



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ ΧΩΡΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1958-2017 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ.

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
'ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ'*



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2019





ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ ΧΩΡΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΔΟ 1958-2017 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ.

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον'

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 18/10/2019

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Επ. Καθηγήτρια Κωνσταντία Τολίκα, Επιβλέπουσα
Αν. Καθηγήτρια Χριστίνα Αναγνωστοπούλου, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής
Επιτροπής
Επ. Καθηγήτρια Ελένη Κατράγκου, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής



© Μαγδαληνή Χώρα, Γεωλόγος, 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΓΕΡΜΑΝΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1958-2017 ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ.–
Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

© Magdalini Chori, Geologist, 2018

All rights reserved.

ON THE STUDY OF RAINFALL OVER GERMANY: USING EXTREME CLIMATE INDICES FOR THE PERIOD 1958-2017 – *Master Thesis*

Citation:

Χώρα Μ., 2019. – Μελέτη της βροχόπτωσης στην περιοχή της Γερμανίας για την περίοδο 1958-2017 με τη χρήση ακραίων κλιματικών δεικτών. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 103 σελ.

Chori M., 2019. – On the study of rainfall over Germany: using extreme climate indices for the period 1958-2017. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 103 pp.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Εικόνα Εξωφύλλου: ©Picture-alliance/dpa/P.Zinken

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	6
Περίληψη.....	7
Abstract.....	8
Εισαγωγή.....	9
1. Διετήσια και εποχιακή μελέτη των μεσών βροχομετρικών υψών και των ημερών βροχής στη Γερμανία.....	21
1.1 Μελέτη του νετού σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	21
1.2 Μελέτη των τάσεων της βροχόπτωσης σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	25
1.3 Μελέτη των ημερών βροχής σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	29
1.4 Μελέτη των τάσεων των ημερών βροχής σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	33
2. Ακραίος κλιματικός δείκτης SDII.....	37
2.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη SDII σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	37
2.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη SDII σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	41
3. Ακραίος κλιματικός δείκτης RX.....	45
3.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη RX σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	45
3.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη RX σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	50
4. Ακραίος κλιματικός δείκτης R10mm.....	53
4.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R10mm σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	53
4.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R10mm σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	57
5. Ακραίος κλιματικός δείκτης R20mm.....	60
5.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R20mm σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	60
5.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R20mm σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	65
6. Ακραίος κλιματικός δείκτης R95p.....	69
6.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R95p σε ετήσια και εποχιακή βάση.....	69



6.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R95p σε ετήσια και εποχιακή βάση	74
7. Ακραίος κλιματικός δείκτης R99p	78
7.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R99p σε ετήσια και εποχιακή βάση	78
7.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R99p σε ετήσια και εποχιακή βάση	82
Συμπεράσματα	86
Βιβλιογραφία	97
Ελληνική Βιβλιογραφία	103
Διαδικτυακές Πηγές	103

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής εργασίας μου, την Επίκουρη Καθηγήτρια κα Τολίκα Κωνσταντία για την πολύτιμη βοήθεια, στήριξη και καθοδήγηση της κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου.

Θα ήθελα, ακόμα, να απευθύνω θερμές ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές που συνάντησα στον ακαδημαϊκό μου βίο, για τις γνώσεις που μου προσέφεραν.

Ευχαριστώ τον αδερφό μου για την αγάπη, το ενδιαφέρον και την ανυπομονησία του για το τελικό αποτέλεσμα αυτού του εγχειρήματος και τη μητέρα μου, Τορουνίδου Μαρία, για την ηθική και οικονομική στήριξη των σπουδών μου, καθώς και για τη εμπιστοσύνη της στις επιλογές μου. Αυτή η γυναίκα, αποτελεί πρότυπο και ανεξάντλητη πηγή έμπνευσης για εμένα. Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω στη μητέρα μου, την αγάπη και ευγνωμοσύνη μου που με έκανε άνθρωπο και μου μετέδωσε σημαντικές ηθικές αξίες.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω τη παρούσα εργασία στη μνήμη του Ηρακλή, για την αγάπη, την υποστήριξή του και την αποφασιστική συμβολή του στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος.

Περίληψη

Πρόσφατες μελέτες στη περιοχή της Γερμανίας έχουν δείξει αύξηση των βροχοπτώσεων κατά τη χειμερινή περίοδο και μια προοδευτική μείωση κατά τη θερινή περίοδο. Στη παρούσα εργασία μελετάται η βροχόπτωση σε 80 σταθμούς της Γερμανίας. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκε η ημερήσια βροχόπτωση από το σύνολο των δεδομένων του προγράμματος ECA & D για τη περίοδο 1958-2017 και υπολογίστηκαν έξι ακραίοι κλιματικοί δείκτες (SDII, RX, R10mm, R20mm, R95p, R99p), καθώς και οι τάσεις αυτών σε ετήσια και εποχιακή βάση. Σκοπός της παρούσας εργασίας, αποτελεί η ανάλυση της βροχόπτωσης σε κάθε σταθμό, για τη περίοδο μελέτης, προκειμένου να διαπιστωθούν τα μοτίβα και οι τάσεις που παρουσιάζει η χωρική κατανομή της καθώς και να εντοπιστούν οι περιοχές, με τις υγρότερες και τις ξηρότερες συνθήκες. Πιο συγκεκριμένα, οι δείκτες παρουσιάζουν παρόμοια συμπεριφορά σε ετήσια βάση. Οι χαμηλές τιμές συγκεντρώνονται στα βόρεια και βορειοανατολικά τμήματα της χώρας, ενώ, υψηλότερες τιμές αναφέρονται στη νότια και δυτική Γερμανία. Σε εποχιακή βάση, οι δείκτες εμφανίζουν κοινό μοτίβο. Το χειμώνα οι χαμηλές τιμές εντοπίζονται στη βορειοανατολική Γερμανία και οι υψηλές τιμές στο νότιο και δυτικό τμήμα. Κατά την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού, χαμηλές τιμές παρατηρούνται σχεδόν παντού, εκτός από το νότιο και το δυτικό τμήμα της Γερμανίας, όπου αναφέρθηκαν υψηλές τιμές. Το φθινόπωρο σημειώνονται χαμηλές τιμές στο βόρειο, ανατολικό και κεντρικό τμήμα της χώρας και υψηλές τιμές σημειώνονται στη βόρεια, δυτική και νότια Γερμανία. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές τάσεις που παρουσιάζουν οι δείκτες, αυτές δεν παρουσιάζουν ένα συγκεκριμένο μοτίβο.

Abstract

Recent studies for the region of Germany have shown an increase in precipitation in the winter period and a progressive decrease in the summer period. In this work, rainfall at 80 stations over Germany is discussed. In particular, daily precipitation was extracted from the ECA & D dataset for the period 1958-2017 and six extreme climatic indices (SDII, RX, R10mm, R20mm, R95p, R99p), as well as their trends, were calculated on an annual and a seasonal basis. The purpose of this study is to analyze the precipitation events in each station, for the study period, in order to determine patterns and trends in rainfall distribution, as well as to identify wetter and drier regions. Most specifically, the indices present similar behavior on a yearly basis. The low values are concentrated in the northern and northeastern parts of the country, indicating drier conditions, while higher values, indicating wetter conditions, are reported in southern and western Germany. On a seasonal basis, the indices share a common pattern. In winter low values are found in northeastern Germany and high values in the southern and western section. During the spring and the summer period, low values are detected almost everywhere, except of the southern and the western part of Germany, where high values are reported. In the autumn, low values are detected in the northern, eastern and central parts of the country and high values are found in northern, western and southern Germany. As to the significant trends that the indices present, they don't show a specific pattern.

Σκοπός και σημασία της έρευνας: Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η εξέταση των χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης σε ογδόντα επιλεγμένους σταθμούς της Γερμανίας, κατά τη περίοδο 1958-2017, καθώς και ο υπολογισμός των μέσων τιμών έξι ακραίων κλιματικών δεικτών για κάθε σταθμό σε ετήσια και εποχιακή βάση, προκειμένου να διαπιστωθούν τα μοτίβα και οι τάσεις που παρουσιάζει η κατανομή της βροχόπτωσης καθώς και να εντοπιστούν οι περιοχές, όπου σημειώνονται οι υγρότερες και οι ξηρότερες συνθήκες.

Χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης: Η βροχόπτωση σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του αέρα, αποτελεί μία από τις βασικές μετεωρολογικές παραμέτρους που καθορίζουν το κλίμα σε ένα τόπο. Πιο συγκεκριμένα, η βροχόπτωση ανήκει στην κατηγορία των υδρομετεώρων και δύναται να σχηματιστεί με διάφορες διαδικασίες, οι οποίες εξαρτώνται από το βαθμό στον οποίο θα ψυχθούν οι αέριες μάζες προκειμένου οι υπάρχοντες στον αέρα υδρατμοί να συμπυκνωθούν και κατ'επέκταση να σχηματιστούν τα νέφη. Έτσι διακρίνονται τρεις τύποι βροχής: η βροχή μεταφοράς (convective precipitation), η υφειακή ή κυκλωνική βροχή (frontal precipitation), καθώς και η ορογραφική βροχή (orographic precipitation) (Φλόκας,1992, <https://www.britannica.com/science/orographic-precipitation>).

Η ποσότητα του νερού που αποδίδεται μέσω της βροχής σε μια επιφάνεια εκφράζεται σε ύψος βροχής και αντιστοιχεί σε εκείνο το ύψος στο οποίο θα έφτανε η στάθμη του νερού της βροχής, αν έπεφτε πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια (Φλόκας,1992). Στον παραπάνω ορισμό, δε λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως η απορροή, η απορρόφηση και η εξάτμιση του νερού. Διεθνώς, το ύψος βροχής μετράται σε χιλιοστά ή εκατοστά και τα όργανα μέτρησης και καταγραφής του είναι τα βροχόμετρα και οι βροχογράφοι, αντίστοιχα, ενώ, πρόσφατα ξεκίνησε και η χρήση ραντάρ καιρού για το σκοπό αυτό.

Μία σημαντική βροχομετρική παράμετρο αποτελεί η ένταση ή ραγδαιότητα της βροχής (intensity). Η παράμετρος αυτή εκφράζεται ως το ύψος βροχής ανά μονάδα χρόνου και βάσει της οποίας η βροχόπτωση κατηγοριοποιείται σε τέσσερις τύπους: ελαφρά/light (από 0.1 έως 0.5 mm/hr), μέτρια/moderate (από 0.5 έως 4.0 mm/hr), ισχυρή/heavy (από 4.0 έως 10.0 mm/hr) και πολύ ισχυρή/violent (πάνω από 10.0 mm/hr) βροχόπτωση. Τα παραπάνω όρια διαφέρουν από χώρα σε χώρα και οι αναγραφόμενες τιμές αναφέρονται στη Γερμανία (Korpe, Stozek, 1999, Blüthgen, Weischet, 1980).

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η ισχυρή (heavy rain), καθώς και η πολύ ισχυρή βροχή (violent rain), αναφέρονται σε μεγάλα ύψη βροχής, τα οποία καταγράφονται σε σύντομο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά, εκτός από την ένταση και τη διάρκεια της βροχόπτωσης, μεγάλη σημασία πρέπει να δίνεται και στις τοπικές συνθήκες, καθώς το εύρος τιμών που παρουσιάζει η ραγδαιότητα της βροχής ποικίλει από τόπο σε τόπο. Συνεπώς, βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης συμβαίνουν σπάνια και με μικρή συχνότητα, οδηγώντας στην εμφάνιση ακραίων κλιματικών φαινομένων, που πλήττουν τις σύγχρονες κοινωνίες.

Βιβλιογραφική Αναδρομή: Τα τελευταία χρόνια οι μεταβαλλόμενες και συχνά ακραίες κλιματικές συνθήκες συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας, λόγω των επιπτώσεών τους στην οικονομική δραστηριότητα και τις υλικοτεχνικές υποδομές καθώς και λόγω του μεγάλου αριθμού ανθρώπινων ζώων που απειλούνται, στις κοινωνίες όπου αυτές εμφανίζονται. Σύμφωνα με τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC, 2007, IPCC, 2012), ο όρος ακραίο κλιματικό γεγονός/επεισόδιο (extreme climate event), χρησιμοποιείται, συνήθως, για την περιγραφή ενός φαινομένου, στο οποίο σημειώνονται ασυνήθιστες ή πολύ σπάνιες, μέγιστες ή ελάχιστες τιμές μετεωρολογικών παρατηρήσεων, συγκριτικά με τη μέση κατάσταση, που επικρατεί σε μια περιοχή. Ειδικότερα, όσον αφορά την ακραία βροχόπτωση, αυτή εμφανίζει σε παγκόσμια κλίμακα, μεταβολές στο χώρο και το χρόνο (Hundeicha and Bardossy, 2005).

Περιοχικές μελέτες, που αφορούν στη βροχόπτωση στην Ευρώπη δείχνουν ότι τις τελευταίες δεκαετίες η παγκόσμια θέρμανση συνέβαλλε στην αύξηση του αριθμού των παρατηρούμενων ακραίων φαινομένων, καθώς και η συχνότητα εμφάνισης ισχυρών βροχοπτώσεων (Besselaar et al. 2013, Grams et al., 2013, Barton et al., 2016, King A. D. and Karoly D. J., 2017). Τα ακραία γεγονότα σημειώνονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, κάτω από υγρές ατμοσφαιρικές συνθήκες και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ένταση (Collins et al., 2013). Ακόμα, βρέθηκε σημαντική αύξηση της βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (Zolina et al. 2008, Scaife et al., 2008, Zolina et al., 2010, Scoccimarro et al., 2015, Ye et al., 2016). Η Zolina (2005) υποστηρίζει ότι οι μεταβολές στην ισχυρή βροχόπτωση κατά τον 21^ο αιώνα (heavy precipitation) είναι θετικές. Ειδικότερα, χρησιμοποιώντας τους δείκτες βροχόπτωσης R95tot και R95tot ανέφερε για τις περιοχές της δυτικής Ευρώπης και της νότιας Ρωσίας ότι ο ρυθμός αύξησης των ακραίων βροχοπτώσεων υπερβαίνει το 3% ανά δεκαετία (Zolina et al., 2009).

Μελέτες που διεξάχθηκαν για τη περιοχή της Γερμανίας, έδειξαν ότι κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα (1951-2000), το πρόσημο, το μέγεθος και η σημαντικότητα των τάσεων που εμφανίζει η ημερήσια βροχόπτωση ποικίλουν, και οι κλιματικές μεταβολές εξαρτώνται από τη θεωρούμενη περίοδο μελέτης. Πιο αναλυτικά, το καλοκαίρι παρατηρείται μείωση των υψών βροχής, καθώς και ελάττωση της συχνότητας εμφάνισης υγρών ημερών. Έτσι, ο μέγιστος αριθμός των διαδοχικών ξηρών ημερών (ξηρασία) αυξάνεται. Αντίθετα, ο χειμώνας παρουσιάζει ανοδική τάση της έντασης της βροχόπτωσης σχεδόν σε όλη τη Γερμανία (Brienen et al., 2013).

Επιπλέον, οι Hundedcha και Bardossy (2005) κατά τη μελέτη των δεικτών βροχόπτωσης στη περιοχή δυτικά του Ρήνου για τη περίοδο 1958-2001, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ημερήσια ισχυρή βροχόπτωση (heavy precipitation) παρουσιάζει, όσον αφορά το μέγεθος και τη συχνότητα εμφάνισης, αύξηση κατά 20% τη χειμερινή περίοδο και μείωση κατά 6% τη θερινή περίοδο. Παρόμοια συμπεράσματα εξάχθηκαν, επίσης, για τη περιοχή της κεντρικής-ανατολικής Γερμανίας και από άλλους ερευνητές. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, η ακραία βροχόπτωση εμφανίζει σημαντική,

σταθερή τάση αύξησης, ενώ, κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου, η τάση διατηρείται αύξουσα αλλά είναι λιγότερο σταθερή. Ακόμα, το καλοκαίρι σημειώνεται μεγαλύτερη αύξηση της βροχόπτωσης σε σύγκριση με τις μεταβατικές εποχές (Lupikasza et al, 2011). Όσον αφορά τις κλάσεις της βροχόπτωσης στη κεντρική-ανατολική Γερμανία, οι κλάσεις των σχεδόν κανονικών ή των μη κανονικών συνθηκών είναι συχνότερες το χειμώνα και σπανιότερες το καλοκαίρι (Hänsel et al. 2007).

Μια σειρά εργασιών, που αφορούν μεμονωμένες πόλεις της Γερμανίας όπως το Hohenheim, Karlsruhe and Hamburg, εξετάζουν τη μεταβολή των συνθηκών που επικρατούν κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου σε ξηρότερες, καθώς και την εμφάνιση υγρότερων συνθηκών κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Wulfmeyer and Henning Müller, 2006, Weder, Müller and Brümmer, 2017, Schlünzen and Hoffmann et al, 2010). Σύμφωνα με τη κατανομή της βροχόπτωσης στο Αμβούργο, για τις περιόδους 1948-1977 και 1978-2007, φαίνεται ότι η μέτρια (moderate) βροχόπτωση (ύψη βροχής ίσα ή μικρότερα από 10.0 mm/ημέρα) αυξήθηκε κατά 10%, ενώ, η ισχυρή (heavy) βροχόπτωση (ύψη βροχής μεγαλύτερα από 10.0 mm/ημέρα) αυξήθηκε κατά 20% για τις ίδιες περιόδους (Schlünzen and Hoffmann et al, 2010).

Για τις ορεινές περιοχές της Σαξονίας οι Hänsel and Matschullat (2009) συγκρίνοντας τα ακραία γεγονότα με τα μέτρια ακραία γεγονότα ισχυρής βροχόπτωσης (heavy precipitation), τα τελευταία είναι πιο σημαντικά. Όσον αφορά τη χωρική μεταβλητότητα των ακραίων δεικτών βροχόπτωσης η μεγάλης κλίμακας ροή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη Σαξονία. Ακόμα, βρέθηκε η ισχυρή βροχόπτωση αυξήθηκε κατά τους χειμερινούς μήνες, ενώ, επικρατεί πτωτική τάση κατά τους θερινούς μήνες, με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση ξηρότερων συνθηκών. Παρόμοια, μελέτες βασισμένες στη πολύπλοκη μορφολογία της περιοχής Black Forest της νότιας Γερμανίας, παρουσιάζουν για τους θερινούς μήνες αύξηση της ισχυρής βροχόπτωσης (heavy precipitation), η οποία όμως εμφανίζει μεγάλη μεταβλητότητα στο χώρο και το χρόνο (Schädler, Früh and Feldmann, 2007).

Περιοχή μελέτης: Η Γερμανία, επίσημα γνωστή και ως Ομοσπονδιακή Δημοκρατία της Γερμανίας, βρίσκεται στη κεντρική και δυτική Ευρώπη και είναι μια χώρα με μεγάλη οικονομική ανάπτυξη, η οποία στηρίζεται κυρίως στη βιομηχανική δραστηριότητα. Περιβάλλεται από πολλές χώρες: συνορεύει με την Πολωνία και την Τσεχία στα ανατολικά, με τη Γαλλία στα νοτιοδυτικά, καθώς και με το Λουξεμβούργο, το Βέλγιο και την Ολλανδία στα δυτικά. Ακόμα, είναι όμορη με τη Δανία προς βορρά και με την Αυστρία, την Ελβετία και τις Άλπεις προς νότο. Παρόλα αυτά, δέχεται την επίδραση του θαλάσσιου στοιχείου, καθώς βρέχεται από τη Βόρεια Θάλασσα και τη Βαλτική (σχήμα 1). Όσον αφορά το κλίμα που παρουσιάζει η Γερμανία, αυτό χαρακτηρίζεται σύμφωνα με τις κλιματικές κατατάξεις των Köppen και Geiger, ως Cfb κλιματικός τύπος, πρόκειται, δηλαδή, για θερμό εύκρατο κλίμα, με την επικράτηση ήπιων χειμώνων και θερμών καλοκαιριών, ενώ, η βροχόπτωση, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2, κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλους τους μήνες του έτους (Φλόκας, 1992, Geiger, 1954, <https://web.archive.org/web/20170804183630/https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>). Το κλίμα είναι μέτρια υγρό και γενικά δε διακρίνονται παρατεταμένες ψυχρές ή θερμές περιόδους.

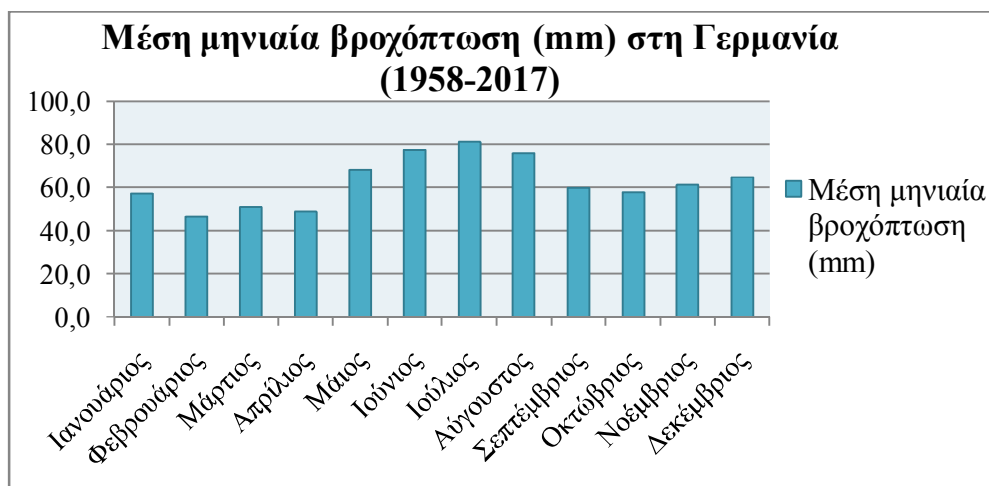
Αναλυτικότερα, το κλίμα στις περισσότερες περιοχές της χώρας ποικίλει από ηπειρωτικό έως θαλάσσιο. Η ενδοχώρα παρουσιάζει ψυχρούς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια. Αντίθετα, οι παράκτιες περιοχές κοντά στη Βόρεια θάλασσα και η κεντρική Γερμανία, εμφανίζουν ηπιότερους χειμώνες και λιγότερο θερμά καλοκαίρια εξαιτίας της θαλάσσιας επίδρασης. Επιπλέον, το κλίμα στις κεντρικές περιοχές είναι μεταβατικό, καθώς ποικίλει από ηπειρωτικό έως θαλάσσιο, ενώ, στο νότιο τμήμα της χώρας διαμορφώνεται κάτω από την έντονη επίδραση της οροσειράς των Άλπεων. Ως αποτέλεσμα του μεγάλου υψομέτρου, σε αυτές τις περιοχές η βροχόπτωση είναι αυξημένη, ενώ οι θερμοκρασίες διαμορφώνονται σε χαμηλότερα επίπεδα, σε σύγκριση με την υπόλοιπη χώρα. Ακόμα στο νότιο και το κεντρικό τομέα της Γερμανίας συχνά παρατηρείται θερμός, καταβατικός άνεμος, γνωστός και ως άνεμος Föhn (Φλόκας, 1992).

Επίσης, κατά τη διάρκεια των περιόδων του χειμώνα και του φθινοπώρου, συστήματα χαμηλής πίεσης από τον Ατλαντικό οδηγούν σε θερμοκρασίες υπό του

μηδενός και σε ισχυρές χιονοπτώσεις στα ανατολικά και τα νότια τμήματα καθώς και στις δυτικές παράκτιες και τις ορεινές περιοχές. Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου η χώρα συνήθως επηρεάζεται από ελαφριές βροχοπτώσεις και καταιγίδες (<https://www.britannica.com/place/Germany>).



Σχήμα 1: Χάρτης της Γερμανίας

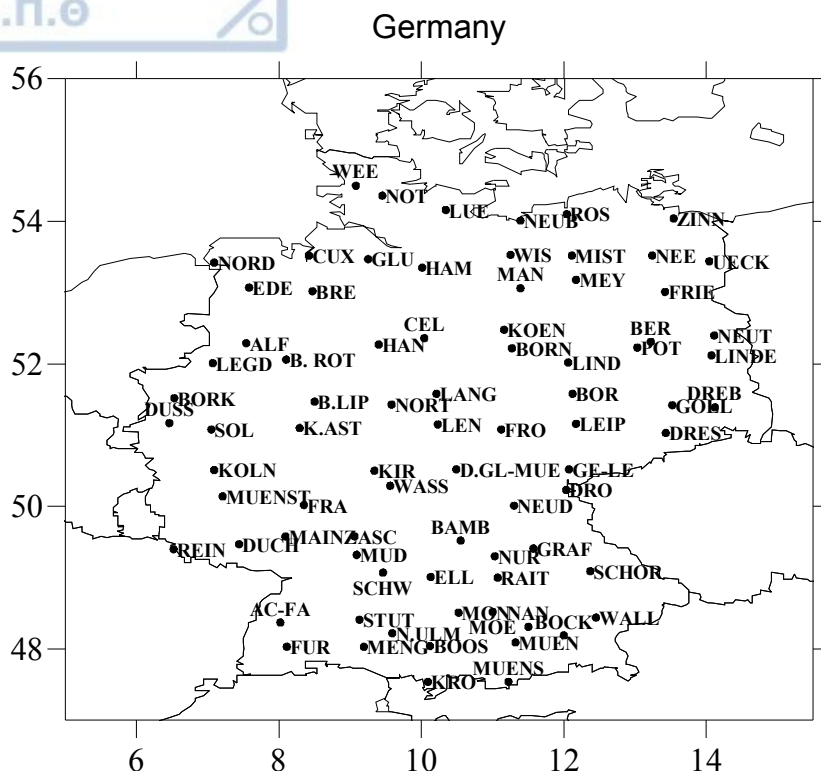


Σχήμα 2: Ετήσια πορεία της βροχής στη Γερμανία, από τα μεσοποιημένα μηνιαία δεδομένα βροχόπτωσης 80 μετεωρολογικών σταθμών, για τη περίοδο 1958-2017.

Δεδομένα: Στη παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης ογδόντα μετεωρολογικών σταθμών της Γερμανίας, για όλη τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα αξιολόγησης κλίματος και δεδομένων ECA & D (European Climate Assessment and Dataset project, <https://www.ecad.eu/>). Ειδικότερα, το πρόγραμμα ECA & D είναι το αποτέλεσμα της συνεργασίας μετεωρολογικών ιδρυμάτων και πανεπιστημιακών κοινοτήτων στις περιοχές της Ευρώπης καθώς και της Μεσογείου και η βάση δεδομένων του έχει χρησιμοποιηθεί από ένα μεγάλο αριθμό ερευνητών (Moberg and Jones, 2005, Alexander et al., 2006, Van Engelen, Aryan, Klein Tank A., Van der Schrier G. and Klok L., 2008, Zolina, Simmer, Belyaev, Gulev, Koltermann, 2013, Hoy et al., 2017, Łupikasza, 2017), καθώς παρέχουν μεγάλη χωρική και χρονική κάλυψη για τις περιοχές αυτές.

Η βάση δεδομένων του ECA περιέχει σειρές ημερήσιων παρατηρήσεων, που πραγματοποιούνται σε μετεωρολογικούς σταθμούς της Ευρώπης και της Μεσογείου, οι οποίες διακρίνονται σε δύο τύπους: blended και non-blended. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν οι πλήρεις χρονοσειρές δεδομένων, οι οποίες ενημερώνονται από ημερήσια δεδομένα μηνυμάτων SYNOP, αυτόματα και σε πραγματικό χρόνο μέσω του παγκόσμιου συστήματος τηλεπικοινωνιών (Global Telecommunication System). Έτσι τυχόν κενά στις ημερήσιες σειρές συμπληρώνονται από γειτονικούς σταθμούς, εφόσον αυτοί απέχουν μεταξύ τους απόσταση μικρότερη από 12.5 km και παρουσιάζουν υψομετρική διαφορά μικρότερη από 25 m. Στη δεύτερη κατηγορία, περιλαμβάνονται σειρές δεδομένων που δεν καλύπτουν τα πιο πρόσφατα χρόνια.

Αρχικά, επιλέχθηκε για αυτή την εργασία η blended σειρά δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς της Γερμανίας, για τη περίοδο 1958 έως 2017 και έγινε έλεγχος των δεδομένων, με σκοπό την εύρεση τυχόν ύποπτων τιμών ή κενών στη χρονοσειρά. Στη συνέχεια, από το παραπάνω σύνολο δεδομένων, επιλέχθηκαν τελικά ογδόντα μετεωρολογικοί σταθμοί (σχήμα 3), οι οποίοι είναι ομοιογενώς κατανεμημένοι, έτσι ώστε να καλύπτουν όλη τη περιοχή της Γερμανίας και να αποδίδουν της συνθήκες βροχής όσο το δυνατόν καλύτερα, κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης.



Σχήμα 3: Χάρτης της Γερμανίας και γεωγραφική κατανομή των ογδόντα μετεωρολογικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μελέτη.

Μεθοδολογία: Προκειμένου να διαπιστωθεί η χωρική κατανομή που παρουσιάζει η βροχύπτωση στους ογδόντα επιλεγμένους μετεωρολογικούς σταθμούς της Γερμανίας, για όλη τη περίοδο 1958 έως 2017, υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό έξι ακραίοι κλιματικοί δείκτες (Extreme Climate Indices), σε ετήσια και εποχιακή βάση (Karl, Nicholls and Ghazi, 1999, Peterson, 2005, <http://etccdi.pacificclimate.org/docs/ETCCDMIIndicesComparison1.pdf>, <https://www.climateindex.org/learn/indices/#index-R20mm>, <https://eca.knmi.nl/indicesextremes/>).

Η ομάδα εμπειρογνομόνων (Expert Team) για την Ανίχνευση της Κλιματικής Αλλαγής (Climate Change Detection), καθώς και η προκάτοχός της CCI/CLIVAR Working Group (WG), ανέπτυξαν μια σειρά 27 βασικών δεικτών (core indices) για

διάφορες χώρες και συγκεκριμένες περιοχές στο πλανήτη, με στόχο την ανίχνευση και τον προσδιορισμό πιθανών αλλαγών στο κλίμα καθώς και στα ακραία φαινόμενα (Peterson and Coauthors, 2001, Klein Tank A.M.G., Zwiers F.W. and Zhang X., 2009, http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php, <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>).

Οι δείκτες αυτοί, αφορούν τις βασικές παραμέτρους, που συντελούν στη διαμόρφωση του κλίματος ενός τόπου: τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση. Η εκτίμησή τους στηρίζεται στις ημερήσιες τιμές των παραπάνω παραμέτρων, ενώ κάποιοι από τους δείκτες στηρίζονται στον ορισμό τιμών κατωφλίου. Πιο συγκεκριμένα, η τιμή κατωφλίου, ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή στην οποία χρησιμοποιείται ο δείκτης, είναι καθορισμένη και ίδια για όλους τους σταθμούς. Ωστόσο, αυτή δύναται να διαφέρει από τόπο σε τόπο, σε περιπτώσεις όπου ο υπολογισμός του δείκτη βασίζεται σε εκατοστημόρια της χρονοσειράς.

Στη βιβλιογραφία, ένας μεγάλος αριθμός εργασιών αναφέρεται στη χρήση ακραίων κλιματικών δεικτών (Klein Tank , Können, 2003, Moberg et al., 2006, Peralta-Hernandez A.R., Balling R.C., Barba-Martinez L.R., 2009, Zhang et al, 2011, Leander, Buishand and Klein Tank, 2013, Sillmann, Kharin, Zhang, Zwiers and Bronaugh, 2013, Keggenhoff et al., 2014, Hoy et al., 2017, Irannezhad et al., 2017, Tolika et al., 2017, Gebrechorkos S. H. et al., 2018, Seo et al., 2018, Farjad et al., 2019). Σε αυτή την εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι εξής έξι ακραίοι κλιματικοί δείκτες, για τη μελέτη της βροχόπτωσης: SDII, RX, R10mm, R20mm, R95mm και R99mm. Στη συνέχεια θα αναφερθούν εν συντομία οι μέθοδοι υπολογισμού που ακολουθήθηκαν για την εκτίμηση των παραπάνω δεικτών.

1. Αρχικά, ο δείκτης SDII (Simple Daily Intensity Index) εκφράζει το μέσο ύψος βροχής που σημειώθηκε στη διάρκεια μιας υγρής ημέρας. Ως υγρή ημέρα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, ορίζεται για τη περιοχή μελέτης η ημέρα εκείνη κατά την οποία το ημερήσιο ύψος βροχής ισούται ή υπερβαίνει το 1.0mm. Έτσι, ο δείκτης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SDII_j = \sum_{w=1}^w \frac{RR_{wj}}{w}, \text{ όπου:}$$

- RR_{wj} το ημερήσιο ύψος βροχής κατά τη διάρκεια μιας ημέρας βροχής
- w ο αριθμός των ημερών βροχής ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$) σε μια περίοδο j και
- RR_{wj} η ημερήσια βροχόπτωση.

2. Ο δείκτης RX (Maximum One-day Precipitation Index) δείχνει το μεγαλύτερο ύψος βροχής που καταγράφηκε στη διάρκεια μιας ημέρας και εκτιμάται από τη σχέση: $RX = \max (RR_{ij})$, όπου RR_{ij} το ημερήσιο ύψος βροχής σε μια βροχερή ημέρα i της περιόδου j .

3. Επιπλέον, ο δείκτης R10mm ή δείκτης ισχυρής βροχόπτωσης (Heavy Precipitation Days Index) αντιπροσωπεύει το ετήσιο πλήθος των ημερών, κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 10.0mm και δίνεται από τη σχέση: $RR_{ij} \geq 10\text{mm}$, όπου RR_{ij} το ημερήσιο ύψος βροχής σε μια βροχερή ημέρα ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$) i της περιόδου j .

4. Παρόμοια με τον δείκτη R10mm, ο δείκτης R20mm ή δείκτης πολύ ισχυρής βροχόπτωσης (Very Heavy Precipitation Days Index) αποδίδει το ετήσιο πλήθος των ημερών, κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 20.0mm και δίνεται από τη σχέση: $RR_{ij} \geq 20\text{mm}$, όπου RR_{ij} το ημερήσιο ύψος βροχής σε μια ημέρα βροχής ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$) i της περιόδου j .

5. Ο δείκτης βροχόπτωσης R95p, αναφέρεται σε μέτρια πολύ υγρές συνθήκες και έχει ως τιμή κατωφλίου το 95^ο εκαστοστημόριο. Ακόμα, εκφράζει το ετήσιο άθροισμα των υψών βροχής, που σημειώθηκαν εκείνες τις ημέρες βροχής ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$), κατά τις οποίες το ύψος βροχής υπερβαίνει το 95^ο εκαστοστημόριο των υψών βροχής, που σημειώνονται κατά τη διάρκεια των βροχερών ημερών της περιόδου 1958-2017. Δίνεται από τη σχέση:

$R95p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ όταν $RR_{wj} > RR_{wn}95$, όπου:

- RR_{wj} το ημερήσιο ύψος βροχής κατά τη διάρκεια μιας βροχερής ημέρας ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$) w της περιόδου i
- $RR_{wn}95$ το 95° εκατοστημόριο της βροχόπτωσης των βροχερών ημερών της περιόδου 1958-2017 και
- w ο αριθμός των ημερών βροχής ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$) της περιόδου.

6. Ομοίως, ο δείκτης $R99p$, αναφέρετε σε εξαιρετικά υγρές συνθήκες και έχει ως τιμή κατωφλίου το 99° εκατοστημόριο. Αντιπροσωπεύει το ετήσιο άθροισμα των υψών βροχής, που σημειώθηκαν εκείνες τις ημέρες βροχής ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$), κατά τις οποίες το ύψος βροχής υπερβαίνει το 99° εκατοστημόριο των υψών βροχής, που σημειώνονται κατά τη διάρκεια των βροχερών ημερών της περιόδου 1958-2017. Υπολογίζεται από τον τύπο:

$R99p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ όταν $RR_{wj} > RR_{wn}99$, όπου:

- RR_{wj} το ημερήσιο ύψος βροχής κατά τη διάρκεια μιας βροχερής ημέρας ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$) w της περιόδου i
- $RR_{wn}99$ το 99° εκατοστημόριο της βροχόπτωσης των βροχερών ημερών της περιόδου 1958-2017 και
- w ο αριθμός των ημερών βροχής ($RR_{wj} \geq 1.0\text{mm}$) της περιόδου.

Αφού προσδιορίστηκαν οι τιμές του κάθε δείκτη σε ετήσια και εποχιακή βάση, μελετήθηκαν οι τάσεις που εμφανίζει η βροχόπτωση σε κάθε σταθμό, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Για την εύρεση των στατιστικά σημαντικών τάσεων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό τεστ Kendall tau.

Το test αυτό, αναπτύχθηκε από τον Maurice Kendall το 1938 (Abdi, 2007, Kendall, 1938, Wayne, 1990) και αποτελεί μια μη παραμετρική δοκιμή υπόθεσης. Εφαρμόζεται με στόχο να προσδιοριστεί ποσοτικά ο βαθμός της συσχέτισης ανάμεσα σε δύο μετρούμενες ποσότητες και είναι ανεξάρτητο από τη μορφή της κατανομής των δεδομένων. Γενικά, ο συντελεστής συσχέτισης λαμβάνει τιμές από -1 έως και 1. Οι θετικές τιμές, δείχνουν μεγάλο βαθμό συσχέτισης και συνεπάγονται αύξηση των τάξεων και των δύο μετρούμενων ποσοτήτων. Αντίθετα, οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε μικρότερο βαθμό συσχέτισης και συνεπώς όταν αυξάνει η τάξη της μιας μεταβλητής, μειώνεται η τάξη της άλλης. Μηδενική τιμή του συντελεστή συσχέτισης φανερώνει έλλειψη συσχέτισης μεταξύ των μεταβλητών. Έτσι, από τα παραπάνω φαίνεται ότι η συσχέτιση μεταξύ δύο μεταβλητών είναι μεγαλύτερη όταν αυτές παρουσιάζουν παρόμοια κατάταξη.

Επιπρόσθετα, οι υπολογισμοί στο test Kendall tau στηρίζονται σε ζεύγη μεταβλητών, τα οποία είναι είτε σύμφωνα (Concordant pairs) είτε ασύμφωνα (Discordant pairs). Όταν προκύπτουν τέτοια ζεύγη, ο συντελεστής συσχέτισης τροποποιείται έτσι ώστε οι τιμές του να διατηρηθούν εντός του διαστήματος $[-1,1]$. Όσον αφορά τα σύμφωνα ζεύγη μεταβλητών, τα δύο μέλη μιας παρατήρησης είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα μέλη των άλλων παρατηρήσεων, ενώ, στην περίπτωση των ασύμφωνων ζευγών δύο μέλη σε μια παρατήρηση, διαφέρουν σε αντίθετες κατευθύνσεις.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η ερμηνεία του συντελεστή συσχέτισης του Kendall tau, παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με αυτή του συντελεστή συσχέτισης του Spearman και συνεπώς οδηγούν στα ίδια συμπεράσματα. Παρόλα αυτά, η κατανομή του Kendall tau εμφανίζει καλύτερα στατιστικά χαρακτηριστικά και προσφέρει άμεση ερμηνεία των πιθανοτήτων εμφάνισης σύμφωνων και ασύμφωνων ζευγών.

1. Διετήσια και εποχιακή μελέτη των μεσών βροχομετρικών υψών και των ημερών βροχής στη Γερμανία.

1.1 Μελέτη του νετού σε ετήσια και εποχιακή βάση

Η επεξεργασία των ημερήσιων δεδομένων ογδόντα επιλεγμένων σταθμών σε ετήσια και εποχιακή βάση για τη Γερμανία, κατά τη περίοδο 1958 – 2017, έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα, που απεικονίζονται στα σχήματα 1.1.α., και 1.1.β. Αρχικά, από τη μελέτη των σχημάτων παρατηρείται ότι οι περιοχές εμφάνισης του μέγιστου και ελάχιστου μέσου ποσού νετού συμπίπτουν από έτος σε έτος και από εποχή σε εποχή. Παρόλα αυτά, φαίνεται ότι μετά το χειμώνα η ελάχιστη τιμή του νετού μετατοπίζεται από τη κεντρική προς την ανατολική Γερμανία, ενώ, κατά το καλοκαίρι η μέγιστη τιμή μετατοπίζεται από τα NNA προς τα NNA τμήματα της χώρας.

Πιο συγκεκριμένα, στο σχήμα 1.1α. φαίνεται η κατανομή των μέσων ετήσιων ποσών βροχής στη Γερμανία για τη περίοδο 1958 – 2017. Παρατηρείται, ότι η ανατολική και βόρεια Γερμανία, καθώς και κάποιες περιοχές στα κεντρικά τμήματα της χώρας παρουσιάζουν χαμηλά μέσα ύψη βροχής, ενώ τα δυτικά και νότια τμήματα της χώρας χαρακτηρίζονται από υψηλά μέσα ποσά βροχής. Όσον αφορά την ελάχιστη τιμή της βροχόπτωσης, αυτή εμφανίζεται στην ανατολική Γερμανία (Neuttrebbin) και αντιστοιχεί σε 492.3 mm. Αντίθετα, η μέγιστη τιμή της βροχόπτωσης παρατηρείται στη NNA Γερμανία (Furtwangen) και αντιστοιχεί σε 1717.7 mm.

Από την εξέταση του σχήματος 1.1.β., είναι φανερό ότι κατά τη χειμερινή περίοδο του έτους, τα χαμηλότερα μέσα ύψη βροχής παρουσιάζονται στη βόρεια και την ανατολική Γερμανία και συνεπώς εκεί διαμορφώνονται ξηρότερες συνθήκες, ενώ, τα μεγαλύτερα ύψη βροχής εμφανίζονται στη νοτιοδυτική και τη δυτική Γερμανία, διαμορφώνοντας υγρότερες συνθήκες κατά το χειμώνα. Η ελάχιστη τιμή του μέσου ύψους βροχής (94.3 mm) σημειώνεται στη κεντρική Γερμανία (Frohndorf) και η μέγιστη τιμή (519.2 mm) σημειώνεται στη NNA Γερμανία (Furtwangen).

Όσον αφορά τη μέση βροχόπτωση κατά την άνοιξη, αυτή απεικονίζεται στο ίδιο σχήμα (1.1.β.). Ειδικότερα, η κατανομή της βροχόπτωσης ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο με αυτό της κατανομής της βροχόπτωσης κατά το χειμώνα. Στα βόρεια και ανατολικά τμήματα της χώρας καταγράφονται μικρά μέσα ποσά βροχής και ξηρότερες συνθήκες, ενώ στα νότια και δυτικά τμήματα της περιοχής μελέτης, καταγράφονται μεγάλα μέσα ποσά βροχής και υγρότερες συνθήκες. Αναφορικά με την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή των υψών βροχής, η ελάχιστη τιμή (110.1 mm) μετατοπίζεται στα ανατολικά τμήματα της Γερμανίας (Neuttrebbin), ενώ η μέγιστη τιμή (397.3 mm) εμφανίζεται στη ΝΝΔ Γερμανία (Furtwangen).

Επιπλέον, η κατανομή της βροχόπτωσης κατά το καλοκαίρι στη Γερμανία, για τη περίοδο 1958 – 2017, παριστάνεται στο σχήμα 1.1.β. Αναλυτικότερα, φαίνεται ότι εμφανίζονται χαμηλά μέσα ποσά βροχής σχεδόν σε όλη τη χώρα και επομένως παρατηρείται ξηρασία σε όλη τη περιοχή μελέτης, ενώ μεγάλα μέσα ύψη βροχής διακρίνονται στα δυτικά και νότια τμήματα της χώρας. Η ελάχιστη τιμή (178.8 mm) εντοπίζεται στην ανατολική Γερμανία (Neuttrebbin), που εμφανίζεται και κατά την εαρινή περίοδο. Όμως, η μέγιστη τιμή ύψους βροχής (448.7 mm) μετατοπίζεται κατά το καλοκαίρι από τα ΝΝΔ προς τα ΝΝΑ τμήματα της Γερμανίας (Muensing).

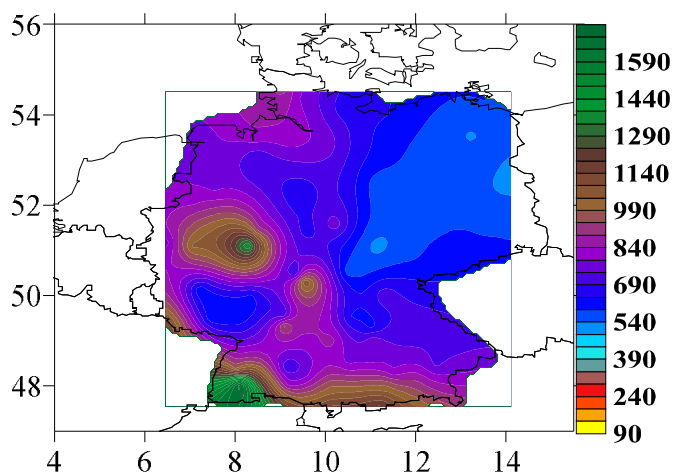
Κατά το φθινόπωρο της περιόδου μελέτης, παρατηρείται ότι στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας κυριαρχούν συνθήκες ξηρασίας. Ειδικότερα τα μικρότερα μέσα ύψη βροχής καταγράφονται στα κεντρικά, ανατολικά και νότιο – ανατολικά τμήματα της Γερμανίας. Αντίθετα, τα υψηλότερα μέσα ποσά βροχής και η υγρασία εντοπίζονται κυρίως στα ΒΔ και νότια τμήματα της χώρας. Όσον αφορά την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή των υψών βροχής, αυτές σημειώνονται στις ίδιες θέσεις με αυτές της εαρινής περιόδου. Η ελάχιστη τιμή (109.2 mm) καταγράφεται στα ανατολικά της Γερμανίας (Neuttrebbin), ενώ, η μέγιστη τιμή (407.2 mm) καταγράφεται στα ΝΝΔ της περιοχής μελέτης (Furtwangen).

Συνοψίζοντας, από την κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στη Γερμανία σε ετήσια βάση κατά τη περίοδο 1958-2017, είναι εμφανές ότι χαμηλά μέσα ύψη βροχής και συνεπώς ξηρότερες συνθήκες, εντοπίζονται στο βόρειο, τον ανατολικό, καθώς και το κεντρικό τομέα της χώρας, ενώ υγρότερες συνθήκες διαμορφώνονται στα δυτικά και τα

νότια τμήματα. Αναφορικά με την εικόνα που παρουσιάζει η χωρική κατανομή των μέσων υψών βροχής, από εποχή σε εποχή, αξίζει να αναφερθεί ότι κατά το χειμώνα και την άνοιξη ξηρές συνθήκες (μικρά μέσα ύψη βροχής) σημειώνονται στις βόρειες και τις ανατολικές περιοχές, ενώ, κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο τα μικρότερα μέσα ύψη βροχής εμφανίζονται σε ευρύτερες περιοχές. Αντίθετα, υγρές συνθήκες (μεγάλα μέσα ύψη βροχής) εντοπίζονται στους σταθμούς, που βρίσκονται σε νότιες και δυτικές διευθύνσεις.

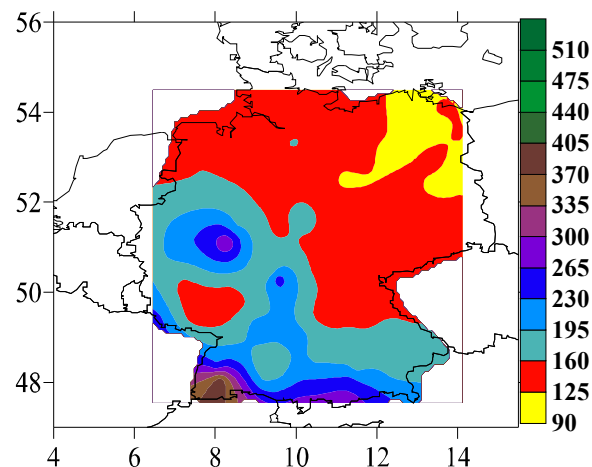
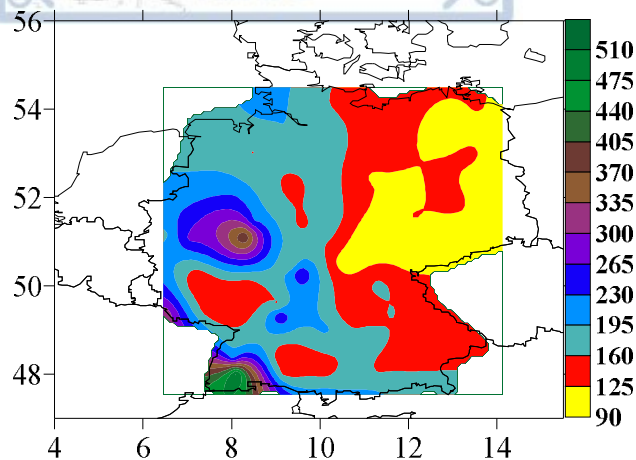
Όσον αφορά στα μέγιστα και ελάχιστα της βροχόπτωσης, η ελάχιστη τιμή κατά τη διάρκεια των ετών της μελετώμενης περιόδου, σημειώνεται στην ανατολική Γερμανία (Neuttrebbin), ενώ, η μέγιστη τιμή σημειώνεται στη ΝΝΔ Γερμανία (Furtwangen). Δηλαδή ο σταθμός Neuttrebbin είναι ο σταθμός με τα μικρότερα μέσα ύψη (ξηρότερος σταθμός) και ο σταθμός Furtwangen είναι ο βροχερότερος σταθμός στην περιοχή ενδιαφέροντος. Την ίδια συμπεριφορά παρουσιάζουν οι ελάχιστες καθώς και οι μέγιστες τιμές κατά την άνοιξη και το φθινόπωρο. Παρόλα αυτά, όσον αφορά τη μελέτη του νετού σε εποχιακή βάση, διακρίνεται μια μετατόπιση της θέσης εντοπισμού της ελάχιστης τιμής νετού προς τα ανατολικά κατά το χειμώνα και της μέγιστης τιμής νετού προς τα ΝΝΑ τμήματα της χώρας κατά την εαρινή περίοδο. Επίσης, από τη σύγκριση των σχημάτων 1.1.α, και 1.1.β, είναι φανερό ότι ο χειμώνας αποτελεί την εποχή, κατά την οποία σημειώνονται οι υγρότερες συνθήκες, ενώ, η άνοιξη αποτελεί την ξηρότερη εποχή.

Μέση Ετήσια Βροχόπτωση (mm) - Γερμανία (1958-2017)

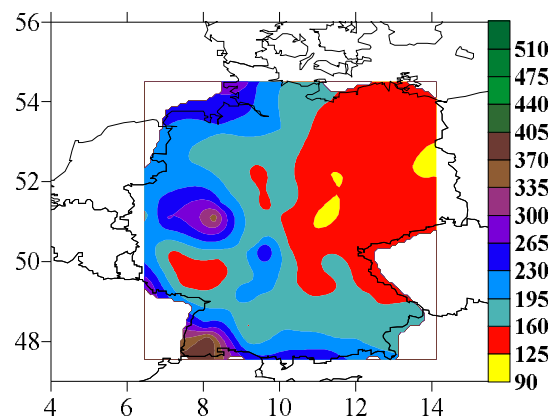
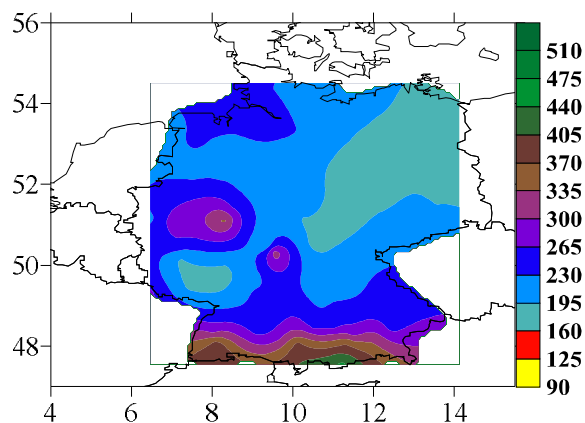


Σχήμα 1.1.α: Κατανομή της μέσης βροχόπτωσης σε ετήσια βάση κατά τη περίοδο 1958-2017, στη Γερμανία.

Μέση Βροχόπτωση Χειμώνα (mm) - Γερμανία (1958-2017) Μέση Βροχόπτωση Άνοιξης (mm) - Γερμανία (1958-2017)



Μέση Βροχόπτωση Καλοκαιριού (mm) - Γερμανία (1958-2017) Μέση Βροχόπτωση Φθινοπώρου (mm) - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 1.1.β: Κατανομή της μέσης βροχόπτωσης σε εποχιακή βάση κατά τη περίοδο 1958-2017, στη Γερμανία.

1.2 Μελέτη των τάσεων της βροχόπτωσης σε ετήσια και εποχιακή βάση

Στα παρακάτω σχήματα (σχήμα 1.2.α και 1.2.β) παρουσιάζεται η γεωγραφική κατανομή των τάσεων, που εμφανίζει ο υετός, σε ετήσια και εποχιακή βάση για τη περίοδο 1958 – 2017, στη Γερμανία. Στα σχήματα αυτού του κεφαλαίου, οι θετικές τάσεις δείχνονται με βέλη που έχουν φορά προς τα πάνω και κόκκινο περίγραμμα ενώ οι αρνητικές τάσεις με βέλη που έχουν φορά προς τα κάτω και μπλε περίγραμμα. Για την απεικόνιση στατιστικά σημαντικών τάσεων, θετικών και αρνητικών, χρησιμοποιήθηκαν κόκκινα και μπλε βέλη, αντίστοιχα.

Από την εξέταση του σχήματος 1.2.α, γίνεται φανερό ότι η τάση, που εμφανίζει η μέση ετήσια βροχόπτωση, είναι θετική στην πλειονοψηφία των επιλεγμένων σταθμών (67.5%) κατά τη περίοδο μελέτης. Παρόλα αυτά εντοπίζονται και αρνητικές τάσεις, κυρίως στα νότια και δυτικά τμήματα της χώρας. Σε ορισμένους βόρειους και νότιους σταθμούς (Alfhausen, Bockhorn-Oberbayern-Gruenbach, Gluckstadt, Raitenbuch, Muensing, Neu - Ulm, Langelsheim – Bredelem, Weesby, Neetzow) υπολογίστηκαν θετικές στατιστικά σημαντικές τάσεις, ενώ, σε τρεις, μόνο, σταθμούς (Kahler Asten, Kronburg, Reinsfeld) στα δυτικά και νότια τμήματα της Γερμανίας, υπολογίστηκαν αρνητικές τάσεις, που θεωρούνται στατιστικά σημαντικές.

Όσον αφορά τη κατανομή των τάσεων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου (σχήμα 1.2.β), η επεξεργασία των δεδομένων έδειξε την επικράτηση θετικών τάσεων στο μεγαλύτερο μέρος της Γερμανίας (70%). Αντίθετα, αρνητικές τάσεις εντοπίζονται σε σταθμούς στα κεντρικά, νότια και ανατολικά τμήματα της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές, θετικές τάσεις της μέσης βροχόπτωσης, σε μεμονωμένους σταθμούς συγκεντρωμένους κυρίως στο βόρειο τμήμα της χώρας (Alfhausen, Bockhorn-Oberbayern-Gruenbach, Drebkau, Gluckstadt, Langelsheim – Bredelem, Neetzow, Wismar). Επίσης βρέθηκε ότι η μέση βροχόπτωση εμφανίζει αρνητική και στατιστικά σημαντική τάση, κατά την χειμερινή περίοδο, σε ένα σταθμό της νότιας Γερμανίας (Schorndorf-Knobling).

Από τη μελέτη του σχήματος 1.2.β, οι τάσεις της μέσης βροχόπτωσης για την εαρινή περίοδο στη Γερμανία, δείχνουν ότι στους περισσότερους σταθμούς μελέτης (81.3%) και κατά συνέπεια στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας, είναι αρνητικές/πτωτικές. Θετικές τάσεις παρουσιάζει ένας μικρός αριθμός σταθμών, εκ των οποίων οι περισσότεροι βρίσκονται στη νότια Γερμανία. Σχετικά με τις στατιστικά σημαντικές τάσεις, θετική τάση σημειώνεται σε ένα σταθμό (Bockhorn-Oberbayern-Gruenbach) της νότιας Γερμανίας, ενώ, αρνητικές τάσεις σημειώνονται σε δύο σταθμούς (Kahler Asten, Gera - Leumnitz) στην κεντρική – δυτική, καθώς και στην ανατολική Γερμανία.

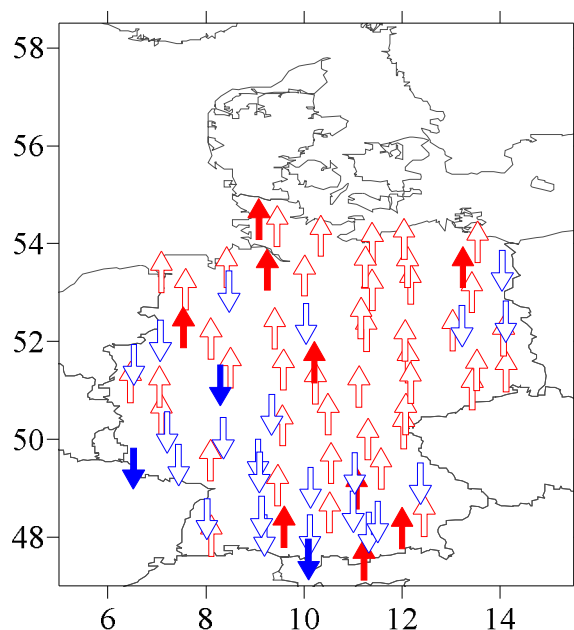
Για το καλοκαίρι, παρατηρείται ότι η κατανομή των τάσεων της μέσης βροχόπτωσης για τη περίοδο μελέτης, παρουσιάζει παρόμοιο μοτίβο με αυτή της χειμερινής περιόδου. Θετικές τάσεις επικρατούν στο μεγαλύτερο μέρος της Γερμανίας (67.5%) και αρνητικές τάσεις εντοπίζονται στα νότια και κεντρικά - δυτικά τμήματα της περιοχής μελέτης. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές τάσεις, θετική τάση παρουσιάζει ένας σταθμός στη κεντρική – ανατολική Γερμανία (Leipzig-Knauthain) και αρνητική τάση εμφανίζει ένας σταθμός (Kronburg) στα νότια της χώρας.

Σύμφωνα με το σχήμα 1.2.β, η μέση βροχόπτωση κατά το φθινόπωρο έχει θετική τάση σχεδόν σε όλη τη χώρα (86.3%). Μεμονωμένοι σταθμοί στα νότια, κεντρικά – δυτικά και ανατολικά τμήματα εμφανίζουν αρνητικές τάσεις, χωρίς ωστόσο αυτές να είναι στατιστικά σημαντικές. Θετικές τάσεις, στατιστικά σημαντικές, παρατηρούνται σε σταθμούς (Drei Gleichen – Muehlberg, Dresden, Droeda, Gera – Leumnitz, Langelsheim – Bredelem, Muensing, Neetzow, Neudrossenfeld, Raitenbuch, Swaebisch Hall) στα νότια και στα κεντρικά – ανατολικά τμήματα της Γερμανίας.

Από τα παραπάνω, φαίνεται ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει αυξητική – θετική τάση στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, καθώς και στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, με εξαίρεση τα νότια και δυτικά τμήματα, όπου οι τάσεις είναι αρνητικές. Όσον αφορά την εποχιακή κατανομή των τάσεων της μέσης βροχόπτωσης, για τη περίοδο μελέτης, προκύπτει ότι τα μοτίβα κατανομής των τάσεων για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο είναι πανομοιότυπα, όσον αφορά την αυξητική τάση. Η μόνη διαφορά έγκειται στο γεγονός, ότι κατά τη χειμερινή περίοδο αρνητικές

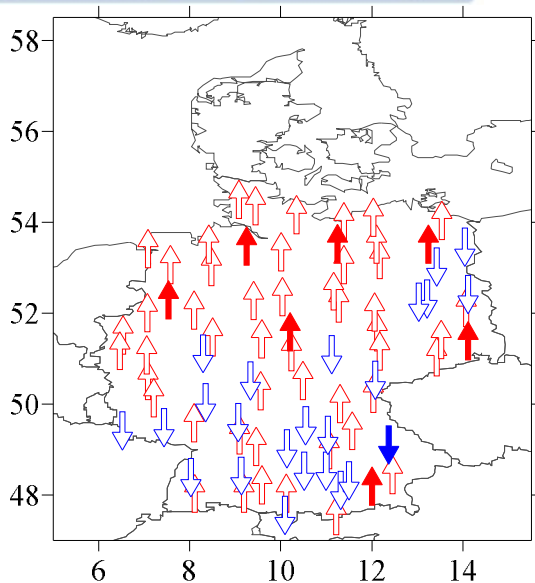
τάσεις σημειώνονται στους νότιους και στους ανατολικούς σταθμούς, ενώ κατά τη θερινή περίοδο, αρνητικές τάσεις σημειώνονται στους νότιους και στους κεντρικούς – δυτικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης. Επιπλέον, κατά την εαρινή περίοδο το σύνολο σχεδόν των σταθμών εμφανίζει αρνητική – πτωτική τάση της μέσης βροχόπτωσης εκτός από κάποιους σταθμούς στα νότια, όπου η τάσεις είναι θετικές – αυξητικές. Όσον αφορά την κατανομή των τάσεων κατά το φθινόπωρο, αυτές είναι θετικές – αυξητικές στους περισσότερους σταθμούς, εξαιρουμένων κάποιων μεμονωμένων περιπτώσεων, όπου σημειώνονται αρνητικές, στατιστικά ασήμαντες, τάσεις της μέσης βροχόπτωσης.

Τάσεις μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (mm) - Γερμανία (1958-2017)

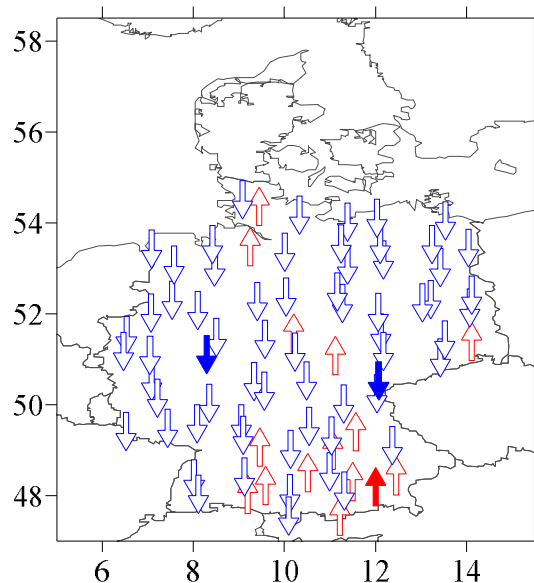


Σχήμα 1.2.α: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζει η μέση ετήσια βροχόπτωση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

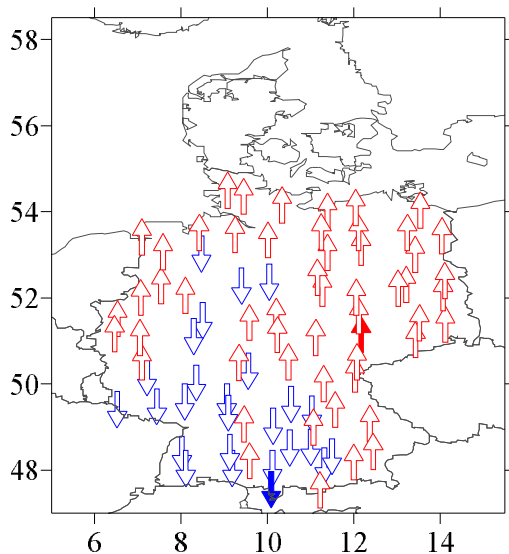
Μέση βροχόπτωση (mm) - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



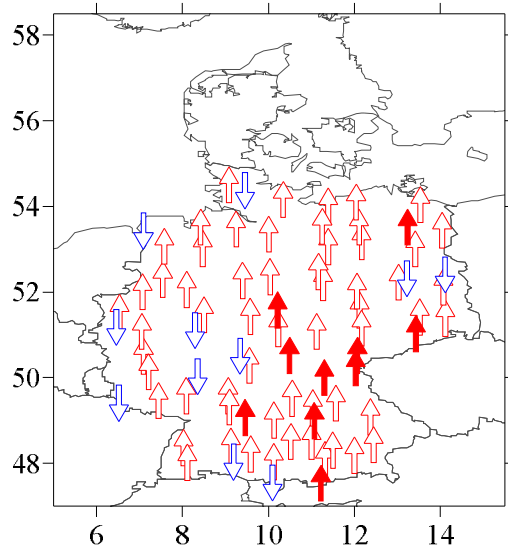
Μέση βροχόπτωση (mm) - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Μέση βροχόπτωση (mm) - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



Μέση βροχόπτωση (mm) - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 1.2.β: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζει η μέση βροχόπτωση σε εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

μέγιστος αριθμός ημερών βροχής (42) παρουσιάζει διαφορετική συμπεριφορά κατά την άνοιξη, καθώς μετατοπίζεται νοτιότερα (Furtwangen).

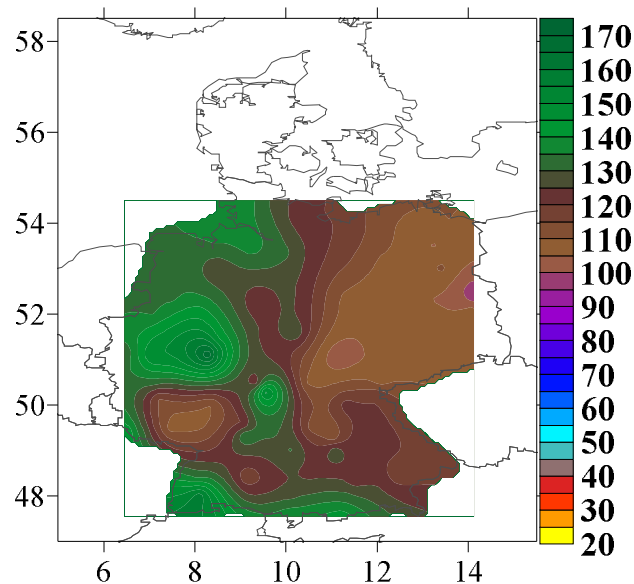
Επίσης, κατά το καλοκαίρι (σχήμα 1.3.β) γίνεται φανερό ότι οι λιγότερες ημέρες βροχής περιορίζονται στο ΒΑ και δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης, ενώ, οι περισσότερες ημέρες βροχής εκτείνονται στη νότια και ΝΔ Γερμανία. Όσον αφορά τις ελάχιστες και μέγιστες τιμές του αριθμού ημερών βροχής άνω του 1.0 mm, ισχύουν τα παρακάτω. Ο ελάχιστος αριθμός βροχερών ημερών (25) σημειώνεται στον ίδιο σταθμό (Neutrebbin), με αυτόν του χειμώνα και της άνοιξης, αλλά ο μέγιστος αριθμός (42), μετατοπίζεται από τα νότια προς τα ΝΝΑ της περιοχής ενδιαφέροντος (Muensing).

Σύμφωνα με το σχήμα 1.3.β, όπου παρουσιάζεται η κατανομή των ημερών βροχής κατά το φθινόπωρο, η χώρα διαιρείται σε δύο τμήματα, εκ των οποίων το ΒΑ – ΝΑ τμήμα χαρακτηρίζεται από μικρό πλήθος ημερών βροχής, ενώ το ΒΔ – ΝΔ τμήμα παρουσιάζει μεγαλύτερο πλήθος ημερών βροχής. Η ελάχιστη τιμή ημερών βροχής (23), παρόμοια με τις προηγούμενες εποχές, εμφανίζεται στην ανατολική Γερμανία (Neutrebbin). Αντίθετα, η μέγιστη τιμή ημερών βροχής (41) σημειώνεται στην κεντρική – δυτική Γερμανία (Kahler Asten).

Από τα παραπάνω, συμπεραίνεται ότι σε ετήσια βάση οι βορειοανατολικές περιοχές της Γερμανίας εμφανίζουν μικρότερη συχνότητα εμφάνισης ημερών βροχής, συγκριτικά με τα βορειοδυτικά, κεντρικά, καθώς και νότια τμήματα, στα οποία καταγράφονται περισσότερες βροχερές ημέρες στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Αναλυτικότερα, για τις εποχές του έτους παρατηρούνται τα παρακάτω. Αρχικά, κατά τη χειμερινή περίοδο οι σταθμοί με τη μικρότερη συχνότητα εμφάνισης βροχερών ημερών, βρίσκονται στα βορειοανατολικά, καθώς ο βορειοδυτικός και νοτιοδυτικός τομέας δείχνουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης. Κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, λιγότερες ημέρες βροχής διαμορφώνονται στο βόρειο τμήμα, καθώς και στη διεύθυνση ανατολής-δύσης, ενώ, στις νότιες και δυτικές περιοχές επικρατούν μεγαλύτερα πλήθη ημερών βροχής. Ακόμα, για το φθινόπωρο ο μέσος αριθμός ημερών βροχής είναι μικρός στη βορειοανατολικό-νοτιοανατολικό μισό τμήμα της χώρας, ενώ, είναι μεγάλος στις υπόλοιπες περιοχές.

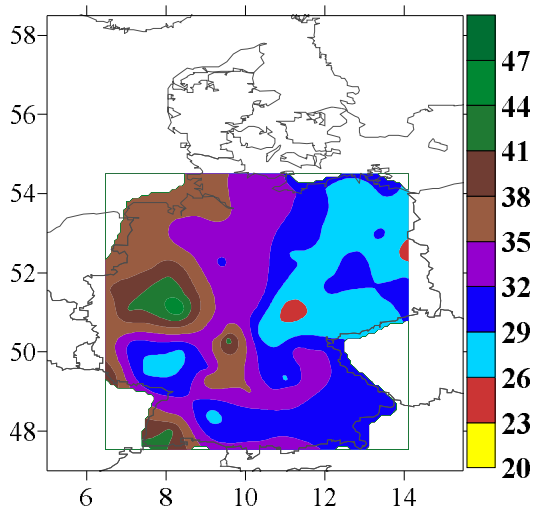
Επιπλέον, ο μέσος ετήσιος αριθμός ημερών βροχής παρουσιάζει ελάχιστη τιμή στην ανατολική Γερμανία (Neutrebbin), ενώ, η μέγιστη τιμή σημειώνεται στην κεντρική – δυτική Γερμανία (Kahler Asten). Σχετικά με την εποχιακή κατανομή των ημερών βροχής, παρατηρείται ότι οι ελάχιστες τιμές σημειώνονται στα ανατολικά (Neutrebbin), σε κάθε εποχή. Παρόλα αυτά, η περιοχή εμφάνισης του μέγιστου αριθμού ημερών βροχής μετατοπίζεται, από τη κεντρική – δυτική Γερμανία προς τα ΝΝΔ κατά την άνοιξη και προς τα ΝΝΑ κατά το θέρος. Για την εξεταζόμενη περίοδο, ο χειμώνας αποτελεί την εποχή με το μεγαλύτερο αριθμό ημερών βροχής, ενώ το φθινόπωρο αποτελεί την εποχή με το μικρότερο πλήθος βροχερών ημερών.

Μέσες ετήσιες ημέρες βροχής - Γερμανία (1958-2017)

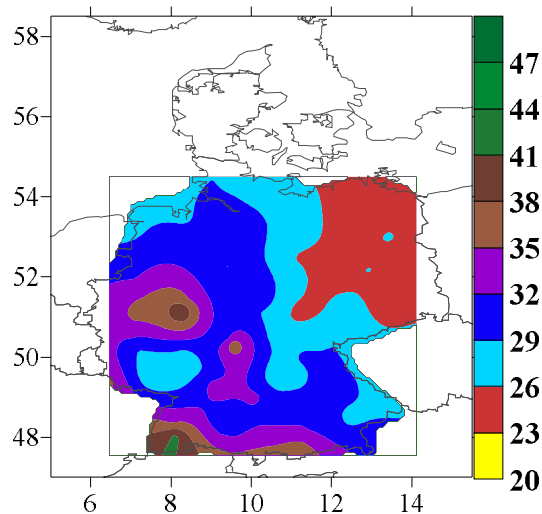


Σχήμα 1.3.α: Κατανομή του μέσου αριθμού ημερών βροχής σε ετήσια βάση κατά τη περίοδο 1958-2017, στη Γερμανία.

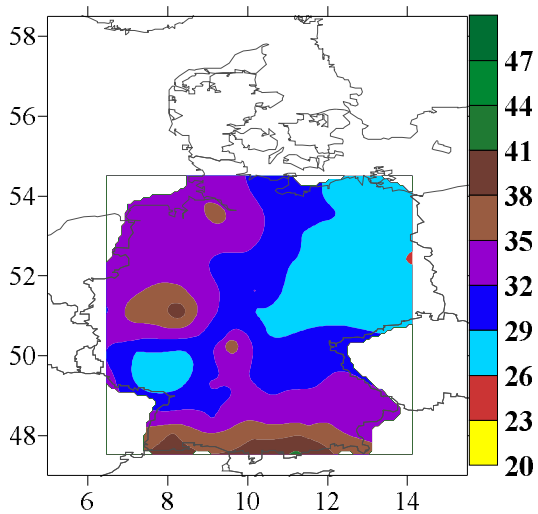
Μέσες ημέρες βροχής Χειμώνα - Γερμανία (1958-2017)



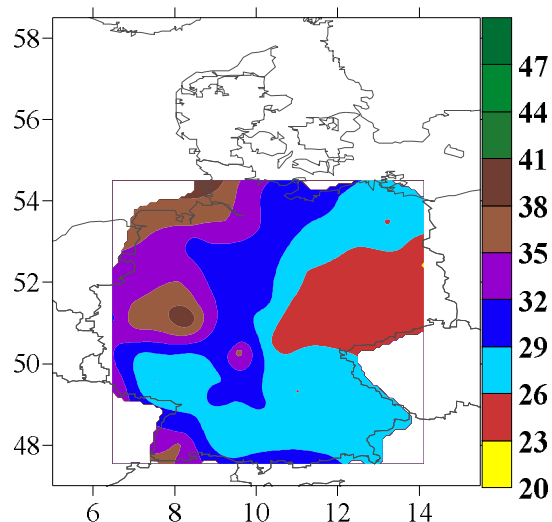
Μέσες ημέρες βροχής Άνοιξης - Γερμανία (1958-2017)



Μέσες ημέρες βροχής Καλοκαιριού- Γερμανία (1958-2017)



Μέσες ημέρες βροχής Φθινοπώρου- Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 1.3.β: Κατανομή του μέσου αριθμού ημερών βροχής σε εποχιακή βάση κατά τη περίοδο 1958-2017, στη Γερμανία.

1.4 Μελέτη των τάσεων των ημερών βροχής σε ετήσια και εποχιακή βάση

Η χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι ημέρες βροχής, σε ετήσια βάση για τη περίοδο μελέτης, στη Γερμανία, παρουσιάζεται στο σχήμα 1.4.α. Ως ημέρα βροχής, λαμβάνεται υπόψη η ημέρα κατά την οποία η βροχόπτωση υπερβαίνει το 1.0mm. Στα σχήματα 1.4.α και 1.4.β, που ακολουθούν, τα βέλη με κόκκινο περίγραμμα και φορά προς τα πάνω, αντιπροσωπεύουν τάσεις αύξησης των ημερών βροχής, ενώ, τα βέλη με μπλε περίγραμμα και φορά προς τα κάτω, αντιπροσωπεύουν τάσεις ελάττωσης των ημερών βροχής. Τα κόκκινα και μπλε βέλη αναπαριστούν αντίστοιχα θετικές και αρνητικές τάσεις, που όμως είναι στατιστικά σημαντικές.

Αρχικά, από τη μελέτη του σχήματος 1.4.α, εξάγεται ότι όσον αφορά τη χρονική εξέλιξη του αριθμού των ημερών βροχής, εμφανίζονται τόσο θετικές (60%) όσο και αρνητικές τάσεις (40%). Πιο αναλυτικά, οι σταθμοί, που χαρακτηρίζονται από ετήσια τάση αύξησης των ημερών βροχής, είναι διάσπαρτοι σχεδόν σε όλη τη χώρα, με εξαίρεση τα δυτικά τμήματα. Ενώ, οι σταθμοί, που εμφανίζουν πτωτική τάση βρίσκονται κυρίως στα νότια, δυτικά, και κεντρικά τμήματα της χώρας. Σχετικά με τις στατιστικά σημαντικές αυξητικές τάσεις των ημερών βροχής σημειώνονται σε δύο σταθμούς (Drebkau, Neu - Ulm) στη νότια και στην ανατολική Γερμανία, ενώ, πτωτική τάση σημειώνονται σε ένα σταθμό (Kahler Asten) στα κεντρικά – δυτικά της χώρας.

Όσον αφορά την κατανομή των τάσεων των ημερών βροχής σε εποχιακή βάση, αυτή απεικονίζεται στα σχήματα 1.4.α και 1.4.β. Για την χειμερινή περίοδο, από το σχήμα 1.4.β, φαίνεται ότι οι περισσότεροι σταθμοί (85%) και συνεπώς το μεγαλύτερο μέρος της χώρας, παρουσιάζουν τάσεις αύξησης των ημερών βροχής. Παρόλα αυτά, σε κάποιους σταθμούς στα νότια – νοτιοδυτικά και κεντρικά τμήματα της Γερμανίας σημειώνονται πτωτικές τάσεις, οι οποίες δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Στατιστικά σημαντικές τάσεις αύξησης των ημερών βροχής, εντοπίζονται σε σταθμούς βόρειων και ανατολικών περιοχών (Alfhausen, Drebkau, Dresden, Langelsheim – Bredelem, Neetzow, Wismar).

Σύμφωνα με το ίδιο σχήμα, κατά την εαρινή περίοδο όλοι οι μελετώμενοι σταθμοί εμφανίζουν πτωτική τάση και συνεπώς ελάττωση των ημερών βροχής, για τη περίοδο 1958-2017. Δε σημειώνονται καθόλου θετικές τάσεις, γεγονός που συμφωνεί με την πτωτική τάση των υψών βροχής κατά την άνοιξη, που αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα.. Επίσης, σημειώνονται θετικές, στατιστικά σημαντικές, τάσεις σε 17 σταθμούς (Aschafenburg, Bad Lippspringe, Bad Rothenfelde, Bamberg, Bremen, Dusseldorf, Frankfurt, Nurnberg, Kahler Asten κ.α), οι οποίοι βρίσκονται στα κεντρικά και δυτικά της Γερμανίας.

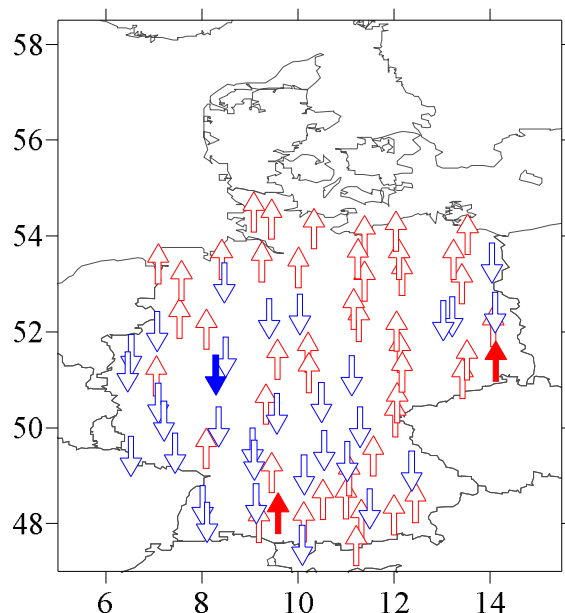
Από την εξέταση του σχήματος 1.4.β, διαπιστώνεται ότι τους καλοκαιρινούς μήνες οι τάσεις των ημερών βροχής, που υπολογίστηκαν, είναι αυξητικές για το μεγαλύτερο ποσοστό των μελετώμενων σταθμών (68.8%). Ακόμα, αρνητικές τάσεις σημειώνονται σε ένα μικρό αριθμό σταθμών, κυρίως σε κεντρικές και νότιες περιοχές. Δε παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές τάσεις.

Επιπρόσθετα, για το φθινόπωρο γίνεται φανερό ότι σχεδόν όλη η Γερμανία εμφανίζει τάση αύξησης των βροχερών ημερών (96.3%), κατά τη περίοδο μελέτης. Όμως, σε τρεις από τους σταθμούς μελέτης (Frankfurt, Kahler Asten, Neutrebbin) υπολογίστηκαν πτωτικές τάσεις, στα κεντρικά – ανατολικά, καθώς και στα κεντρικά – δυτικά τμήματα της χώρας. Θετικές και στατιστικά σημαντικές τάσεις, σημειώνονται σε νότιους και κεντρικούς σταθμούς (Bockhorn-Oberbayern-Gruenbach, Boos, Gera–Leumnitz, Muenchen). Δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές αρνητικές τάσεις.

Ανακεφαλαιώνοντας, όσον αφορά την τάση του ετήσιου αριθμού ημερών βροχής, αυτή ποικίλει από σταθμό σε σταθμό κατά τη περίοδο μελέτης. Αναλυτικότερα, οι δυτικές, νότιες και κεντρικές περιοχές της Γερμανίας δείχνουν τάση ελάττωσης των βροχερών ημερών. Επίσης, αναφορικά με την κατανομή των τάσεων κατά τις εποχές, παρατηρείται ότι ο χειμώνας και το καλοκαίρι παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή. Ειδικότερα, και στις δύο εποχές οι περισσότεροι σταθμοί έχουν θετική τάση και έτσι οι ημέρες βροχής τείνουν να αυξηθούν. Παρόλα αυτά, κατά το καλοκαίρι δεν εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές τάσεις. Ακόμα, κατά την άνοιξη επικρατεί πτωτική τάση σε όλη

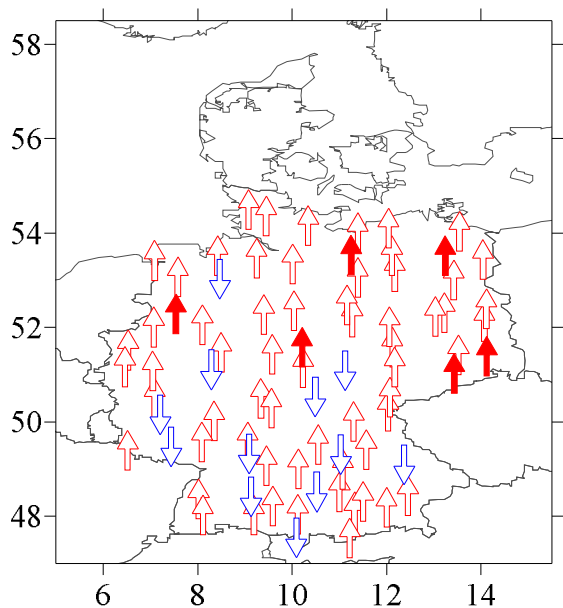
τη χώρα. Αντίθετα, για το φθινόπωρο οι περισσότεροι σταθμοί εμφανίζουν αυξητική τάση των βροχερών ημερών.

Μέσες ετήσιες ημέρες βροχής -Γερμανία (1958-2017)

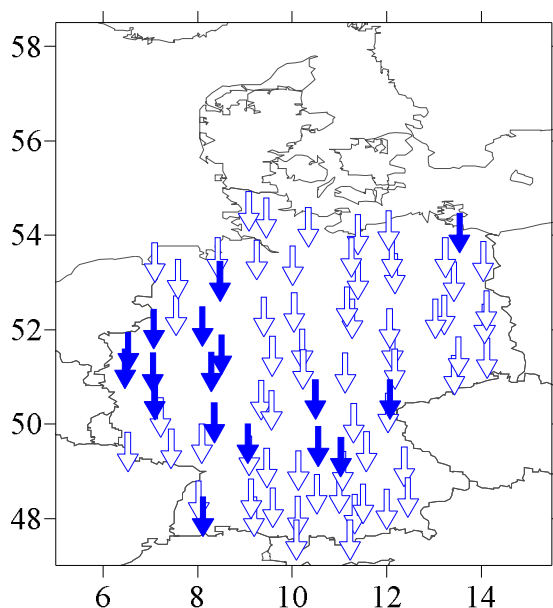


Σχήμα 1.4.α: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζει ο μέσος αριθμός ημερών βροχής, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

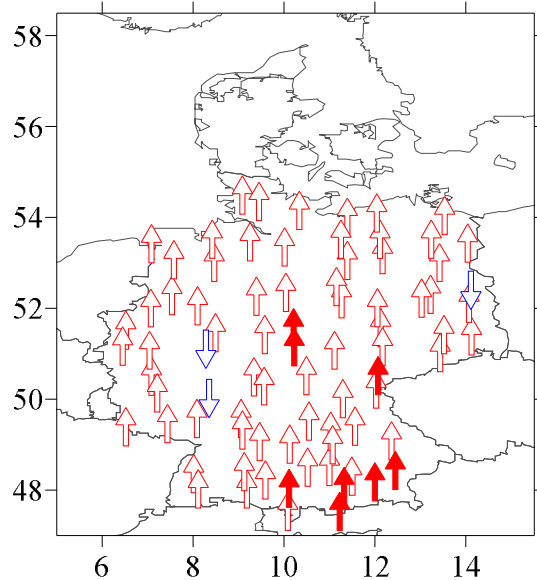
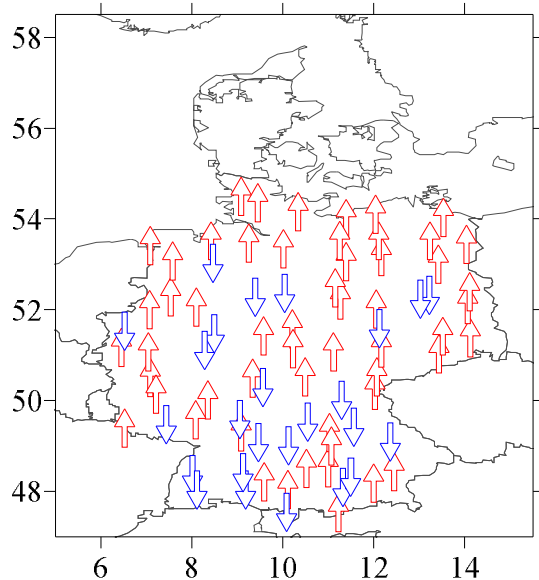
Μέσες ημέρες βροχής -Χειμώνας -Γερμανία (1958-2017)



Μέσες ημέρες βροχής - Άνοιξη -Γερμανία (1958-2017)



Μέσες ημέρες βροχής -Καλοκαίρι -Γερμανία (1958-2017) Μέσες ημέρες βροχής -Φθινόπωρο -Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 1.4.β: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζει ο μέσος αριθμός ημερών βροχής σε εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

2. Ακραίος κλιματικός δείκτης SDII

2.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη SDII σε ετήσια και εποχιακή βάση

Αντικείμενο μελέτης του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί η εξέταση των τιμών του ακραίου κλιματικού δείκτη SDII (Simple Daily Intensity Index), στη Γερμανία για τη περίοδο 1958 – 2017. Αρχικά, από την ετήσια κατανομή του δείκτη παρατηρείται ότι οι μικρότερες τιμές αυτού, σημειώνονται σε σταθμούς που βρίσκονται στα βόρεια, βορειοανατολικά και κεντρικά τμήματα της Γερμανίας. Κατά συνέπεια, στις περιοχές αυτές η ένταση της βροχόπτωσης είναι χαμηλή για την περίοδο μελέτης. Αντίθετα, στις νότιες και δυτικές περιοχές της χώρας, παρατηρείται ημερήσια βροχόπτωση μεγαλύτερης εντάσεως, καθώς εκεί υπολογιστήκαν μεγαλύτερες τιμές του δείκτη. Ακόμα, μέτριες τιμές του δείκτη συναντώνται στα δυτικά και νότια τμήματα της περιοχής μελέτης. Όσον αφορά τις ακραίες τιμές του δείκτη, η ελάχιστη τιμή αντιστοιχεί σε 5.1 mm/ημέρα και εμφανίζεται στην ανατολική Γερμανία (Born, Koenigstedt, Neetzow) ενώ, η μέγιστη τιμή, που αντιστοιχεί σε 10.9 mm/ημέρα εμφανίζεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Κατά τη χειμερινή περίοδο, σύμφωνα με το σχήμα 2.1.α, μικρότερες τιμές του δείκτη εντοπίζονται στα βόρεια, ανατολικά και κεντρικά τμήματα της χώρας. Επίσης, ένας περιορισμένος αριθμός σταθμών, που παρουσιάζουν βροχόπτωση χαμηλής εντάσεως, διακρίνεται και στη Νότια Γερμανία. Οι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη υπολογίστηκαν σε δυτικούς, καθώς και νότιους σταθμούς. Έτσι σε αυτές τις περιοχές σημειώνονται βροχοπτώσεις μεγαλύτερης έντασης σε σχέση με τις υπόλοιπες. Μέτριες τιμές του δείκτη και έντασης, διακρίνονται σε βορειοδυτικές, κεντρικές και νότιες περιοχές. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη, ίση με 3.9 mm/ημέρα καταγράφεται στην ανατολική Γερμανία (Neuttrebbin) και η μέγιστη τιμή, ίση με 12.2 mm/ημέρα καταγράφεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Επιπλέον, οι τιμές του δείκτη για την άνοιξη, στη Γερμανία κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958–2017, διαμορφώνονται σε χαμηλά επίπεδα στα βόρεια και ανατολικά

τμήματα της χώρας, σε σχέση με τη νότια και δυτική Γερμανία, όπου σημειώνονται βροχοπτώσεις μεγαλύτερης έντασης και υψηλότερες τιμές του δείκτη SDII. Παρόλα αυτά, παρατηρείται μια μετατόπιση των υψηλότερων εντάσεων βροχής, κατά την εαρινή περίοδο, από τα δυτικά προς τα νότια τμήματα της χώρας, σε σύγκριση με το χειμώνα. Αναφορικά με την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή του δείκτη, η ελάχιστη τιμή (4.7 mm/ημέρα) εντοπίζεται στη κεντρική ανατολική Γερμανία (Koenigstedt), ενώ, η μέγιστη τιμή (9.4 mm/ημέρα) εμφανίζεται νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Κατά τη θερινή περίοδο, χαμηλής έντασης βροχοπτώσεις παρουσιάζονται σε όλους τους σταθμούς, εκτός από αυτούς που βρίσκονται στα νότια όρια της περιοχής μελέτης. Έτσι, βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης επικρατούν κατά κύριο λόγο στους νότιους σταθμούς, καθώς και σε κάποιους από τους δυτικούς. Κατά περιοχές, σημειώνονται και βροχοπτώσεις μέτριας έντασεως, ειδικά σε νότιους, ανατολικούς και δυτικούς σταθμούς. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη (6.4 mm/ημέρα) βρέθηκε στα βορειοανατολικά τμήματα της χώρας (Neetzow) και η μέγιστη τιμή του (10.8 mm/ημέρα), βρέθηκε στη νότια Γερμανία (Muensing).

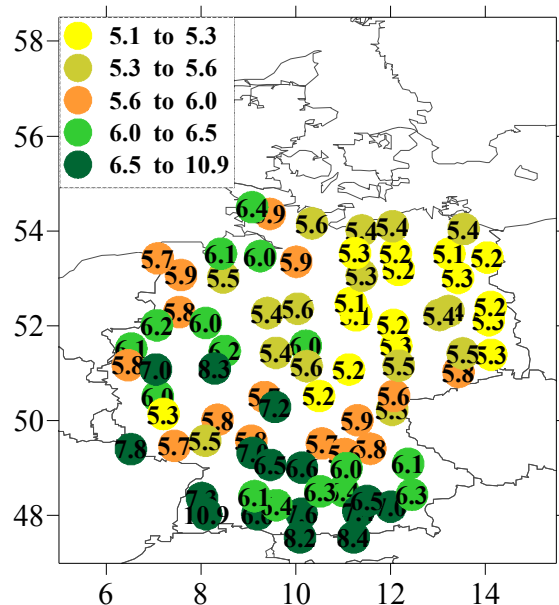
Όσον αφορά τη κατανομή του δείκτη κατά το φθινόπωρο, από τη μελέτη του σχήματος 2, φαίνεται ότι οι βόρειες, ανατολικές και κεντρικές περιοχές διακρίνονται από χαμηλές τιμές και επομένως παρουσιάζουν βροχοπτώσεις χαμηλής έντασης. Επίσης, κατά το φθινόπωρο παρατηρείται ότι οι μεγαλύτερες τιμές εκτείνονται και προς τα βόρεια, σε σχέση με το καλοκαίρι. Έτσι, βροχοπτώσεις υψηλότερης έντασης εμφανίζονται εκτός από τις νότιες και δυτικές περιοχές, και σε βορειοδυτικές περιοχές. Στις ίδιες περιοχές σημειώνονται και βροχοπτώσεις μέτριας έντασης, συνδεδεμένες με μέτριες τιμές του δείκτη. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη (4.8 mm/ημέρα) υπολογίστηκε στη βορειοανατολική Γερμανία (Neetzow), ενώ, η μέγιστη τιμή (11.5 mm/ημέρα) υπολογίστηκε στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό, ότι σε ετήσια βάση η βροχόπτωση στη βόρεια –βορειοανατολική και κεντρική Γερμανία παρουσιάζει χαμηλή ένταση, σε αντίθεση με τα νότια και δυτικά τμήματα της χώρας. Σχετικά με την εποχιακή κατανομή του δείκτη SDII στη Γερμανία, για τη περίοδο 1958 – 2017, παρατηρείται ότι σε όλες τις εποχές οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στους νότιους και δυτικούς σταθμούς. Παρόλα αυτά,

κατά την άνοιξη οι βροχοπτώσεις με τη μεγαλύτερη ένταση μετατοπίζονται προς τα νότια, διατηρώντας παρόμοια συμπεριφορά και κατά το θέρος, ενώ, κατά το φθινόπωρο μετατοπίζονται και σε βορειότερες περιοχές.

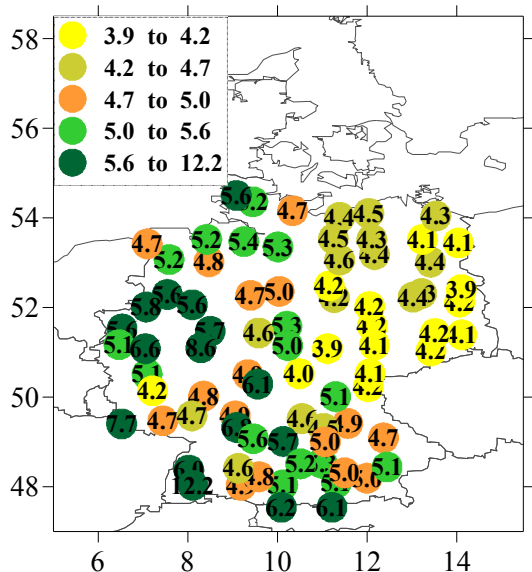
Επίσης, σχετικά με τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του δείκτη, η μικρότερη ελάχιστη τιμή, καθώς και η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή υπολογίστηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο. Αναλυτικότερα, σε ετήσια βάση, η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται σε τρεις στην ανατολική Γερμανία (Born, Koenigstedt, Neetzow) και η μέγιστη τιμή εντοπίζεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen). Σε εποχιακή βάση, η ελάχιστη τιμή σημειώνεται σε διαφορετικό σταθμό της ανατολικής Γερμανίας κατά το χειμώνα και την άνοιξη, ενώ, κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, η ελάχιστη τιμή σημειώνεται στον ίδιο σταθμό (Neetzow) της βορειοανατολικής Γερμανίας. Ακόμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη εμφανίζεται σε όλες τις εποχές, εκτός από το καλοκαίρι (νότια Γερμανία), στον ίδιο σταθμό της νοτιοδυτικής Γερμανίας (Furtwangen).

Ετήσιος SDII (mm/ημέρα) - Γερμανία (1958-2017)

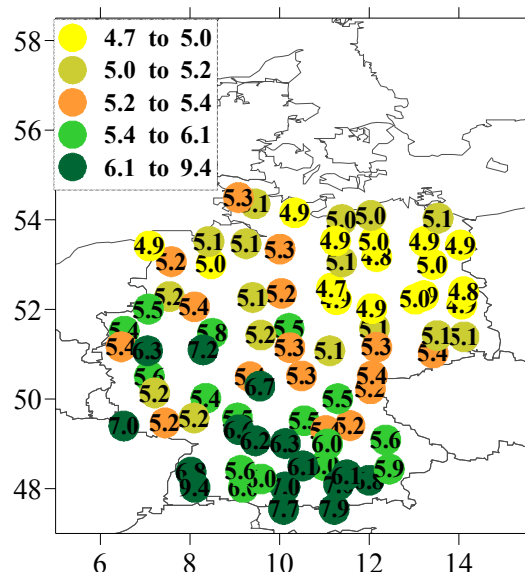


Σχήμα 2.1.α: Κατανομή των τιμών του δείκτη SDII σε ετήσια βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

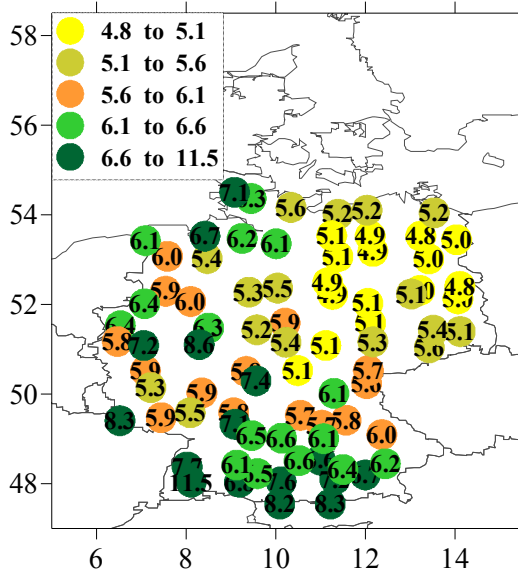
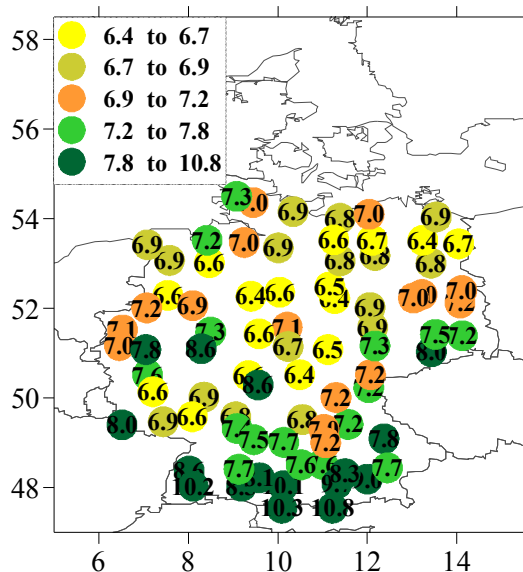
SDII(mm/ημέρα) - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



SDII(mm/ημέρα) - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



SDII(mm/ημέρα) - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017) SDII(mm/ημέρα) - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 2.1.β: Κατανομή των τιμών του δείκτη SDII σε εποχιακή βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

2.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη SDII σε ετήσια και εποχιακή βάση

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι τάσεις του εξεταζόμενου δείκτη SDII για τη μελετούμενη χρονική περίοδο, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η χρονική εξέλιξη της έντασης των βροχοπτώσεων. Ο συμβολισμός των θετικών/αρνητικών τάσεων στα σχήματα που εξάχθηκαν (σχήμα 2.2.α και σχήμα 2.2.β) γίνεται με τη χρήση βελών κόκκινου/μπλε περιγράμματος με φορά προς τα πάνω/κάτω και οι θετικές/αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις αναπαριστώνται με κόκκινα/μπλε βέλη.

Σε ετήσια βάση, από τη μελέτη του σχήματος 2.2.α, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μελετώμενων σταθμών (52.5%) παρουσιάζει μηδενική τάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Θετικές τάσεις εντοπίζονται σε όλη την έκταση της χώρας, ενώ, σε ορισμένες περιοχές στα νότια τμήματα της χώρας, οι τάσεις, που υπολογίστηκαν είναι αρνητικές. Δηλαδή, στη πλειοψηφία των μελετούμενων σταθμών αυξάνεται η ένταση της βροχόπτωσης και συνεπώς τα ύψη βροχής που πέφτουν ανά μονάδα χρόνου, εκτός από τη νότια Γερμανία, όπου η ένταση μειώνεται. Πιο συγκεκριμένα, θετικές τάσεις, στατιστικά σημαντικές, διακρίνονται σε νότιους και βορειοδυτικούς σταθμούς, ενώ, αρνητικές και στατιστικά σημαντικές τάσεις παρατηρούνται σε τρεις σταθμούς στα νότια και νοτιοδυτικά τμήματα της περιοχής μελέτης (Kirchheim, Kronburg, Reinsfeld).

Σχετικά με τη κατανομή του δείκτη κατά τη διάρκεια των εποχών του έτους, διαπιστώθηκαν τα παρακάτω. Κατά το χειμώνα (σχήμα 2.2.β) σε πολλούς σταθμούς (47.5%) σημειώνονται μηδενικές τάσεις του δείκτη. Ειδικότερα, στο μεγαλύτερο μέρος της Γερμανίας υπολογίστηκαν θετικές τάσεις (86.3%) και κατ'επέκταση αυξάνεται η ραγδαιότητα της βροχής. Αντίθετα, σε ένα μικρό αριθμό σταθμών, που βρίσκονται στα νότια και κεντρικά – δυτικά τμήματα της χώρας, εμφανίζονται αρνητικές τάσεις και η ραγδαιότητα της βροχής μειώνεται. Ακόμα, βρέθηκαν θετικές, στατιστικά σημαντικές, τάσεις κυρίως στο βόρειο, βορειοανατολικό και βορειοδυτικό τμήμα της Γερμανίας (Alfhausen, Bremen, Cuxhaven, Gluckstadt, Langelsheim-Bredelem, Mistorf-Siemitz,

Neetzow, Neubukow, Neudrossenfeld, Raitenbuch, Weesby, Wismar), ενώ, μόνο ο σταθμός Schorndorf-Knobling εμφανίζει αρνητική και στατιστικά σημαντική τάση.

Για την άνοιξη, φαίνεται ότι η κατανομή των τιμών του δείκτη παρουσιάζει ομοιότητες με την κατανομή κατά τη χειμερινή περίοδο. Αναλυτικότερα, σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης επικρατούν θετικές τάσεις (91.3%), εκ των οποίων οι περισσότερες (43.8%) αντιστοιχούν στο μηδέν, και αυξάνεται η ένταση της βροχής. Ωστόσο καταγράφονται και αρνητικές τάσεις του δείκτη σε σταθμούς διάσπαρτους στα βορειοδυτικά, βόρεια, νοτιοδυτικά, ανατολικά, καθώς και νοτιοανατολικά τμήματα της χώρας. Δηλαδή στους σταθμούς αυτούς εξασθενεί η ένταση της βροχοπτώσης. Παρόλα αυτά, οι παρατηρούμενες αρνητικές τάσεις σε αυτές τις περιοχές, δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις, αυτές παρουσιάζουν μετατόπιση από τις βόρειες προς τις νοτιότερες περιοχές (Schwaebisch Hall, Wallersdorf, Raitenbuch, Neu-Ulm, Nandlstadt, Grafenwoehr-Bruckendorfgrmuend, Gluckstadt, Frohndorf, Bockhorn–Oberbayern-Gruenbach, Bamberg, Aschafenburg).

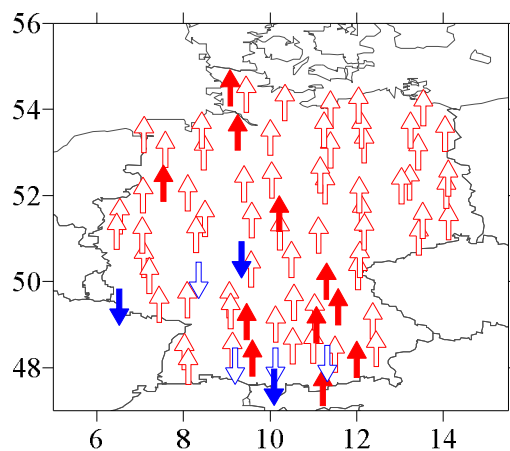
Επίσης, για το καλοκαίρι φαίνεται ότι στους περισσότερους σταθμούς οι τάσεις του δείκτη είναι θετικές (78.8%) και έτσι αυξάνονται τα ύψη βροχής που πέφτουν ανά μονάδα χρόνου. Όμως, σημειώνονται και αρνητικές τάσεις, κυρίως νότια, νοτιοδυτικά, καθώς και στα βορειοανατολικά τμήματα της περιοχής μελέτης, γεγονός που συνεπάγεται μείωση της ραγδαιότητας της βροχής. Αναλυτικότερα, θετικές και στατιστικά σημαντικές τάσεις, εντοπίζονται σε τρεις σταθμούς στη βόρεια, βορειοδυτική και νότια Γερμανία (Norderney, Raitenbuch, Weesby), ενώ, σημειώνεται μόνο μία αρνητική, στατιστικά σημαντική, τάση στη νότια Γερμανία (Kronburg).

Κατά τη περίοδο του φθινοπώρου, από την εξέταση του σχήματος 2.2.β, γίνεται εμφανές ότι σε όλη τη περιοχή μελέτης οι τάσεις του δείκτη, που υπολογίστηκαν είναι θετικές (82.5%). Οι μισοί από τους σταθμούς αυτούς, παρουσιάζουν μηδενική τιμή. Άρα, η ένταση της βροχής ενισχύεται στους περισσότερους υπό μελέτη σταθμούς. Στη νότια και στη νοτιοδυτική Γερμανία, καθώς και σε κάποιους σταθμούς στα βόρεια τμήματα της χώρας, εμφανίζονται αρνητικές τάσεις του δείκτη. Επομένως, καταγράφονται βροχοπτώσεις μειωμένης ραγδαιότητας. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές τάσεις,

θετικές τάσεις σημειώνονται σε κεντρικούς και νότιους σταθμούς (Achern-Fautenbach, Bad Lippspringe, Celle, Hannover, Langelsheim-Bredelem, Neudrossenfeld, Raitenbuch, Schwaebisch Hall), ενώ, αρνητικές τάσεις σημειώνονται στους νότιους και νοτιοδυτικούς σταθμούς (Boos, Kirchheim, Mengen-Ennetach, Reinsfeld).

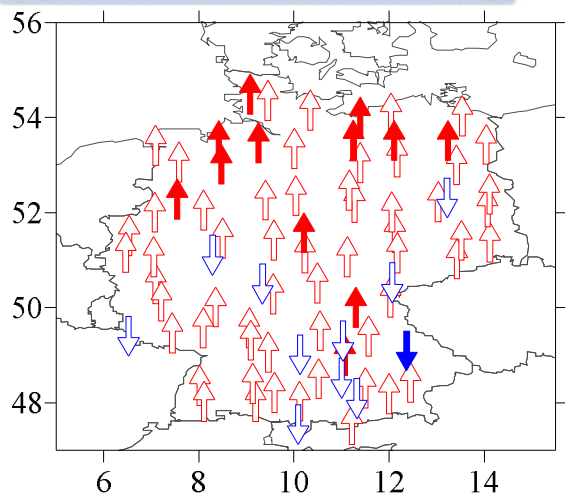
Συνοψίζοντας, σε ετήσια βάση φαίνεται ότι ο δείκτης SDII παρουσιάζει θετική τάση στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, καθώς και στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Δηλαδή, η ένταση των βροχοπτώσεων αυξάνει. Ωστόσο παρατηρούνται και αρνητικές τάσεις του δείκτη στις νότιες περιοχές, όπου τα φαινόμενα/επεισόδια βροχής εξασθενούν. Όσον αφορά την εποχιακή κατανομή των τάσεων, για τη περίοδο μελέτης, προκύπτει ότι στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις, σε όλες ανεξαιρέτως τις εποχές. Έτσι, προκύπτει αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων στο σύνολο σχεδόν των μελετούμενων σταθμών, σε εποχιακό κύκλο. Αντίθετα, οι αρνητικές τάσεις διαφοροποιούνται ως προς τις περιοχές εμφάνισης, από εποχή σε εποχή. Έτσι, κατά τη χειμερινή περίοδο αρνητικές τάσεις και βροχοπτώσεις μειωμένης ραγδαιότητας σημειώνονται στα νότια και κεντρικά – δυτικά τμήματα της Γερμανίας, ενώ κατά την εαρινή περίοδο οι αρνητικές τάσεις εντοπίζονται στα βόρεια, βορειοδυτικά, νοτιοδυτικά, καθώς και ανατολικά τμήματα της χώρας, χωρίς όμως αυτές να είναι στατιστικά σημαντικές. Επιπλέον, κατά τη θερινή περίοδο παρουσιάζονται πτωτικές τάσεις σε νότιους, νοτιοδυτικούς, καθώς και βορειοανατολικούς σταθμούς, ενώ, κατά την περίοδο του φθινοπώρου οι πτωτικές τάσεις περιορίζονται στο βόρειο, νότιο και νοτιοδυτικό τομέα .

Τάσεις μέσου ετήσιου δείκτη SDII - Γερμανία (1958-2017)

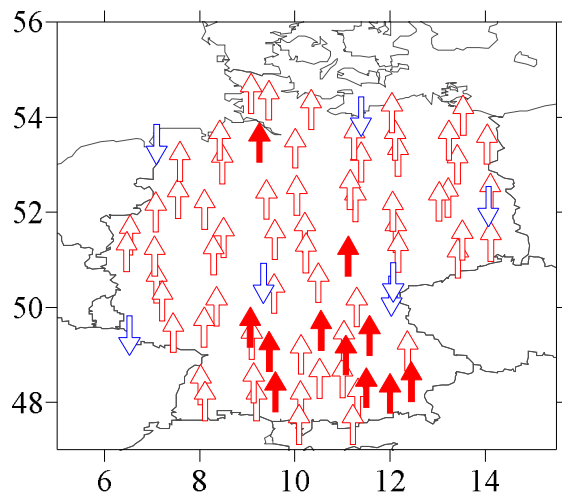


Σχήμα 2.2.α: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη SDII σε ετήσια βάση, για τη περίοδο μελέτης στη Γερμανία.

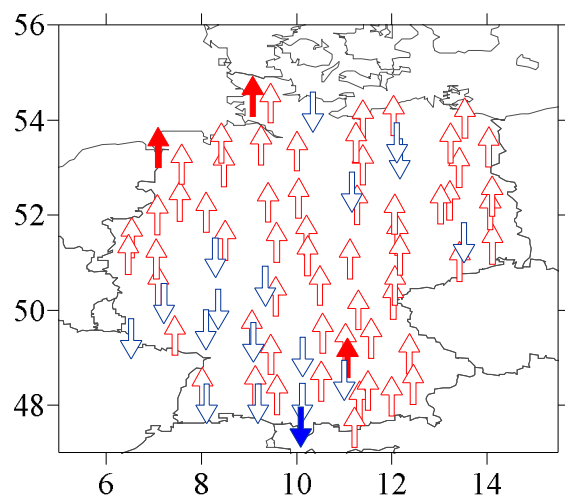
Τάσεις δείκτη SDII - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



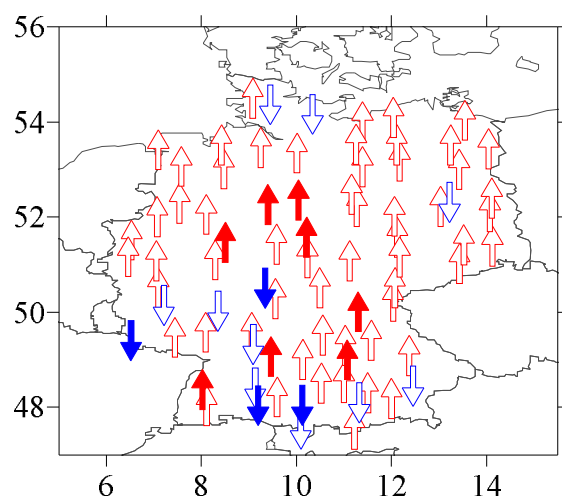
Τάσεις δείκτη SDII - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη SDII - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη SDII - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 2.2.β: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη SDII σε εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

3. Ακραίος κλιματικός δείκτης RX

3.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη RX σε ετήσια και εποχιακή βάση

Στο σχήμα 3.1.α, παρουσιάζεται το εύρος των τιμών του δείκτη RX (Maximum One-day Precipitation Index) ανά σταθμό, στη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Γενικά ο δείκτης RX εκφράζει το μέγιστο ποσό βροχής, που πέφτει σε μια περιοχή κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Αρχικά, από την εξέταση του πρώτου σχήματος φαίνεται ότι σε ετήσια βάση, οι τιμές του δείκτη διαμορφώνονται σε χαμηλά επίπεδα από τις βόρειες, βορειοανατολικές έως και τις δυτικές περιοχές της Γερμανίας. Κατά συνέπεια στους σταθμούς αυτών των περιοχών σημειώνονται και οι μικρότερες τιμές μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής, για τη περίοδο μελέτης. Αντίθετα, στα νότια, νοτιοανατολικά και νοτιοδυτικά τμήματα της χώρας εμφανίζονται μεγαλύτερες τιμές του δείκτη και επομένως μεγαλύτερες τιμές ημερήσιων μέγιστων υψών βροχής. Ενδιάμεσες τιμές του δείκτη παρατηρούνται σε νότιους, δυτικούς και ανατολικούς σταθμούς. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη, ίση με 29.7 mm μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής, σημειώνεται βορειοανατολικά (Neetzow) και η μέγιστη τιμή, ίση με 72.3 mm ύψους βροχής, σημειώνεται νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Η εποχιακή κατανομή των μέγιστων υψών βροχής στη διάρκεια μιας υγρής ημέρας, προκύπτει από το σχήμα 3.1.β. Ειδικότερα, κατά το χειμώνα παρατηρείται ότι μικρότερες τιμές του δείκτη εντοπίζονται στα βόρεια και στα ανατολικά τμήματα της χώρας, ενώ, μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται στα δυτικά και νότια τμήματα. Μέτριες τιμές του δείκτη υπολογίστηκαν σε βορειοδυτικούς, δυτικούς, καθώς και νότιους σταθμούς. Όσον αφορά τις ακραίες τιμές των μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής, αυτές κυμαίνονται από 11.9 έως 54.7 mm ύψους βροχής. Πιο συγκεκριμένα, η ελάχιστη τιμή του δείκτη (11.9 mm) βρέθηκε στην ανατολική Γερμανία (Neutrebbin), ενώ, η μέγιστη (54.7 mm) βρέθηκε στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Κατά την άνοιξη, τα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής διαμορφώνονται σε χαμηλά επίπεδα στις βόρειες, ανατολικές και δυτικές περιοχές, καθώς οι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη φαίνεται να μετατοπίζονται από τα δυτικά προς τα νότια τμήματα της περιοχής μελέτης. Έτσι, μεγαλύτερες τιμές ημερήσιων υψών βροχής εντοπίζονται κυρίως σε νότιους σταθμούς. Μέτριες τιμές του δείκτη σημειώνονται σε ανατολικές, κεντρικές, καθώς και νότιες περιοχές. Άρα, βορειοδυτικά στο σταθμό Norderney καταγράφεται η ελάχιστη τιμή του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής (16.5 mm) και νοτιοδυτικά στο σταθμό Furtwangen καταγράφεται η μέγιστη τιμή (43.8 mm).

Σύμφωνα με το σχήμα 3.1.β, για το καλοκαίρι διαπιστώνεται ότι οι σταθμοί που βρίσκονται από τα βορειοανατολικά έως και τα νοτιοδυτικά τμήματα της χώρας, παρουσιάζουν χαμηλές τιμές του δείκτη RX. Παρόλα αυτά, μεγάλες τιμές εμφανίζονται σε νότιους, καθώς και ανατολικούς σταθμούς. Γενικά, γίνεται φανερό ότι οι μεγαλύτερες τιμές των μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής μετακινούνται, κατά την εποχή αυτή, από τα νότια προς τα ανατολικά τμήματα της Γερμανίας. Ακόμα, παρατηρούνται μέτρια μέσα μέγιστα ύψη βροχής σε όλη την έκταση περιοχής μελέτης. Όσον αφορά την ελάχιστη (26.5 mm) και τη μέγιστη τιμή (48.3 mm) του δείκτη, αυτές σημειώνονται στη νοτιοδυτική (Mainz) και νότια Γερμανία (Muensing) αντίστοιχα. Άρα, κατά το θέρος εμφανίζονται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, που καταγράφηκαν στη διάρκεια μιας ημέρας. Το γεγονός αυτό οφείλεται τόσο σε θερμικά όσο και δυναμικά αίτια.

Τους καλοκαιρινούς μήνες η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται έντονα από την ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα τη θέρμανση του αέρα στα κατώτερα στρώματα, ο οποίος διαστέλλεται, καθίσταται ελαφρύτερος και ανέρχεται σε μεγαλύτερα ύψη μέσα στην ατμόσφαιρα, σχηματίζοντας νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης, όπως είναι οι σωρείτες (cumulus) και οι σωρειτομελανίες (cumulonimbus). Ακόμα, η υψηλή θερμοκρασία αυξάνει την εξάτμιση του νερού στην γήινη επιφάνεια και έτσι εμπλουτίζεται η ατμόσφαιρα με υδρατμούς (υγρασία).

Οι παραπάνω συνθήκες (ατμοσφαιρική αστάθεια, ανοδικό ρεύμα και υγρασία) που πληρούνται κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου οδηγούν στη δημιουργία θερμικών καταιγίδων. Γενικά, στη κεντρική Ευρώπη η πιθανότητα εμφάνισης

καταιγίδων είναι μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες και ιδιαίτερα κατά τις μεσημβρινές ώρες. Ωστόσο, τα μεγάλα μέγιστα ύψη βροχής που καταγράφονται στη διάρκεια μιας βροχερής καλοκαιρινής ημέρας, αποδίδονται και σε δυναμικά αίτια, καθώς διέρχονται πάνω από τη χώρα συστήματα χαμηλής πίεσης, τα οποία είναι ασθενέστερα από τα αντίστοιχα που εμφανίζονται κατά τους χειμερινούς μήνες, αλλά παρόλα αυτά δίνουν ισχυρές καταιγίδες. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η επίδραση της οροσειράς των Άλπεων διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των υψών βροχής, καθώς συμβάλει στη δημιουργία ορογραφικών βροχών στη προσήνεμη πλευρά της οροσειράς (ομβροπλευρά). Στην περίπτωση της ορογραφικής βροχής ενεργοποιείται ένα είδος ατμοσφαιρικής αστάθειας, με αποτέλεσμα τον εξαναγκασμό του αέρα σε ανοδικές κινήσεις, ενώ, η βροχόπτωση αυξάνει καθ' ύψος μέχρι το υψόμετρο των 2.5 χιλιομέτρων περίπου και ανάλογα με τη θέση του κυρίου άξονα της οροσειράς σε σχέση με την κίνηση των υγρών αερίων μαζών.

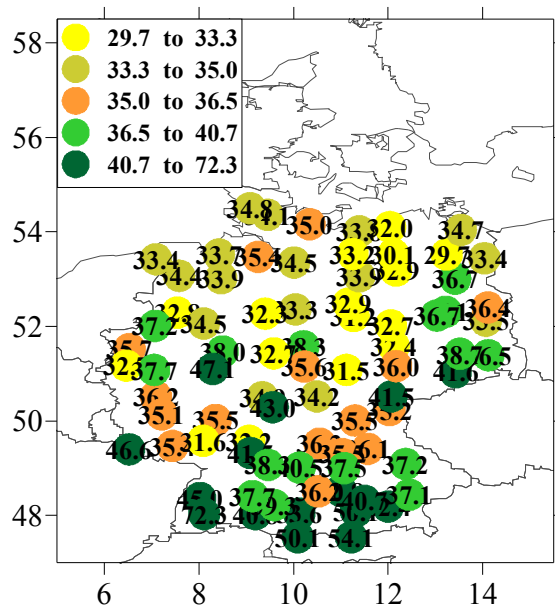
Χαμηλές τιμές μέγιστων υψών βροχής, που πέφτουν στη διάρκεια μιας υγρής ημέρας των φθινοπωρινών μηνών, διακρίνονται στα βορειοανατολικά, ανατολικά και κεντρικά τμήματα της χώρας. Όμως, η νότια, καθώς και ένα μέρος της δυτικής Γερμανίας εμφανίζουν μεγαλύτερα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής. Ενδιάμεσες τιμές του δείκτη παρατηρούνται σε βορειοδυτικούς, δυτικούς, καθώς και νότιο-νοτιοανατολικούς σταθμούς μελέτης. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη RX (16.3 mm) εντοπίζεται στο σταθμό Meyenburg της BBA Γερμανίας, ενώ, η μέγιστη τιμή (52.2 mm) εντοπίζεται στο σταθμό Furtwangen της νοτιοδυτικής Γερμανίας.

Συμπερασματικά, σε ετήσια βάση στη Γερμανία, για τη περίοδο 1958 – 2017, διαπιστώνεται ότι οι περιοχές που εκτείνονται από τα βορειοανατολικά έως τα δυτικά τμήματα, παρουσιάζουν χαμηλά μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής, σε αντίθεση με τις νοτιότερες περιοχές, στις οποίες οι τιμές του δείκτη φανερώνουν μεγάλα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής. Σχετικά με τη συμπεριφορά του δείκτη κατά τη διάρκεια των εποχών του έτους, γίνεται φανερό ότι οι βόρειοι και ανατολικοί σταθμοί χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές του δείκτη σε όλες τις εποχές. Οι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη RX, παρατηρούνται στις νότιες και δυτικές περιοχές κατά το χειμώνα, ενώ, κατά την άνοιξη

μετατοπίζονται από τα δυτικά προς τα νότια. Στη συνέχεια, το καλοκαίρι μεγάλες τιμές εμφανίζονται εκτός από τους νότιους σταθμούς και σε ανατολικούς, ενώ, το φθινόπωρο οι μεγάλες τιμές περιορίζονται στις νότιες και δυτικές περιοχές.

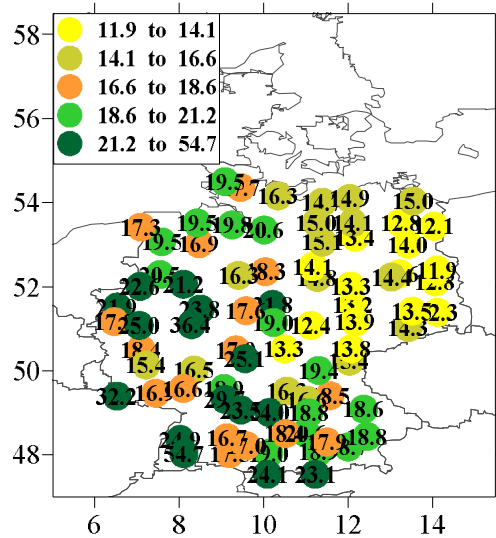
Διαπιστώνεται επίσης, ότι τόσο η μικρότερη ελάχιστη τιμή όσο και η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή, καταγράφηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο, συγκριτικά με τις υπόλοιπες εποχές του έτους. Πιο αναλυτικά, η ελάχιστη τιμή του δείκτη σε ετήσια βάση, σημειώνεται βορειοανατολικά (Neetzow), ενώ, η μέγιστη σημειώνεται νοτιοδυτικά (Furtwangen). Σε εποχιακή βάση, η ελάχιστη τιμή του μέσου μέγιστου ύψους βροχής, εμφανίζεται τον χειμώνα και την άνοιξη στην ανατολική και βορειοδυτική Γερμανία αντίστοιχα, ενώ κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, η ελάχιστη τιμή καταγράφεται νοτιοδυτικά και βόρειο - βορειοανατολικά αντίστοιχα. Να σημειωθεί ότι η μέγιστη τιμή του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής, κατά τη διάρκεια όλων των εποχών, με εξαίρεση το καλοκαίρι (νότια Γερμανία), εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης (Furtwangen).

Ετήσιος δείκτης RX(mm) - Γερμανία (1958-2017)

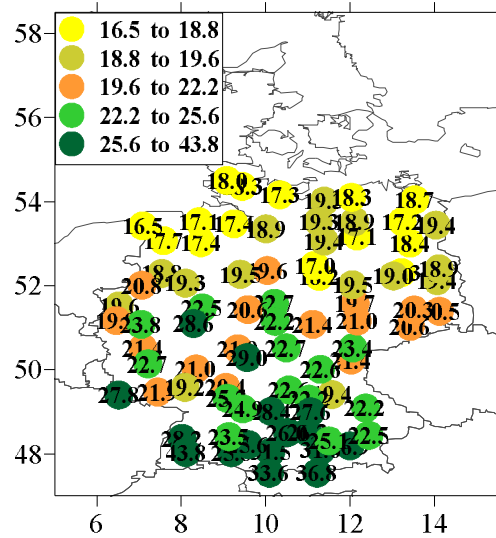


Σχήμα 2.1.α: Κατανομή των τιμών του δείκτη RX σε ετήσια βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

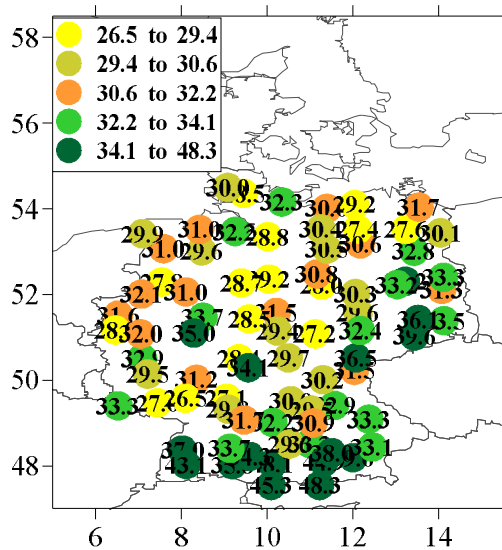
RX(mm) - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



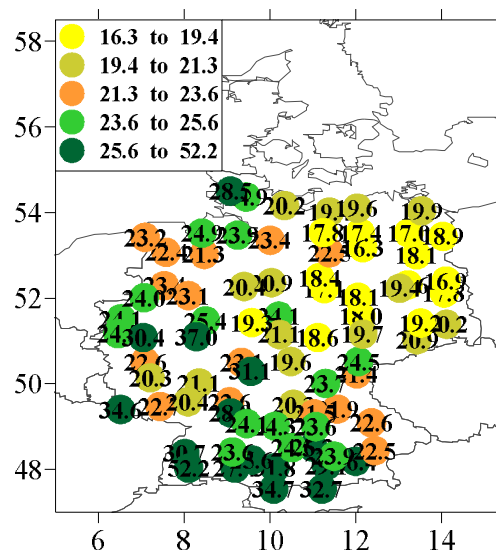
RX(mm) - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



RX(mm) - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



RX(mm) - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 2.1β: Κατανομή των τιμών του δείκτη RX σε εποχιακή βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

3.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη *RX* σε ετήσια και εποχιακή βάση

Σε αυτή την υποενότητα αναλύονται οι ανοδικές και καθοδικές τάσεις, που παρουσιάζει ο ακραίος κλιματικός δείκτης *RX*. Από έτος σε έτος (σχήμα 3.2), βρέθηκε ότι εμφανίζονται σε όλη τη χώρα, θετικές τάσεις (βέλη με κόκκινο περίγραμμα και φορά προς τα πάνω). Αυτό το εύρημα συνεπάγεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μελετώμενων σταθμών (65%) παρουσιάζει αύξηση του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής. Όσον αφορά τις αρνητικές τάσεις (βέλη με μπλε περίγραμμα και φορά προς τα κάτω), αυτές σημειώνονται στα ανατολικά, νότια και δυτικά τμήματα της Γερμανίας και δείχνουν ελάττωση των μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής. Ακόμα, υπολογίστηκαν θετικές στατιστικά σημαντικές τάσεις (κόκκινα βέλη με φορά προς τα πάνω) σε βορειοδυτικούς και νότιους σταθμούς (Droeda, Gluckstadt, Hannover, Legden, Schwaebisch Hall), ενώ σε καμία περιοχή δε βρέθηκαν αρνητικές τάσεις, που να είναι στατιστικά σημαντικές (μπλε βέλη με φορά προς τα κάτω).

Η πλειοψηφία των σταθμών (78.8%) τον χειμώνα, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2, παρουσιάζει τάση αύξησης του μέσου μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής, εκτός από ένα μικρό αριθμό σταθμών στις νότιες, κεντρικές και δυτικές περιοχές, όπου βρέθηκαν αρνητικές τάσεις. Από τις τάσεις που υπολογίστηκαν, αυξητικές και στατιστικά σημαντικές εντοπίζονται σε τρεις σταθμούς στη βόρεια Γερμανία (Neubukow, Hamburg, Gluckstadt), ενώ σε κανένα σταθμό δεν υπολογίστηκαν αρνητικές τάσεις.

Η άνοιξη συνδέεται με ανοδικές τάσεις στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας (61.3%). Σε αυτούς τους σταθμούς αυξάνονται τα μέγιστα ύψη βροχής, που πέφτουν στη διάρκεια μιας ημέρας βροχής. Παρόλα αυτά, τα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής μειώνονται στον ανατολικό και δυτικό τομέα, όπου υπολογίστηκαν αρνητικές τάσεις. Επίσης, πτωτικές τάσεις βρέθηκαν και σε ένα μικρό αριθμό σταθμών στα νότια. Αναλυτικότερα, στατιστικά σημαντικές είναι οι αυξητικές τάσεις, που εμφανίζονται στα νότια τμήματα της χώρας, καθώς και οι πτωτικές τάσεις (Bockhorn-Oberbayern-Gruenbach, Grafenwoehr-Bruckendorfgmuend, Gluckstadt, Nandlstadt, Neu-Ulm,

Wallersdorf), που σημειώνονται σε δύο σταθμούς στη βορειοανατολική και τη νοτιοανατολική Γερμανία (Gera-Leumnitz, Neubukow).

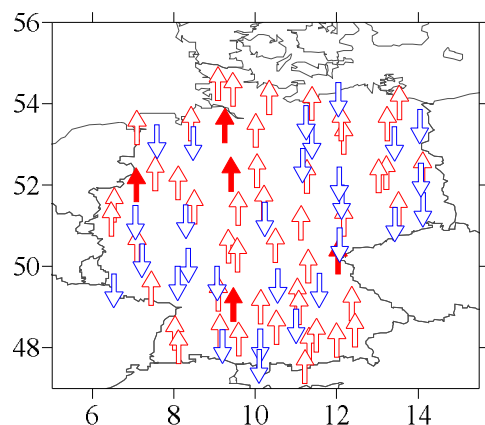
Επίσης, την θερινή περίοδο οι υπό μελέτη σταθμοί δείχνουν τη ύπαρξη τόσο θετικών (62.5%), όσο και αρνητικών τάσεων (37.5%) του μέγιστου ημερήσιου ύψους βροχής. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές τάσεις, κατά την εποχή αυτή ο αριθμός των στατιστικά σημαντικών τάσεων έχει μειωθεί. Ειδικότερα, εντοπίζονται θετικές τάσεις σε τρεις σταθμούς της βόρειας Γερμανίας (Droeda, Gluckstadt, Weesby), ενώ δε σημειώνονται σε κανένα σταθμό στατιστικά σημαντικές αρνητικές τάσεις.

Το φθινόπωρο, στους περισσότερους σταθμούς (63.8%) και κατά συνέπεια σχεδόν στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, επικρατούν θετικές τάσεις, δηλαδή τα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής αυξάνονται. Αντίθετα, αρνητικές τάσεις και χαμηλότερα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής καταγράφονται κυρίως στο νότιο τομέα, καθώς και σε μικρό αριθμό σταθμών στα νοτιοδυτικά και τα ανατολικά. Σημειώνονται τόσο θετικές, όσο και αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις. Πιο συγκεκριμένα, θετικές τάσεις βρέθηκαν στη κεντρική Γερμανία (Bad Lippspringe, Celle, Northeim, Langelsheim-Bredelem), ενώ, αρνητικές τάσεις βρέθηκαν στην βόρεια, καθώς και στη κεντρική Γερμανία (Kirchheim, Nottfeld).

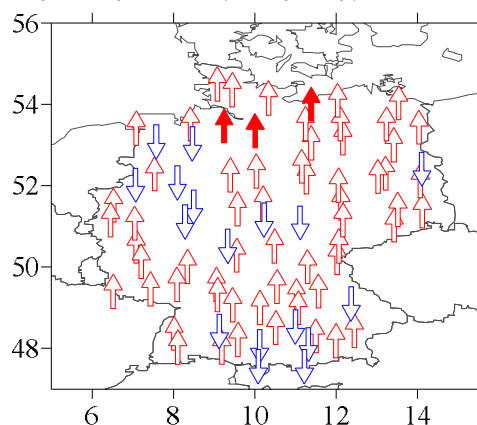
Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, από έτος σε έτος αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών, όπου εμφανίζονται ανοδικές τάσεις και μεγαλύτερα μέγιστα ύψη βροχής, στη διάρκεια μιας υγρής ημέρας. Ωστόσο παρατηρούνται και αρνητικές τάσεις του δείκτη και βροχοπτώσεις με μικρότερα μέγιστα ημερήσια ύψη, στον ανατολικό, νότιο και δυτικό τομέα της χώρας. Όσον αφορά την κατανομή των τάσεων κατά τις εποχές του έτους για τη περίοδο μελέτης, προκύπτει ότι στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις, σε όλες τις εποχές, εκτός από το καλοκαίρι, όπου βρέθηκαν τόσο θετικές, όσο και αρνητικές τάσεις. Γενικά, οι αρνητικές τάσεις εμφανίζουν διαφορετικό μοτίβο ως προς τις περιοχές εμφάνισης, από εποχή σε εποχή. Κατά το χειμώνα αρνητικές τάσεις σημειώνονται στα νότια, ανατολικά και δυτικά τμήματα της Γερμανίας, ενώ, κατά την άνοιξη οι αρνητικές τάσεις εντοπίζονται κυρίως στα ανατολικά και δυτικά τμήματα της χώρας. Επιπλέον, κατά το καλοκαίρι παρουσιάζονται πτωτικές τάσεις σε σταθμούς

διάσπαρτους στη περιοχή μελέτης, ενώ, κατά την περίοδο του φθινοπώρου οι πτωτικές τάσεις περιορίζονται στο νότιο τομέα της χώρας.

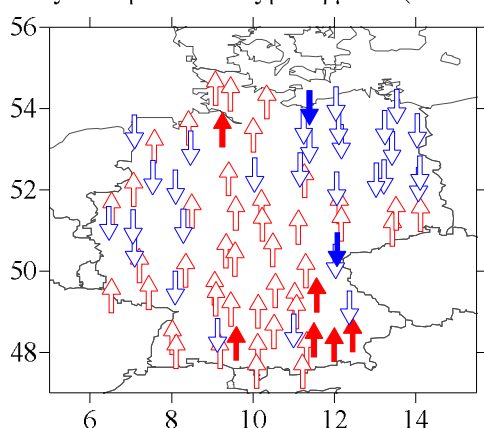
Τάσεις μέσου ετήσιου δείκτη RX - Γερμανία (1958-2017)



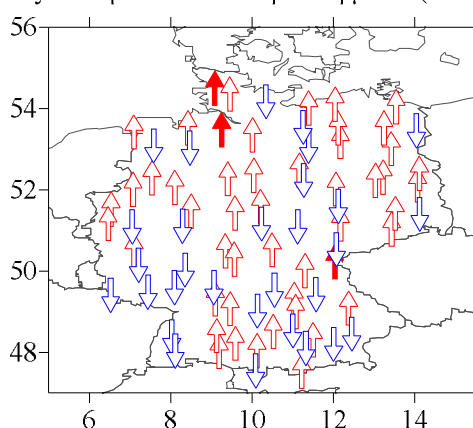
Τάσεις δείκτη RX - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



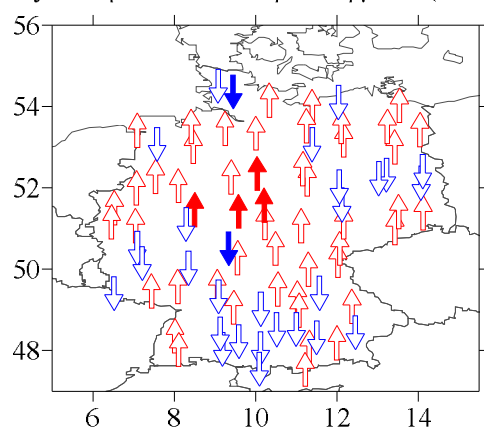
Τάσεις δείκτη RX - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη RX - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη RX - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 3.2: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη RX σε εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

4. Ακραίος κλιματικός δείκτης R10mm

4.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R10mm σε ετήσια και εποχιακή βάση

Γενικά, ο δείκτης R10mm (Heavy Precipitation Days Index) συνδέεται με ισχυρές βροχοπτώσεις και υπολογίζεται από το πλήθος των ημερών, κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής ισούται ή υπερβαίνει τα 10.0 mm. Έτσι για τον εντοπισμό των σταθμών, όπου εμφανίζονται ισχυρές βροχοπτώσεις, δημιουργήθηκαν τα σχήματα 4.1.α και 4.1.β., που δείχνουν την ενδοετήσια και την εποχιακή χωρική μεταβλητότητα του δείκτη αντίστοιχα.

Από την προσεκτική μελέτη του πρώτου σχήματος (σχήμα 4.1.α), όπου απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη σε ετήσια βάση, γίνεται φανερό ότι μικρότερες τιμές και επομένως μικρός μέσος αριθμός ημερών βροχής, με ύψη που υπερβαίνουν το παραπάνω κατώφλι, σημειώνονται κυρίως στα βορειοανατολικά τμήματα της Γερμανίας. Ο νότιος, καθώς και ο δυτικός τομέας της χώρας, ωστόσο, εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές του δείκτη και κατά συνέπεια μεγαλύτερο μέσο αριθμό ημερών, που πληρούν τις παραπάνω προϋποθέσεις. Δηλαδή καταγράφονται περισσότερες ημέρες με ισχυρές βροχοπτώσεις. Μέτριες τιμές του δείκτη εμφανίζονται σε όλη την έκταση, από τα βορειοδυτικά έως τα νότια. Σχετικά με τις ακραίες τιμές του δείκτη, αυτές κυμαίνονται από 10 – 59 ημέρες ισχυρής βροχής. Η ελάχιστη τιμή (10 ημέρες ισχυρής βροχής) σημειώνεται στην ανατολική Γερμανία (Neutrebbin), ενώ, η μέγιστη τιμή σημειώνεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Ειδικότερα, για τη χειμερινή περίοδο παρατηρείται ότι μικρές τιμές του δείκτη περιορίζονται στις βορειοανατολικές περιοχές, κατά τη μελετώμενη περίοδο, ενώ, μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται στα δυτικά και νότια τμήματα της χώρας. Μέτριες τιμές του δείκτη εμφανίζονται σε όλο την περιοχή, που εκτείνεται από το βορειοδυτικό έως το νότιο τομέα. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη, που ισούται με 1 ημέρα ισχυρής βροχής, βρέθηκε σε έξι σταθμούς της ανατολικής Γερμανίας (Drebkau, Frohndorf, Lindenberg,

Neetzow, Neutrebbin, Ueckermunde) και η μέγιστη τιμή, ίση με 18 ημέρες ισχυρής βροχής, βρέθηκε στα νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Επιπλέον, κατά την εαρινή περίοδο οι βόρειες, ανατολικές, καθώς και οι κεντρικές περιοχές δείχνουν λιγότερες ημέρες με ισχυρές βροχοπτώσεις, σε σχέση με τις νότιες και δυτικές περιοχές, όπου το πλήθος των ημερών, όπου η ημερήσια βροχόπτωση υπερβαίνει το ύψος των 10.0mm, είναι μεγαλύτερο. Όπως φαίνεται και από το αντίστοιχο σχήμα (σχήμα 4.1.β), κατά την εποχή αυτή οι μεγαλύτερες τιμές του δείκτη μετακινούνται προς το δυτικό τομέα της χώρας, ενώ μέτριες τιμές του δείκτη σημειώνονται και ανατολικότερα. Έτσι, ένας μεγάλος αριθμός σταθμών συγκεντρωμένων, κυρίως, στη νότια Γερμανία, καθώς και λίγοι μεμονωμένοι σταθμοί στα δυτικά, δείχνουν την ύπαρξη περισσότερων ημερών με ισχυρές βροχοπτώσεις. Ακόμα, η ελάχιστη τιμή ημερών βροχής (2), που υπερβαίνουν ή ισούνται με την τιμή κατωφλίου των 10.0 mm ύψους βροχής, εντοπίζεται σε πολλούς σταθμούς στα ανατολικά της περιοχής μελέτης, ενώ, η μέγιστη τιμή (13 ημέρες ισχυρής βροχής) εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Για το καλοκαίρι μικρότερες τιμές του δείκτη και συνεπώς λιγότερες ημέρες με ισχυρές βροχοπτώσεις υπολογίστηκαν στους βορειοανατολικούς σταθμούς της χώρας, καθώς και σε κάποιους σταθμούς στα κεντρικά και στα δυτικά-νοτιοδυτικά τμήματα, ενώ, μεγαλύτερες τιμές σημειώνονται σε δυτικούς και κυρίως νότιους σε σταθμούς. Επομένως, όσον αφορά τις μεγάλες τιμές του δείκτη κατά το καλοκαίρι, η εικόνα που παρουσιάζει η χωρική κατανομή του μέσου αριθμού ημερών ισχυρής βροχής, είναι παρόμοια με την κατανομή κατά την άνοιξη. Επιπρόσθετα, ο δείκτης λαμβάνει μέτριες τιμές σε σταθμούς σε όλη τη χώρα, με πιο περιορισμένες εμφανίσεις στα ανατολικά. Σχετικά με τις ακραίες τιμές του δείκτη, η ελάχιστη τιμή (5 ημέρες ισχυρής βροχής) καταγράφεται σε ένα πλήθος σταθμών στην ανατολική, κεντρική και δυτική-νοτιοδυτική Γερμανία (Berlin, Frankfurt, Hannover, Mainz, Potsdam) και η μέγιστη τιμή (16 ημέρες ισχυρής βροχής) καταγράφεται στη νότια Γερμανία (Muensing).

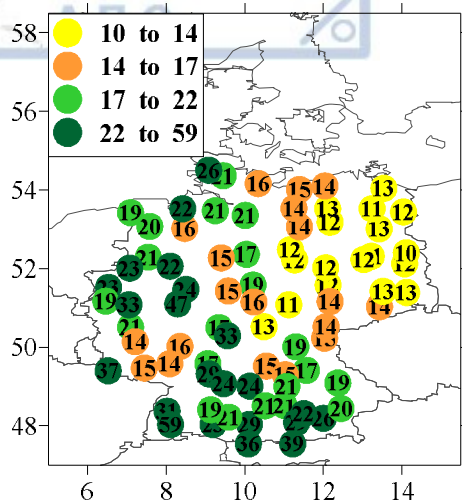
Επίσης, κατά τη περίοδο του φθινοπώρου ο μέσος αριθμός ημερών ισχυρής βροχής βρέθηκε ότι είναι μικρός στις βορειοανατολικές περιοχές, καθώς και σε κάποιους

σταθμούς στον κεντρικό και νοτιοδυτικό τομέα της χώρας. Όμως, στους βορειοδυτικούς, νότιους και δυτικούς σταθμούς, σημειώνεται μεγαλύτερο μέσο πλήθος ημερών ισχυρών βροχοπτώσεων, καθώς παρατηρείται μετατόπιση των μεγαλύτερων τιμών του δείκτη από τα νότια προς τα βορειότερα τμήματα της Γερμανίας. Μέτριες τιμές του δείκτη είναι εμφανείς σε όλο την έκταση, από τα βορειοδυτικά έως τα νότια. Αναφορικά με την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή του δείκτη, η ελάχιστη τιμή (2 ημέρες ισχυρής βροχής) βρέθηκε σε τρεις σταθμούς στα ανατολικά (Frohndorf, Neetzow, Neutrebbin) και η μέγιστη τιμή (14 ημέρες ισχυρής βροχής) βρέθηκε στα νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι σε ετήσια βάση, οι ημέρες κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής ισούται ή υπερβαίνει τα 10.0 mm, παρουσιάζουν χαμηλή συχνότητα εμφάνισης στη βορειοανατολική Γερμανία, σε αντίθεση με τα νότια και δυτικά τμήματα της χώρας. Σχετικά με την εποχιακή κατανομή του δείκτη R10mm στη Γερμανία, για τη περίοδο 1958 – 2017, παρατηρείται ότι σε όλες τις εποχές μικρές τιμές και άρα λιγότερες ημέρες ισχυρών βροχοπτώσεων, εντοπίζονται σε ανατολικούς σταθμούς, εκτός από το καλοκαίρι, όπου μικρές τιμές σημειώνονται ακόμα και σε κεντρικούς, καθώς και νοτιοδυτικούς σταθμούς. Κατά την άνοιξη οι μεγαλύτερες τιμές και κατ'επέκταση οι περισσότερες ημέρες με ισχυρές βροχοπτώσεις, μετατοπίζονται προς τα δυτικά, διατηρώντας παρόμοια συμπεριφορά κατά το θέρος, ενώ, κατά το φθινόπωρο επεκτείνονται και σε βορειότερες περιοχές.

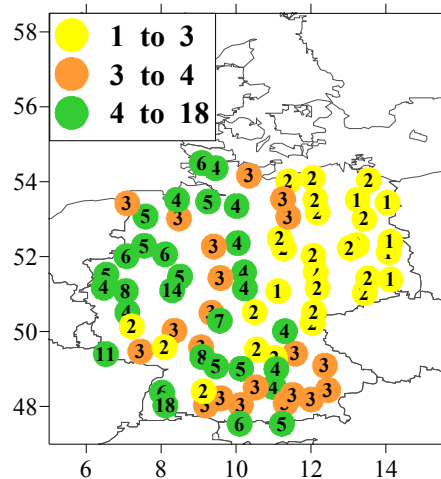
Αξίζει να αναφερθεί, ότι η μικρότερη ελάχιστη τιμή, καθώς και η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή υπολογίστηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο. Αναλυτικότερα, σε ετήσια βάση, η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στην ανατολική Γερμανία (Neutrebbin) και η μέγιστη τιμή εντοπίζεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen). Σε εποχιακή βάση, η ελάχιστη τιμή σημειώνεται σε διαφορετικό σταθμό της ανατολικής Γερμανίας κατά το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο, ενώ, κατά το καλοκαίρι η ελάχιστη τιμή σημειώνεται σε ένα μεγάλο αριθμό σταθμών, στην ανατολική, κεντρική και νοτιοδυτική Γερμανία. Ακόμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη εμφανίζεται στον ίδιο σταθμό της νοτιοδυτικής Γερμανίας (Furtwangen) σε όλες τις εποχές, εκτός από το καλοκαίρι (νότια Γερμανία).

Ετήσιος R10mm (ημέρες) - Γερμανία (1958-2017)

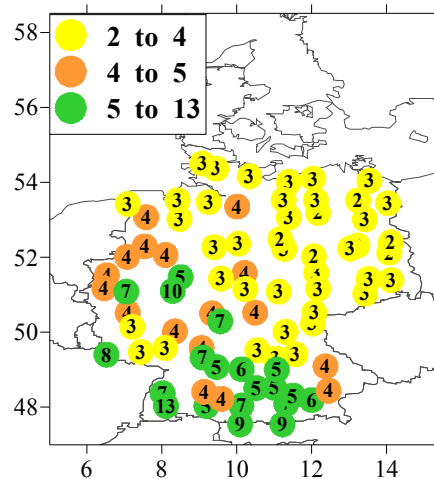


Σχήμα 4.1.α: Κατανομή των τιμών του δείκτη R10mm σε ετήσια βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

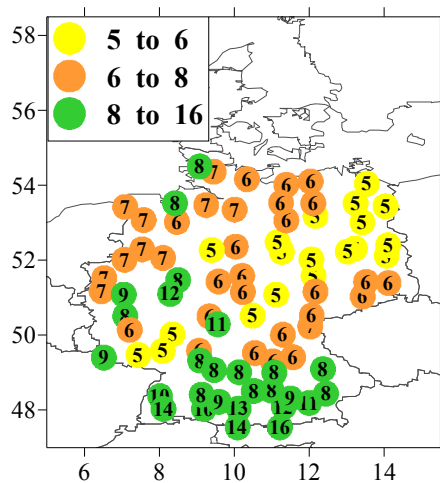
R10mm (ημέρες) - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



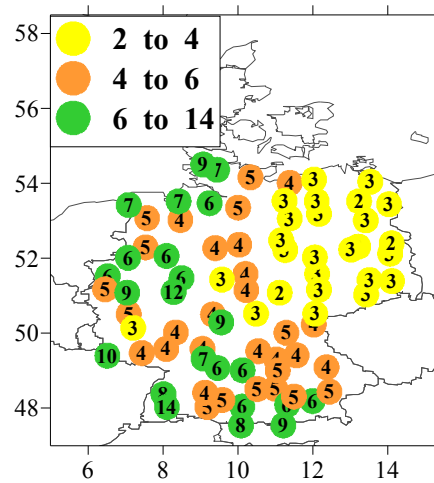
R10mm (ημέρες) - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



R10mm (ημέρες) - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



R10mm (ημέρες) - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 4.1.β: Κατανομή των τιμών του δείκτη R10mm σε εποχιακή βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

4.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη $R10mm$ σε ετήσια και εποχιακή βάση

Σύμφωνα με το πρώτο σχήμα, όπου απεικονίζονται οι τάσεις του δείκτη ανά σταθμό μελέτης σε ετήσιο κύκλο, στους περισσότερους σταθμούς (70%) οι τάσεις είναι θετικές (βέλη με κόκκινο περίγραμμα και φορά προς τα πάνω). Αυτό σημαίνει ότι αυξάνεται ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής υπερβαίνει ή ισούται με 10.0 mm. Παρόλα αυτά, στις ανατολικές και νότιες - νοτιοδυτικές, κυρίως, περιοχές σημειώνονται αρνητικές τάσεις (βέλη με μπλε περίγραμμα και φορά προς τα κάτω), δηλαδή είναι λιγότερες οι ημέρες με ισχυρές βροχοπτώσεις. Από τις θετικές τάσεις, οι στατιστικά σημαντικές (κόκκινα βέλη με φορά προς τα πάνω) υπολογίστηκαν σε σταθμούς σε βόρειες, κεντρικές-ανατολικές, καθώς και νότιες περιοχές (Hamburg, Leipzig-Knauthain, Muensing). Όμως, οι αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις (μπλε βέλη με φορά προς τα κάτω) εμφανίζονται σε μεμονωμένους σταθμούς του νότιου και δυτικού τομέα (Kahler Asten, Kronburg, Reinsfeld).

Επίσης, στα υπόλοιπα σχήματα απεικονίζεται η κατανομή των τάσεων του δείκτη κατά εποχή. Πιο αναλυτικά, κατά τη χειμερινή περίοδο βρέθηκαν θετικές τάσεις (60%) και περισσότερες ημέρες με ισχυρές βροχοπτώσεις, σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, εκτός από τον ανατολικό τομέα. Διακρίνονται, ακόμα, αρνητικές τάσεις και λιγότερες ημέρες με βροχοπτώσεις μεγάλης ραγδαιότητας, κυρίως σε σταθμούς, που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της χώρας αλλά και στη διεύθυνση ανατολής-δύσης. Σχετικά με τις στατιστικά σημαντικές τάσεις, θετικές τάσεις παρατηρούνται στη βόρεια και βορειοδυτική Γερμανία (Alfhausen, Edewecht, Gluckstadt, Wismar), ενώ αρνητικές τάσεις εμφανίζονται σε δύο σταθμούς της ανατολικής και νοτιοανατολικής Γερμανίας (Neutrebbin, Schorndorf-Knobling).

Για την εαρινή περίοδο, προκύπτει ότι στο μεγαλύτερο ποσοστό των σταθμών (61.3%) οι τάσεις είναι θετικές και επομένως υπάρχει τάση αύξησης του μέσου αριθμού ημερών, κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής ισούται ή υπερβαίνει τα 10.0 mm, σε όλη τη χώρα. Παρόλα αυτά, εντοπίστηκαν αρνητικές τάσεις στα ανατολικά, δυτικά, καθώς και στα νότια τμήματα. Άρα σε αυτούς τους σταθμούς ελαττώθηκε το πλήθος των

ημερών με ισχυρές βροχοπτώσεις. Πιο συγκεκριμένα, θετικές και στατιστικά σημαντικές τάσεις σημειώνονται σε δύο σταθμούς στα νότια (Bockhorn–Oberbayern–Gruenbach, Wallersdorf), ενώ, αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις σημειώνονται σε σταθμούς στα ανατολικά και δυτικά (Gera–Leumnitz, Kahler Asten, Norderny, Potsdam).

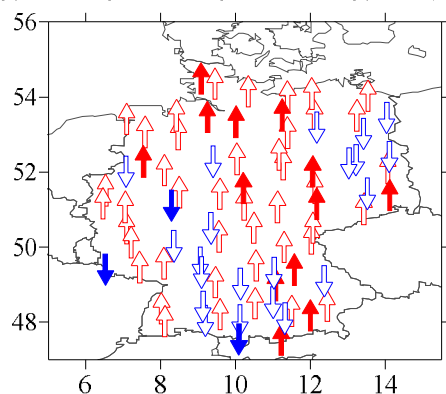
Επιπλέον, επικρατούν θετικές τάσεις στην πλειοψηφία των σταθμών (70%) κατά το καλοκαίρι και ο αριθμός των ημερών με χαρακτηριστικά ραγδαίων βροχοπτώσεων αυξάνεται. Ωστόσο εμφανίζονται και αρνητικές τάσεις, οι οποίες περιορίζονται στους νότιους και δυτικούς τομείς, και δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Θετικές στατιστικά σημαντικές τάσεις παρατηρούνται στα βορειοδυτικά και τα κεντρικά-ανατολικά τμήματα της Γερμανίας (Bornum, Drebkau, Leipzig–Knauthain, Lindau, Norderny, Weesby).

Για τους φθινοπωρινούς μήνες, η κατανομή των τάσεων παρουσιάζει ομοιότητες με αυτή του καλοκαιριού, ως προς την εμφάνιση θετικών τάσεων στους περισσότερους σταθμούς (80%), και κατ' επέκταση στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Όμως καταγράφονται και αρνητικές τάσεις σε σταθμούς βορειοδυτικών, νότιων και ανατολικών περιοχών. Οι στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις εντοπίζονται στα κεντρικά και νοτιοανατολικά τμήματα (Celle, Drei Gleichen–Muehlberg, Grafenwoehr–Bruckendorfgmuend, Leipzig–Knauthain), ενώ, μια στατιστικά σημαντική αρνητική τάση σημειώνεται μόνο σε ένα σταθμό της κεντρικής Γερμανίας (Kirchheim).

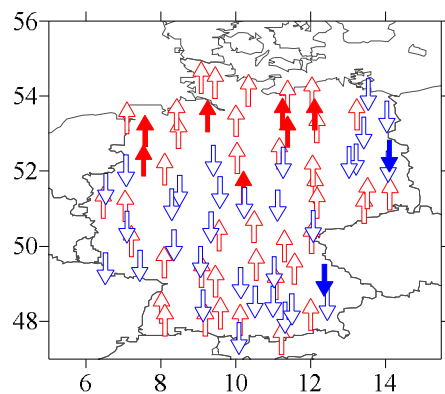
Ανακεφαλαιώνοντας, ο δείκτης R10mm παρουσιάζει θετική τάση στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, καθώς και στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, σε ετήσια βάση. Άρα αυξάνονται οι ημέρες ισχυρών βροχοπτώσεων στη περιοχή μελέτης. Παρόλα αυτά, παρατηρούνται αρνητικές τάσεις του δείκτη στις ανατολικές και νότιες – νοτιοδυτικές περιοχές, παραπέμποντας σε μείωση των ημερών βροχής μεγάλης ραγδαιότητας. Η κατανομή των τάσεων ανά εποχή, φανερώνει ότι στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις και αυξήθηκαν οι ημέρες ραγδαίων βροχοπτώσεων, σε όλες τις εποχές. Αντίθετα, οι αρνητικές τάσεις και η μείωση του πλήθους των ημερών ισχυρών βροχοπτώσεων εμφανίζονται σε διαφορετικές περιοχές, από εποχή σε εποχή. Έτσι, κατά το χειμώνα και την άνοιξη υπολογίστηκαν αρνητικές τάσεις στη διεύθυνση ανατολής-δύσης, καθώς και στο νότιο τμήμα της χώρας. Επιπλέον,

το θέρος παρουσιάζονται αρνητικές τάσεις στους νότιους και δυτικούς τομείς ενώ, το φθινόπωρο οι αρνητικές τάσεις περιορίζονται σε σταθμούς βορειοδυτικών, νότιων και ανατολικών περιοχών. Τέλος, δε σημειώνονται αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις κατά το καλοκαίρι.

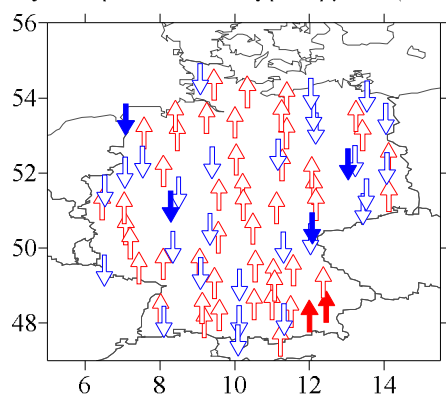
Τάσεις μέσου ετήσιου δείκτη R10mm - Γερμανία (1958-2017)



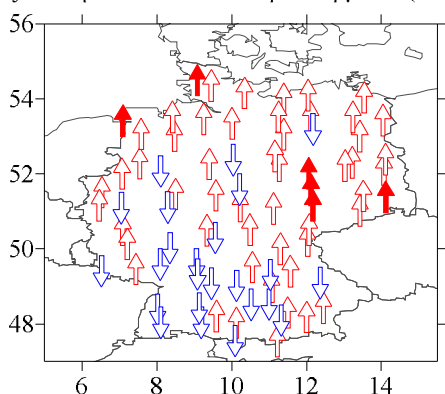
Τάσεις δείκτη R10mm- Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



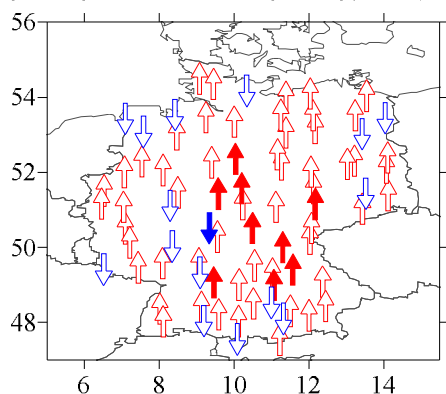
Τάσεις δείκτη R10mm- Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R10mm- Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R10mm- Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 4.2: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη R10mm σε ετήσια και εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

5. Ακραίος κλιματικός δείκτης R20mm

5.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R20mm σε ετήσια και εποχιακή βάση

Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στην εξέταση της χωρικής κατανομής των τιμών του δείκτη R20mm (Very Heavy Precipitation Days Index). Παρόμοια με τον δείκτη R10mm, ο δείκτης R20mm, αντιπροσωπεύει το μέσο αριθμό ημερών κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής ισούται ή υπερβαίνει τα 20.0 mm. Εκφράζει δηλαδή, το πλήθος των ημερών πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων.

Στο σχήμα 5.1.α, που έχει προκύψει από την επεξεργασία των ημερήσιων δεδομένων των ογδόντα επιλεγμένων σταθμών στη Γερμανία, για τη περίοδο 1958 – 2017, δίνεται η χωρική κατανομή του δείκτη σε ετήσια βάση. Μικρές τιμές του δείκτη αυτού, συνεπάγονται μικρό πλήθος ημερών με πολύ ισχυρές βροχοπτώσεις. Αντίθετα, μεγάλες τιμές του δείκτη συνδέονται με μεγάλο αριθμό ημερών πολύ ραγδαίων βροχοπτώσεων. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, ο βορειοανατολικός τομέας της χώρας εμφανίζει μικρές τιμές του δείκτη, ενώ, οι σταθμοί στο βορειοδυτικό – νότιο μισό της περιοχής μελέτης, εμφανίζουν μέτριες, καθώς και μεγάλες τιμές του δείκτη, που δείχνουν μεγάλο αριθμό ημερών με βροχοπτώσεις πολύ μεγάλης έντασης. Αναφορικά με το εύρος των τιμών του δείκτη, αυτό κυμαίνεται από 2 έως 24 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής. Η ελάχιστη τιμή (2 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής) παρουσιάζεται σε πολλούς σταθμούς (Born, Friedrichswalde, Frohndorf, Meyenburg, Mistorf-Siemitz, Neetzow, Neuttrebbin, Ueckermunde, Zinnowitz) της βορειοανατολικής Γερμανίας και η μέγιστη τιμή (24 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής), παρουσιάζεται νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Στο σχήμα 5.1.β, απεικονίζονται οι τιμές του δείκτη για τη περίοδο μελέτης, κατά εποχή. Τους χειμερινούς μήνες φαίνεται ότι σχεδόν σε όλη τη χώρα ο μέσος αριθμός των ημερών, κατά τις οποίες η ημερήσια βροχόπτωση ισούται ή υπερβαίνει τα 20.0 mm, είναι μικρός. Στις βορειοανατολικές και νοτιοδυτικές περιοχές δε σημειώνονται ημέρες βροχής, που να πληρούν τα παραπάνω κριτήρια, οπότε δεν απεικονίζονται οι αντίστοιχοι

σταθμοί στο σχήμα 5.1.β. Μικρές τιμές του δείκτη, που υποδηλώνουν λίγες ημέρες με βροχοπτώσεις πολύ μεγάλης έντασης, συναντώνται στις κεντρικές, νότιες και βορειοδυτικές περιοχές. Μέτριες τιμές του δείκτη (3-4 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής) εντοπίζονται στα δυτικά, ενώ το μεγαλύτερο πλήθος ημερών με βροχοπτώσεις πολύ μεγάλης ραγδαιότητας, εμφανίζεται μόνο σε ένα σταθμό στη νοτιοδυτική Γερμανία, αποτελώντας και τη μέγιστη τιμή του δείκτη. Συνεπώς, όσον αφορά την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή, η ελάχιστη τιμή, αντιστοιχεί σε 1 ημέρα πολύ ισχυρής βροχής και καταγράφεται σε πολλούς σταθμούς στο βορειοδυτικό, κεντρικό και νότιο τομέα της χώρας, ενώ η μέγιστη τιμή, αντιστοιχεί σε 8 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής και καταγράφεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Ακόμα, κατά την άνοιξη οι σταθμοί, στους οποίους δεν βρέθηκαν ημέρες με πολύ έντονη βροχή (μηδενικές τιμές δείκτη), περιορίζονται στις βορειότερες περιοχές, ενώ οι σταθμοί που εμφανίζουν μικρό μέσο αριθμό ημερών με βροχοπτώσεις πολύ μεγάλης έντασης, εντοπίζονται στα υπόλοιπα τμήματα της χώρας. Μεγαλύτερες τιμές, που συνδέονται με αύξηση του πλήθους των ημερών πολύ ραγδαίας βροχής, διακρίνονται στα νότια και τα νοτιοδυτικά. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη (1 ημέρα πολύ ισχυρής βροχής) υπολογίστηκε σε ένα μεγάλο αριθμό σταθμών στη διεύθυνση ανατολής-δύσης και στο νότιο τομέα, ενώ η μέγιστη τιμή (5 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής) υπολογίστηκε σε ένα σταθμό της νοτιοδυτικής Γερμανίας (Furtwangen).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών δε σημειώνονται σε κανένα από τους σταθμούς μηδενικές τιμές του δείκτη. Αυτό σημαίνει ότι σε όλους τους σταθμούς καταγράφονται ημέρες βροχής, με ημερήσιο βροχομετρικό ύψος ίσο ή μεγαλύτερο των 20.0 mm. Το γεγονός αυτό αποδίδεται σε θερμικές καταιγίδες και ασθενή συστήματα χαμηλής πίεσης που διέρχονται από τη χώρα κατά το καλοκαίρι. Αναλυτικότερα, σε όλη τη Γερμανία, εκτός από τις νοτιότερες περιοχές, σημειώνεται μικρός μέσος αριθμός ημερών με βροχοπτώσεις πολύ μεγάλης ραγδαιότητας. Σύμφωνα με το σχήμα, στους νοτιότερους σταθμούς σημειώνονται περισσότερες ημέρες, κατά τις οποίες το μέσο ύψος βροχής ισούται ή υπερβαίνει την τιμή κατωφλίου. Σχετικά με την ελάχιστη τιμή του δείκτη (1 ημέρα πολύ ισχυρής

βροχής), αυτή βρέθηκε σε μεγάλο αριθμό σταθμών (Aschafenburg, Lengeffeld, Mainz, Potsdam), που βρίσκονται στα κεντρικά, ανατολικά, καθώς και δυτικά τμήματα της χώρας. Αντίθετα, η μέγιστη τιμή (6 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής), βρέθηκε στη νότια Γερμανία (Muensing).

Το φθινόπωρο, οι σταθμοί στο ανατολικό κομμάτι της περιοχής μελέτης παρουσιάζουν μηδενικές τιμές του δείκτη και κατά συνέπεια δε παρατηρούνται ημέρες βροχής με τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Γενικά, στην υπόλοιπη χώρα διακρίνονται μικρές τιμές του δείκτη και συνεπώς λίγες ημέρες πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων, εκτός από ένα μικρό αριθμό σταθμών στη κεντρική-δυτική, καθώς και τη νοτιοδυτική Γερμανία, όπου εμφανίζονται μεγαλύτερες τιμές και επομένως περισσότερες ημέρες βροχής πολύ μεγάλης έντασης. Η ελάχιστη τιμή (1 ημέρα πολύ ισχυρής βροχής) σημειώνεται στο βορειοδυτικό, δυτικό και το νότιο τμήμα της Γερμανίας, ενώ, η μέγιστη τιμή (6 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής) σημειώνεται στα νοτιοδυτικά (Furtwangen). Άρα την περίοδο του φθινοπώρου δεν παρατηρούνται σε γενικές γραμμές ημερήσιες βροχοπτώσεις μεγάλης ραγδαιότητας.

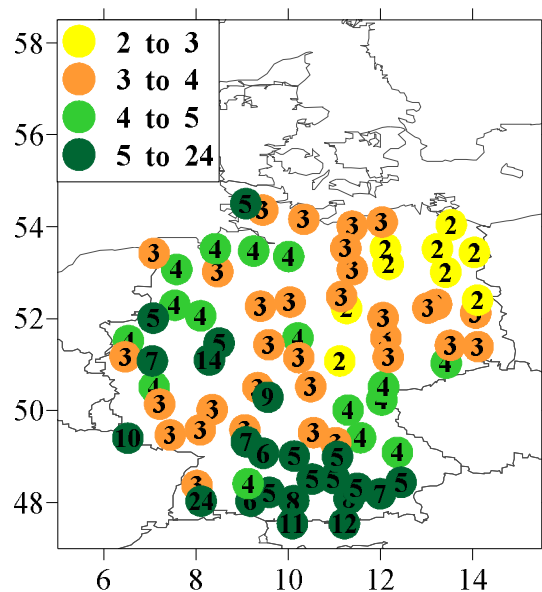
Συμπερασματικά, σε ετήσια βάση στις βορειοανατολικές περιοχές της Γερμανίας καταγράφονται κατά μέσο όρο λιγότερες ημέρες με βροχόπτωση πολύ μεγάλης έντασης, σε σχέση με τα βορειοδυτικά και νότια τμήματα της χώρας, για τη περίοδο 1958 – 2017. Όσον αφορά την κατανομή του δείκτη R20mm από εποχή σε εποχή για την ίδια περίοδο, η άνοιξη αποτελεί την εποχή κατά την οποία κατά μέσο όρο οι ημέρες με πολύ έντονη βροχόπτωση εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα, ενώ, κατά το καλοκαίρι η συχνότητα εμφάνισης των βροχερών ημερών είναι μεγαλύτερη, σε σχέση με τις άλλες εποχές, γεγονός που αποδίδεται σε θερμικά και δυναμικά αίτια.

Σχετικά με τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του δείκτη, η μικρότερη ελάχιστη τιμή εμφανίζεται σε όλες τις εποχές και η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή σημειώνεται κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Η μέγιστη τιμή του δείκτη κατά τη διάρκεια των χειμερινών μηνών οφείλεται σε συστήματα χαμηλής πίεσης, τα οποία προέρχονται από τον Ατλαντικό και οδηγούν σε ισχυρές χιονοπτώσεις στα νότια τμήματα καθώς και στις δυτικές παράκτιες και τις ορεινές περιοχές. Έτσι, σε ετήσια βάση η ελάχιστη τιμή

παρουσιάζεται σε μεγάλο αριθμό σταθμών στην ανατολική Γερμανία (Neetzow, Friedrichswalde, Zinnowitz) και η μέγιστη τιμή εντοπίζεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

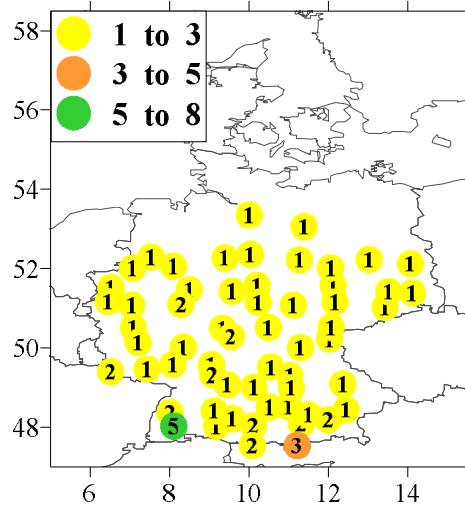
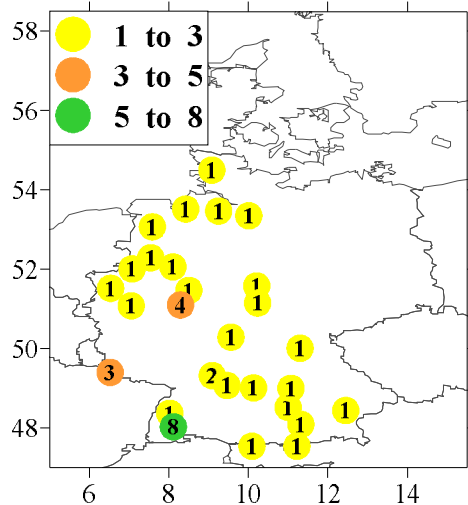
Σε εποχιακή βάση, η ελάχιστη τιμή σημειώνεται σε διαφορετικούς σταθμούς της Γερμανίας από εποχή σε εποχή. Τον χειμώνα η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στο βορειοδυτικό, κεντρικό και νότιο τομέα και την άνοιξη η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στη διεύθυνση ανατολής-δύσης και στο νότιο τμήμα. Κατά το καλοκαίρι η ελάχιστη τιμή βρίσκεται σε σταθμούς στα κεντρικά, δυτικά και ανατολικά, ενώ κατά το φθινόπωρο εμφανίζεται στη βορειοδυτική, δυτική και τη νότια Γερμανία. Αναφορικά με τη μέγιστη τιμή του δείκτη, αυτή εμφανίζεται σε όλες τις εποχές, εκτός από το καλοκαίρι (νότια Γερμανία), στον ίδιο σταθμό της νοτιοδυτικής Γερμανίας (Furtwangen).

Ετήσιος R20mm (ημέρες)- Γερμανία (1958-2017)

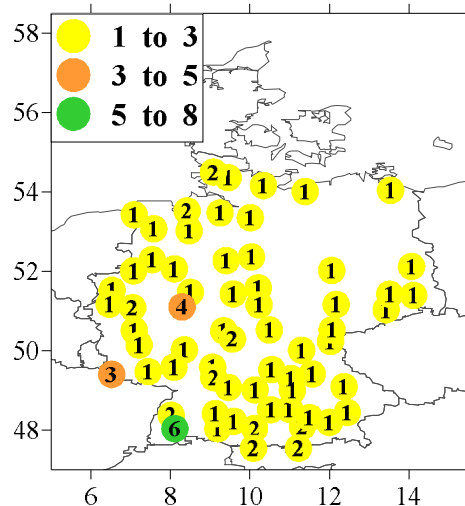
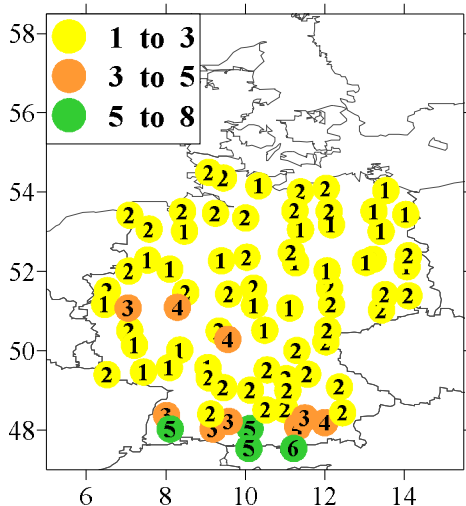


Σχήμα 5.1.α: Κατανομή των τιμών του δείκτη R20mm σε ετήσια βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

Δείκτης R20mm (ημέρες)- Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017) Δείκτης R20mm (ημέρες) - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Δείκτης R20mm (ημέρες) - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017) Δείκτης R20mm (ημέρες) - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 5.1.β: Κατανομή των τιμών του δείκτη R20mm σε εποχιακή βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

5.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R20mm σε ετήσια και εποχιακή βάση

Στο σχήμα 5.2 δίνονται οι τάσεις, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη R20mm σε κάθε σταθμό για την περίοδο 1958 – 2017. Ειδικότερα, τα βέλη με κόκκινο περίγραμμα και φορά προς τα πάνω, αντιπροσωπεύουν τάσεις αύξησης του μέσου αριθμού βροχερών ημερών, με ύψος βροχής ίσο ή μεγαλύτερο των 20.0 mm. Αντίθετα, τα βέλη με μπλε περίγραμμα και φορά προς τα κάτω, αντιπροσωπεύουν τάσεις ελάττωσης του μέσου πλήθος ημερών βροχής. Τα κόκκινα και μπλε βέλη αναπαριστούν αντίστοιχα θετικές και αρνητικές τάσεις, που όμως είναι στατιστικά σημαντικές. Σύμφωνα με τη προηγούμενη ενότητα, ο δείκτης R20mm λαμβάνει γενικά μικρές τιμές σε ετήσια καθώς και σε εποχιακή βάση. Οπότε οι περισσότερες από τις τάσεις που παρουσιάζονται παρακάτω είναι πολύ μικρές και δε θεωρούνται σημαντικές, αλλά αναλύονται προκειμένου να υπάρχει ομοιομορφία, όσον αφορά τη παρουσίαση της συμπεριφοράς των δεικτών που μελετώνται.

Σε ετήσια βάση, προκύπτει ότι γενικά επικρατούν τάσεις αύξησης των τιμών του δείκτη στους περισσότερους σταθμούς (73.8%). Έτσι, παρατηρείται αύξηση του μέσου αριθμού βροχερών ημερών σε όλη την έκταση της Γερμανίας. Παρόλα αυτά, σε ένα μικρό πλήθος σταθμών, στο νότιο και τον δυτικό τομέα, σημειώνονται πτωτικές τάσεις και συνδέονται με μείωση του πλήθους των ημερών πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων. Ακόμα, βρέθηκαν και στατιστικά σημαντικές τάσεις. Θετικές και στατιστικά σημαντικές τάσεις φαίνονται στο νότιο και κεντρικό τμήμα της χώρας (Gluckstadt, Muensing, Neu-Ulm), ενώ, σημειώνεται μόνο μία αρνητική στατιστικά σημαντική τάση νοτιότερα (Kronburg).

Σύμφωνα με το σχήμα, κατά τη χειμερινή περίοδο αυξητικές τάσεις (87.5%) και περισσότερες ημέρες ημερών βροχής πολύ μεγάλης ραγδαιότητας, εμφανίζονται σε όλη τη Γερμανία. Όμως, ένας μικρός αριθμός σταθμών στις νότιες και κεντρικές-ανατολικές περιοχές εμφανίζει αρνητικές τάσεις, από τις οποίες μία είναι στατιστικά σημαντική και εντοπίζεται σε ένα σταθμό της νότιας Γερμανίας (Kronburg). Οι αρνητικές τάσεις

δείχνουν ότι στους σταθμούς αυτούς είναι λίγες οι ημέρες πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων. Σχετικά με τις θετικές στατιστικά σημαντικές τάσεις, αυτές περιορίζονται στο βόρειο τομέα (Cuxhaven, Hamburg, Neutrebbin).

Κατά την εαρινή περίοδο ο μέσος αριθμός ημερών πολύ ισχυρής βροχής τείνει να αυξηθεί σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης. Πιο συγκεκριμένα στην πλειοψηφία των σταθμών (81.3%) σημειώνονται θετικές τάσεις, ενώ, κάποιοι σταθμοί στις δυτικές, καθώς και στις ανατολικές βορειοανατολικές περιοχές παρουσιάζουν αρνητικές τάσεις. Στο νότιο τμήμα της χώρας, βρέθηκαν θετικές στατιστικά σημαντικές τάσεις (Aschafenburg, Nandlstadt, Raitenbuch), ενώ, στον κεντρικό-ανατολικό και βόρειο τομέα βρέθηκαν αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις (Gera-Leumnitz, Wismar).

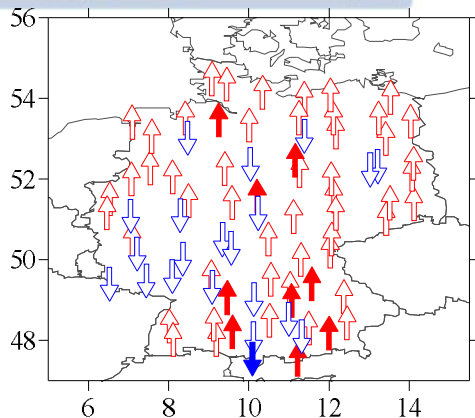
Επιπλέον, από την εξέταση του σχήματος για το καλοκαίρι συμπεραίνεται ότι παρά την επικράτηση θετικών τάσεων στους μελετώμενους σταθμούς (73.8%), αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών που εμφανίζουν αρνητικές τάσεις. Έτσι, αρνητικές τάσεις εντοπίζονται στα κεντρικά, καθώς και στα νότια και νοτιοδυτικά τμήματα της Γερμανίας. Επομένως, στη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών το πλήθος των ημερών πολύ ραγδαίων βροχοπτώσεων μειώνεται σε μεγάλο αριθμό σταθμών. Ακόμα, κάποιες από τις παρατηρούμενες θετικές τάσεις στο νότιο τομέα είναι στατιστικά σημαντικές (Grafenwoehr-Bruckendorfgmuend, Muensing, Raitenbuch, Ueckermunde), ενώ, δε σημειώνονται στατιστικά σημαντικές αρνητικές τάσεις σε κανένα σταθμό.

Για την περίοδο του φθινοπώρου, φαίνεται ότι η κατανομή των τάσεων του δείκτη παρουσιάζει διαφορετική εικόνα από αυτή του καλοκαιριού. Αναλυτικότερα, σε όλη την έκταση της Γερμανίας επικρατούν αυξητικές τάσεις (81.3%) και μεγαλώνει ο αριθμός των ημερών πολύ μεγάλης έντασης, ενώ, μειώνεται ο αριθμός των σταθμών, στους οποίους βρέθηκαν αρνητικές τάσεις. Κατά την περίοδο αυτή, αρνητικές τάσεις σημειώνονται κυρίως στο νότο, αλλά και σε ανατολικές, καθώς και δυτικές περιοχές. Σε αυτές τις περιοχές δε καταγράφεται μεγάλο πλήθος ημερών ραγδαίων βροχοπτώσεων. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές τάσεις, θετικές τάσεις παρατηρούνται σε σταθμούς στη κεντρική Γερμανία (Achern-Fautenbach, Bad Lippspringe, Hannover) και αρνητικές τάσεις παρατηρούνται νότια και νοτιοδυτικά (Berlin, Kirchheim, Neutrebbin).

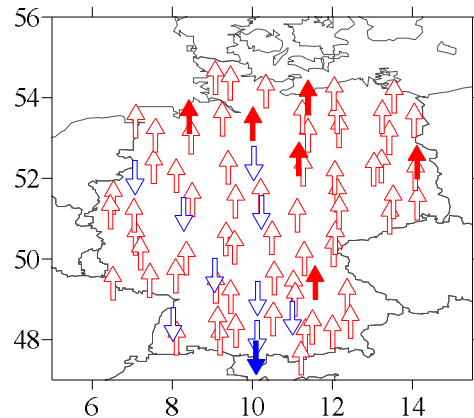
Άρα, ο δείκτης R20mm παρουσιάζει τάση αύξησης στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, καθώς και στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, σε ετήσια βάση. Αυτό σημαίνει ότι γενικά αυξάνεται ο αριθμός των ημερών με πολύ ισχυρές βροχοπτώσεις. Ωστόσο, παρατηρούνται τάσεις μείωσης του μέσου αριθμού ημερών πολύ ισχυρής βροχής, σε νότιες και δυτικές περιοχές.

Σε εποχιακή βάση, υπολογίστηκαν ανοδικές τάσεις και περισσότερες ημέρες πού ραγδαίων βροχοπτώσεων στους περισσότερους σταθμούς, για όλες τις εποχές. Παρόλα αυτά, ο αριθμός, καθώς και η θέση των σταθμών, που εμφανίζουν πτωτικές τάσεις και λίγες ημέρες ισχυρών βροχοπτώσεων, μεταβάλλεται από εποχή σε εποχή. Έτσι, κατά τη χειμερινή περίοδο τάσεις μείωσης του μέσου αριθμού ημερών βροχερής πολύ μεγάλης έντασης, σημειώνονται στη κεντρική-ανατολική, καθώς και τη νότια Γερμανία, ενώ κατά την εαρινή περίοδο οι αρνητικές τάσεις και άρα το μικρότερο πλήθος ημερών πολύ ραγδαίων βροχοπτώσεων σημειώνονται στη διεύθυνση ανατολής-δύσης. Αντίθετα, κατά τη θερινή περίοδο αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών, στους οποίους υπολογίστηκαν πτωτικές τάσεις, και οι περισσότεροι από αυτούς βρίσκονται στο νότιο τομέα. Συνεπώς, τους καλοκαιρινούς μήνες αυξάνεται ο αριθμός των σταθμών, όπου καταγράφονται λιγότερες ημέρες πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων. Τέλος, κατά το φθινόπωρο διαπιστώνεται μείωση του πλήθους των σταθμών με αρνητικές τάσεις, οι οποίες σημειώνονται στο νότιο τμήμα της χώρας, καθώς και στη διεύθυνση ανατολής-δύσης.

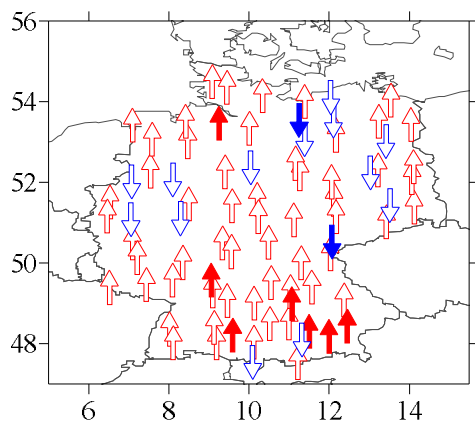
Τάσεις μέσου ετήσιου δείκτη R20mm - Γερμανία (1958-2017)



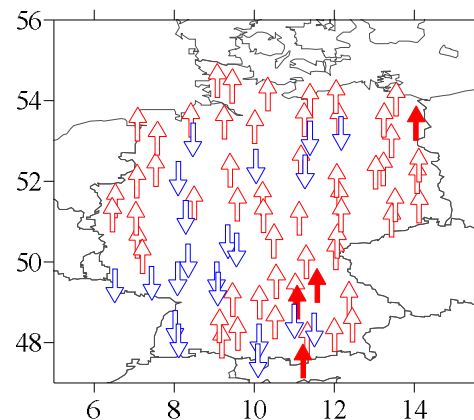
Τάσεις δείκτη R20mm- Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



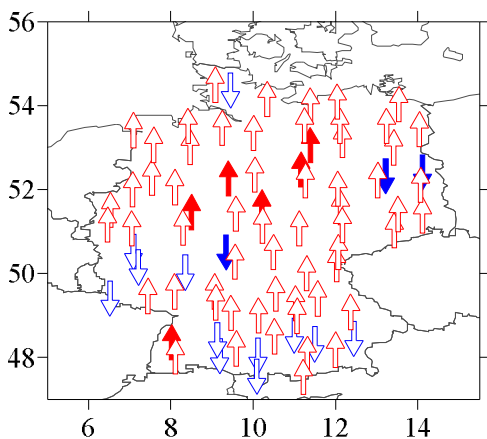
Τάσεις δείκτη R20mm- Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R20mm- Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R20mm- Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 5.2: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη R20mm σε ενδοετήσια και εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

6. Ακραίος κλιματικός δείκτης R95p

6.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R95p σε ετήσια και εποχιακή βάση

Σε αυτή τη παράγραφο πραγματοποιείται μελέτη των τιμών του δείκτη R95p και της κατανομής αυτών στη πάροδο των ετών και στις τέσσερις εποχές του έτους (σχήματα 6.1.α και 6.1.β). Ειδικότερα πρόκειται για ένα ποσοστιαίο δείκτη, οι τιμές του οποίου προέκυψαν με βάση το άθροισμα του συνολικού ύψους βροχής, που υπερβαίνει το 95% του ημερήσιου ύψους βροχής. Και σε αυτή τη περίπτωση, ως ημέρα βροχής θεωρείται η ημέρα, κατά την οποία το ημερήσιο ύψος βροχής υπερβαίνει το 1.0 mm. Γενικά αυτός ο δείκτης εκφράζει τις μέτρια πολύ υγρές συνθήκες που επικρατούν σε μια περιοχή και συνδέεται με πλημμυρικά φαινόμενα.

Από τη μελέτη της ενδοετήσιας χωρικής κατανομής των τιμών του δείκτη (σχήμα 6.1.α), εξάγονται τα παρακάτω αποτελέσματα. Οι μικρές τιμές καταγράφονται στο βορειοανατολικό τμήμα της χώρας, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στα νότια και δυτικά τμήματα της Γερμανίας. Άρα, οι μικρές τιμές του δείκτη στα βορειοανατολικά σημαίνουν ασθενέστερες ακραίες βροχοπτώσεις και οι μεγάλες τιμές δηλώνουν ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις. Ενδιάμεσες τιμές ακραίων υψών βροχής φαίνονται σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση. Αναφορικά με τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή του δείκτη, η ελάχιστη τιμή, που αντιστοιχεί σε 109.5 mm ύψους βροχής, σημειώνεται βορειοανατολικά, στο σταθμό Neetzow και η μέγιστη τιμή, που ισούται με 363.5 mm ύψους βροχής, σημειώνεται νοτιοδυτικά στο σταθμό Furtwangen.

Η κατανομή των τιμών σε κάθε εποχή διακρίνεται στο σχήμα 6.1.β. Αναλυτικότερα, κατά το χειμώνα στους βορειοανατολικούς και νοτιοδυτικούς σταθμούς παρουσιάζονται μικρές τιμές και κατά συνέπεια ασθενέστερες ακραίες βροχοπτώσεις. Αντίθετα, στα δυτικά και νοτιοδυτικά τμήματα της χώρας, τα παρατηρούμενα ύψη βροχής είναι μεγαλύτερα, δείχνοντας την πραγματοποίηση ισχυρότερων επεισοδίων

ακραίων βροχοπτώσεων. Μέτριες τιμές εντοπίζονται σε δυτικές και νότιες διευθύνσεις. Η ελάχιστη τιμή (15.5 mm) παρατηρείται στην ανατολική Γερμανία (Neurebbin), ενώ, η ελάχιστη τιμή (110.5 mm) παρατηρείται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Κατά τη περίοδο της άνοιξης, μικρές τιμές του δείκτη και συνεπώς μικρότερη τιμή του 95ου ποσοστημορίου, υπολογίστηκαν στο βόρειο, τον ανατολικό, καθώς και τον δυτικό τομέα. Παρόλα αυτά, εμφανίζονται μεγάλες τιμές στις νότιες και τις δυτικές περιοχές, οι οποίες συνεπάγονται μεγαλύτερες ακραίες βροχοπτώσεις. Κατά την εποχή αυτή, είναι φανερή η αύξηση των υψών βροχής στα νότια, κυρίως, τμήματα, ενώ, μέτριες τιμές σημειώνονται σε σταθμούς της νότιας Γερμανίας, καθώς και στη διεύθυνση ανατολής-δύσης. Έτσι, η ελάχιστη τιμή του δείκτη (28.0 mm) εντοπίζεται στα βορειοδυτικά στο σταθμό Norderney και η μέγιστη τιμή (107.9mm) εντοπίζεται στα νότια στο σταθμό Muensing.

Για το καλοκαίρι, προκύπτει ότι ο βορειοανατολικός τομέας, όπως και οι κεντρικές, καθώς και οι δυτικές περιοχές, εμφανίζουν χαμηλές τιμές του δείκτη. Δηλαδή, σε αυτούς τους σταθμούς οι ακραίες βροχοπτώσεις που σημειώθηκαν είναι ασθενέστερες. Όσον αφορά την υπόλοιπη χώρα, μέτριες τιμές του δείκτη παρατηρούνται σε BA-NA διεύθυνση, ενώ μεγαλύτερες τιμές υπολογίστηκαν σε σταθμούς του δυτικού τομέα, όπου καταγράφονται ισχυρότερα ακραία επεισόδια βροχής. Επίσης κατά τη περίοδο αυτή, φαίνεται ότι οι μεγαλύτερες τιμές καταγράφονται και σε ένα μικρό αριθμό σταθμών, στα νότια τμήματα της περιοχής μελέτης. Έτσι, η ελάχιστη τιμή (63.6 mm) σημειώνεται στη κεντρική Γερμανία (Lengeffeld), ενώ, η μέγιστη τιμή (196.4 mm) σημειώνεται νότια (Muensing).

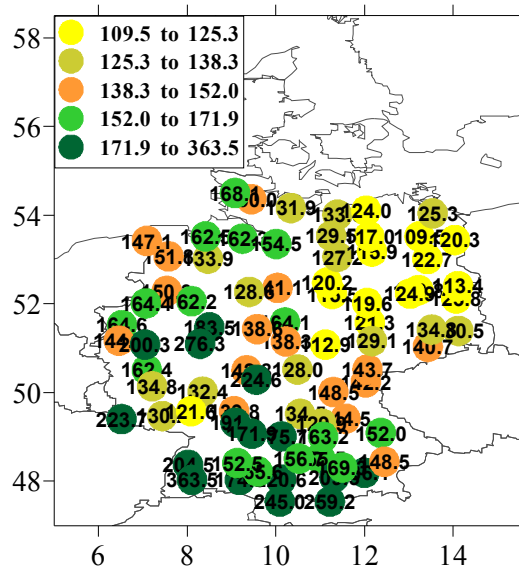
Ακόμα, κατά τους φθινοπωρινούς μήνες μικρότερες τιμές του δείκτη εμφανίζονται σε βορειοανατολικούς και κεντρικούς σταθμούς. Όμως, σχετικά με τις μεγαλύτερες τιμές και κατά συνέπεια τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, αυτά εντοπίζονται πλέον και σε βορειότερες περιοχές. Άρα τα επεισόδια ακραίων βροχοπτώσεων που σημειώνονται στο βορειοανατολικό κομμάτι της Γερμανίας είναι ασθενέστερα, σε σύγκριση με τους σταθμούς άλλων περιοχών. Μεγάλες τιμές του δείκτη, που δείχνουν ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις, παρουσιάζονται σε σταθμούς του νοτίου, δυτικού,

καθώς και του βορειοδυτικό τομέα. Μέτρια μέσα ύψη καταγράφονται τα νότια και τα δυτικά τμήματα. Η ελάχιστη τιμή (30.4 mm) βρέθηκε στη βορειοανατολική Γερμανία (Neetzow) και η μέγιστη τιμή (128.9 mm) βρέθηκε νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Έτσι, σε ετήσια βάση το συνολικό ύψος βροχής, που υπερβαίνει το 95% της ημερήσιας τιμής, διαμορφώνεται σε χαμηλά επίπεδα στο βορειοανατολικό τομέα, ενώ μεγαλύτερες τιμές, ενδεικτικές ισχυρών ακραίων επεισοδίων βροχής, εμφανίζονται στο νότιο και δυτικό τομέα. Σχετικά με την κατανομή του δείκτη R95p στη Γερμανία κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, παρατηρείται ότι σε όλες τις εποχές μεγάλες τιμές εντοπίζονται σε νότιους και δυτικούς σταθμούς, εκτός από το φθινόπωρο, όπου μεγάλες τιμές σημειώνονται εκτός από τους παραπάνω σταθμούς και σε βορειότερους.

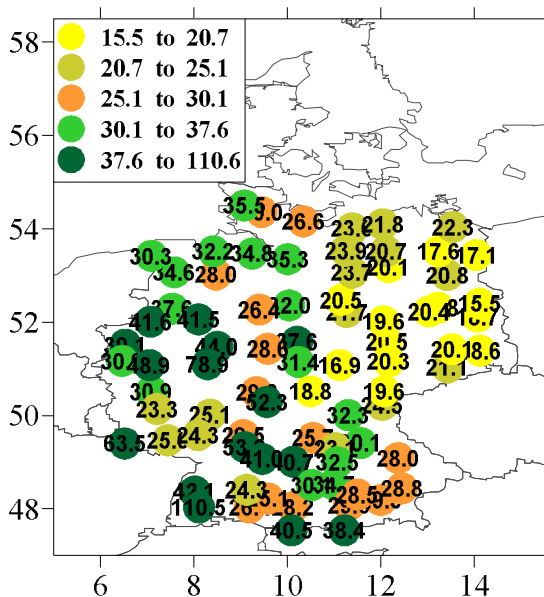
Όσον αφορά τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του δείκτη, η μικρότερη ελάχιστη τιμή βρέθηκε κατά τη χειμερινή περίοδο, ενώ, η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή υπολογίστηκε κατά τη θερινή περίοδο. Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, στη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών τόσο τα θερμικά αίτια, όσο και τα συνοπτικά συστήματα που διέρχονται από τη Γερμανία ευνοούν την ανάπτυξη ισχυρών καταιγίδων. Σε ετήσια βάση, η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στην βορειοανατολική Γερμανία (Neetzow) και η μέγιστη τιμή, εντοπίζεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen). Κατά τη μετάβαση από τη μια εποχή στην άλλη, ο σταθμός, στον οποίο εμφανίζεται η ελάχιστη τιμή, διαφέρει. Έτσι, τον χειμώνα η ελάχιστη τιμή παρουσιάζεται ανατολικά, ενώ, την άνοιξη εντοπίζεται βορειοδυτικά. Αντίστοιχα, κατά το καλοκαίρι η ελάχιστη τιμή σημειώνεται στη κεντρική Γερμανία, ενώ, κατά το φθινόπωρο σημειώνεται στη βορειοανατολική Γερμανία. Ακόμα, η μέγιστη τιμή του δείκτη εμφανίζεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen) σε όλες τις εποχές, εκτός από το καλοκαίρι, όπου εμφανίζεται στη νότια Γερμανία (Muensing).

Ετήσιος R95p(mm) - Γερμανία (1958-2017)

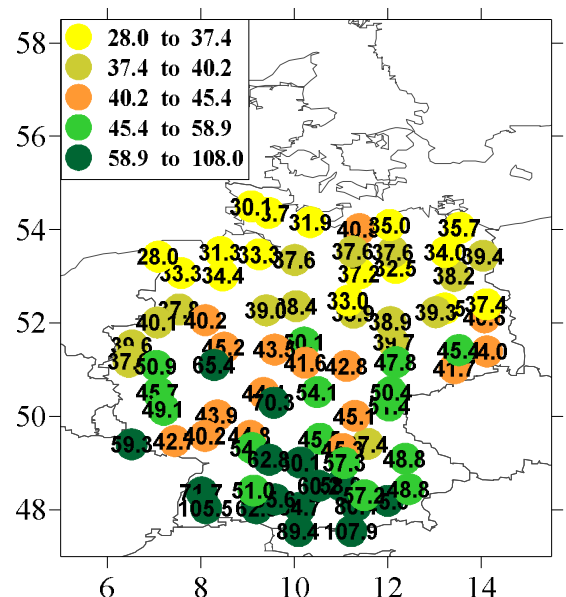


Σχήμα 6.1β: Κατανομή των τιμών του δείκτη R95p σε εποχιακή βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

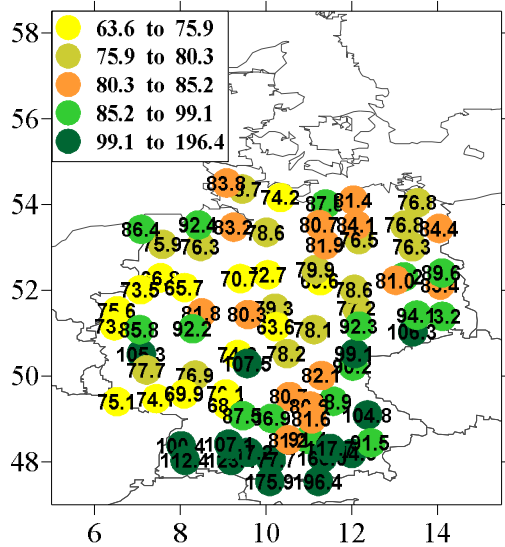
R95p(mm) - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



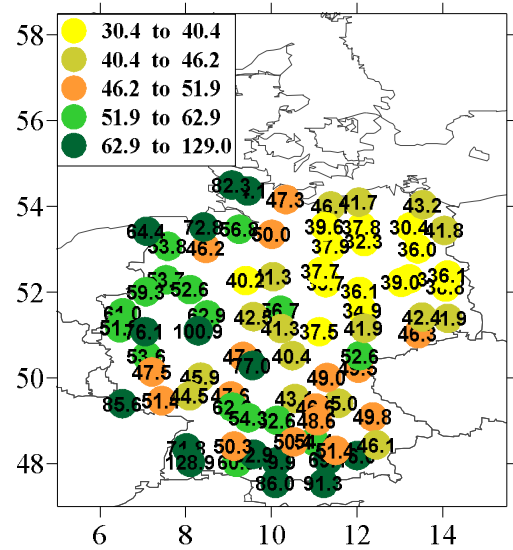
R95p(mm) - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



R95p(mm) - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



R95p(mm) - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 6.1.α: Κατανομή των τιμών του δείκτη R95p σε ετήσια βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

6.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R95p σε ετήσια και εποχιακή βάση

Στην ομάδα σχημάτων 6.2, δίνεται η ενδοετήσια καθώς και η εποχιακή κατανομή των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R95p για τη περίοδο 1958 – 2017, στη Γερμανία. Σύμφωνα με το πρώτο σχήμα, όπου παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη σε ετήσια βάση, στους περισσότερους σταθμούς (76.3%) οι τάσεις είναι θετικές (βέλη κόκκινου περιγράμματος με φορά προς τα πάνω) και δηλώνουν αύξηση της έντασης των ακραίων βροχοπτώσεων. Παρόλα αυτά, στις δυτικές και νότιες περιοχές οι ακραίες βροχοπτώσεις μειώνονται, καθώς σημειώνονται αρνητικές τάσεις (βέλη μπλε περιγράμματος με φορά προς τα κάτω). Αυτό σημαίνει ότι μειώνονται οι ισχυρές ακραίες βροχοπτώσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τις θετικές τάσεις, οι στατιστικά σημαντικές (κόκκινα βέλη με φορά προς τα πάνω) υπολογίστηκαν σε σταθμούς στο βόρειο, καθώς και το νότιο τμήμα (Alfhausen, Gluckstadt, Neu-Ulm, Raitenbuch), ενώ δε σημειώνονται καθόλου αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις.

Επίσης, στα υπόλοιπα σχήματα απεικονίζεται η κατανομή των τιμών του δείκτη από εποχή σε εποχή. Πιο αναλυτικά, κατά τη χειμερινή περίοδο βρέθηκαν τόσο θετικές τάσεις (51.3%), όσο και αρνητικές τάσεις (48.7%) στη χώρα. Αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο στο βόρειο τομέα δε σημειώνονται αρνητικές τάσεις. Έτσι, στη βόρεια Γερμανία αυξάνεται η τιμή του 95ου ποσοστημορίου. Σχετικά με τις στατιστικά σημαντικές τάσεις, θετικές τάσεις παρατηρούνται στη βόρεια Γερμανία (Gluckstadt, Mankmuss-Birkholz, Neubukow, Wismar), ενώ μόνο ένας σταθμός της νότιας Γερμανίας εμφανίζει αρνητική τάση (μπλε βέλη με φορά προς τα πάνω) (Kronburg).

Για την εαρινή περίοδο, προκύπτει ότι σε μεγάλο ποσοστό των σταθμών (57.5%) οι τάσεις είναι θετικές και επομένως υπάρχει τάση αύξησης των υψών βροχής, κατά τις ημέρες, όπου το ημερήσιο ύψος βροχής υπερβαίνει το 95% των παρατηρούμενων τιμών. Παρόλα αυτά, εντοπίστηκαν και αρνητικές τάσεις στα ανατολικά, δυτικά, καθώς και στα νότια τμήματα. Πιο συγκεκριμένα, θετικές και στατιστικά σημαντικές τάσεις σημειώνονται νότια (Wallersdorf, Neu-Ulm, Grafenwoehr-Bruckendorfgmuend,

Bockhorn-Oberbayern-Gruenbach), ενώ, μια αρνητική στατιστικά σημαντική τάση σημειώθηκε στα νοτιοανατολικά (Gera-Leumnitz).

Επιπλέον, κατά το καλοκαίρι επικρατούν θετικές τάσεις στην πλειοψηφία των σταθμών (71.3%), δείχνοντας αύξηση των μεγάλων ακραίων βροχοπτώσεων. Ωστόσο εμφανίζονται και αρνητικές τάσεις, οι οποίες περιορίζονται στους νότιους και δυτικούς τομείς, και δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Αξιοσημείωτο είναι ότι παρατηρούνται θετικές στατιστικά σημαντικές τάσεις στο βόρειο και το νότιο τμήμα της Γερμανίας (Muensing, Weesby).

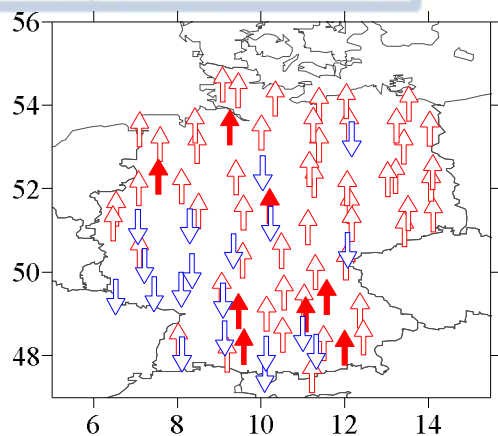
Όσον αφορά τη περίοδο του φθινοπώρου, η κατανομή των τάσεων παρουσιάζει ομοιότητες με αυτή του καλοκαιριού, ως προς την εμφάνιση θετικών τάσεων στους περισσότερους σταθμούς (70%), και κατ' επέκταση στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Όμως καταγράφονται και αρνητικές τάσεις σε σταθμούς τόσο βόρειων και νότιων, όσο και ανατολικών περιοχών, γεγονός που συνεπάγεται μείωση των ισχυρών ακραίων βροχοπτώσεων. Ακόμα, στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις εντοπίζονται στα κεντρικά και νοτιοδυτικά τμήματα (Achern-Fautenbach, Bad Lippspringe, Celle, Hannover), ενώ, μία στατιστικά σημαντική αρνητική τάση σημειώνεται στη κεντρική Γερμανία (Kirchheim).

Ανακεφαλαιώνοντας, ο δείκτης R95p παρουσιάζει θετική τάση στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, καθώς και στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, σε ετήσια βάση. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές του 95ου ποσοστημορίου και κατ'επέκταση οι μεγάλες ακραίες βροχοπτώσεις, ενισχύονται στο μεγαλύτερο τμήμα της Γερμανίας. Παρόλα αυτά, παρατηρούνται αρνητικές τάσεις του δείκτη στις δυτικές και νότιες περιοχές, οι οποίες, ωστόσο, δεν είναι στατιστικά σημαντικές. Από την ανάλυση της εποχιακής κατανομής των τάσεων για τη περίοδο μελέτης, προκύπτει ότι στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις, σε όλες τις εποχές. Αντίθετα, οι περιοχές εμφάνισης αρνητικών τάσεων διαφοροποιούνται από εποχή σε εποχή. Έτσι, κατά τη χειμερινή περίοδο αρνητικές τάσεις, που συνεπάγονται μείωση των ισχυρών ακραίων βροχοπτώσεων, σημειώνονται σε πολλές περιοχές της χώρας, εκτός από το βόρειο τομέα, ενώ κατά την εαρινή περίοδο οι αρνητικές τάσεις εντοπίζονται στα ανατολικά, δυτικά και

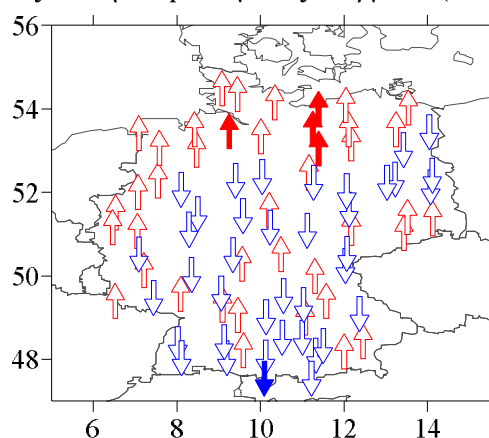


νότια τμήματα. Επιπλέον, κατά τη θερινή περίοδο παρουσιάζονται αρνητικές τάσεις στους νότιους και δυτικούς τομείς ενώ, κατά την περίοδο του φθινοπώρου αυτές καταγράφονται σε σταθμούς βόρειων, νότιων και ανατολικών περιοχών. Τέλος, δε σημειώνονται αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις κατά το καλοκαίρι.

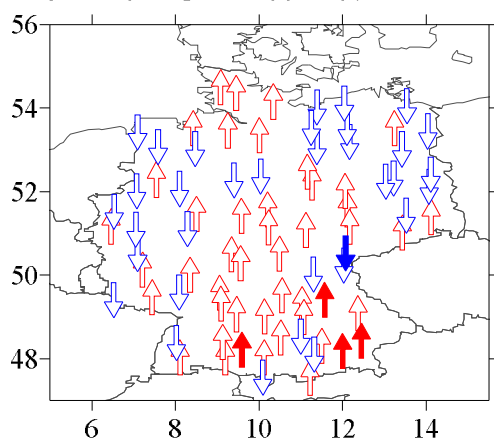
Τάσεις μέσου ετήσιου δείκτη R95p - Γερμανία (1958-2017)



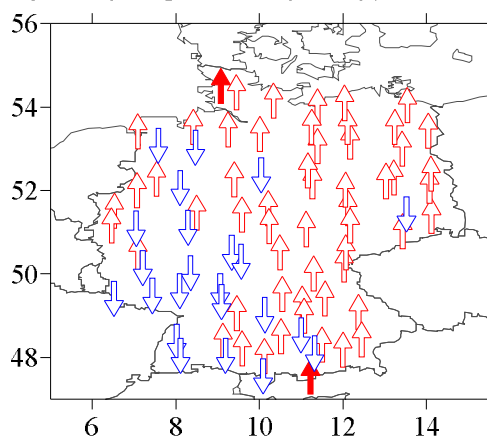
Τάσεις δείκτη R95p- Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



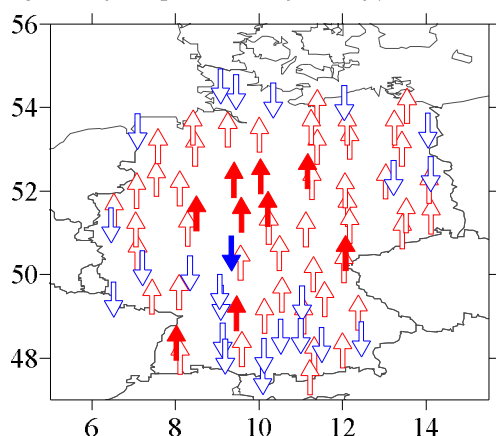
Τάσεις δείκτη R95p- Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R95p- Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R95p- Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 6.2: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη R95p σε ενδοετήσια και εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

7. Ακραίος κλιματικός δείκτης R99p

7.1 Μελέτη του ακραίου κλιματικού δείκτη R99p σε ετήσια και εποχιακή βάση

Ο δείκτης R99p αποτελεί ένα ποσοστιαίο δείκτη και εκφράζει τις εξαιρετικές υγρές συνθήκες. Παρόμοια με τον δείκτη R95p, υπολογίζεται από το συνολικό άθροισμα των υψών βροχής, εκείνων των ημερών, όπου το ημερήσιο ύψος βροχής υπερβαίνει το 99% των παρατηρούμενων τιμών. Σύμφωνα με το σχήμα 7.1.α, όπου φαίνεται η κατανομή των τιμών του δείκτη σε ετήσιο κύκλο για τη μελετούμενη περίοδο, οι σταθμοί των βορειανατολικών, κεντρικών και νοτιοδυτικών περιοχών εμφανίζουν χαμηλές τιμές του δείκτη. Αυτό συνεπάγεται μικρότερες τιμές του 99ου εκατοστημορίου. Αντίθετα, τόσο ο νότιος, όσο και ο δυτικός τομέας της περιοχής μελέτης δείχνουν μεγαλύτερες τιμές και άρα μεγαλύτερες ακραίες βροχοπτώσεις. Στις βορειοδυτικές και νότιες περιοχές οι παρατηρούμενες τιμές είναι μέτριες. Όσον αφορά το εύρος των τιμών του δείκτη, η ελάχιστη τιμή, ίση με 35.0 mm ύψους πολύ ισχυρής ακραίας βροχής, παρατηρείται στη βορειοανατολική Γερμανία (Neetzow), ενώ, η μέγιστη τιμή, που αντιστοιχεί σε 108.7 mm ύψους πολύ ισχυρής ακραίας βροχής, σημειώνεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen).

Η χωρική κατανομή των τιμών του δείκτη σε κάθε εποχή, προκύπτει από την εξέταση του σχήματος 7.1.β. Διαπιστώνεται ότι τους χειμερινούς μήνες οι μικρότερες τιμές καταγράφονται στα βορειανατολικά και τα νοτιοδυτικά τμήματα της χώρας, δείχνοντας ασθενέστερες ακραίες βροχοπτώσεις. Μέτριες τιμές σημειώνονται σε ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση, ενώ, μεγαλύτερες τιμές, ενδεικτικές μεγάλων τιμών του 99ου ποσοστημορίου, βρέθηκαν σε νότιους και δυτικούς σταθμούς. Ειδικότερα, η ελάχιστη τιμή του δείκτη (4.5 mm) εντοπίζεται ανατολικά (Neuttrebbin) και η μέγιστη τιμή (32.1 mm) εντοπίζεται νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Επιπλέον, στο βόρειο τομέα την άνοιξη επικρατούν μικρές ακραίες βροχοπτώσεις, συνδεδεμένες με χαμηλές τιμές του δείκτη, ενώ, μεγαλύτερες ακραίες

βροχοπτώσεις και μεγαλύτερες τιμές υπολογίστηκαν σε μια ομάδα σταθμών στο δυτικό τομέα. Γενικά κατά τη περίοδο αυτή, η ζώνη των μεγαλύτερων τιμών μετατοπίζεται από τη δύση, όπου βρισκόταν το χειμώνα, προς το νότο. Μέτριες τιμές του δείκτη διακρίνονται τόσο στη διεύθυνση ανατολής-δύσης, όσο και στο νότιο τμήμα της Γερμανίας. Η ελάχιστη τιμή (12.3 mm) βρέθηκε βορειοδυτικά (Gluckstadt) και η μέγιστη τιμή (59.6 mm) βρέθηκε νότια (Muensing).

Από το ίδιο σχήμα (7.1.β), για το καλοκαίρι φαίνεται ότι στις βορειοδυτικές, κεντρικές, δυτικές, καθώς και νότιες περιοχές καταγράφονται, κυρίως, μικρές τιμές. Δηλαδή, οι ακραίες βροχοπτώσεις σε αυτούς τους σταθμούς είναι ασθενέστερες. Σχετικά με τις μεγαλύτερες τιμές του 99ου ποσοστημορίου, η θέση αυτών μεταβάλλεται και εντοπίζονται πλέον στα ανατολικά. Έτσι, οι σταθμοί στα δυτικά και τα ανατολικά τμήματα της χώρας, στους οποίους οι ακραίες βροχοπτώσεις είναι ισχυρότερες, εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές του δείκτη. Μέτριες τιμές εντοπίζονται στο βόρειο, τον ανατολικό και τον κεντρικό τομέα. Αξίζει να αναφερθεί ότι η ελάχιστη τιμή (34.2 mm) υπολογίστηκε στη κεντρική Γερμανία (Lengeffeld), ενώ, η μέγιστη τιμή (142.0 mm) υπολογίστηκε στη νότια Γερμανία (Boos).

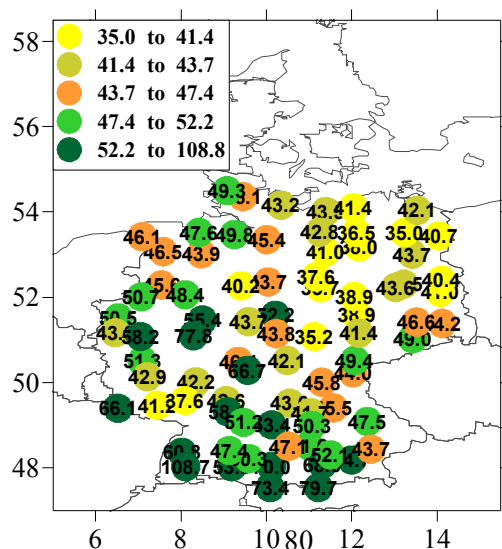
Επιπρόσθετα, στη διάρκεια των φθινοπωρινών μηνών οι ασθενέστερες ακραίες βροχοπτώσεις, που συνδέονται με μικρές τιμές του δείκτη, σημειώνονται στα κεντρικά και βορειοανατολικά τμήματα, καθώς και στους ανατολικούς και νοτιοανατολικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης. Σε μικρότερο ποσοστό, στα βορειοανατολικά εμφανίζονται και μέτριες τιμές του δείκτη. Αναφορικά με τις μεγαλύτερες τιμές του 99ου ποσοστημορίου κατά τη περίοδο μελέτης, αυτές βρέθηκαν σε σταθμούς του δυτικού, του νότιου καθώς και του βορειοδυτικού τομέα. Η ελάχιστη τιμή (16.0 mm), σημειώνεται βόρεια (Mistorf-Siemitz) και η μέγιστη τιμή (68.8 mm), σημειώνεται νοτιοδυτικά (Furtwangen).

Συνοψίζοντας, σε ετήσια βάση μικρές τιμές του 99ου ποσοστημορίου σημειώνονται στις βορειοανατολικές, κεντρικές και νοτιοδυτικές περιοχές της Γερμανίας, σε σχέση με τα δυτικά και νότια τμήματα της χώρας, όπου οι ακραίες βροχοπτώσεις είναι ασθενέστερες. Από εποχή σε εποχή, συμπεραίνεται ότι μικρές τιμές

του δείκτη εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο τομέα σε όλες τι εποχές. Όμως, οι μεγαλύτερες τιμές, που τον χειμώνα αρχικά, εμφανίζονται στις νότιες και τις δυτικές περιοχές, την άνοιξη περιορίζονται μόνο στους δυτικούς σταθμούς, ενώ, το καλοκαίρι επεκτείνονται και προς τα ανατολικά. Κατά το φθινόπωρο η εικόνα της χωρικής κατανομής των μεγαλύτερων τιμών του δείκτη αλλάζει σημαντικά, διότι ισχυρές ακραίες βροχοπτώσεις καταγράφονται τόσο σε νότιες και δυτικές περιοχές, όσο και σε βορειότερες περιοχές.

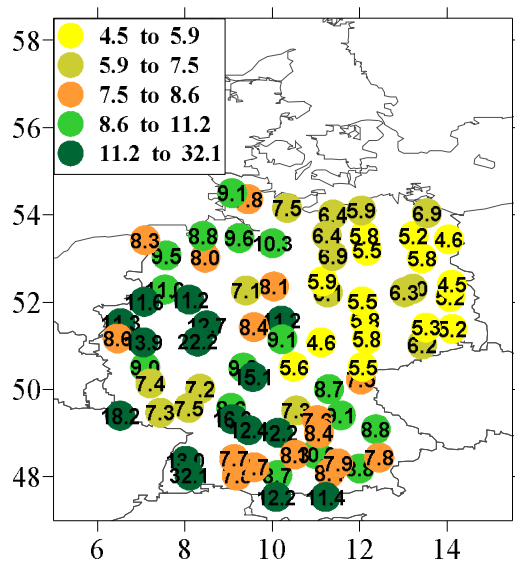
Όσον αφορά το εύρος των τιμών του δείκτη, αξίζει να αναφερθεί ότι η μικρότερη ελάχιστη τιμή σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του χειμώνα και η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή σημειώθηκε κατά το καλοκαίρι. Αναλυτικότερα, σε ετήσια βάση η ελάχιστη τιμή παρουσιάζεται στη βορειοανατολική Γερμανία (Neetzow) και η μέγιστη τιμή εντοπίζεται στη νοτιοδυτική Γερμανία (Furtwangen). Σε εποχιακή βάση, η ελάχιστη τιμή σημειώνεται σε διαφορετικούς σταθμούς της Γερμανίας από εποχή σε εποχή. Έτσι, τον χειμώνα η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στον ανατολικό τομέα και την άνοιξη η ελάχιστη τιμή εντοπίζεται στο βορειοδυτικό τμήμα. Κατά το καλοκαίρι η ελάχιστη τιμή βρίσκεται στην κεντρική Γερμανία, ενώ, το φθινόπωρο βρίσκεται στα ανατολικά. Αναφορικά με τη μέγιστη τιμή του δείκτη, αυτή εμφανίζεται τον χειμώνα και την άνοιξη στη νότια Γερμανία (Furtwangen), ενώ, κατά το καλοκαίρι, καθώς και το φθινόπωρο η μέγιστη τιμή εμφανίζεται στη νότια Γερμανία (Muensing και Boos αντίστοιχα).

Ετήσιος R99p (mm) - Γερμανία (1958-2017)

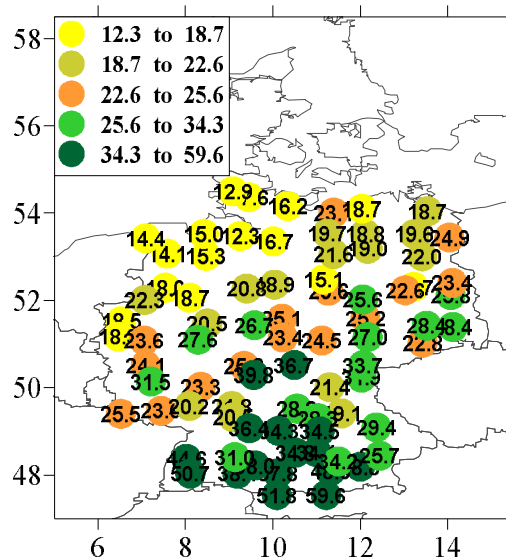


Σχήμα 7.1.α: Κατανομή των τιμών του δείκτη R99p σε ετήσια βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

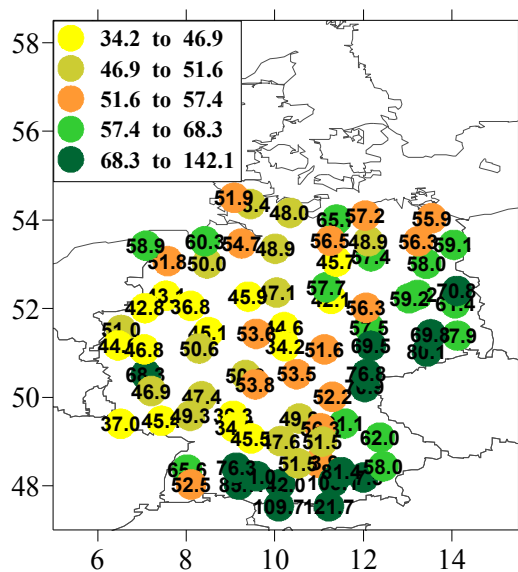
R99p(mm) - Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



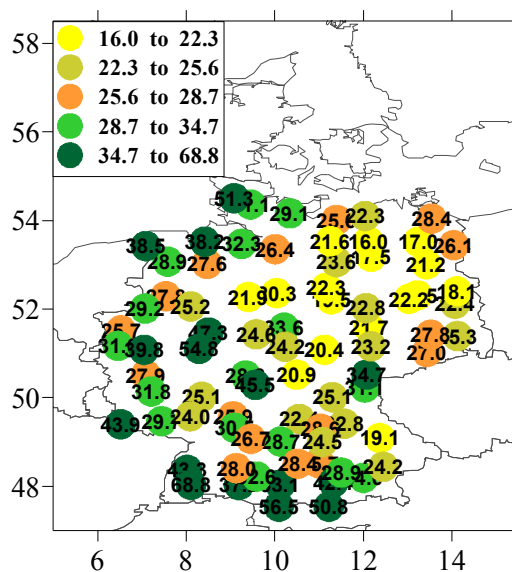
R99p(mm) - Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



R99p(mm) - Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



R99p(mm) - Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 7.1.β: Κατανομή των τιμών του δείκτη R99p σε εποχιακή βάση, στη Γερμανία για τη περίοδο 1958-2017.

7.2 Μελέτη των τάσεων του ακραίου κλιματικού δείκτη R99p σε ετήσια και εποχιακή βάση

Οι τάσεις αύξησης και μείωσης των τιμών του 99^{ου} ποσοστημορίου και οι αντίστοιχοι σταθμοί εμφάνισής τους, αποτελούν το αντικείμενο μελέτης αυτής της ενότητας. Στα σχήματα που προέκυψαν (σχήμα 7.2) από την επεξεργασία των δεδομένων για τα έτη της περιόδου μελέτης, καθώς και για κάθε εποχή, ο συμβολισμός των τάσεων είναι ο ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στις προηγούμενες υποενότητες. Η διετήσια ανάλυση των τάσεων έδειξε στους περισσότερους σταθμούς (73.8%) τάσεις αύξησης του δείκτη, καθώς και των ισχυρών ακραίων βροχοπτώσεων, για τη μελετούμενη περίοδο. Εμφανής είναι επίσης, η ύπαρξη αρνητικών τάσεων στα νότια και τα ανατολικά τμήματα της χώρας, που συνδέεται με μείωση των ισχυρών ακραίων βροχοπτώσεων. Αξίζει να αναφερθεί ότι βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές θετικές τάσεις, σε βορειοδυτικούς σταθμούς (Borken in Westfalen, Droeda, Gluckstadt, Hannover, Schwaebisch Hall), ενώ, μόνο ο σταθμός Frankfurt παρουσιάζει στατιστικά σημαντική αρνητική τάση.

Από εποχή σε εποχή, μεταβάλλεται τόσο ο αριθμός των σταθμών που εμφανίζουν αρνητικές τάσεις, όσο και η κατανομή αυτών, με σημαντικές διαφοροποιήσεις να συντελούνται στη διάρκεια της άνοιξης. Αρχικά, όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο σχήμα (σχήμα 7.2), οι χειμερινοί μήνες χαρακτηρίζονται από την επικράτηση θετικών τάσεων στους περισσότερους σταθμούς (57.5%). Έτσι την περίοδο αυτή, αυξάνονται οι μεγάλες ακραίες βροχοπτώσεις στο μεγαλύτερο κομμάτι της Γερμανίας. Αυτό το γεγονός συνδέεται με την αυξημένη διέλευση, από τη χώρα, συστημάτων χαμηλής πίεσης, προερχόμενων από τον Ατλαντικό. Αντίθετα, πτωτικές τάσεις αναφέρονται σε ένα μικρό αριθμό σταθμών, που βρίσκονται στα κεντρικά, δυτικά και νότια τμήματα της χώρας. Δηλαδή σε αυτούς τους σταθμούς μειώνονται οι ισχυρές ακραίες βροχοπτώσεις. Ακόμα, βρέθηκαν θετικές, στατιστικά σημαντικές, τάσεις κυρίως στο βόρειο και νοτιοανατολικό τμήμα της Γερμανίας (Grafenwoehr-Bruckendorfgmuend, Hamburg), ενώ, δε σημειώνονται καθόλου αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις.

Την άνοιξη η εικόνα που παρουσιάζει η κατανομή των τάσεων διαφοροποιείται από αυτή του χειμώνα. Αναλυτικότερα, επικρατούν θετικές τάσεις στη πλειοψηφία των υπό μελέτη σταθμών (61.3%) και κατά συνέπεια παρατηρείται αύξηση του 99ου ποσοστημορίου. Δηλαδή ενισχύονται οι ισχυρές ακραίες βροχοπτώσεις. Ωστόσο καταγράφονται και αρνητικές τάσεις του δείκτη, ιδιαίτερα σε σταθμούς των δυτικών και ανατολικών τμημάτων της χώρας. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές αυξητικές τάσεις, αυτές παρουσιάζουν μετατόπιση από τις βόρειες προς τις νότιες περιοχές (Wallersdorf, Neu-Ulm, Nandlstadt, Gluckstadt). Έτσι θετικές στατιστικά τάσεις εμφανίζονται στα νότια, ενώ αρνητικές στατιστικές τάσεις εμφανίζονται στα βορειοανατολικά, καθώς και τα νοτιοανατολικά (Wismar, Gera-Leumnitz).

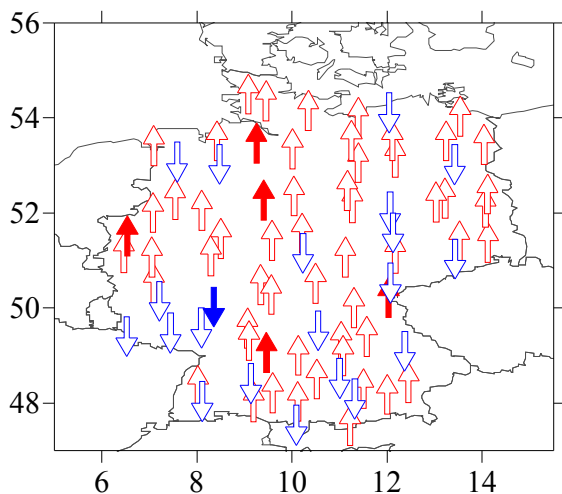
Επίσης, για το καλοκαίρι φαίνεται ότι στους περισσότερους σταθμούς (70%) οι τάσεις του δείκτη είναι ανοδικές και καταγράφονται μεγαλύτερες ακραίες βροχοπτώσεις, σε σύγκριση με τα δυτικά, καθώς και τα νότια τμήματα της περιοχής μελέτης, όπου οι τάσεις είναι πτωτικές και οι ακραίες βροχοπτώσεις ασθενέστερες. Ακόμα, σε τρεις σταθμούς στη βόρεια, βορειοανατολική και νότια Γερμανία (Raitenbuch, Weesby, Zinnowitz), εντοπίζονται θετικές και στατιστικά σημαντικές τάσεις, ενώ, μόνο ο σταθμός Furtwangen στη νοτιοδυτική Γερμανία, εμφανίζει αρνητική και στατιστικά σημαντική τάση.

Κατά τη περίοδο του φθινοπώρου, από την εξέταση του σχήματος 7.2, γίνεται εμφανές ότι σε ένα μεγάλο τμήμα της περιοχής μελέτης (67.5%) οι τάσεις του δείκτη, που υπολογίστηκαν είναι αυξητικές, δηλαδή αυξάνεται η τιμή του 99ου ποσοστημορίου. Πτωτικές τάσεις του δείκτη, ενδεικτικές της μείωσης των μεγάλων ακραίων βροχοπτώσεων, βρέθηκαν στη νότια και τη νοτιοδυτική Γερμανία, καθώς και σε κάποιους σταθμούς στα ανατολικά τμήματα της χώρας. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές τάσεις, θετικές τάσεις διακρίνονται κυρίως σε κεντρικούς σταθμούς (Bad Lippspringe, Celle, Northeim, Schwaebisch Hall), ενώ, αρνητικές τάσεις σημειώνονται στο βόρειο και το κεντρικό-δυτικό τομέα (Kirchheim, Nottfeld).

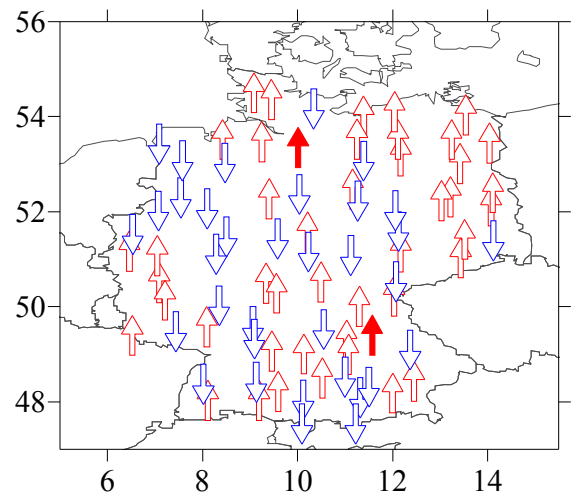
Ανακεφαλαιώνοντας, η εξέταση των τάσεων σε ετήσια βάση έδειξε ότι ο δείκτης R99p παρουσιάζει θετική τάση στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, καθώς και

στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας και άρα αυξάνονται οι ισχυρές ακραίες βροχοπτώσεις. Ωστόσο οι τάσεις του δείκτη είναι αρνητικές στις νότιες και ανατολικές περιοχές, γεγονός που συνδέεται με μείωση των μεγάλων ακραίων βροχοπτώσεων. Σχετικά με την κατανομή των τάσεων ανά εποχή, για τη περίοδο μελέτης, προκύπτει ότι στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν ανοδικές τάσεις, σε όλες τις εποχές. Σε αυτή την περίπτωση αυξάνονται οι τιμές του 99ου ποσοστημορίου. Ενώ, οι σταθμοί όπου εμφανίζονται αρνητικές τάσεις διαφέρουν από εποχή σε εποχή. Έτσι, κατά τη χειμερινή περίοδο πτωτικές τάσεις και επομένως μείωση των τιμές του 99ου εκατοστημορίου, σημειώνονται στα κεντρικά, τα δυτικά και τα νότια τμήματα της Γερμανίας, ενώ κατά την εαρινή περίοδο οι πτωτικές τάσεις εντοπίζονται στον δυτικό, καθώς και τον ανατολικό τομέα της χώρας. Επιπλέον, κατά τη θερινή περίοδο παρουσιάζονται πτωτικές τάσεις σε νότιους και δυτικούς σταθμούς, ενώ, κατά την περίοδο του φθινοπώρου οι πτωτικές τάσεις περιορίζονται στο νότιο, το νοτιοδυτικό, καθώς και τον ανατολικό τομέα της χώρας. Αξίζει να αναφερθεί ότι δε σημειώνονται αρνητικές στατιστικά σημαντικές τάσεις κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου. Άρα στη διάρκεια των χειμερινών μηνών δε μειώνονται σημαντικά οι ισχυρές ακραίες βροχοπτώσεις.

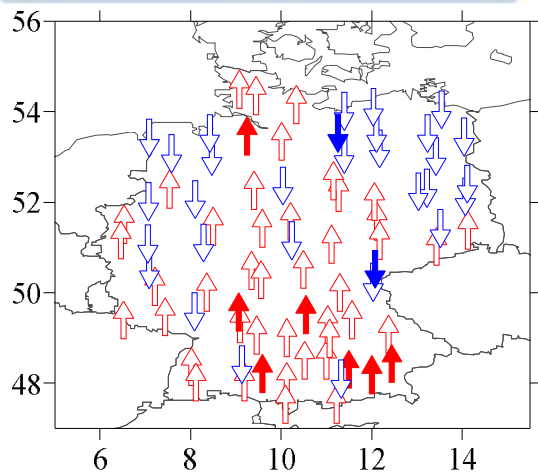
Τάσεις μέσου ετήσιου δείκτη R99p - Γερμανία (1958-2017)



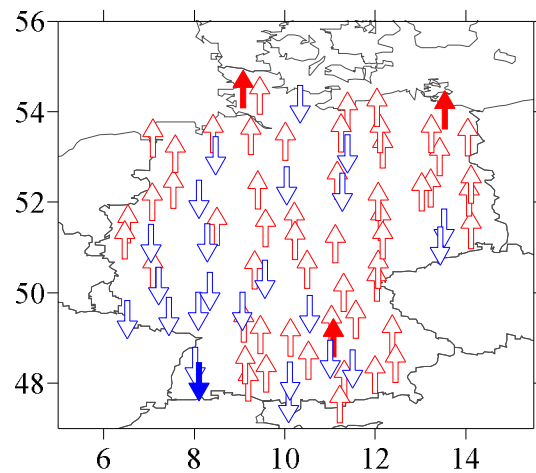
Τάσεις δείκτη R99p- Χειμώνας - Γερμανία (1958-2017)



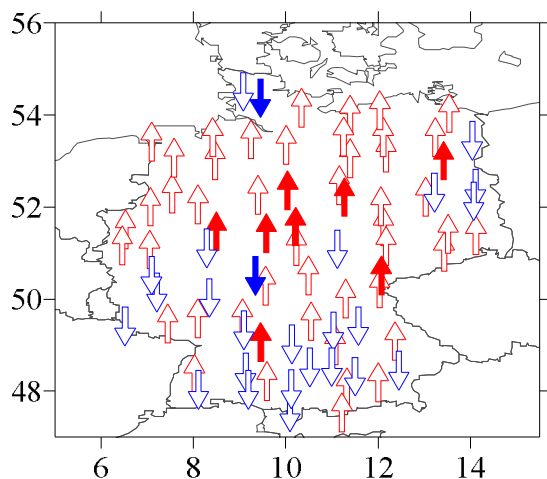
Τάσεις δείκτη R99p- Άνοιξη - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R99p- Καλοκαίρι - Γερμανία (1958-2017)



Τάσεις δείκτη R99p- Φθινόπωρο - Γερμανία (1958-2017)



Σχήμα 7.2: Χωρική κατανομή των τάσεων, που παρουσιάζουν οι τιμές του δείκτη R99p σε ετήσια και εποχιακή βάση, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1958-2017 στη Γερμανία.

Συμπεράσματα

Στο πρώτο τμήμα της παρούσας εργασίας μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (ύψη και ημέρες βροχής) καθώς και η χρονική εξέλιξη αυτών, σε ογδόντα σταθμούς της Γερμανίας, ετήσια και εποχιακή βάση, κατά τη περίοδο 1958 έως 2017. Ενώ, στο δεύτερο τμήμα, δόθηκε έμφαση στην εξέταση τόσο της ραγδιαιότητας όσο και της συχνότητας των ακραίων βροχοπτώσεων και για αυτό το σκοπό υπολογίστηκαν έξι ακραίοι κλιματικοί δείκτες (SDII, RX, R10mm, 20mm, R95p, R99p), καθώς και οι τάσεις αυτών για την ίδια περίοδο μελέτης, κατά έτος και κατά εποχή.

Από τους έξι δείκτες που επιλέχθηκαν, οι δείκτες SDII και RX αναφέρονται στην ένταση/ραγδιαιότητα της βροχής, καθώς ο SDII δίνει το μέσο ύψος βροχής και ο RX το μέγιστο ύψος βροχής στη διάρκεια μιας υγρής ημέρας (ημερήσιο ύψος βροχής $\geq 1.0\text{mm}$). Στην περίπτωση των δεικτών R10mm και R20mm, εκφράζεται η συχνότητα εμφάνισης ημερών βροχής κατά τις οποίες το ημερήσιο ύψος βροχής είναι ίσο ή μεγαλύτερο από 10.0mm (ισχυρή βροχόπτωση) και 20.0mm (πολύ ισχυρή βροχόπτωση) αντίστοιχα. Ενώ, οι δείκτες R95p και R99p συνδέονται με πλημμύρες και ακραίες βροχοπτώσεις. Ειδικότερα, ο δείκτης R95p αναφέρεται σε μέτρια πολύ υγρές συνθήκες και προκύπτει από το ετήσιο άθροισμα των υψών βροχής, που σημειώθηκαν εκείνες τις ημέρες βροχής, κατά τις οποίες το ύψος βροχής υπερβαίνει το 95ο εκατοστημόριο των υψών βροχής, ενώ, ο δείκτης R99p δείχνει εξαιρετικά υγρές συνθήκες και προκύπτει από το ετήσιο άθροισμα των υψών βροχής, που σημειώθηκαν εκείνες τις ημέρες βροχής, κατά τις οποίες το ύψος βροχής υπερβαίνει το 99ο εκατοστημόριο των υψών βροχής. Τα συμπεράσματα που συνάγονται για κάθε δείκτη παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω.

Όσον αφορά το βροχομετρικό καθεστώς που παρουσιάζει η Γερμανία κατά τα έτη της περιόδου μελέτης (1958-2017), χαμηλά μέσα ύψη βροχής και συνεπώς ξηρές συνθήκες καταγράφονται στο βόρειο, τον ανατολικό και τον κεντρικό τομέα της χώρας, ενώ μεγάλα μέσα ύψη και κατ'επέκταση υγρές συνθήκες εμφανίζονται στη δυτική και τη νότια Γερμανία. Η ελάχιστη τιμή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης (492.3 mm)

εμφανίζεται στην ανατολική Γερμανία (Neutrebbin), ενώ, η μέγιστη τιμή (1717.7 mm) παρατηρείται στη ΝΝΔ Γερμανία (Furtwangen). Σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση των μέγιστων μέσων υψών βροχής στη ΝΝΔ Γερμανία, διαδραματίζει η παρουσία της οροσειράς των Άλπεων, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό ορογραφικής βροχής στη προσήνεμη πλευρά της οροσειράς. Στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, οι τάσεις που παρουσιάζουν τα ετήσια μέσα ύψη βροχής είναι θετικές, εξαιρουμένων κάποιων σταθμών στα νότια και τα δυτικά τμήματα, όπου σημειώνονται πτωτικές τάσεις. Ο Duan et al. (2018) μελέτησε την ετήσια βροχόπτωση στη Γερμανία για την περίοδο 1951-2013 και εκτίμησε άνοδο των τάσεων κυρίως στο βόρειο και ανατολικό κομμάτι της χώρας.

Σε εποχιακή βάση, αξίζει να αναφερθεί ότι κατά το χειμώνα και την άνοιξη τα μικρότερα μέσα ύψη βροχής σημειώνονται στις βόρειες και τις ανατολικές περιοχές. Αντίθετα, κατά το καλοκαίρι και το φθινόπωρο τα μικρότερα ποσά υετού σημειώνονται σε ευρύτερες περιοχές, ενώ, μεγάλα μέσα ύψη βροχής και συνεπώς υγρές συνθήκες, εντοπίζονται στους σταθμούς, που βρίσκονται σε νότιες και δυτικές διευθύνσεις. Συμπερασματικά, η άνοιξη αποτελεί την εποχή με τη μικρότερη μέγιστη τιμή του μέσου ύψους βροχής (397.3 mm), ενώ, ο χειμώνας, αποτελεί την εποχή, κατά την οποία σημειώνεται η μεγαλύτερη μέγιστη τιμή του μέσου ύψους βροχής (519.2 mm). Η καταγραφή των μέγιστων υψών βροχής τον χειμώνα, εξηγείται με βάση τα δυναμικά αίτια που επικρατούν κατά την εποχή. Πιο συγκεκριμένα, συστήματα χαμηλής πίεσης που προέρχονται από τον Ατλαντικό, δίνουν χιονοπτώσεις και καταιγίδες, που έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των καταγραφόμενων υψών βροχής.

Οι τάσεις των μέσων υψών βροχής για τη χειμερινή και τη θερινή περίοδο είναι αυξητικές στους περισσότερους σταθμούς, εκτός από το νότιο τμήμα της χώρας, ενώ κατά την άνοιξη το σύνολο σχεδόν των σταθμών εμφανίζει αρνητική τάση της μέσης βροχόπτωσης. Κατά το φθινόπωρο οι τάσεις είναι θετικές στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής μελέτης. Τα πορίσματα αυτά, επιβεβαιώνονται τόσο από την εργασία του Duan et al. (2018), ο οποίος διαπίστωσε ότι η εποχιακή κατανομή των τάσεων παρουσιάζει μεγάλη χωρική και χρονική μεταβλητότητα, όσο και από την εργασία της Hänsel et al.

(2007), όπου διαπιστώνεται η επικράτηση ανοδικών τάσεων και μεγάλων μέσων υψών βροχής στη διάρκεια του χειμώνα και η ξηρασία κατά τους θερινούς μήνες στην κεντρική-ανατολική και βόρεια Γερμανία. Η αύξηση των μέσων υψών βροχής κατά τους χειμερινούς μήνες στη Γερμανία, επισημάνθηκε και σε άλλες εργασίες (Murawski A. et al., 2015, Caloiero T. et al., 2018).

Σχετικά με το μέσο ετήσιο αριθμό ημερών βροχής, ο βορειοανατολικός τομέας της Γερμανίας εμφανίζει λίγες ημέρες βροχής, σε αντίθεση με τα βορειοδυτικά, τα κεντρικά καθώς και τα νότια τμήματα της χώρας, όπου καταγράφεται μεγάλος αριθμός ημερών βροχής. Ειδικότερα, η ελάχιστη τιμή του αριθμού ημερών βροχής (95) εντοπίζεται στην ανατολική Γερμανία (Neuttrebbin) και η μέγιστη τιμή (169) σημειώνεται στην κεντρική – δυτική Γερμανία (Kahler Asten). Οι αντίστοιχες τάσεις ποικίλουν από σταθμό σε σταθμό κατά τη περίοδο μελέτης. Ειδικότερα, οι δυτικές, νότιες και κεντρικές περιοχές της Γερμανίας δείχνουν τάση ελάττωσης των βροχερών ημερών, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές οι τάσεις είναι ανοδικές.

Από την εποχιακή ανάλυση, διαπιστώθηκε ότι κατά τη χειμερινή περίοδο οι σταθμοί με τη μικρότερη συχνότητα εμφάνισης βροχερών ημερών, βρίσκονται στα βορειοανατολικά, καθώς ο βορειοδυτικός και νοτιοδυτικός τομέας εμφανίζουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης. Κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι, λιγότερες ημέρες βροχής διαμορφώνονται στο βόρειο τμήμα και στη διεύθυνση ανατολής-δύσης, ενώ, στις νότιες και δυτικές περιοχές εμφανίζονται οι περισσότερες ημέρες βροχής. Ακόμα, κατά το φθινόπωρο ο μέσος αριθμός ημερών βροχής είναι μικρός στη βορειοανατολικό-νοτιοανατολικό μισό τμήμα της χώρας, ενώ, είναι μεγάλος στις υπόλοιπες περιοχές. Για την εξεταζόμενη περίοδο, το φθινόπωρο αποτελεί την εποχή με το μικρότερο πλήθος βροχερών ημερών (41) ενώ, ο χειμώνας αποτελεί την εποχή με το μεγαλύτερο αριθμό ημερών βροχής (47). Αναφορικά με την κατανομή των τάσεων κατά τις εποχές, παρατηρείται αύξηση των ημερών βροχής κατά το χειμώνα και το καλοκαίρι στους περισσότερους σταθμούς, ενώ κατά την άνοιξη επικρατεί πτωτική τάση. Αντίθετα, για το φθινόπωρο οι περισσότεροι σταθμοί εμφανίζουν τάση αύξησης των βροχερών ημερών. Ενίσχυση των θετικών τάσεων κατά το χειμώνα, στο βόρειο τομέα της χώρας έδειξε και

η Brien et al. (2013), ενώ, το μεγάλο πλήθος ημερών βροχής του χειμώνα μπορεί να ερμηνευτεί και με βάση τα ενισχυμένα συνοπτικά συστήματα που παρατηρούνται αυτή την εποχή.

Στη συνέχεια από τον υπολογισμό του δείκτη SDII, προέκυψε ότι σε ετήσια βάση η βροχόπτωση στη βόρεια-βορειοανατολική και κεντρική Γερμανία παρουσιάζει χαμηλή ένταση, σε αντίθεση με τα νότια και δυτικά τμήματα της χώρας. Το εύρος των τιμών του δείκτη κυμαίνεται από 5.1 mm/ημέρα (ανατολική Γερμανία: Born, Koenigstedt, Neetow) έως 10.9 mm/ημέρα (νοτιοδυτική Γερμανία: Furtwangen). Στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις της μέσης έντασης, ενώ βρέθηκαν και αρνητικές τάσεις του δείκτη σε ένα μικρό αριθμό σταθμών της νότιας Γερμανίας. Συνεπώς, οι βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης στο νότιο τομέα προέρχονται σε μεγάλο βαθμό από την επίδραση της οροσειράς των Άλπεων στις υγρές αέριες μάζες, με αποτέλεσμα το σχηματισμό υετού.

Σχετικά με την εποχιακή κατανομή του δείκτη SDII στη Γερμανία, για τη περίοδο μελέτης παρατηρείται ότι σε όλες τις εποχές οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται στους νότιους και δυτικούς σταθμούς. Παρόλα αυτά, κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι οι μεγάλες εντάσεις μετατοπίζονται προς τα νότια, ενώ, κατά το φθινόπωρο μετατοπίζονται προς βορειότερες περιοχές. Αξίζει να αναφερθεί, ότι η μικρότερη τιμή (9.4 mm/ημέρα) καταγράφεται στη διάρκεια της άνοιξης ενώ, τους χειμερινούς μήνες ο δείκτης λαμβάνει τη μέγιστη τιμή του (12.2 mm/ημέρα). Έτσι, τα μέγιστα των εντάσεων της βροχής που παρατηρούνται τον χειμώνα προέρχονται από ενισχυμένα συνοπτικά συστήματα, τα οποία εμπλουτίζονται με υγρασία περνώντας πάνω από τον Ατλαντικό. Όσον αφορά την εποχιακή κατανομή των τάσεων, στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις, σε όλες ανεξαιρέτως τις εποχές. Όμως, σε μικρό αριθμό σταθμών της νότιας Γερμανίας βρέθηκαν αρνητικές τάσεις κατά τις περιόδους του χειμώνα, του καλοκαιριού και του φθινοπώρου.

Επίσης τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό των μέσων ετήσιων τιμών του δείκτη RX, έδειξαν ότι οι περιοχές που εκτείνονται από τα βορειοανατολικά έως τα δυτικά τμήματα, παρουσιάζουν χαμηλά μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής, σε αντίθεση με

τις νοτιότερες περιοχές, στις οποίες οι τιμές του δείκτη φανερώνουν μεγάλα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη (29.7 mm) σημειώνεται βορειοανατολικά (Neetzow) και η μέγιστη τιμή (72.3 mm) σημειώνεται νοτιοδυτικά (Furtwangen), όπου επιδρά η ορογραφία στο σχηματισμό υετού. Στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, εξαιρουμένων κάποιων σταθμών στον ανατολικό, τον νότιο και τον δυτικό τομέα της χώρας, εντοπίζονται αυξητικές τάσεις του δείκτη.

Από την εποχιακή ανάλυση, γίνεται φανερό ότι οι βόρειοι και ανατολικοί σταθμοί χαρακτηρίζονται από χαμηλές τιμές του δείκτη σε όλες τις εποχές. Μεγάλες τιμές του δείκτη, παρατηρούνται στις νότιες και δυτικές περιοχές κατά το χειμώνα, ενώ, κατά την άνοιξη μετατοπίζονται από τα δυτικά προς τα νότια. Το καλοκαίρι μεγάλες τιμές εμφανίζονται εκτός από τους νότιους και σε ανατολικούς σταθμούς, ενώ, το φθινόπωρο περιορίζονται στις νότιες και δυτικές περιοχές. Έτσι, ο χειμώνας αποτελεί την εποχή με τα μεγαλύτερα μέγιστα ημερήσια ύψη (54.7 mm) και συνεπώς τις ισχυρότερες βροχοπτώσεις, σε αντίθεση με την άνοιξη, όπου σημειώνονται οι μικρότερες τιμές του δείκτη (43.8 mm) και άρα ασθενέστερες βροχοπτώσεις. Όσον αφορά την κατανομή των τάσεων, προκύπτει ότι στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις, σε όλες τις εποχές, εκτός από το καλοκαίρι, όπου βρέθηκαν τόσο θετικές, όσο και αρνητικές τάσεις. Κατά το χειμώνα και την άνοιξη σημειώνονται αρνητικές τάσεις στα νότια, ανατολικά και δυτικά τμήματα της Γερμανίας, ενώ το καλοκαίρι παρουσιάζονται πτωτικές τάσεις σε σταθμούς διάσπαρτους στη περιοχή μελέτης. Ακόμα, κατά το φθινόπωρο πτωτικές τάσεις περιορίζονται στο νότιο τομέα της χώρας. Η Brien et al. (2013) μελετώντας μια ομάδα ακραίων κλιματικών δεικτών, παρατήρησε επίσης, ότι ο αριθμός των ανοδικών τάσεων του δείκτη της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης ήταν μεγαλύτερος στην πλειοψηφία των σταθμών της Γερμανίας στη διάρκεια του χειμώνα, σε σχέση με το καλοκαίρι.

Επιπλέον από τη μελέτη του δείκτη R10mm, φαίνεται ότι σε ετήσια βάση, οι ημέρες ισχυρής βροχής (Heavy Precipitation), παρουσιάζουν χαμηλή συχνότητα εμφάνισης στη βορειοανατολική Γερμανία, σε αντίθεση με τα νότια και δυτικά τμήματα της χώρας. Έτσι, βρέθηκε ότι η ελάχιστη τιμή (10 ημέρες ισχυρής βροχής) σημειώνεται

στην ανατολική Γερμανία (Neutrebbin), ενώ, η μέγιστη τιμή σημειώνεται στα νοτιοδυτικά (Furtwangen). Σύμφωνα με την εργασία των Hänsel, Matschullat (2009) τα επεισόδια ισχυρής βροχοπτώσης στη Σαξονία (κρατίδιο στην ανατολική Γερμανία), επηρεάζονται τόσο από τη μεγάλης κλίμακας ροή, όσο και από τη δομή της ορογραφίας της περιοχής, καθώς και ο τρόπος που επιδρά αυτή, στη πορεία των αερίων μαζών. Από την κατανομή των τάσεων προέκυψε ότι βρέθηκαν θετικές τάσεις, που δείχνουν αύξηση των ημερών ισχυρών βροχοπτώσεων, στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Η Zolina et al. (2010), επισημαίνει ότι το πλήθος των ημερών ισχυρής βροχής στη Γερμανία έχει αυξηθεί κατά 12-18%, στη διάρκεια των τελευταίων 60 ετών, και αποδίδει το γεγονός αυτό στη μεταφορά υγρασίας από τους κυκλώνες. Παρόλα αυτά, σημειώνονται και αρνητικές τάσεις του δείκτη, στις ανατολικές και νοτιοδυτικές περιοχές, όπου μειώνονται οι ημέρες ισχυρών βροχοπτώσεων.

Σε εποχιακή βάση, παρατηρείται ότι σε όλες τις εποχές μικρές τιμές του δείκτη R10mm εντοπίζονται σε ανατολικούς σταθμούς, εκτός από το καλοκαίρι, όπου μικρές τιμές σημειώνονται και σε κεντρικούς, καθώς και νοτιοδυτικούς σταθμούς. Την άνοιξη και το θέρος οι μεγάλες τιμές μετατοπίζονται προς τα δυτικά, ενώ το φθινόπωρο επεκτείνονται προς βορειότερες περιοχές. Η εποχή με τις λιγότερες ημέρες ραγδαίων βροχοπτώσεων είναι η άνοιξη (13), ενώ η εποχή με τις περισσότερες ημέρες ισχυρών βροχοπτώσεων είναι ο χειμώνας (18). Η εμφάνιση των περισσότερων ημερών ισχυρών βροχοπτώσεων τον χειμώνα, οφείλεται στους κυκλώνες, που έρχονται από τον Ατλαντικό και οι οποίοι αποτελούν την κύρια αιτία εμφάνισης ισχυρών βροχοπτώσεων κυρίως στο δυτικό κομμάτι της χώρας (Hofstätter et al, 2017).

Όσον αφορά την κατανομή των τάσεων, στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις, σε όλες τις εποχές. Για το χειμώνα και την άνοιξη υπολογίστηκαν αρνητικές τάσεις στη διεύθυνση ανατολής-δύσης, καθώς και στο νότιο τμήμα της χώρας. Κατά το καλοκαίρι παρουσιάζονται αρνητικές τάσεις στους νότιους και δυτικούς τομείς και θετικές τάσεις στους υπόλοιπους σταθμούς, οι οποίες είναι σταθερότερες και πιο σημαντικές σε σύγκριση με τις τάσεις των μεταβατικών εποχών (άνοιξη, φθινόπωρο) (Lupikasza, Hänsel, Matschullat, 2011). Κατά το φθινόπωρο οι

αρνητικές τάσεις περιορίζονται σε σταθμούς βορειοδυτικών, νότιων και ανατολικών περιοχών. Παρόμοια αποτελέσματα, που φανερώνουν θετικές τάσεις του δείκτη R10mm και αύξηση των ραγδαίων βροχοπτώσεων σε όλες τις εποχές και ιδιαίτερα στη διάρκεια του χειμώνα και του θέρους για την κεντρική-ανατολική Γερμανία και σε άλλες περιοχές, περιγράφονται από ένα μεγάλο αριθμό εργασιών (Hundecha και Bardossy, 2005, Wulfmezer and Hennng Müller, 2006, Zolina et al, 2008, Schlünzen and Hoffmann et al, 2010, Weder, Müller and Brümmer, 2017).

Ακόμα σύμφωνα με τον δείκτη R20mm, η χωρική κατανομή της ετήσιας πολύ ισχυρής βροχόπτωσης (Very Heavy Precipitation) εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά με αυτή της ισχυρής βροχόπτωσης του δείκτη R10mm. Τάση αύξησης των ημερών βροχής σημειώνεται στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, σε ετήσια βάση. Ωστόσο, σε νότιες και δυτικές περιοχές παρατηρούνται τάσεις μείωσης του μέσου αριθμού ημερών βροχής. Αναφορικά με το εύρος των τιμών του δείκτη, αυτό κυμαίνεται από 2 (βορειοανατολική Γερμανία: Born, Friedrichswalde, Frohndorf, Meyenburg, Mistorf-Siemitz, Neetzow, Neutrebbin, Ueckermunde, Zinnowitz) έως 24 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής (νοτιοδυτικά: Furtwangen). Η καταγραφή των περισσότερων ημερών πολύ ισχυρής βροχόπτωσης στη νοτιοδυτική Γερμανία, οφείλεται και στην επίδραση της ορογραφίας, η οποία επηρεάζει τη ροή των αερίων μαζών, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στη δημιουργία πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων στην ομβροπλευρά της οροσειράς.

Από την εποχιακή μελέτη, φαίνεται ότι η άνοιξη αποτελεί την εποχή κατά την οποία κατά μέσο όρο οι ημέρες με πολύ έντονη βροχόπτωση εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα (5 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής), ενώ, κατά τον χειμώνα η συχνότητα εμφάνισης των βροχερών ημερών είναι μεγαλύτερη (8 ημέρες πολύ ισχυρής βροχής) σε σχέση με τις άλλες εποχές, ιδιαίτερα στη νότια Γερμανία. Όσον αφορά την επικράτηση πολύ ραγδαίων βροχοπτώσεων, αυτή μπορεί να ερμηνευτεί με δυναμικούς όρους. Δηλαδή, εμφανίζονται στη χώρα ισχυρά συστήματα χαμηλής πίεσης, που δίνουν ισχυρές καταιγίδες.

Για όλες τις εποχές, υπολογίστηκαν στους περισσότερους σταθμούς τάσεις αύξησης του αριθμού των ημερών πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων. Παρόλα αυτά, τον

χειμώνα σημειώνονται πτώτικές τάσεις στη κεντρική-ανατολική, καθώς και τη νότια Γερμανία, ενώ την άνοιξη οι αρνητικές τάσεις σημειώνονται στη διεύθυνση ανατολής-δύσης. Το καλοκαίρι υπολογίστηκαν πτώτικές τάσεις κυρίως στο νότιο τομέα, ενώ το φθινόπωρο τάσεις μείωσης του μέσου αριθμού ημερών πολύ ισχυρής βροχής εντοπίζονται εκτός από το νότιο τμήμα, και στη διεύθυνση ανατολής-δύσης. Ομοίως, οι Schlünzen, Hoffmann, Rosenhagen και Riecke (2010), συμπεραίνουν την επικράτηση θετικών τάσεων και 20% αύξηση των πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων στην πόλη του Αμβούργου.

Επίσης για τον δείκτη R95p, σε ετήσια βάση εντοπίζονται μικρές τιμές και άρα μικρότερες ακραίες βροχοπτώσεις στο βορειοανατολικό τομέα, ενώ στο νότιο και δυτικό τομέα εμφανίζονται μεγάλες τιμές και κατ'επέκταση ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη (109.5 mm) βρέθηκε βορειοανατολικά (Neetzow) και η μέγιστη τιμή (363.5 mm) βρέθηκε νοτιοδυτικά (Furtwangen). Θετικές τάσεις βρέθηκαν στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, εκτός από τις δυτικές και νότιες περιοχές, όπου σε ένα μικρό αριθμό σταθμών καταγράφονται αρνητικές τάσεις.

Σε εποχιακή βάση, κατά το χειμώνα και το φθινόπωρο σημειώνονται μικρές τιμές στο βορειοανατολικό τομέα, όπου οι ακραίες βροχοπτώσεις είναι ασθενείς. Την άνοιξη μικρές τιμές καταγράφονται στη βόρεια και την ανατολική Γερμανία, ενώ το καλοκαίρι παρατηρούνται στη δυτική Γερμανία. Ακόμα, σε όλες τις εποχές εντοπίζονται μεγάλες τιμές και ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις σε νότιους και δυτικούς σταθμούς, εκτός από το φθινόπωρο, όπου μεγάλες τιμές σημειώνονται εκτός από τους παραπάνω σταθμούς και σε βορειότερους. Ειδικότερα, οι καλοκαιρινοί μήνες χαρακτηρίζονται από ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις, καθώς τότε σημειώνεται η μεγαλύτερη τιμή του 95ου ποσοστημορίου (196.4 mm). Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί είτε θερμικές καταιγίδες λόγω ατμοσφαιρικής αστάθειας είτε σε δυναμικά αίτια (ασθενή συστήματα χαμηλής πίεσης). Αντιθέτως, την περίοδο της άνοιξης οι ακραίες βροχοπτώσεις είναι ασθενέστερες (107.9mm), σε σχέση με τις υπόλοιπες εποχές.

Αναφορικά με τις τάσεις, στους περισσότερους σταθμούς υπολογίστηκαν θετικές τάσεις σε όλες τις εποχές, εκτός από τον χειμώνα. Τη χειμερινή περίοδο αρνητικές τάσεις

σημειώνονται σε πολλές περιοχές της χώρας, εκτός από το βόρειο τομέα, ενώ κατά την εαρινή περίοδο αρνητικές τάσεις εντοπίζονται στα ανατολικά, δυτικά και νότια τμήματα. Επιπλέον, κατά τη θερινή περίοδο παρουσιάζονται αρνητικές τάσεις στους νότιους και δυτικούς τομείς ενώ, κατά την περίοδο του φθινοπώρου αυτές καταγράφονται σε σταθμούς βόρειων, νότιων και ανατολικών περιοχών. Τα παραπάνω συμπεράσματα παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτά των Trömel και Schönwiese (2006), οι οποίοι επισήμαναν την ύπαρξη πτωτικών τάσεων στις περιόδους της άνοιξης και του φθινοπώρου και συνεπώς τη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων, που συνδέονται με πλημμυρικά φαινόμενα, σε νότιους και ανατολικούς σταθμούς.

Σχετικά με τον δείκτη R99p, σε ετήσια βάση στις βορειοανατολικές, κεντρικές και νοτιοδυτικές περιοχές της Γερμανίας σημειώνονται χαμηλές τιμές του 99ου ποσοστημορίου, σε σχέση με τα δυτικά και νότια τμήματα της χώρας. Συνεπώς, στο σταθμό Neetzow (BA Γερμανία) παρουσιάζεται η ελάχιστη τιμή του δείκτη (35.0 mm), ενώ, στο σταθμό Furtwangen (ΝΔ Γερμανία) εμφανίζεται η μέγιστη τιμή (108.7 mm). Στη διαμόρφωση της μέγιστης τιμής πρέπει να ληφθεί υπόψη ο ορεινός όγκος των Άλπεων και η επίδρασή του στη ροή των υγρών αερίων μαζών. Θετικές τάσεις και ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις, σημειώνονται στην πλειοψηφία των μελετώμενων σταθμών, όμως, στις νότιες και ανατολικές περιοχές ένας μικρός αριθμός σταθμών εμφανίζει αρνητικές τάσεις και ασθενέστερες ακραίες βροχοπτώσεις.

Σχετικά με την εποχιακή μελέτη, συμπεραίνεται ότι μικρές τιμές και οι ασθενέστερες ακραίες βροχοπτώσεις, εντοπίζονται κυρίως στο βόρειο τομέα σε όλες τις εποχές. Όμως, οι μεγάλες τιμές και οι ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις, που αρχικά τον χειμώνα, εμφανίζονται στις νότιες και τις δυτικές περιοχές, την άνοιξη περιορίζονται στους δυτικούς σταθμούς, ενώ, το καλοκαίρι επεκτείνονται προς τα ανατολικά. Το φθινόπωρο μεγάλες τιμές και άρα ισχυρότερες ακραίες βροχοπτώσεις καταγράφονται τόσο σε νότιες και δυτικές περιοχές, όσο και σε βορειότερες περιοχές. Επομένως, ο δείκτης λαμβάνει την ελάχιστη (32.1 mm) και τη μέγιστη (142.0 mm) τιμή του την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού αντίστοιχα. Έτσι, οι ακραίες βροχοπτώσεις

στη διάρκεια του καλοκαιριού, δύνανται να ερμηνευτούν ως το αποτέλεσμα θερμικών καταιγίδων ή άλλων καιρικών συστημάτων (κυκλώνες). Ανοδικές τάσεις, που σημαίνουν αύξηση του 99ου ποσοστημορίου, βρέθηκαν στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας και σε όλες τις εποχές. Τον χειμώνα πτωτικές τάσεις, που συνεπάγονται μείωση των μεγάλων ακραίων βροχοπτώσεων, σημειώνονται στα κεντρικά, τα δυτικά και τα νότια τμήματα της Γερμανίας, ενώ την άνοιξη οι πτωτικές τάσεις εντοπίζονται στον δυτικό και τον ανατολικό τομέα της χώρας. Το καλοκαίρι παρουσιάζονται πτωτικές τάσεις σε νότιους και δυτικούς σταθμούς, ενώ, το φθινόπωρο περιορίζονται στο νότιο, το νοτιοδυτικό, καθώς και τον ανατολικό τομέα της χώρας.

Συμπερασματικά, η μελέτη της χωρικής κατανομής των τιμών για κάθε δείκτη, έδειξε ότι η Γερμανία μπορεί να διακριθεί σε περιοχές όπου εμφανίζονται έντονες βροχοπτώσεις και ακραία φαινόμενα, καθώς και σε περιοχές με ηπιότερες συνθήκες. Έτσι, από τα παραπάνω προκύπτει ότι, σε ετήσια βάση, στη βόρεια και τη νότια Γερμανία παρατηρούνται οι ασθενέστερες βροχοπτώσεις και τα μικρότερα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής, καθώς και οι λιγότερες ημέρες ισχυρών και πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων, ενώ όσον αφορά τις ακραίες βροχοπτώσεις, αυτές χαρακτηρίζονται εξαιρετικά ασθενείς. Αντίθετα, ο νότιος και ο δυτικός τομέας της Γερμανίας παρουσιάζουν διαφορετική εικόνα, με την επικράτηση ισχυρών και πολύ ισχυρών βροχοπτώσεων με μεγάλες συχνότητες εμφάνισης. Ακόμα, σε αυτές τις περιοχές καταγράφονται πολύ ισχυρές ακραίες βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα την εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων.

Ανά εποχή, βρέθηκε ότι στη διάρκεια των χειμερινών και των καλοκαιρινών μηνών, στη βόρεια Γερμανία καταγράφονται πολλές ημέρες ισχυρών βροχοπτώσεων και τόσο στο νότιο, όσο και το δυτικό τομέα οι βροχοπτώσεις είναι μεγάλης έντασης και χαρακτηρίζονται από μεγάλα μέγιστα ημερήσια ύψη. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτές τις περιοχές συχνά δημιουργούνται ακραίες βροχοπτώσεις, μεγάλης εντάσεως, οι οποίες το καλοκαίρι επεκτείνονται προς το νότιο τομέα της χώρας. Στις υπόλοιπες εποχές, τα φαινόμενα με μεγάλη ραγδαιότητα και διάρκεια, καθώς και οι ακραίες βροχοπτώσεις



συγκεντρώνονται στα νότια και τα δυτικά τμήματα.. Ιδιαίτερα κατά το φθινόπωρο οι βροχοπτώσεις με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, επεκτείνονται στην ανατολική Γερμανία, όπου όμως δεν εμφανίζονται μεγάλα πλήθη ημερών πολύ ισχυρής βροχής.



Βιβλιογραφία

- Abdi H., 2007. Kendall rank correlation (PDF). In Salkind, N.J. (ed.). *Encyclopedia of Measurement and Statistics*. Thousand Oaks (CA): Sage.
- Alexander L. V. et al., 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research*, 111, D05109, DOI:10.1029/2005JD006290.
- Barton Y. and Giannakaki P., 2016. Clustering of Regional-Scale Extreme Precipitation Events in Southern Switzerland. *American Meteorological Society*, DOI: 10.1175/MWR-D-15-0205.1
- Blüthgen J., Weischet W., 1980. Allgemeine Klimageographie. 3. Auflage. Walter de Gruyter.
- Brien S., Kapala A., Mächel H. and Simmer C., 2013. Regional centennial precipitation variability over Germany from extended observation records. *International Journal of Climatology*, 33, 2167–2184 (2013), DOI:10.1002/joc.3581
- Caloiero T. et al., 2018. Long-term precipitation trend analysis in Europe and in the Mediterranean basin. *Water and Environment Journal*, 32, 433–445, DOI:10.1111/wej.12346
- Collins, M. et al., 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.
- Duan Z. et al., 2018. Spatiotemporal analysis of nonlinear trends in precipitation over Germany during 1951–2013 from multiple observation-based gridded products. *International Journal of Climatology*, 39, 2120–2135, DOI: 10.1002/joc.5939

- Farjad B. et al., 2019. A novel approach for selecting extreme climate change scenarios for climate change impact studies. *Science of the Total Environment*, **678**, 476–485, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.218>
- Geiger R., 1954. Klassifikation der Klimate nach W. Köppen [Classification of climates after W. Köppen]. *Landolt-Börnstein – Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik, alte Serie. Berlin. Springer*, **3**, pp. 603–607.
- Gebrechorkos S. H. et al., 2018. Changes in temperature and precipitation extremes in Ethiopia, Kenya, and Tanzania. *International Journal of Climatology*, **39**, 18–30, DOI: 10.1002/joc.5777
- Grams C. M., Binder H., Pfahl S., Piaget N., and Wernli H., 2014. Atmospheric processes triggering the central European floods in June 2013. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **14**, 1691–1702, 2014, DOI: 10.5194/nhess-14-1691-2014.
- Hänsel S. and Matschullat J., 2009. Monthly trends of daily heavy precipitation indicators from lowland to mountainous regions in Saxony, Germany. *Conference: Sustainable Development and Bioclimate*, At Stará Lesna, Slovakia
- Hänsel S., et al., 2007. Precipitation trend analysis for central eastern Germany, in *Bioclimatology and Natural Hazards*, edited by K. Strelcova and others, pp. 29–38, Springer.
- Hofstätter M. et al., 2017. Large-scale heavy precipitation over central Europe and the role of atmospheric cyclone track types. *International Journal of Climatology*, **38**, 497–517, DOI: 10.1002/joc.5386
- Hoy A. et al., 2017. The extreme European summer of 2015 in a long-term Perspective. *International Journal of Climatology*, **37**, 943–962.
- Hundecha Y., B'ardossy A., 2005. Trends in daily precipitation and temperature extremes across western Germany in the second half of the 20th century. *International Journal of Climatology*, **25**, 1189–1202, DOI: 10.1002/joc.1182.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The physical science basis. *Fourth Assessment Report*, Cambridge University Press.

- IPCC, 2012. PRESS RELEASE-IPCC releases full report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX).
- Irannezhad M. et al., 2017. Analyzing the variability and trends of precipitation extremes in Finland and their connection to atmospheric circulation patterns. *International Journal of Climatology*, **37**, 1053–1066, DOI: 10.1002/joc.5059
- Karl T.R., Nicholls N., and Ghazi A., 1999. CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, **42**, 3-7.
- Keggenhoff I. et al., 2014. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extremes*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2014.05.001>
- Kendall M., 1938. A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika*. **30 (1–2)**, 81–89. DOI:10.1093/biomet/30.1-2.81
- King A. D. and Karoly D. J., 2017. Climate extremes in Europe at 1.5 and 2 degrees of global warming. *Environmental Research Letters*, **12**, 114031, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8e2c>
- Klein Tank A.M.G., Können, G.P., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. *Journal of Climate*, **16**, 3665–3680
[http://dx.doi.org/10.1175/15200442\(2003\)016o3665:tiiodt42.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1175/15200442(2003)016o3665:tiiodt42.0.co;2).
- Klein Tank A.M.G., Zwiers F.W. and Zhang X., 2009. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *WMO-TD No. 1500*, 56 pp.
- Koppe P., Stozek A., 1999. Kommunales Abwasser. **4.** Auflage. Vulkan-Verlag GmbH, Essen.
- Leander R., Buishand T. A., Klein Tank A.M.G., 2013. An alternative index for the contribution of precipitation on very wet days to the total precipitation. *Journal of Climate*, **27**, 1365-1378, DOI:10.1175/JCLI-D-13-00144.1

- Łupikasza E., Hänsel S., Matschullat J., 2011. Regional and seasonal variability of extreme precipitation trends in southern Poland and central-eastern Germany 1951–2006. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.2229
- Łupikasza E.B., 2017. Seasonal patterns and consistency of extreme precipitation trends in Europe, December 1950 to February 2008. *Climate Research*, **72**, 217–237, <https://doi.org/10.3354/cr01467>
- Moberg A. and Jones P.D., 2005. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and Western Europe, 1901-99. *International Journal of Climatology*, **25**, 1149-1171.
- Moberg A., et al., 2006. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analyzed for the period 1901-2000, *Journal of Geophysical Research*, **111**, D22106, DOI: 10.1029/2006JD007103.
- Murawski A. et al., 2015. High spatial and temporal organization of changes in precipitation over Germany for 1951–2006. *International Journal of Climatology*, **36**, 2582–2597, DOI: 10.1002/joc.4514
- Peralta-Hernandez A.R., Balling R.C., Barba-Martinez L.R., 2009. Comparative analysis of indices of extreme rainfall events: Variation and trends from southern Mexico. *Atmosfera*, **22**, 219–228.
- Peterson T.C., and Coauthors, 2001. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneve, Switzerland, 143pp.
- Peterson, T.C., 2005. Climate Change Indices. *WMO Bulletin*, **54 (2)**, 83-86.
- Scaife A. A., Folland C. K., Alexander L. V., Moberg A., and Knight J. R., 2008. European climate extremes and the North Atlantic Oscillation, *Journal of Climate*, **21**, 72–83, DOI:10.1175/2007JCLI1631.1.
- Schädler G., Früh B., Feldmann H., 2007. Present and future return values of heavy precipitation in complex terrain - the black forest region in Germany as an example. *Institute for Meteorology and Climate Research*, Karlsruhe Research Centre and University of Karlsruhe, Germany

- Schlünzen K.H., Hoffmann P., Rosenhagen G., Riecke W., 2010. Long-term changes and regional differences in temperature and precipitation in the metropolitan area of Hamburg. *International Journal of Climatology* **30**: 1121–1136, DOI: 10.1002/joc.1968.
- Scoccimarro E., and Coauthors, 2015. Effects of tropical cyclones on ocean heat transport in a high-resolution coupled general circulation model. *Journal of Climate*, **24**, 4368–4384, DOI:10.1175/2011JCLI4104.1.
- Seo S. B. et al., 2018. Selecting climate change scenarios for regional hydrologic impact studies based on climate extremes indices. *Climate Dynamics*, **52**, 1595–1611, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4210-7>
- Sillmann, J., Kharin V. V., Zhang X., Zwiers F. W., and Bronaugh D., 2013. Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **118**, 1716–1733, DOI:10.1002/jgrd.50203.
- Tolika K. et al., 2017. The exceptionally wet year of 2014 over Greece: a statistical and synoptical-atmospheric analysis over the region of Thessaloniki. *Theoretical and Applied Climatology*, **132**, 809–821, DOI 10.1007/s00704-017-2131-8
- Trömel S. and Schönwiese C. D., 2006. Probability change of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany. *Theoretical and Applied Climatology*, **87**, 29–39, DOI 10.1007/s00704-005-0230-4
- Van den Besselaar E. J. M. et al., 2013. Trends in European precipitation extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology*, **33**: 2682–2689, DOI: 10.1002/joc.3619
- Van Engelen, Aryan, Klein Tank A., Van der Schrier G. and Klok L., 2008. European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), *Report 2008*, "Towards an operational system for assessing observed changes in climate extremes". KNMI, De Bilt, The Netherlands, 68pp.
- Weder C, Müller G. and Brümmer B., 2017. Precipitation extremes on time scales from minute to month measured at the Hamburg Weather Mast 1997–2014 and

- their relation to synoptic weather types. *Meteorologische Zeitschrift*, Vol. 26, No. 5, 507–524, DOI 10.1127/metz/2017/0812
- Wayne D.W., 1990. Kendall's tau. *Applied Nonparametric Statistics* (2nd ed.). Boston: PWS-Kent. pp. 365–377. ISBN 978-0-534-91976-4.
 - Wulfmeyer V., Henning-Müller I., 2006. The climate station of the University of Hohenheim: Analyses of air temperature and precipitation time series since 1878. *International Journal of Climatology*, **26**, 113–138, DOI: 10.1002/joc.1240.
 - Ye H., 2016. Increasing Daily Precipitation Intensity Associated with Warmer Air Temperatures over Northern Eurasia. *Journal of Climate*, **14**, 3140–3155, DOI: 10.1175/1520-0442(2001)014,3140:COWPVO.2.0.CO;2.
 - Zhang X. et al, 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change*, **2**, 851–870, DOI: 10.1002/wcc.147
 - Zolina O., Simmer C., Kapala A., Gulev S., 2005. On the robustness of the estimates of centennial-scale variability in heavy precipitation from stations data over Europe. *Geophysical Research Letters*, **32**, 5, DOI: 10.1029/2005GL023231.
 - Zolina O., Simmer C., Kapala A., Bachner S., Gulev S. K., and H. Maechel, 2008. Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very dense observational network, *Journal of Geophysical Research*, **113**, D06110, DOI: 10.1029/2007JD008393.
 - Zolina O., Simmer C., Belyaev K., Kapala A., Gulev S. K., 2009. Improving estimates of heavy and extreme precipitation using daily records from European rain gauges, *Journal of Hydrometeorology* **10**, 701–716, DOI: 10.1175/2008JHM1055.1.
 - Zolina O., Simmer C., Gulev S. K., Kollet S., 2010. Changing structure of European precipitation: Longer wet periods leading to more abundant rainfalls, *Geophysical Research Letters*, **37**, L06704, DOI: 10.1029/2010GL042468.
 - Zolina O., Simmer C., Belyaev K., Gulev S. K., Koltermann P., 2013. Changes in the Duration of European Wet and Dry Spells during the Last 60 Years. *Journal of climate*, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00498.1



- Φλόκας Α. Α., 1992. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, ISBN: 960431288X

Διαδικτυακές Πηγές

- <https://www.climdex.org/learn/indices/#index-R20mm>
- <http://etccdi.pacificclimate.org/docs/ETCCDMIIndicesComparison1.pdf>
- <https://www.ecad.eu/>
- <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>
- <https://eca.knmi.nl/indicesextremes/>
- <https://web.archive.org/web/20170804183630/https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
- <https://www.britannica.com/place/Germany>
- <https://www.britannica.com/science/orographic-precipitation>
- http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcdmp/CA_3.php