

- Tolika K., Anagnostopoulou Chr., Machairas P., Kutiel H., 2007. “Extreme precipitation related to circulation types for four case studies over the Eastern Mediterranean”. *Advances in Geosciences*. Vol.12 , pp.87-93.
- Tolika K., Anagnostopoulou C., Maheras P., 2017. “Analysis of the Synoptic Conditions of the Extreme Rainfall Heights of 2014 in Thessaloniki”. In: Karacostas T., Bais A., Nastos P. (eds) *Perspectives on Atmospheric Sciences*. Springer Atmospheric Sciences. Springer International Publishing Switzerland.
- Toreti, A., Xoplaki, E., Maraun, D., Kuglitsch, F. G., Wanner, H., and Luterbacher, J., 2010. “Characterisation of extreme winter precipitation in Mediterranean coastal sites and associated anomalous atmospheric circulation patterns”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, pp.1037-1050.
- Tselepidaki, I., Zarifis, B., Asimakopoulos, D.N., 1992. “Low precipitation over Greece during 1989-1990”, *Theoretical and Applied Climatology*, 46, Springer-Verlag, Austria, pp.115-121.