

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



## Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

---

Σκούρα Βασιλική

Επιβλέπων καθηγητής: Δ. Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ  
Αθήνα , Μάρτιος 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

# Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

**Διπλωματική εργασία**

Σκούρα Βασιλική

**Επιβλέπων:** Δημήτρης Κουτσογιάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2020

## **Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

## **Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

Copyright © Σκούρα Βασιλική, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της Σκούρας Βασιλικής. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, 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 στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα. Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Skoura Vasiliki, 2020

All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author. Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

Σκούρα Βασιλική(2020)

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο , Αθήνα

Skoura Vasiliki(2020)

Investigation of the change in extreme precipitation in the Netherlands

Department of Water Resources & Environmental Engineering, School of Civil Engineering,  
National Technical University of Athens

**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

## Ευχαριστίες

Με την εκπόνηση και ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, σηματοδοτείται το τέλος του ταξιδιού της φοίτησής μου στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ένα ταξίδι που με έκανε πιο πλούσια σε γνώσεις και εμπειρίες και που μου έφερε πιο κοντά στο επάγγελμα του Πολιτικού Μηχανικού. Μέσα στο ταξίδι αυτό πέρα από γνώση, μου δόθηκε η ευκαιρία να μάθω καλύτερα τον εαυτό μου, να εξελιχθώ σαν προσωπικότητα και να γνωρίσω ξεχωριστούς ανθρώπους που συνέβαλαν με τον τρόπο τους στην αρμονική και γεμάτη πορεία αυτού του ταξιδιού.

Γεμάτη πια με εφόδια και εμπειρίες θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω θερμά, τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου εργασίας, κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη, για τις γνώσεις που μου παρείχε, την καθοδήγηση αλλά και την εμπιστοσύνη που μου επέδειξε κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Το ακαδημαϊκό και προσωπικό του ήθος και η αγάπη του για τους φοιτητές τον καθιστά πρότυπο καθηγητή.

Εν συνεχεία, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Marcel Crok και τον κ. Rob de Vos, ελεύθερους δημοσιογράφους για επιστημονικά ζητήματα, που συνέβαλαν ως κινητήριο δύναμη για την έναρξη αυτής της εργασίας. Καθώς αποτέλεσαν αφετηρία και ερέθισμα αυτής της εργασίας μέσα από την επιστημονική τους εργασία "*Waarom de KNMI-scenario's niet zullen uitkomen*".

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Παναγιώτη Δημητριάδη και την Άνυ Ηλιοπούλου για την συμβολή τους και τον χρόνο που αφιέρωσαν στην συνεργασία μας.

Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, τον πατέρα μου Γιάννη, την μητέρα μου Σπυριδούλα και τον αδερφό μου Παναγιώτη για την στήριξη, την υπομονή και την αγάπη που μου έδειξαν τόσο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας όσο και κατά τη διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων. Η στάση τους αποτέλεσε για μένα κινητήριο δύναμη και έμπνευση για να συνεχίσω.

Σκούρα Βασιλική

Μάρτιος 2020, Αθήνα



**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

## Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

Σκούρα Βασιλική

**Επιβλέπων:** Δημήτρης Κουτσογιάννης, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Μάρτιος 2020

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη μεταβολή των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία. Το ερέθισμα προήλθε από την παρουσίαση ενός σεναρίου από το KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) σχετικά με την αύξηση των βροχοπτώσεων στην Ολλανδία και την πιθανότητα της εξέλιξης του φαινομένου σε ακραίο. Η βροχόπτωση μπορεί να αποτελέσει ένα από τα καιρικά φαινόμενα με έντονη επιρροή στη ζωή αυτού του πλανήτη καθώς και στην καθημερινότητά μας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ερευνητική κοινότητα να προσπαθεί να ερευνήσει αν το φαινόμενο αυτό αποδίδεται σε ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και να εντοπίσει ακραίες τάσεις του .

## Σκούρα Βασιλική

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

Αρχικά γίνεται μια αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο όπου αναλύονται θεωρήματα και μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία δεδομένων για τον εντοπισμό ακραίων τιμών, ξεκινώντας με μια ιστορική αναδρομή στη μεθοδολογία αυτή.

Επιπλέον παρουσιάζονται τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων. Τα υδρολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) που είναι η Ολλανδική εθνική μετεωρολογική υπηρεσία. Στη συνέχεια διορθώθηκαν και επεξεργάστηκαν στατιστικά μέσω Matlab, Excel και «Υδρογνώμονα». Δεδομένα λήφθηκαν τόσο για τα ωριαία ύψη βροχής όσο και για τα ημερήσια ύψη βροχής.

Με τη βοήθεια των παραπάνω λογισμικών κατέστη εφικτή η δημιουργία διαγραμμάτων συναρτήσεως του ύψους βροχής και της περιόδου επαναφοράς. Αυτά τα διαγράμματα φτιάχτηκαν τόσο για κάθε σταθμό όσο και για το σύνολο των δεδομένων. Η δημιουργία τους είναι σημαντική ώστε να γίνει η σύγκρισή τους με το διάγραμμα από το σενάριο του KNMI και να διερευνηθεί ο τρόπος δημιουργίας αυτού του διαγράμματος. Επιπλέον δημιουργήθηκαν διαγράμματα της GEVmax για κάθε σταθμό τόσο για τα ωριαία όσο και για τα ημερήσια ύψη βροχής και συλλέχθηκαν οι παράμετροί τους. Επιπρόσθετα για τα ημερήσια ύψη βροχής δημιουργήθηκαν διαγράμματα POT καθώς χρησιμοποιήθηκαν και στην εφαρμογή του Mann Kendal test.

Τέλος, εξάγονται συμπεράσματα από την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων για την διαπίστωση της ύπαρξης ή μη αύξησης των βροχοπτώσεων στην Ολλανδία καθώς και την τάση αυτών.

**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTEMENT OF WATER RESOURCES &  
ENVIROMENTAL ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

**Investigation of the change in extreme precipitation in the  
Netherlands  
Skoura Vasiliki**

**Supervisor: Dr. Demetris Koutsoyiannis, Professor of NTUA**

Athens, March 2020

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the change in extreme rainfall in the Netherlands. The stimulus came from the presentation of a KNMI scenario about increased rainfall in the Netherlands and the likelihood of an extreme event. Precipitation can be one of the weather phenomena with a strong influence on the life of this planet and on our daily lives. This results in the research community trying to investigate whether this phenomenon is attributed to anthropogenic interventions and identifying its extreme trends.

Initially, based on literature, theories and methods used in data processing to identify extreme values are analyzed, starting with a historical overview

In addition, the software used to process the data is presented. Hydrological data were collected from the KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) database, which is the Netherlands National Meteorological Service. They were subsequently corrected and

## **Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

processed statistically via Matlab, Excel and Hydrognomon. Hourly and daily precipitation data were obtained.

With the help of the above software, it was possible to create charts based on the amount of rain and the recovery period. These diagrams were made for each station and for all the data. Creating them is important in order to compare them with the diagram from the KNMI script and to explore how to create this diagram. In addition, GEVmax charts were generated for each station for both hourly and daily rainfall and their parameters were collected. In addition to the daily rainfall totals, POT charts were created as well as used in the application of the Mann Kendal test.

Finally, conclusions are drawn from the application of the above methods to determine the presence or absence of rainfall in the Netherlands and their trend.

## **ACKNOWLEDGMENTS**

This thesis would not have been possible without the help of two freelance science writers, Marcel Crok and Rob de Vos. I would like to thank them both for sharing their useful ideas, for their helpful comments and for their wonderful work that is a stimulus for reflection and exploration.

Most importantly, a big thank you to my academic supervisor, Demetris Koutsoyiannis, not only for his help in the development of my research project but also mentoring me through all aspects of undergraduate school.

And another special thank you to my family for their support throughout my studies and to my friends for their motivating words.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	IX
Abstract .....	XI
ACKNOWLEDGMENTS .....	XIII
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	- 1 -
1.1. Γενικές πληροφορίες.....	- 1 -
1.2. Αντικείμενο της εργασίας .....	- 2 -
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....	- 5 -
2.1 Εισαγωγικά .....	- 5 -
2.2 Ιστορική αναδρομή στη μεθοδολογία ακραίων τιμών .....	- 6 -
2.3 Εισαγωγή στη θεωρία ακραίων τιμών .....	- 7 -
2.4 Θεμελιώδες θεώρημα των Fisher-Tippett.....	- 8 -
2.5 Γενικευμένη κατανομή ακραίων τιμών-GEV.....	- 11 -
2.6 Γενικευμένη κατανομή PARETO .....	- 13 -
2.7 L-Ροπές.....	- 15 -
2.8 Mann Kendal Test.....	- 18 -
3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	- 21 -
3.1 Λογισμικό Υδρογνώμων ή Υδρογνώμονας .....	- 21 -
3.2 Λογισμικό Matlab.....	- 26 -
4. ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	- 29 -
4.1 Συλλογή, διόρθωση και επεξεργασία δεδομένων.....	- 29 -
4.2 Γεωμορφολογικά και κλιματικά χαρακτηριστικά .....	- 31 -
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	- 33 -
5.1 Επεξεργασία δεδομένων ωριαίων υψών βροχής.....	- 33 -
5.1.1 Δημιουργία διαγραμμάτων συναρτήσεως του ύψους βροχής και της περιόδου επαναφοράς και σύγκριση με το διάγραμμα της KNMI .....	- 33 -
5.1.2 Διαγράμματα GEVmax βάση τα δεδομένα από ωριαία υψή βροχης.....	- 40 -
5.2 Επεξεργασία δεδομένων ημερήσιων υψών βροχής .....	- 44 -
5.2.1 Υπολογισμός και γραφική απεικόνιση των μέγιστων ημερήσιων υψών βροχής.....	- 44 -
5.2.2 Εφαρμογή Mann Kendall (MK) test.....	- 45 -

**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

5.2.3	Διαγράμματα GEVmax βάση τα δεδομένα από ημερησια υψη βροχης.....	- 46 -
5.3	Επεξεργασία δεδομένων ημερήσιων και ωριαίων υψών βροχής .....	- 50 -
6.	ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	- 57 -
7.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ .....	- 59 -
8.	Ηλεκτρονικές Ιστοσελίδες .....	- 61 -



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ 5. 1: Διάγραμμα του σταθμού DeKooy .....	- 33 -
ΣΧΗΜΑ 5. 2: Με πράσινο χρώμα φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για την περίοδο 2000-2011(οι υπόλοιπες γραμμές αποτελούν στοιχεία του KNMI) .....	- 34 -
ΣΧΗΜΑ 5. 3: Με πράσινο χρώμα φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για την περίοδο 1957-1969(οι υπόλοιπες γραμμές αποτελούν στοιχεία του KNMI) .....	- 35 -
ΣΧΗΜΑ 5. 4: Με πράσινο χρώμα φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για την περίοδο 1976-1999(οι υπόλοιπες γραμμές αποτελούν στοιχεία του KNMI) .....	- 36 -
ΣΧΗΜΑ 5. 5: Με πράσινο χρώμα φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για την περίοδο 1986-1999(οι υπόλοιπες γραμμές αποτελούν στοιχεία του KNMI) .....	- 37 -
ΣΧΗΜΑ 5. 6: Με πράσινο χρώμα φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για την περίοδο 2000-2011(οι υπόλοιπες γραμμές αποτελούν στοιχεία του KNMI) .....	- 38 -
ΣΧΗΜΑ 5. 7: Με πράσινο χρώμα φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για την περίοδο 1970-1999 με δεδομένα από τους 5 σταθμούς που ξεκινούν τη δεκαετία του 1950 (οι υπόλοιπες γραμμές αποτελούν στοιχεία του KNMI)-	39
-	
ΣΧΗΜΑ 5. 8: Με πράσινο χρώμα φαίνεται το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για την περίοδο 2000-2011 με δεδομένα από τους 5 σταθμούς που ξεκινούν τη δεκαετία του 1950 (οι υπόλοιπες γραμμές αποτελούν στοιχεία του KNMI)-	39
-	
ΣΧΗΜΑ 5. 9: Διάγραμμα GEVmax για τον σταθμό De Bilt για την περίοδο 1950-2011 με $\kappa=0,15$ .....	- 40 -
ΣΧΗΜΑ 5. 10: Διάγραμμα GEVmax για τον σταθμό De Bilt για την περίοδο 1950-2011 με $\kappa=0,2655$ .....	- 41 -
ΣΧΗΜΑ 5. 11: Διάγραμμα GEVmax για τον σταθμό De Bilt για την περίοδο 1950-2069 με $\kappa=0,2655$ .....	- 41 -
ΣΧΗΜΑ 5. 12: Διάγραμμα GEVmax για τον σταθμό De Bilt για την περίοδο 1970-1999 με $\kappa=0,2655$ .....	- 42 -
ΣΧΗΜΑ 5. 13: Διάγραμμα GEVmax για τον σταθμό De Bilt για την περίοδο 2000-2011 με $\kappa=0,2655$ .....	- 42 -
ΣΧΗΜΑ 5. 14: Παράμετροι της GEV για τον σταθμό .....	- 44 -
ΣΧΗΜΑ 5. 15: Διάγραμμα του σταθμού Hollum για τα μέγιστα ημερήσια ανά έτος. ...	- 44 -
ΣΧΗΜΑ 5. 16: Διάγραμμα POT του σταθμού Hollum ανά έτος. ....	- 45 -

ΣΧΗΜΑ 5. 17: Απεικόνιση αποτελεσμάτων Mann Kendall (MK) test.....	- 46 -
ΣΧΗΜΑ 5. 18: Διάγραμμα GEVmax για τον σταθμό De Bilt για την περίοδο 1910-2018 με $\kappa=0,03722$ .....	- 46 -
ΣΧΗΜΑ 5. 19: Διάγραμμα GEVmax για τον σταθμό De Bilt για την περίοδο 1910-2018 με $\kappa=0,15$ .....	- 47 -
ΣΧΗΜΑ 5. 20: Παράμετρος $\kappa$ της GEV για τον σταθμό .....	- 49 -
ΣΧΗΜΑ 5. 21: Οι κοινοί σταθμοί με την περίοδο λειτουργίας τους. ....	- 50 -
ΣΧΗΜΑ 5. 22: Διάγραμμα για τον σταθμό De Bilt με το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 50 -
ΣΧΗΜΑ 5. 23: Διάγραμμα για τον σταθμό De Bilt με το ημερήσιο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 51 -
ΣΧΗΜΑ 5. 24: Διάγραμμα για τον σταθμό Eindhoven με το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 51 -
ΣΧΗΜΑ 5. 25: Διάγραμμα για τον σταθμό Eindhoven με το ημερήσιο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 52 -
ΣΧΗΜΑ 5. 26: Διάγραμμα για τον σταθμό Herwijnen με το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 52 -
ΣΧΗΜΑ 5. 27: Διάγραμμα για τον σταθμό Herwijnen με το ημερήσιο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 53 -
ΣΧΗΜΑ 5. 28: Διάγραμμα για τον σταθμό Hooghiemte με το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 53 -
ΣΧΗΜΑ 5. 29: Διάγραμμα για τον σταθμό Hoorn με το ημερήσιο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 54 -
ΣΧΗΜΑ 5. 30: Διάγραμμα για τον σταθμό Valkenbung με το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 54 -
ΣΧΗΜΑ 5. 31: Διάγραμμα για τον σταθμό Valkenbung με το ημερήσιο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 55 -
ΣΧΗΜΑ 5. 32: Διάγραμμα για τον σταθμό Vlissingen με το ωριαίο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 55 -
ΣΧΗΜΑ 5. 33: Διάγραμμα για τον σταθμό Vlissingen με το ημερήσιο ύψος βροχής προς την περίοδο επαναφοράς για διάφορες χρονικές περιόδους. ....	- 56 -

**Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ

Ο σύγχρονος κόσμος έρχεται συχνά αντιμέτωπος με απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τόσο τη ζωή του ανθρώπου όσο και το ίδιο το οικοσύστημα. Ένα από αυτά τα καιρικά φαινόμενα με έντονη επιρροή στη ζωή αυτού του πλανήτη αποτελεί και η βροχόπτωση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τις τελευταίες δεκαετίες η μεταβλητότητα του κλίματος να αποτελέσει αντικείμενο πολλών επιστημονικών μελετών που συσχετίζονται έντονα με τις βροχοπτώσεις<sup>1</sup>. Έχει υπάρξει μοντέρνος τρόπος να εντοπιστούν οι τάσεις των ακραίων φαινομένων και να αποδοθούν στις ανθρωπογενείς κλιματικές αλλαγές καθώς αυτή η μεταβλητότητα θεωρείται από ορισμένους ως ένα ασυνήθιστο φαινόμενο. Παρόλο που η πλειονότητα των αναλύσεων τείνουν να εντοπίζουν αυξανόμενες (και μερικές φορές μειούμενες τάσεις) σε υδρομετεωρολογικά ακραία σημεία, υπάρχουν μερικά έργα που δεν δείχνουν σημαντική αλλαγή στην ουρά διανομής των διαδικασιών. Μερικές αναλύσεις έχουν δείξει ότι οι αλλαγές στα άκρα μπορούν να εξηγηθούν επαρκώς από τη συμπεριφορά Hurst-Kolmogorov (HK). Σε αυτή την εργασία, δοκιμάζουμε την συμπεριφορά ουράς ορισμένων γνωστών κατανομών. Τέλος, παρέχουμε επεξηγηματικά παραδείγματα από γραφήματα σταθμών όπου παρατηρήθηκαν οι υψηλότερες τιμές.

Πιο συγκεκριμένα, στις Κάτω Χώρες, το KNMI, ισχυρίζεται ότι η βροχή στην Ολλανδία γίνεται πιο ακραία και χρησιμοποιούν ένα γράφημα για να στηρίξουν τη γνώμη τους<sup>2</sup>. Εδώ εξετάζουμε την κλιματική μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων με βάση τις παρατηρήσεις από 29 σταθμούς με χρονικό εύρος (λιγότερο από 60 χρόνια, τα περισσότερα από τα οποία τέθηκαν σε λειτουργία κατά τη δεκαετία του 90 ή και αργότερα), τα οποία είναι ωριαίες βροχοπτώσεις και τα οποία χρησιμοποιούνται στο γράφημα. Χρησιμοποιήσαμε επίσης παρατηρήσεις από 101 σταθμούς με χρονικό εύρος (πάνω από 100 χρόνια) από όλη την Ολλανδία, τα οποία αφορούν ημερήσιες βροχοπτώσεις και βοηθούν στην ενίσχυση της έρευνας για τον εντοπισμό ακραίων καταστάσεων.

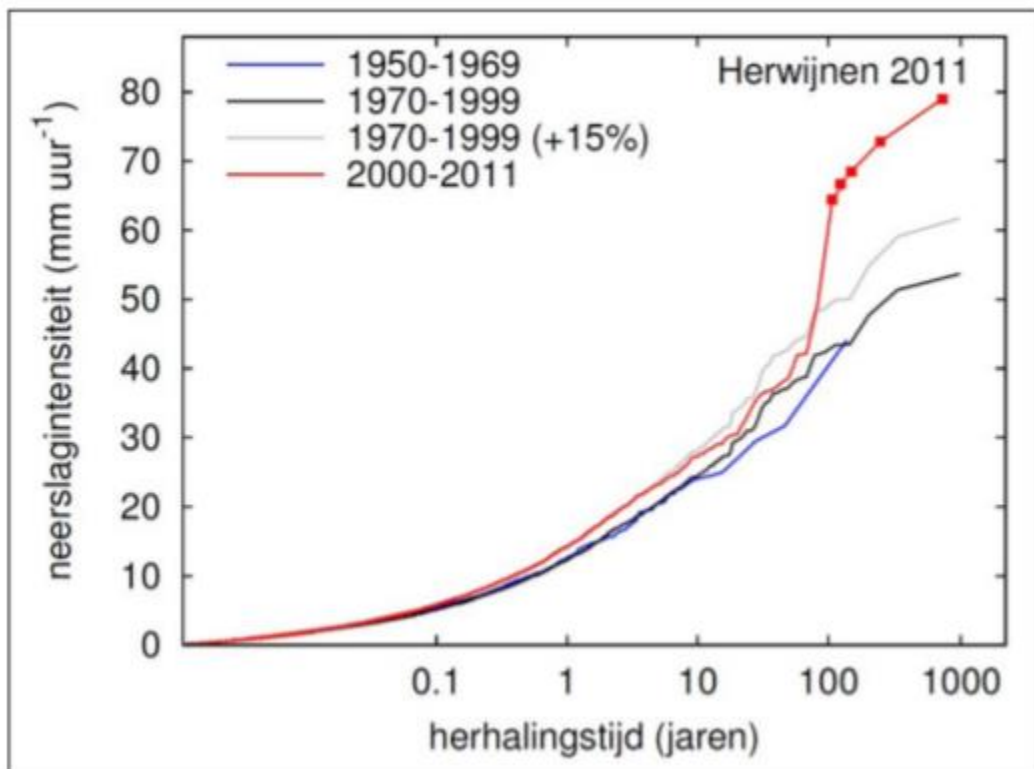
---

<sup>1</sup>“Climate Change and Changes in Global Precipitation Patterns: What Do We Know? Mohammed H.I. Dore\*.”

<sup>2</sup> “<https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/regenintensiteit>.”

## 1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με τα κλιματικά σενάρια του KNMI'14, η ποσότητα των βροχοπτώσεων παρουσιάζει ανοδική πορεία κατά μέσο όρο και η πιθανότητα ακραίων βροχοπτώσεων με χαλάζι και καταιγίδες τείνει να αυξηθεί. Επειδή οι ακραίες βροχοπτώσεις απαιτούν μικρό χρονικό διάστημα και συχνά έχουν τοπικό μέγεθος, οι χρόνοι χάραξης είναι πολύ σημαντικό στοιχείο για τις μετρήσεις. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο το KNMI καταφεύγει σε ωριαίες μετρήσεις. Το KNMI υποστηρίζει ότι στις πρόσφατες μετρήσεις των ωριαίων βροχοπτώσεων μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι ακραίες βροχοπτώσεις τείνουν να γίνουν πιο ακραίες.



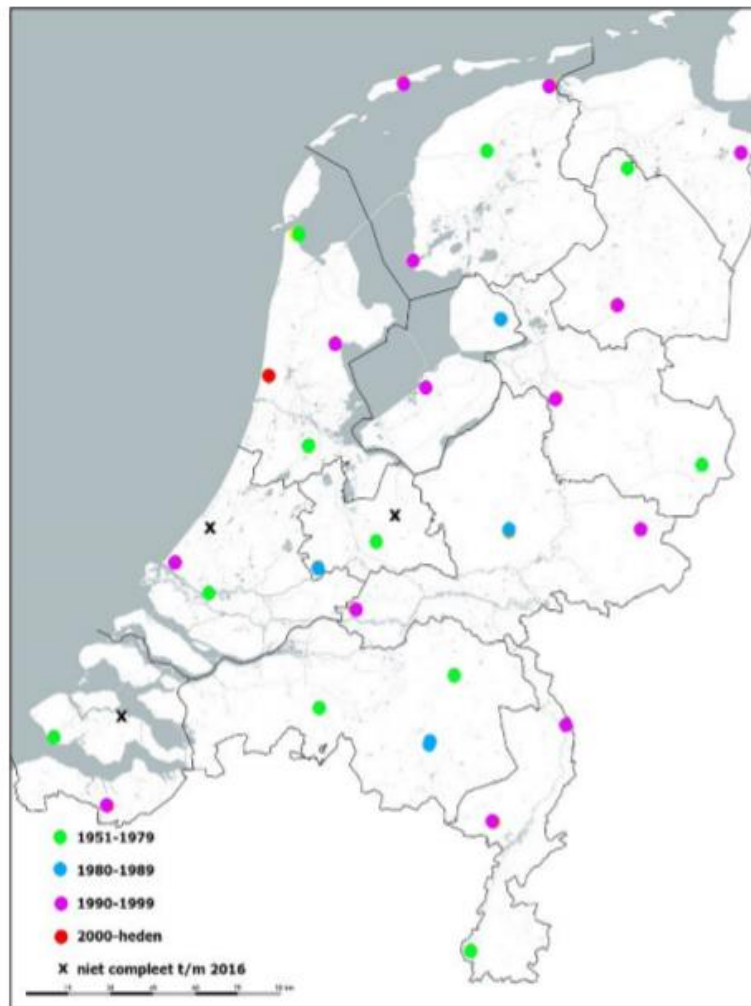
**ΣΧΗΜΑ 1. 1:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΤΑ ΥΨΗΛΟΤΕΡΑ ΩΡΙΑΙΑ ΠΟΣΑ. ΠΗΓΗ: KNMI.<sup>3</sup>

Στο σχήμα 1.1 το KNMI έχει ρυθμίσει το ύψος βροχής σε mm / ώρα έναντι του επανομαζόμενου χρόνου επαναφοράς σε έτη. Η τάση της κόκκινης γραμμής είναι εντυπωσιακή και καθορίζεται από 5 ακραίες βροχοπτώσεις με ωριαία ποσά άνω των 60 mm. Η μπλε γραμμή και η μαύρη γραμμή σχεδιάζονται με βάση τα δεδομένα βροχόπτωσης των βαρύτερων ωριαίων περιόδων κατά την περίοδο αυτή. Η ανοιχτό γκρι γραμμή είναι η μαύρη γραμμή + 15%.

<sup>3</sup> [https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/regenintensiteit.](https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/regenintensiteit)

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



**ΣΧΗΜΑ 1.2:** ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΜΕ ΩΡΙΑΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΝΑΡΞΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.

Το Σχήμα 1.2 δείχνει τη θέση και την περίοδο θέσης σε λειτουργία των σταθμών με τα δεδομένα από τα ωριαία ύψη βροχής. Σήμερα υπάρχουν 30 σταθμοί που μετράνε τα ωριαία ύψη βροχής. Δυστυχώς, οι περισσότεροι από αυτούς τους σταθμούς δεν έχουν

## Σκούρα Βασιλική

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

χρησιμοποιηθεί για τόσο μεγάλο χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα, ο σταθμός Herwijnen (με ρεκόρ σε ωριαίο ύψος βροχής 76 mm το 2011) έχει ξεκινήσει την καταγραφή δεδομένων από τις 4 Μαΐου 1993. Τα άλλα τέσσερα κόκκινα τετράγωνα ακραίων βροχοπτώσεων στο σχήμα 1.1 προέρχονται επίσης από σταθμούς βροχοπτώσεων που μετράνε μόνο την ωριαία βροχόπτωση για σχετικά μικρό χρονικό διάστημα. Αυτοί είναι οι σταθμοί Marknesse όπου στις 2 Ιουνίου 2003 παρατηρήθηκε ύψος βροχής 72,8 mm, Westdorpe όπου στις 5 Αυγούστου 2005 παρατηρήθηκε ύψος βροχής 68,5 mm, Deelen όπου στις 28 Ιουλίου 2014 παρατηρήθηκε ύψος βροχής 66,8 mm και Cabauw όπου στις 29 Ιουνίου 2005 παρατηρήθηκε ύψος βροχής 64,4 mm. Ακραία ύψη βροχής μεγαλύτερα από 25mm / ώρα έχουν συνήθως πολύ περιορισμένο μέγεθος και σπάνια υπερβαίνουν τη διάμετρο που υπερβαίνει τα λίγα χιλιόμετρα. Ακραία ύψη βροχής με βροχόπτωση άνω των 50 mm εντοπίζονται συχνά σε σταθμούς που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Συνεπώς η πιθανότητα να εντοπιστεί μια τέτοια ακραία διάθεση με το πολύ στο δίκτυο 29 σταθμών ωρών είναι μάλλον μικρή. Αυτή η πιθανότητα είναι πολύ μικρότερη με ένα δίκτυο μόνο δεκαπέντε σταθμών, όπως υπήρχε πριν από το 1990 (οι πράσινες και μπλε κουκίδες στο Σχήμα 1.2). Ενώ πριν από το 1957, μόνο ο De Bilt ήταν ενεργός.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι, μεταξύ άλλων, η διερεύνηση του ισχυρισμού του KNMI με τη χρήση των ίδιων δεδομένων που χρησιμοποιήσαν καθώς και με τη χρήση περισσότερων δεδομένων. Στην προσπάθεια αυτή θα προσπαθήσουμε να αναπαράγουμε το ίδιο γράφημα με τη χρήση ίδιων χρονοσειρών βροχής αλλά θα επεξεργαστούμε και χρονοσειρές βροχής με μεγαλύτερο εύρος χρόνων για να εξετάσουμε κατά πόσο έχουμε παρουσία ακραίων κατακρημνίσεων στις Κάτω Χώρες.

Τη στατιστική αυτή ανάλυση μπορούμε να τη διαιρέσουμε εν συντομία σε τρεις επιμέρους ενότητες. Η πρώτη αφορά την συλλογή, επεξεργασία και διόρθωση των χρονοσειρών βροχής από τη βάση δεδομένων του KNMI.

Η δεύτερη αφορά την τη χρήση των ίδιων χρονοσειρών βροχής και τη δημιουργία του γραφήματος λαμβάνοντας υπόψιν το διαφορετικό εύρος λειτουργίας κάθε σταθμού και διερευνώντας την επιρροή που μπορεί να έχει αυτό στην έρευνά μας.

Η τελευταία ενότητα αφορά την ανάλυση στατιστικών χαρακτηριστικών χρονοσειρών, με ίδιο εύρος λειτουργίας για όλους τους σταθμούς, εξάγοντας συνοπτικούς πίνακες και διαγράμματα. Επιπλέον επεξεργάζονται και αναλύονται δεδομένα και από τα ημερήσια ύψη βροχής ώστε να δοθεί μια πιο πλήρη εικόνα του φαινομένου.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής εξετάζονται δεδομένα βροχοπτώσεων από 101 σταθμούς της Ολλανδίας με ημερήσιες καταγραφές κατακρημνίσεων και από σταθμούς της Ολλανδίας με ωριαίες καταγραφές κατακρημνίσεων. Για την μελέτη της βροχόπτωσης χρειάζεται να αντιμετωπιστεί ως τυχαία μεταβλητή που ορίζεται από μια κατανομή και εφαρμόζονται μέθοδοι για την εύρεση, κάθε φορά, κατάλληλης κατανομής που να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στις ακραίες βροχοπτώσεις. Λαμβάνοντας υπόψιν την κατανομή που ακολουθούν οι ακραίες τιμές και αντιστοιχίζοντας κάθε ακραία τιμή με μια περίοδο επαναφοράς μπορούμε να καταλήξουμε αν ένα γεγονός βροχόπτωσης είναι ακραίο.

### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Η Θεωρία των ακραίων τιμών (Extreme Value Theory) είναι ένας κλάδος της στατιστικής που έχει ως αντικείμενο την ανάπτυξη και μελέτη στοχαστικών μοντέλων με σκοπό την επίλυση προβλημάτων που σχετίζονται με την εμφάνιση <<πολύ μεγάλων>> ή <<πολύ μικρών >> τιμών και άρα ακραίων και σπάνιων γεγονότων σε τυχαία πειράματα, σε αντίθεση με την κλασική στατιστική την οποία ενδιαφέρει η μέση συμπεριφορά της στοχαστικής διαδικασίας. Οι μέθοδοι ακραίων τιμών είναι στατιστικές μέθοδοι που αναλύουν, όπως είναι εμφανές τις ακραίες τιμές μιας διεργασίας .

Η Θεωρία Ακραίων Τιμών μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη:

- 1) Το πιθανοθεωρητικό μέρος, που αφορά τη μελέτη της στοχαστικής συμπεριφοράς ακραίων παρατηρήσεων.
- 2) Το στατιστικό μέρος, που αποτελείται από μοντέλα ερμηνείας , εκτιμήσεων και προβλέψεων ακραίων συμβάντων με βάση πραγματικά δεδομένα.

Η θεωρία ακραίων τιμών βρίσκει εφαρμογές τόσο στον τομέα της Υδρολογίας, σε ζητήματα πλημμυρών, όσο και στον τομέα των Οικονομικών, της Σεισμολογίας, της Αξιοπιστίας Συστημάτων καθώς και της Μετεωρολογίας για την πρόβλεψη ακραίων φαινομένων όπως μπορεί να είναι τα γεγονότα ισχυρής βροχόπτωσης .

Για να βρεθεί η οριακή κατανομή μεγίστων (και ελαχίστων) υπάρχουν δύο τάξεις κατανομών ακραίων τιμών. Η πρώτη ονομάζεται Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων Τιμών, εισήχθη από τον Jenkinson (1955) και περιλαμβάνει τρεις κατανομές ακραίων τιμών. Η δεύτερη ονομάζεται Γενικευμένη Κατανομή Pareto, εισήχθη από τους Balkema(1974) και deHann (1975) και περιλαμβάνει την κατανομή Pareto, την Εκθετική και την Ομοιόμορφη. Και οι δύο τάξεις αναλύονται παρακάτω.



## 2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ

Οι πρώτες έρευνες στον τομέα της Θεωρίας Ακραίων Τιμών έγιναν από στατιστικούς αναλυτές. Έπειτα ασχολήθηκαν οι υδρολόγοι στις αρχές του 1970, οι αναλογιστές το 1980, οι αναλυτές οικονομικών χρονοσειρών στα μέσα του 1990 και τελικά οι διαχειριστές ποσοτικού κινδύνου στα τέλη του 1990. Παρακάτω δίνονται τα κυριότερα ιστορικά γεγονότα στη Θεωρία Ακραίων Τιμών (Dalle Molle, 2002)

Η τυπική κατανομή Pareto πήρε το όνομά της από τον Ιταλό μηχανικό και οικονομολόγο Vilfredo Pareto (1848-1923). Ο Pareto ήταν ο πρώτος που μελέτησε δυναμικού τύπου κατανομές και για το λόγο αυτό οι κατανομές αυτές αναφέρονται συχνά ως κατανομές τύπου Pareto. Ο Pareto ερεύνησε τα στατιστικά χαρακτηριστικά του πλούτου των ατόμων σε μια σταθερή οικονομία.

Οι πρώτες πρωτοποριακές έρευνες στη Θεωρία Ακραίων Τιμών έγιναν από τον Fisher (1927) και τους Fisher και Tippett (1928) και αφορούσαν την ασυμπτωτική συμπεριφορά των κατανομών μεγίστου και ελαχίστου του δείγματος. Ήταν οι πρώτοι που διατύπωσαν τους τρεις θεμελιώδεις τύπους ασυμπτωτικών κατανομών ακραίων τιμών. Το Θεώρημα Fisher - Tippett περιγράφει την ασυμπτωτική συμπεριφορά του δείγματος της κατανομής των μεγίστων και είναι ανάλογο με το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα για το δείγμα της κατανομής των κανονικοποιημένων αθροισμάτων (Fisher & Tippett, 1928).

Η κατανομή Weibull πήρε το όνομά της από τον Σουηδό φυσικό Waloddi Weibull ο οποίος πρώτος πρότεινε αυτή την κατανομή το 1939 στο πλαίσιο των ερευνών για την αντοχή υλικών (Weibull, 1939)

Ο von Mises (1936) πρώτος πρότεινε τον συνδυασμό των τριών τύπων κατανομών της Θεωρίας Ακραίων Τιμών σε έναν τύπο που ονομάζεται Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων Τιμών. Ο ίδιος έδωσε τις επαρκείς συνθήκες για να ανήκει μια κατανομή στο μέγιστο πεδίο έλξης μιας κατανομής ακραίων κατανομών (1936) οι οποίες συχνά καλούνται συνθήκες von Mises (von Mises, 1936).

Ο Gnedenko (1943) ήταν ο πρώτος που εξέτασε τους τρεις θεμελιώδεις οριακούς τύπους ακραίων τιμών υπό αυστηρά μαθηματική σκοπιά. Από αυτόν δόθηκαν οι αναγκαίες και ικανές συνθήκες για να ανήκει μια ακολουθία τυχαίων μεταβλητών σε κάποιο από τα τρία πεδία έλξης (1943) και έπειτα ο de Haan έδωσε σε αυτές μια πιο απλή μορφή (1976). Ο Gnedenko επίσης έδειξε ότι αν η ουρά της κατανομής φθίνει σαν συνάρτηση δύναμης, τότε η κατανομή ανήκει στο πεδίο έλξης της κατανομής Fréchet.

Η εφαρμοσιμότητα της Θεωρίας Ακραίων Τιμών μελετήθηκε εκτενώς από τον Gumbel (Gumbel, 1958). Πρότεινε την ομώνυμη κατανομή καθώς και τη μέθοδο Μεγίστων Τεμαχίων (Block Maxima), η οποία είναι ένα από τα παλαιότερα μοντέλα της κλασικής

ανάλυσης ακραίων τιμών (ονομάζεται αλλιώς Μέθοδος Υπερβάσεων Gumbel). Οι κατανομές των μεγίστων και ελαχίστων συνδέονται με την αρχή της ιδιότητας της συμμετρίας, η οποία εισήχθη από τον Gumbel. Η αρχή αυτή υποδηλώνει ότι τα αποτελέσματα των μεγίστων μπορούν να τροποποιηθούν κατάλληλα για να εφαρμοστούν στα ελάχιστα. Ο Gumbel τέλος παρουσιάζει τις λεπτομέρειες διαδικασιών στατιστικής εκτίμησης και δίνει πολλά επεξηγηματικά παραδείγματα εφαρμογών Θεωρίας Ακραίων Τιμών στη Φυσική και τη Μηχανική.

Η γ-παραμετροποίηση των κατανομών ακραίων τιμών οφείλεται στον von Mises (1936) και συχνά συνδυάζεται και με το όνομα του Jenkinson(1955).

Η Γενικευμένη Κατανομή Ακραίων Τιμών με τρεις παραμέτρους εισήχθη από τον Jenkinson (1955 και 1969) για να προσδιορίσει τις κατανομές συχνότητας των μεγαλύτερων τιμών μετεωρολογικών δεδομένων όταν είναι άγνωστη η οριακή μορφή της κατανομής ακραίων τιμών.

Το θεώρημα Pickands-Balkema-deHaan, το οποίο συνδέει την οριακή μορφή της κατανομής υπέρβασης για υψηλά κατώφλια με τη συνάρτηση γενικευμένης κατανομής Pareto, απεδείχθη από τους Balkema και deHaan(1974) και από τον Pickands (1975). Απέδειξαν ότι η οριακή έκφραση για τις διαβαθμισμένες υπερβάσεις της τυχαίας μεταβλητής  $X$  πάνω από ένα υψηλό κατώφλι  $u$  μπορεί να προσεγγιστεί από τη Γενικευμένη Pareto κατανομή.

Η μέθοδος Άνω Κάτω φλοιού (Peakover Thershold-POT) χρησιμοποιείται από τους υδρολόγους για πάνω από 25 χρόνια(Embrechtsetal., 1977)

Οι πρώτες εφαρμογές στη διαχείριση κινδύνου έγιναν με τη συμβολή των αναλογιστών AndrewJ., McNeil και Paul Embrechtsκαι των συνεργατών τους στο Ελβετικό Πανεπιστήμιο ΕΤΗ στη Ζυρίχη (1998 έως 2005).

## 2.3 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ

Σύμφωνα με τη Θεωρία Ακραίων Τιμών είναι γνωστό ότι για δεδομένο αριθμό  $n$  ανεξάρτητων, ταυτοτικά καταμεμημένων τυχαίων μεταβλητών, η μεγαλύτερη από αυτές  $X=\max \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n \}$  ακολουθεί συνάρτηση πιθανότητας

$$H_n(x)=[F(x)]^n \quad (2.1)$$

Αφού  $H_n(x)=P(X \leq x)=P[\max(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) \leq x]=P(Y_1, Y_2, \dots, Y_n \leq x)=[F(x)]^n$

Όπου  $F(x)=P(Y_i \leq x)$  είναι συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $Y_i$  και αναφέρεται συνήθως ως μητρική κατανομή. Εάν το  $n$  δεν είναι σταθερό, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ως πραγματοποίηση μιας τυχαίας μεταβλητής με κατανομή Poisson και μέση τιμή  $\nu$ , τότε η

κατανομή της μεταβλητής  $X$  γίνεται (Todorovic & Zlenhasic 1970; Rossi et al., 1984) σύμφωνα με Koutsoyiannis 2004

$$H'_v(x) = \exp\{-v[1-F(x)]\} \quad (2.2)$$

Όμως:  $\ln[F(x)]^n = n \ln\{1-[1-F(x)]\} = n\{-[1-F(x)] - [1-F(x)]^2 - \dots\} = -n[1-F(x)]$  κάνοντας χρήση του αναπτύγματος Taylor όπου  $\ln(1+x) = x - x^2/2 + x^3/3 - \dots$  και θέτοντας όπου το  $x$  το  $[1-F(x)]$ . Άρα έχουμε ότι για μεγάλα  $n$  ή μεγάλα  $F(x)$ ,  $Hn(x) = H'_n(x)$ . Αριθμητική έρευνα δείχνει ότι ακόμα και για σχετικά μικρά  $n$ , η διαφορά μεταξύ  $Hn(x)$  και  $H'_n(x)$  δεν είναι σημαντική.

Στις υδρολογικές εφαρμογές που αφορούν την κατανομή των ετήσιων μεγίστων βροχής ή πλημμύρας, μπορεί να υποτεθεί ότι ο αριθμός των τιμών του  $Y_i$  (π.χ. ο αριθμός των μεγίστων κατακρημνίσεων ή των παροχών πλημμύρας) δεν είναι σταθερός, άρα το μοντέλο Poisson μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο γι' αυτή την περίπτωση. Δεδομένης της μικρής διαφοράς μεταξύ  $Hn(x)$  και  $H'_n(x)$ , μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η εξίσωση (2.2) είναι κατάλληλο μοντέλο για κάθε πρακτική υδρολογική εφαρμογή.

Όμως, οι εξισώσεις (2.1) και (2.2), των οποίων η αξιολόγηση απαιτεί να είναι γνωστή η μητρική κατανομή, δε χρησιμοποιούνται στην υδρολογική στατιστική. Αντί γι αυτές, στον τομέα αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί άσυμπτωτικές ή οριακές κατανομές ακραίων τιμών, οι οποίες λαμβάνονται από τις παραπάνω εξισώσεις όταν το  $n$  τείνει στο άπειρο. Ουσιαστικά, σε βασιζόμαστε στην  $F$ , αλλά προσεγγίζουμε την κατανομή για μεγάλο  $n$ , ανεξαρτήτως της  $F$ .

## 2.4 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΣ ΘΕΩΡΗΜΑ ΤΩΝ FISHER-TIPPETT

Έστω  $X_1, X_2, \dots, X_n$  όπου  $n \in \mathbb{Z}$ , μια ακολουθία από ανεξάρτητες και ομοιόμορφα κατανομημένες παρατηρήσεις που ακολουθούν μια άγνωστη κατανομή  $F$ . Επειδή δεν είναι γνωστή η κατανομή  $F$  των παρατηρήσεων θα επικεντρωθούμε στην οριακή κατανομή  $G$  της μέγιστης παρατήρησης των  $X_1, X_2, \dots, X_n$  η οποία δεν εξαρτάται από την άγνωστη  $F$ .

Εν προκειμένω, εκλέγονται τα ακραία  $M_j (j = 1, \dots, n)$ , τα οποία αναφέρονται είτε στις μέγιστες είτε στις ελάχιστες τιμές που παίρνει η μεταβλητή μας  $X_n$  σε κάθε μια από τις  $m$  διαδοχικές, μη-αλληλεπικαλυπτόμενες, περιόδους με μήκος  $n$  παρατηρήσεων. Ειδικότερα, στην περίπτωση των μεγίστων ισχύει:

$$M_j = \max\{X_1, X_2, \dots, X_n\} \quad (2.3)$$

η οποία συγκλίνει (για  $n \rightarrow \infty$ ) στο  $x_F$  (δεξιό άκρο του στηρίγματος της  $F$ ). Για να αποφευχθεί αυτό το εκφυλισμένο όριο τα  $M_j$  κανονικοποιούνται χρησιμοποιώντας το κεντρικό οριακό θεώρημα και εν συνέχεια δημιουργείται η μεταβλητή  $Y$  ως εξής:

$$Y_j = (M_j - \mu) / \sigma \quad (2.4)$$

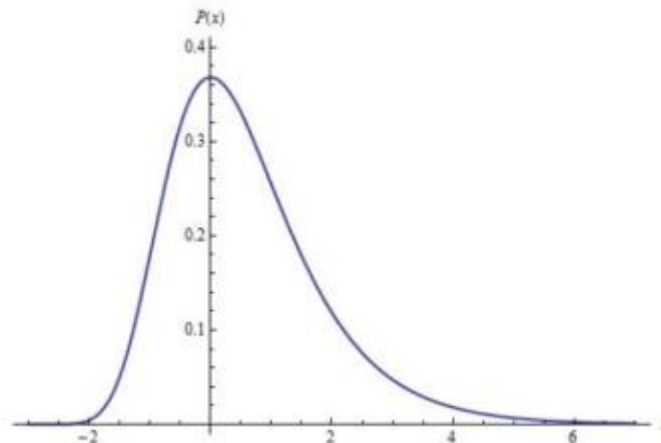
Τα σύμβολα  $\mu$  και  $\sigma$  αναπαριστούν τις παραμέτρους θέσης (μέσος) και κλίμακας (τυπική απόκλιση) της κατανομής των  $M_j$  (1ο Θεώρημα Fisher και Tippet).

Οι Fisher and Tippet (1928) απέδειξαν πως η ασυμπτωτική κατανομή μιας σειράς μεγίστων (η ελαχίστων)  $M_j$  μοντελοποιείται και κάτω από συγκεκριμένους όρους η κατανομή του τυποποιημένου μεγίστου της σειράς συγκλίνει σε συγκεκριμένες κατανομές. Οι κατανομές αυτές είναι η Gumbel, η Fréchet και η Weibull.

Πιο συγκεκριμένα, απέδειξαν ότι όταν το  $n \rightarrow \infty$ , η μεταβλητή  $Y_j$  ακολουθεί μία από τις ακόλουθες τρεις κατανομές ακραίων τιμών:

(α) Τύπος I, Κατανομή Gumbel (Σχήμα 2.1)

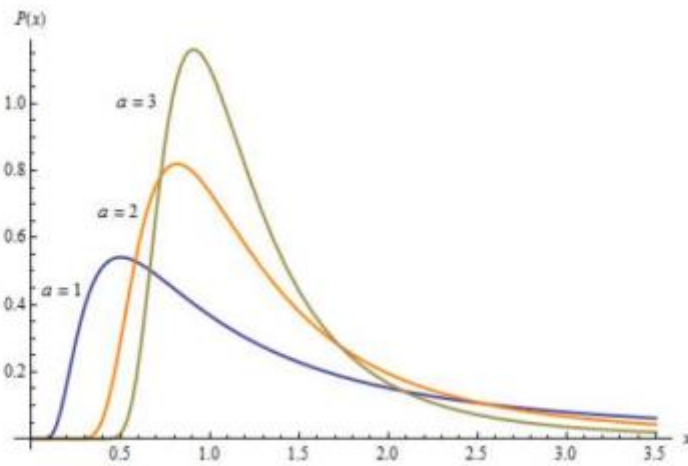
$$f(x) = e^{-x}, x \in R \quad (2.5)$$



ΣΧΗΜΑ 2. 1 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ I GUMBEL

(β) Τύπος II, Κατανομή Fréchet(Σχήμα 2.2)

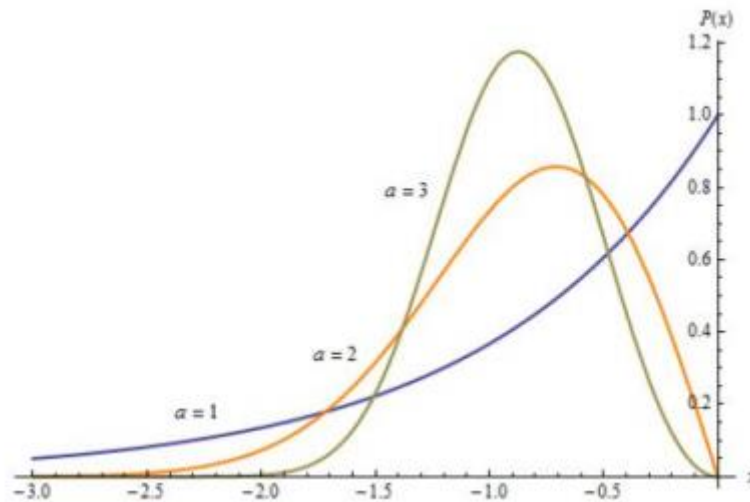
$$\Phi_{\alpha}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ e^{-x^{-\alpha}}, & x > 0, \alpha > 0 \end{cases} \quad (2.6)$$



**ΣΧΗΜΑ 2. 2 :** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΥΠΟΥ II FRECHET ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Α

(γ) Τύπος III, Αντίστροφη Κατανομή Weibull (Σχήμα 2.3)

$$\Psi_{\alpha}(x) = \begin{cases} e^{(-x)^{\alpha}}, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}, \alpha > 0 \quad (2.7)$$



**ΣΧΗΜΑ 2. 3 :** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΥΠΟΥ III WEIBULL ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ Α

Οι κατανομές  $\Phi_\alpha$ ,  $\Psi_\alpha$ ,  $\Lambda$  καλούνται τυπικές κατανομές ακρότατων, ενώ κατανομές που είναι του ίδιου τύπου με αυτές καλούνται κατανομές ακρότατων.

Η τυχαία μεταβλητή  $Y_j$ , ανήκει στον ευρύτερο χώρο μιας κατανομής ακραίων τιμών, αν  $\mu \in R$  και  $\sigma > 0$ . Η κατανομή αυτή ονομάζεται Γενικευμένη Ακραίων Τιμών (Generalized Extreme Value, GEV).

## 2.5 ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΚΡΑΙΩΝ ΤΙΜΩΝ-GEV

Στο τομέα της στατιστικής η κατανομή GEV είναι μια οικογένεια συνεχών πιθανοτικών κατανομών βασισμένη στην θεωρία ακραίων τιμών που αναφέρθηκε παραπάνω. Σκοπός της κατασκευής της είναι η ενοποίηση των κατανομών ακραίων τιμών Gumbel, Fréchet και Weibull.

Πιο συγκεκριμένα, οι von Mises (1936) και Jenkinson (1955), ανέπτυξαν μια συμπυκνωμένη θεωρία κατανομών ακραίων τιμών σύμφωνα με την οποία και οι τρεις ασύμπτωτες μπορούν να περιγραφούν από μια οικογένεια κατανομών που καλείται ΓΑΤ- Γενικευμένη Ακραίων Τιμών (GEV-Generalized Extreme Value distribution). Μια πιο απλοποιημένη ερμηνεία της GEV ορίζει πως είναι η ενοποίηση των τριών οικογενειών κατανομών ακρότατων σε μια οικογένεια, που αναπαρίσταται ως εξής:

$$F(y, \xi) = \begin{cases} e^{-(1+\xi y)^{-1/\xi}}, & \xi \neq 0 \\ e^{-y}, & \xi = 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

### Σκούρα Βασιλική

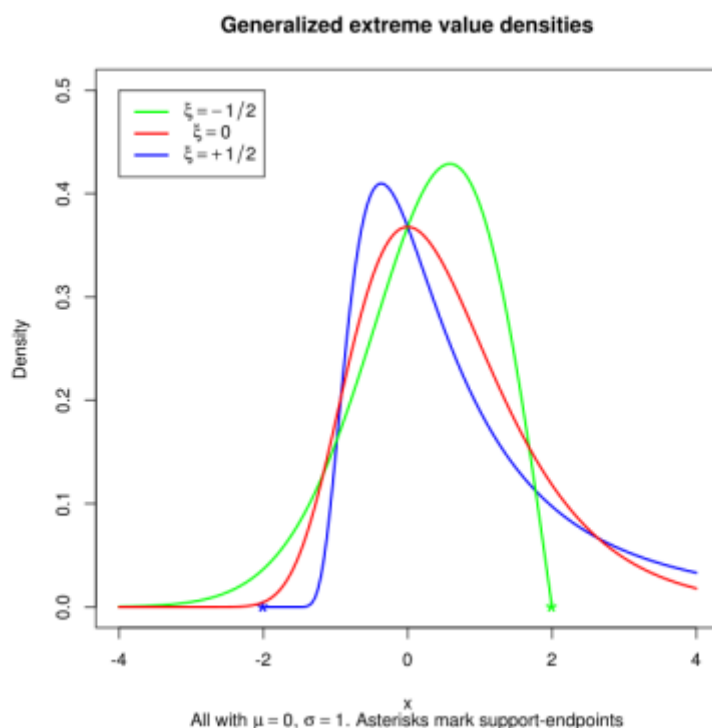
Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

όπου  $y$  η τυποποιημένη μεταβλητή  $y = (x-\mu)/\sigma$ , με  $\mu \in R$  (παράμετρος θέσης) και  $\sigma > 0$  (παράμετρος κλίμακας).

Η παράμετρος  $\xi$  είναι μία παράμετρος που αναπαριστά το πάχος της ουρών και έναν δείκτη φθοράς όσο αφορά την προσέγγιση τους στην τιμή μηδέν. Πιο απλοποιημένα, όσο πιο μικρός ο δείκτης τόσο πιο παχιά είναι η ουρά και τόσο πιο αργά η κατανομή προσεγγίζει την μηδενική τιμή. Στο Σχήμα 2.4 παρατίθεται ενδεικτικά η συμπεριφορά της ουράς, για μία κατανομή με μέση τιμή  $\mu = 0$  και τυπική απόκλιση  $\sigma = 1$ .

Η παράμετρος  $\xi$  ισούται με μηδέν (0) για την κατανομή Gumbel, με  $\alpha = -1$  για την κατανομή Fréchet και με  $-\alpha = -1$  για την κατανομή Weibull. Όταν η παράμετρος  $\xi > 0$ , η  $F(y)$  αντιπροσωπεύει την κατανομή των μεγίστων τύπου II και σε αυτή την περίπτωση, η μεταβλητή είναι κάτω φραγμένη και μη άνω φραγμένη. Η οριακή περίπτωση  $\xi = 0$ , αντιπροσωπεύει την κατανομή τύπου I που είναι μη φραγμένη άνω και κάτω ( $-\infty < x < +\infty$ ) αντιπροσωπεύει τον τύπο III κατανομής μεγίστων ή αντίστροφη Weibull.

Ο τύπος αυτός δεν έχει πρακτικό ενδιαφέρον στην ανάλυση μεγίστων, καθώς αναφέρεται σε τυχαίες μεταβλητές άνω φραγμένες. Λόγω του ότι η βροχή είναι μια διεργασία που δεν έχει φυσικό άνω όριο, ο παραπάνω τύπος δεν εμπίπτει σε αυτή την κατηγορία (Nerantzaki, 2012).



ΣΧΗΜΑ 2. 4 : ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ  $\xi$ , [WWW.WIKIPEDIA.COM](http://WWW.WIKIPEDIA.COM)

## 2.6 ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ PARETO

Η προσομοίωση μόνο των μεγίστων μπορεί να είναι ανεπαρκής στην περίπτωση που διατίθενται δεδομένα με μεγάλες χρονοσειρές. Εφόσον η Θεωρία Ακραίων Τιμών στη βάση της ασχολείται με την προσομοίωση της ουράς μιας άγνωστης κατανομής, μια ιδέα είναι η μοντελοποίηση όλων των  $X_i$ , των οποίων οι τιμές είναι μεγαλύτερες από ένα σημαντικά υψηλό κατώφλι. Βάσει των αποτελεσμάτων των Balkema και de Haan (1974) και του Pickands (1975), είναι γνωστό ότι αν η κατανομή των  $Y_i$  βρίσκεται σε μέγιστο πεδίο έλξης της Γενικευμένης Κατανομής Ακραίων Τιμών, τότε η κατανομή των υπερβάσεων έχει παρόμοια οριακή εκπροσώπηση. Η στενή σχέση μεταξύ της κατανομής μεγίστου  $H(x)$  και της ουράς της μητρικής κατανομής  $F(x)$  επιτρέπει τον προσδιορισμό της δεύτερης, εάν είναι γνωστή η πρώτη. Η ουρά της  $F(x)$  μπορεί να εκπροσωπηθεί από την κατανομή της  $X$  με τη δέσμευση να είναι μεγαλύτερη από ορισμένο όριο  $u$ , π.χ.  $G_u = F(x|x > u)$ , για την οποία:

$$1 - G_u(x) = \frac{1 - F(x)}{1 - F(u)}, x \geq u \quad (2.9)$$

Εάν επιλεγεί υτέτοιο ώστε η πιθανότητα υπέρβασης  $1 - F(u)$  να ισούται με  $1/n$ , δηλαδή το αντίστροφο του μέσου αριθμού των γεγονότων σε ένα χρόνο και αν  $G(x)$  η υπό συνθήκη κατανομή γι' αυτή τη συγκεκριμένη τιμή, τότε:

$$1 - G(x) = n [1 - F(x)] \quad (2.10)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (2.8) και (2.9) παίρνουμε

$$G(x) = 1 + \ln H'_n(x) \quad (2.11)$$

Εάν δίνεται η  $H'_n(x)$  από την οριακή κατανομή  $H(x)$  στην εξίσωση (2.2), τότε

α) Για  $\gamma > 0$  συνεπάγεται :

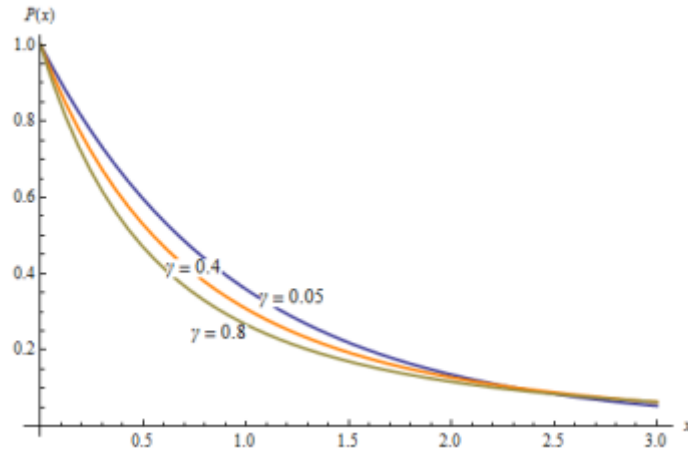
$$G(x) = 1 - \left[ 1 + \gamma \left( \frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right]^{-1/\gamma} \quad (2.12)$$

όπου  $x \geq \alpha$  όταν  $\gamma \geq 0$  και  $\alpha \leq x \leq \alpha - \beta/\gamma$  όταν  $\gamma < 0$ , όπου είναι η Γενικευμένη κατανομή Pareto (σχήμα 2.5)



## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

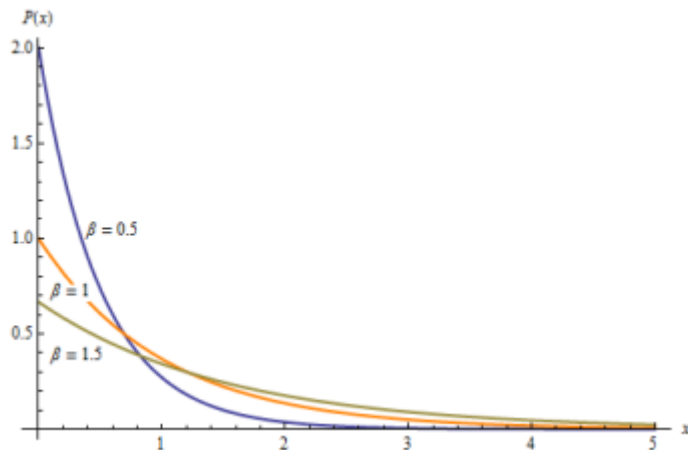


**ΣΧΗΜΑ 2. 5 :** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΗΣ ΠΑΡΕΤΟΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ  $\gamma$  ( $A=0$  ΚΑΙ  $B=1$ )

β) Ομοίως, για  $\gamma = 0$

$$G(x) = 1 - \exp\left[-\frac{x-\alpha}{\beta}\right] \quad (2.13)$$

που είναι εκθετική κατανομή (Σχήμα 2.6)



**ΣΧΗΜΑ 2. 6 :** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΚΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ  $\beta$ .

γ) Στην περίπτωση που  $\gamma = 1$  η κατανομή γίνεται Ομοιόμορφη Κατανομή

Η Γενικευμένη Κατανομή Pareto λοιπόν, προκύπτει ως οριακή κατανομή για υπερβάσεις ενός κατωφλιού αν και μόνο αν η μητρική κατανομή βρίσκεται στο πεδίο έλξης της GEV.

## 2.7 L-ΡΟΠΕΣ

Η μέθοδος των L-ροπών είναι μια στατιστική μεθοδολογία για την περιγραφή του σχήματος μίας κατανομής πιθανότητας.

Για μια τυχαία μεταβλητή  $X$ , η  $r^{\text{η}}$  L-ροπή είναι:

$$\lambda_r = r^{-1} \sum_{k=0}^{r-1} (-1)^k \binom{r-1}{k} EX_{r-k:r} \quad (2.14)$$

όπου:

- $X_{k:n}$  είναι η  $k$  η στατιστική τάξη από ένα ανεξάρτητο δείγμα μεγέθους  $n$  από μία κατανομή από  $X$
- $E$  είναι η αναμενόμενη τιμή

Συγκεκριμένα, οι πρώτες τέσσερις ροπές δίνονται από τις σχέσεις:

$$\lambda_1 = EX \quad (2.15)$$

$$\lambda_2 = (EX_{2:2} - EX_{1:2}) / 2 \quad (2.16)$$

$$\lambda_3 = (EX_{3:3} - 2EX_{2:3} + EX_{1:3}) / 3 \quad (2.17)$$

$$\lambda_4 = (EX_{4:4} - 3EX_{3:4} + 3EX_{2:4} + EX_{1:4}) / 4 \quad (2.18)$$

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας των L-ροπών είναι πως δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις ακραίες τιμές και το μήκος του δείγματος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στις περιπτώσεις που διαθέτουμε χρονοσειρές με μικρό πλήθος παρατηρήσεων. Για αυτούς τους λόγους, η χρήση τους τείνει να υπερισχύει την χρήση άλλων μεθόδων, όπως τον κλασικών ροπών (Perez et al., 2003)

Μέσω την διαδικασίας L- ροπών υπολογίζονται οι στατιστικές εκτιμήτριες  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  και  $\lambda_4$ , που με την χρήση των παρακάτω εξισώσεων αντιστοιχούν στις στατιστικές παραμέτρους της μέσης τιμής, του συντελεστής μεταβλητότητας, την παράμετρο της ασυμμετρίας και της κύρτωση για το δείγμα που μελετάμε.

Για την μέση τιμή (L –moment mean) :

$$\tau_1 = \lambda_1 \quad (2.19)$$

Η μέση αριθμητική τιμή ή μέσος όρος προκύπτει από το ηλίκο διαίρεσης του αθροίσματος των τιμών μιας μεταβλητής δια του συνολικού πλήθους τους, δηλαδή του συνόλου των συχνοτήτων τους. Αποτελεί το σπουδαιότερο και χρησιμότερο μέτρο της στατιστικής, και αποτελεί μέτρο θέσης, δηλαδή δείχνει σχετικά τις θέσεις των αριθμών στους οποίους αναφέρεται.

Για τον συντελεστή μεταβλητότητας (L-moment coefficient of variation):

$$\tau_2 = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2.20)$$

Ο συντελεστής μεταβλητότητας είναι ένα στατιστικό μέτρο που είναι χρήσιμο στις περιπτώσεις στην σύγκριση ομάδων τιμών, που είτε εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης είτε εκφράζονται στην ίδια μονάδα μέτρησης αλλά έχουν σημαντικά διαφορετικές μέσες τιμές.

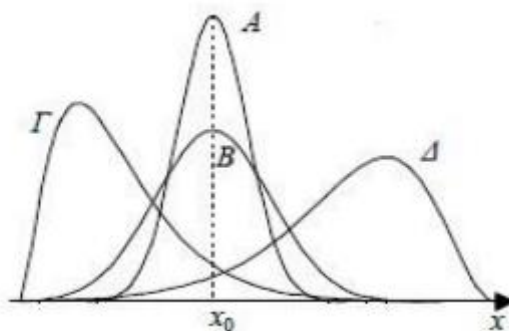
Ο συντελεστής μεταβολής εκφράζεται επί τοις εκατό, είναι συνεπώς ανεξάρτητος από τις μονάδες μέτρησης και παριστάνει ένα μέτρο σχετικής διασποράς των τιμών και όχι της απόλυτης διασποράς. Εκφράζει, δηλαδή, τη μεταβλητότητα των δεδομένων απαλλαγμένη από την επίδραση της μέσης τιμής.

Για το μέτρο ασυμμετρίας (L-moment Coefficient of skew):

$$\tau_3 = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad (2.21)$$

Η κατανομή του πληθυσμού που μελετάται μπορεί να είναι είτε συμμετρική είτε μη συμμετρική. Στην περίπτωση συμμετρικής κατανομής η κορυφή, διάμεσος και μέση τιμή συμπίπτουν, ενώ στην περίπτωση της μη συμμετρικής κατανομής μια από τις τρεις παραμέτρους η κορυφή της κατανομής την διασπά σε ασύμμετρα, ως προς το πλήθος των παρατηρήσεων, τμήματα.

Το είδος της ασυμμετρίας χωρίζεται σε δύο κατηγορίες, την θετική και την αρνητική, οι οποίες ορίζουν μια κατανομή στην οποία οι περισσότερες παρατηρήσεις τοποθετούνται στη δεξιά και αριστερή, αντίστοιχα, πλευρά της κορυφής της. (Κοκαλάκης, 2009).



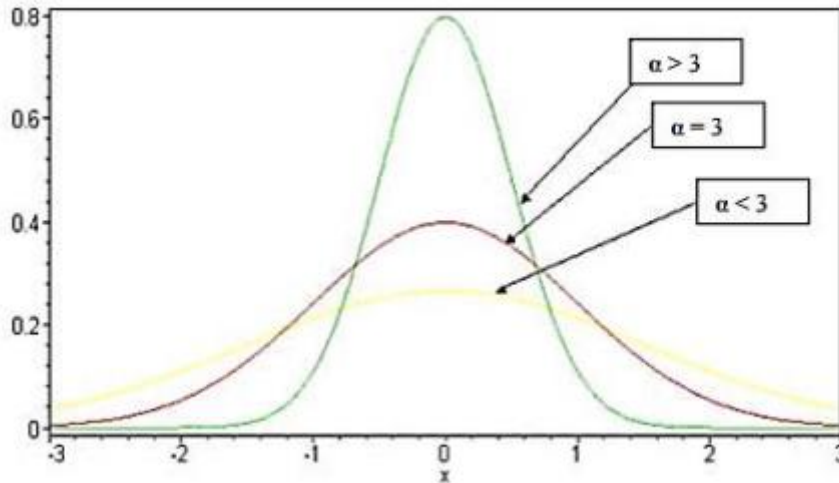
**ΣΧΗΜΑ 2. 7 :** ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΑΣΣΥΜΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ (Α) ΑΡΝΗΤΙΚΗ ΑΣΣΥΜΜΕΤΡΙΑ, (Β), (Γ) ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΑΣΣΥΜΜΕΤΡΙΑ, (Δ) ΘΕΤΙΚΗ ΑΣΣΥΜΜΕΤΡΙΑ

Για το μέτρο κυρτότητας (L-moment of Kurtosis):

$$\tau_4 = \frac{\lambda_4}{\lambda_2^2} \quad (2.22)$$

Μια κατανομή η οποία έχει σχετικά μεγάλη μέγιστη συχνότητα (κορυφή) και επομένως, υπάρχει μια μεγάλη συγκέντρωση τιμών γύρω από το μέσο λέγεται λεπτόκυρτη. Αντιθέτως στην περίπτωση που η μέγιστη συχνότητα της είναι σχετικά μικρή λέγεται πλατύκυρτη, ενώ την περίπτωση που η κατανομή προσεγγίζει την κανονική ονομάζεται μεσόκυρτη.

Έχοντας υπόψη πως οι κανονικές κατανομές έχουν τιμή κυρτότητας ίση με 3, είναι σύνηθες να ορίζεται η κυρτότητα μιας κατανομής με βάση την απόκλιση της από την παραπάνω σταθερά. Δηλαδή, κατανομές με κυρτότητα μεγαλύτερη της τιμής 3 ονομάζονται λεπτόκυρτες, ενώ με αρνητική διαφορά πλατύκυρτες.



**ΣΧΗΜΑ 2. 8 :** ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΚΥΡΤΟΤΗΤΑΣ

## 2.8 MANN KENDAL TEST

Ο μη παραμετρικός στατιστικός έλεγχος Mann-Kendall (MK) χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για να ελεγχθεί η στατιστική σημαντικότητα σε μετεωρολογικές χρονοσειρές όπως η ποιότητα νερού, η απορροή, η θερμοκρασία και η βροχόπτωση. Ο Mann-Kendall είναι έλεγχος για την μονότονη τάση και για την εφαρμογή του υπολογίζεται αρχικά η ποσότητα:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \text{sgn}(x_k - x_i) \quad (2.23)$$

Όπου  $x_k$  και  $x_i$ : διαδοχικές παρατηρήσεις με  $k > i$

$n$ : ο αριθμός των παρατηρήσεων

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{αν } \theta > 0 \\ 0 & \text{αν } \theta = 0 \\ -1 & \text{αν } \theta < 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Όπου  $\theta = x_k - x_i$

Ειδικότερα, από τα παραπάνω προκύπτει πως κάθε τιμή στο δείγμα συγκρίνεται με όλες τις επόμενες (χρονικά) τιμές. Για κάθε επόμενη τιμή που υπερβαίνει την συγκεκριμένη, η τιμή του  $S$  αυξάνεται κατά μια μονάδα, ενώ για κάθε τιμή που είναι μικρότερη της προηγούμενης το  $S$  μειώνεται κατά μια μονάδα. Αυτό σημαίνει πως αν είναι μεγάλη η τιμή του  $S$ , τότε υπάρχει αύξηση στις τιμές, οπότε υπάρχει θετική τάση. Αν το  $S$  είναι μεγάλη αρνητική τιμή, τότε οι τιμές τείνουν να μειώνονται, άρα υπάρχει αρνητική τάση. Όταν όμως, το  $S$  είναι μικρό, κοντά στο μηδέν, τότε δεν μπορεί να γίνει εκτίμηση (Τσακίρης, 2013). Αν η τιμή του  $S$  είναι μεγάλη τότε οι τιμές είτε αυξάνονται είτε μειώνονται, ενώ αν η τιμή του  $S$  είναι μικρή τότε οι τιμές και αυξάνονται και μειώνονται, οπότε δεν μπορεί να υπάρχει μονότονη τάση. Ο Mann και Kendall έχουν τεκμηριώσει πως όταν το  $n \geq 10$  τότε το μέγεθος  $S$  είναι κανονικά κατανομημένο με μέσο όρο και τυπική απόκλιση όπως ακολουθεί

$$E(S) = 0 \quad (2.25)$$

$$V(S) = \frac{n \cdot (n-1) \cdot (2n+5) - \sum_{i=1}^g t_i \cdot i \cdot (i-1) \cdot (2i+5)}{18} \quad (2.26)$$

Όπου  $n$  ο αριθμός των ισοπαλιών στο σύνολο  $i$  και  $g$  ο αριθμός των συνόλων που έχουν την ίδια τιμή.

Υπολογίζεται, στη συνέχεια, το στατιστικό μέγεθος Kendall's tau:

$$\tau = \frac{2 \cdot S}{n(n-1)} \quad (2.27)$$

Το  $\tau$  παίρνει τιμές από -1 έως 1 και συγκρίνεται με κρίσιμες τιμές από τον αντίστοιχο πίνακα για δικατάληκτο (two-tailed) ή μονοκατάληκτο (one-tailed) έλεγχο για συγκεκριμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Επιλέγεται η χρήση του μονοκατάληκτου ελέγχου μόνο όταν είναι προφανές ότι η τάση είναι θετική ή αρνητική (Τσακίρης, 2013).

Για μέγεθος δείγματος μεγαλύτερο των 30 ετών ( $n > 30$ ), υπολογίζεται το κανονικοποιημένο στατιστικό μέγεθος  $Z$ :

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{V(S)}} \\ 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{V(S)}} \end{cases} \quad (2.28)$$

Όπου το μέγεθος  $Z$  ακολουθεί την τυποποιημένη κανονική κατανομή με μέση τιμή το μηδέν και διασπορά το ένα (Yue et al., 2002). Θετικές τιμές του  $Z$  υποδεικνύουν αύξουσες τάσεις, ενώ αρνητικές τιμές του  $Z$  υποδεικνύουν αρνητικές τάσεις. Αφού ο έλεγχος της τάσης γίνεται για ένα επιλεγμένο επίπεδο εμπιστοσύνης  $\alpha$ , τότε όταν  $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ , η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται και υπάρχει σημαντική τάση στις χρονοσειρές. Η τιμή  $Z_{1-\alpha/2}$  δίνεται από τον πίνακα της τυπικής κανονικής κατανομής. Καθώς συνηθισμένες τιμές του  $\alpha$  είναι το 0.01 και 0.05, για επίπεδο εμπιστοσύνης 0.05, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν  $|Z| > 1.96$  και για επίπεδο εμπιστοσύνης 0.01, η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται αν  $|Z| > 2.576$  ( $|Z| > 2.576$ ) (Gocic and Trajković, 2013).

Όταν υπάρχει τάση η ισχύς του MK τεστ (ελέγχου) εξαρτάται από το είδος της κατανομής, σε αντίθεση με την κοινή άποψη ότι είναι ανεξάρτητος της κατανομής. Απλώς, δεν απαιτείται να είναι γνωστή η κατανομή ή να είναι κανονική για την εφαρμογή του ελέγχου, για αυτό και λέγεται μη παραμετρικός. Επιπλέον, η ισχύς του τεστ εξαρτάται και από τη μεταβλητή σχήματος της κατανομής (shape parameter  $\kappa$ ), όταν υπάρχει τάση. Η ισχύς του τεστ αυξάνεται όταν αυξάνεται η κλίση της τάσης, ή το επίπεδο εμπιστοσύνης, ή όταν έχουμε μεγάλο δείγμα. Ενώ, η ισχύς του τεστ είναι φθίνουσα συνάρτηση του συντελεστή διακύμανσης μιας χρονοσειράς, δηλαδή όσο μεγαλύτερος ο συντελεστής διακύμανσης μιας χρονοσειράς, τόσο πιο δύσκολο είναι να εντοπίσουμε τάση στο δείγμα (Yue et al., 2002).

Υπάρχει διαφορά ανάμεσα στο στατιστικά σημαντικό και στο πρακτικά σημαντικό. Μεγάλα δείγματα θα εμφανίσουν οποιαδήποτε αλλαγή, όσο μικρή και αν είναι χωρίς να είναι αναγκαστικά πρακτικά σημαντική και παρομοίως μικρά δείγματα αποτυγχάνουν να εντοπίσουν μια αλλαγή στατιστικά, που μπορεί να είναι πρακτικά σημαντική (Yue et al., 2002).

### 3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

#### 3.1 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ Η ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝΑΣ

Ο «Υδρογνώμων» ή «Υδρογνώμονας» (Αγγλική ονομασία: “Hydrognomon”), το σύστημα δηλαδή επεξεργασίας των χρονοσειρών είναι μία αυτόνομη εφαρμογή λογισμικού που τρέχει στο περιβάλλον των Microsoft Windows 2000 ή νεότερων (XP, Vista, κλπ.). Πρόκειται για ένα λογισμικό που αναπτύσσεται εντός του Ε.Μ.Π. εδώ και μία δεκαετία για να καλύψει διάφορες ερευνητικές ανάγκες. Το εν λόγω σύστημα πραγματοποιεί απλές (τυπικές υδρολογικές) επεξεργασίες, οι οποίες λειτουργούν βοηθητικά. Οι σημαντικότερες λειτουργίες που επιτελεί το σύστημα είναι οι ακόλουθες:

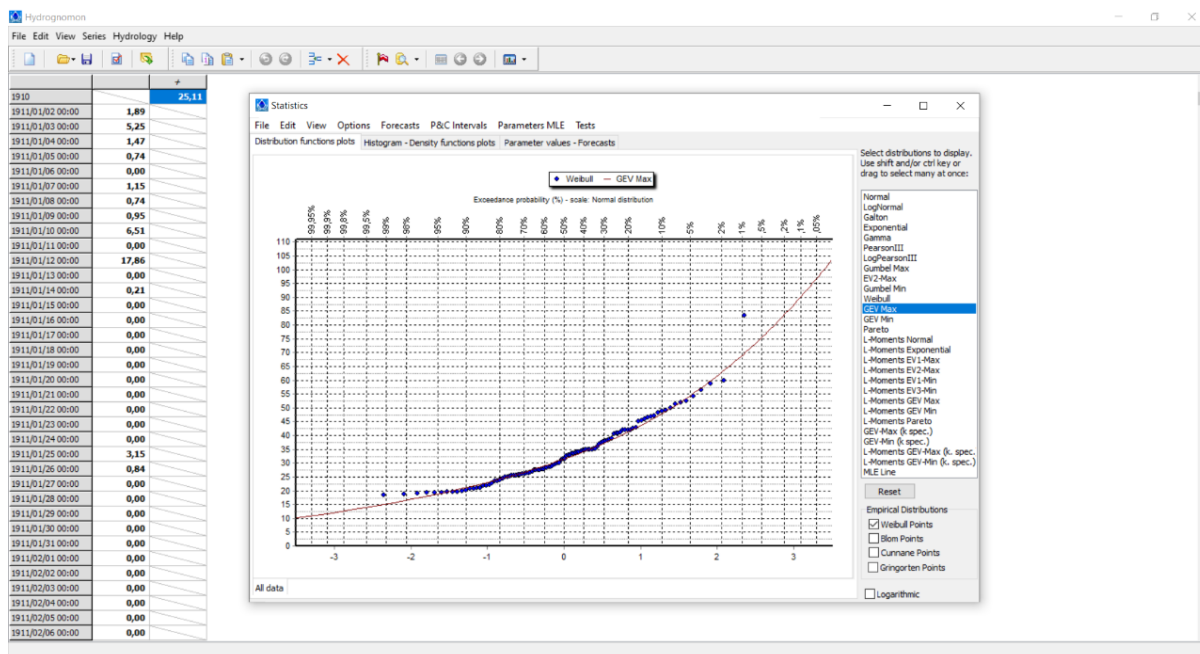
- Μετατροπή χρονοσειρών σε σταθερό χρονικό βήμα (ως γνωστόν, οι πρωτογενείς χρονοσειρές έχουν κάποια σταθερότητα, αλλά συχνά παρουσιάζουν διαταραχές, η εξάλειψη των οποίων είναι αναγκαία για περαιτέρω επεξεργασία)
- Εξαγωγή χρονοσειρών μεγαλύτερου χρονικού βήματος (συνάθροιση), π.χ. ωριαίων από δεκάλεπτες, ημερήσιων από ωριαίες, μηνιαίων από ημερήσιες
- Τυπικοί έλεγχοι συνέπειας όπως ακραίων τιμών και χρονικής συνέπειας
- Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ χρονοσειρών, πολλαπλή παλινδρόμηση, οργανική συσχέτιση και αυτοσυσχέτιση
- Υδατικά ισοζύγια: αδρομερές μοντέλο βροχής – απορροής (Το συγκεκριμένο υποσύστημα είναι γνωστό και ως «Ζυγός»)
- Συμπλήρωση ελλειπουσών τιμών με χρήση της γραμμικής παλινδρόμησης, δυνατότητα εισαγωγής τυχαίου όρου για διατήρηση των στατιστικών χαρακτηριστικών, επέκταση χρονοσειρών
- Γραμμικές πράξεις μεταξύ χρονοσειρών
- Κατάρτιση καμπυλών στάθμης – παροχής με στατιστικές μεθόδους και καμπυλών επέκτασης με χρησιμοποίηση υδραυλικών εξισώσεων
- Εξαγωγή χρονοσειρών παροχών από χρονοσειρές στάθμης, καθώς και χρονοσειρών όγκου και επιφανείας από χρονοσειρές στάθμης ταμιευτήρων και λιμνών
- Υπολογισμός εξάτμισης και δυνητικής εξατμοδιαπνοής με αναλυτικές ή ημιεμπειρικές μεθόδους
- Επέκταση δειγμάτων εξατμοδιαπνοής
- Εύρεση στατιστικών χαρακτηριστικών δείγματος χρονοσειράς, προσαρμογή στατιστικών παραμέτρων, στατιστικές προγνώσεις, στατιστικοί έλεγχοι και εύρεση διαστημάτων εμπιστοσύνης. (Το συγκεκριμένο υποσύστημα είναι γνωστό και ως «Πυθία»)
- Ανάλυση χρονοσειρών εξαιρετικών βροχοπτώσεων
- Κατάρτιση όμβριων καμπυλών με συνεπείς μεθοδολογίες. (Το συγκεκριμένο υποσύστημα είναι γνωστό και ως «Όμβρος») (Κοζάνης Σ. et al, 2009).



## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

Στην Εικόνα 3.1 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας του «Υδρογνώμονα». Το λογισμικό, καθώς και ο κώδικάς του, είναι ελεύθερα διαθέσιμα στην ιστοσελίδα <http://hydrognomon.org/>.



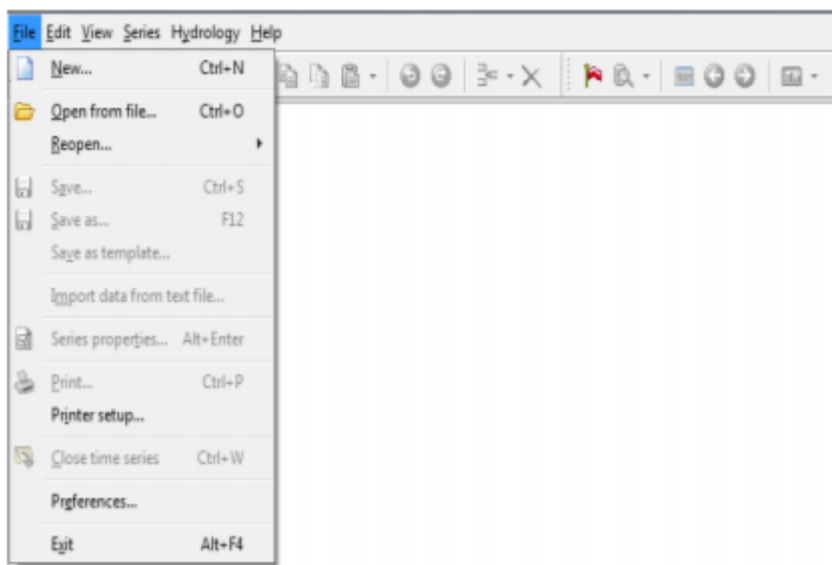
ΣΧΗΜΑ 3.1 : ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ "ΥΔΡΟΓΝΩΜΩΝ"

Αναλυτικότερα στο περιβάλλον του λογισμικού "Υδρογνώμων" ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία με την για την καταχώρηση και απεικόνιση των δεδομένων , για κάθε σταθμό με στόχο την εξαγωγή διαγραμμάτων και την εύρεση παραμέτρων. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

Από το menu "File" επιλέγοντας "New"

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



**ΣΧΗΜΑ 3. 2 :** ΕΙΚΟΝΑ ΑΠΟ ΤΟ ΜΕΝΟΥ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ <<ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝ>>

Σχήμα Περιεχόμενα του Menu: “Files”

ανοίγει μία φόρμα όπου επιλέγουμε τις ιδιότητες της χρονοσειράς που θα εισάγουμε (όνομα, είδος μεταβλητής, μονάδες μέτρησης, χρονικό βήμα):

**ΣΧΗΜΑ 3. 3 :** ΦΟΡΜΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΝΕΑΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ <<ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝ>>

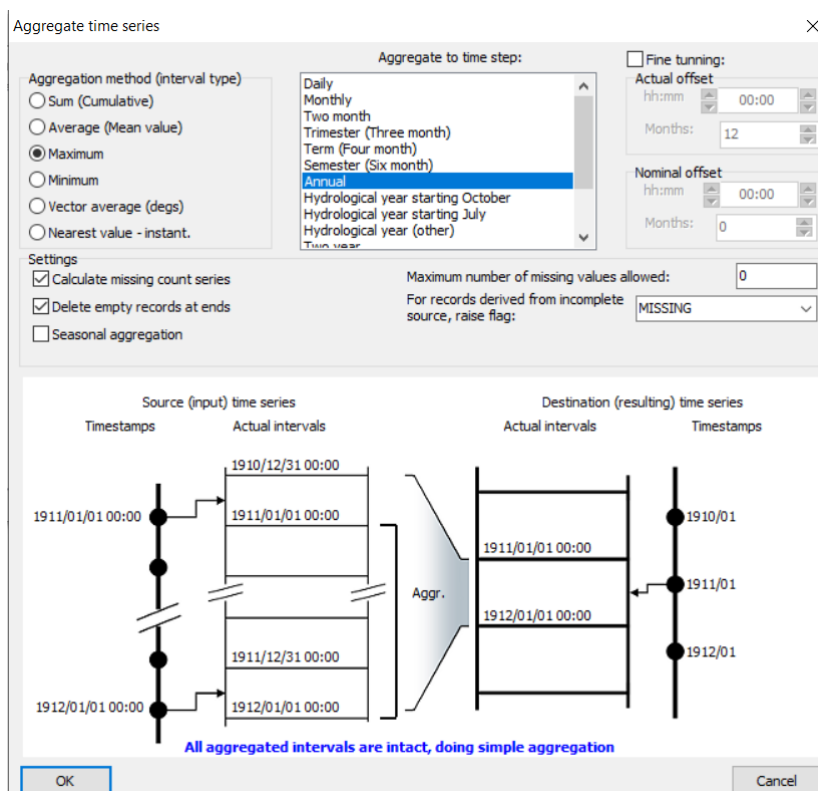
Αφού προσδιορίσουμε τις ιδιότητες της χρονοσειράς μας, δύο στήλες εμφανίζονται. Η αριστερή στήλη περιλαμβάνει μία αύξουσα σειρά από έτη ενώ η δεξιά στήλη τις τιμές που αντιστοιχούν στις χρονικές στιγμές της αριστερής στήλης.

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

Κάνοντας δεξί κλικ στην πρώτη στήλη με την επιλογή “Insert record” εισάγουμε τα έτη παρατηρήσεων. Υπάρχει και η δυνατότητα πολλαπλής εισαγωγής εγγραφών (menu “Edit” → “Insert multi records”). Αυτό βέβαια μπορεί να γίνει πιο συντομευμένα δημιουργώντας από την αρχή πολλαπλές χρονοσειρές και αντιστοιχίζοντας σε αυτές τα έτη-εγγραφές, οπότε με ένα απλό Copy-Paste από τον πίνακα μεγίστων του Excel δημιουργείται ο πίνακας χρονοσειρών που μπορεί να διαχειριστεί το πρόγραμμα για τη στατιστική τους επεξεργασία.

Στη συνέχεια αφού εισάγουμε τις τιμές από το menu “Series” επιλέγοντας “Aggregation” και στη συνέχεια επιλέγουμε το “Maximum” για “Annual”



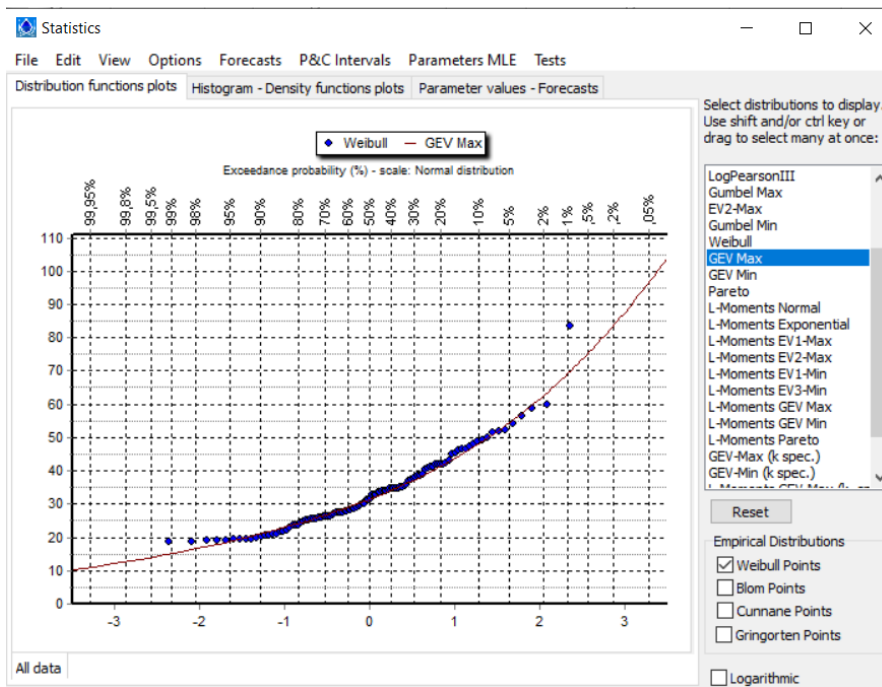
**ΣΧΗΜΑ 3. 4 :** ΦΟΡΜΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΝΕΑΣ ΣΤΗΛΗΣ ΜΕ ΤΑ ΕΤΗΣΙΑ ΜΕΓΙΣΤΑ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ <<ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝ>>

Δημιουργώντας έτσι δύο νέες στήλες όπου στη μία βρίσκονται τα μέγιστα ετήσια ύψη βροχής και η άλλη λειτουργεί βοηθητικά σαν έλεγχος αν σε κάποιο έτος είχαμε απουσία καταγραφών κάποιες ημέρες.

Στη συνέχεια επιλέγοντας τη στήλη με τα μέγιστα ετήσια ύψη βροχής επιλέγοντας από το menu “Hydrology” και στη συνέχεια “Pythia - Statistical analysis” εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε με τα δεδομένα μας διαγράμματα, ιστόγραμμα καθώς και να δούμε τις τιμές των παραμέτρων για διάφορες κατανομές. Επιπλέον μπορούμε και να απεικονίσουμε ταυτόχρονα στο διάγραμμα πάνω από δύο κατανομές.

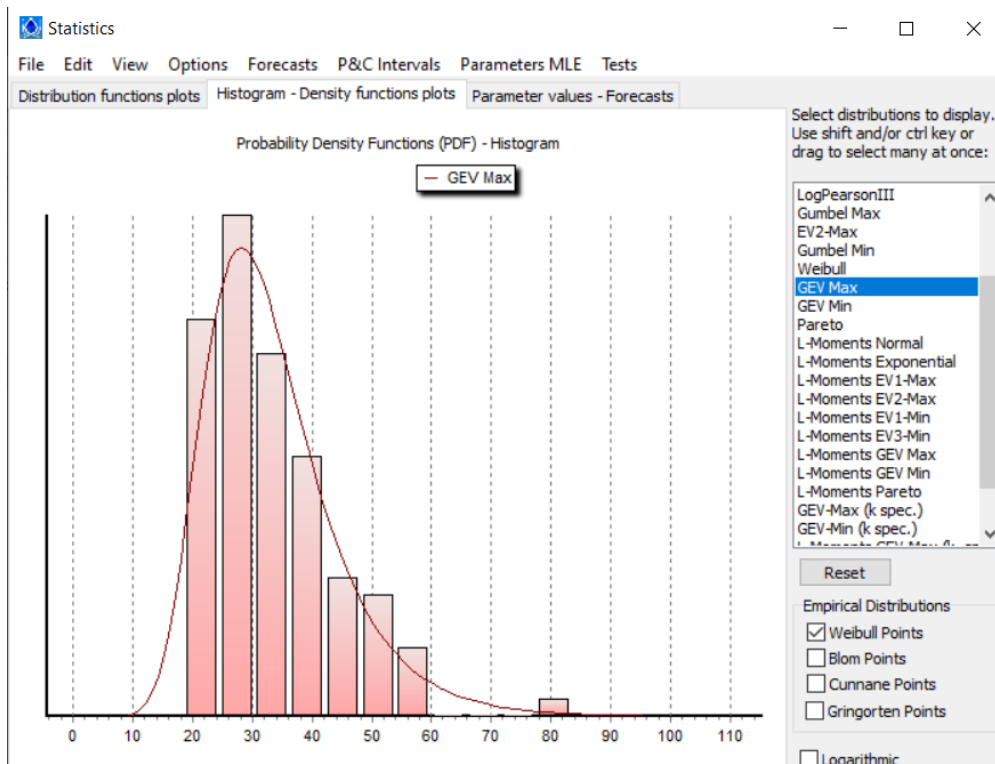
### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



ΣΧΗΜΑ 3. 5 : ΦΟΡΜΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ

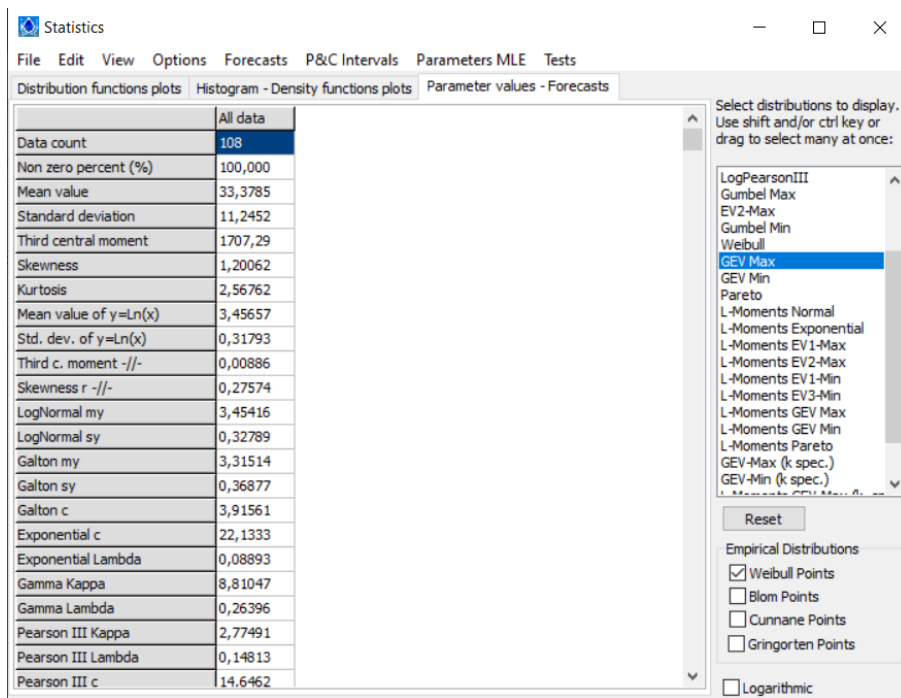
στο λογισμικό <<Υδρογνώμον>>



ΣΧΗΜΑ 3. 6 : ΦΟΡΜΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΙΣΤΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ <<ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝ>>

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



The screenshot shows the 'Statistics' software window. On the left, a table displays various statistical parameters for 'All data'. On the right, a list of distributions is shown, with 'GEV Max' selected. Below the list, there are checkboxes for 'Empirical Distributions' (Weibull Points, Blom Points, Cunnane Points, Gringorten Points) and 'Logarithmic'.

	All data
Data count	108
Non zero percent (%)	100,000
Mean value	33,3785
Standard deviation	11,2452
Third central moment	1707,29
Skewness	1,20062
Kurtosis	2,56762
Mean value of $y=\ln(x)$	3,45657
Std. dev. of $y=\ln(x)$	0,31793
Third c. moment -//-	0,00886
Skewness r -//-	0,27574
LogNormal my	3,45416
LogNormal sy	0,32789
Galton my	3,31514
Galton sy	0,36877
Galton c	3,91561
Exponential c	22,1333
Exponential Lambda	0,08893
Gamma Kappa	8,81047
Gamma Lambda	0,26396
Pearson III Kappa	2,77491
Pearson III Lambda	0,14813
Pearson III c	14,6462

ΣΧΗΜΑ 3. 7: ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ <<ΥΔΡΟΓΝΩΜΟΝ>>

Ακολουθώντας την παραπάνω διαδικασία για κάθε σταθμό δημιουργήσαμε διαγράμματα και συλλέξαμε στοιχεία τόσο για τους σταθμούς με τα ωριαία ύψη βροχής όσο και για τους σταθμούς με τα ημερήσια ύψη βροχής.

### 3.2 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ MATLAB

Το MATLAB (matrix laboratory) είναι ένα περιβάλλον αριθμητικής υπολογιστικής και μια προγραμματιστική γλώσσα τέταρτης γενιάς. Αποθηκεύει και κάνει τις πράξεις με βάση την άλγεβρα μητρώων.

Χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων, ωστόσο είναι πολύ "ισχυρό" και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για προγραμματισμό καθώς περιέχει εντολές από την C++ όπως την while, την switch και την if. Στον τομέα των γραφικών όσον αφορά τον μαθηματικό κλάδο μπορεί να υλοποιήσει συναρτήσεις πραγματικές, μιγαδικές, πεπλεγμένες συναρτήσεις δύο μεταβλητών και άλλες. Όσον αφορά τον στατιστικό κλάδο μπορεί να υλοποιήσει ιστογράμματα, τομεογράμματα, ραβδο διαγράμματα, εμβαδογράμματα και άλλα.<sup>4</sup>

Το MATLAB αποτελεί ένα εμπορικό εργαλείο το οποίο προσφέρει ένα διαδραστικό προγραμματιστικό περιβάλλον στον χρήστη και χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. Ενσωματώνει μια υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού, κατάλληλη

<sup>4</sup> 'Matlab <https://el.wikipedia.org/wiki/MATLAB>'.

για τη μοντελοποίηση και επίλυση σύνθετων μαθηματικών, και όχι μόνο, προβλημάτων. Το όνομά του προέρχεται από τις λέξεις MATrix LABoratory (εργαστήριο πινάκων) πράγμα που υποδηλώνει το γεγονός ότι η λειτουργία του βασίζεται εξ ολοκλήρου στη χρήση πινάκων, στοιχεία των οποίων μπορεί να είναι πραγματικοί ή μιγαδικοί αριθμοί (ακόμα και ένας μεμονωμένος αριθμός, όπως για παράδειγμα το 8, θεωρείται ως πίνακας με ένα στοιχείο). Ανάμεσα σε ένα πλήθος άλλων ευκολιών που προσφέρει επιτρέπει τον εύκολο χειρισμό πινάκων, τη γραφική απεικόνιση (plotting) συναρτήσεων και δεδομένων, την υλοποίηση αλγορίθμων, την δημιουργία γραφικών διεπαφών και τη συνεργασία και διαλειτουργικότητα με προγράμματα γραμμένα σε άλλες γλώσσες προγραμματισμού. Λόγω, δε του ότι το MATLAB βρίσκει εφαρμογή σε ποικίλα επιστημονικά πεδία (επεξεργασία σήματος, νευρωνικά δίκτυα, συστήματα ελέγχου κ.τ.λ.), πρόσθετα πακέτα, που ονομάζονται toolboxes, ενσωματώνονται σε αυτό και προσφέρουν χρήσιμες εξειδικευμένες συναρτήσεις.

Το Matlab μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών που απαιτούν σύνθετους μαθηματικούς υπολογισμούς. Είναι προσανατολισμένο για να λύνει τα προβλήματα αριθμητικά, δηλαδή με αριθμητική πεπερασμένης ακρίβειας. Χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται για την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων. Για την ανάπτυξη ενός αλγορίθμου απαιτείται ο ορισμός και η πλήρης κατανόηση του προβλήματος προς επίλυση, ο καθορισμός του, δηλαδή ο καθορισμός μιας συγκεκριμένης διαδικασίας βημάτων τα οποία οδηγούν σε συγκεκριμένα αποτελέσματα με ικανοποιητικά ελάχιστο δυνατό κόστος (μνήμης και χρόνου), η υλοποίηση του σε υπορουτίνα / πρόγραμμα, αν αυτό κριθεί απαραίτητο. Επίσης απαιτείται ο έλεγχος της υπορουτίνας προγράμματος για διάφορες περιπτώσεις δεδομένων, ειδικά όλων των ακραίων περιπτώσεων και τέλος η χρήση υπορουτίνας / προγράμματος για επίλυση σχετικών προβλημάτων. Μια άλλη εφαρμογή του Matlab όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο είναι η μοντελοποίηση και η προσομοίωση προβλημάτων, κάνοντας χρήση του Simulink, το οποίο είναι ένα πρόγραμμα ενσωματωμένο στο Matlab, η ανάλυση και η οπτικοποίηση δεδομένων και η δημιουργία γραφικών παραστάσεων. Το Matlab διαθέτει δυναμικές και ευέλικτες γραφικές ικανότητες. Σχήματα διαφόρων τύπων μπορούν να δημιουργηθούν σχετικά εύκολα. Αναφορικά, οι βασικές εντολές που χρησιμοποιούνται είναι οι: plot, loglog, semilogx, semilogy, polar. Τέλος η δημιουργία εφαρμογών για την επεξεργασία συστημάτων και την επίλυση σύνθετων προβλημάτων Τα toolboxes (εργαλειοθήκες) του Matlab είναι ένα ευρύ σύνολο από ήδη ανεπτυγμένους αλγορίθμους που παρέχονται στο χρήστη με τη μορφή συναρτήσεων του προγράμματος και βοηθούν στη λύση ειδικής κατηγορίας προβλημάτων. Κάποια έτοιμα πακέτα τέτοιων αλγορίθμων είναι το control systems toolbox, το signal processing toolbox, το simulink, το model predictive control toolbox, κτλ.<sup>5</sup>

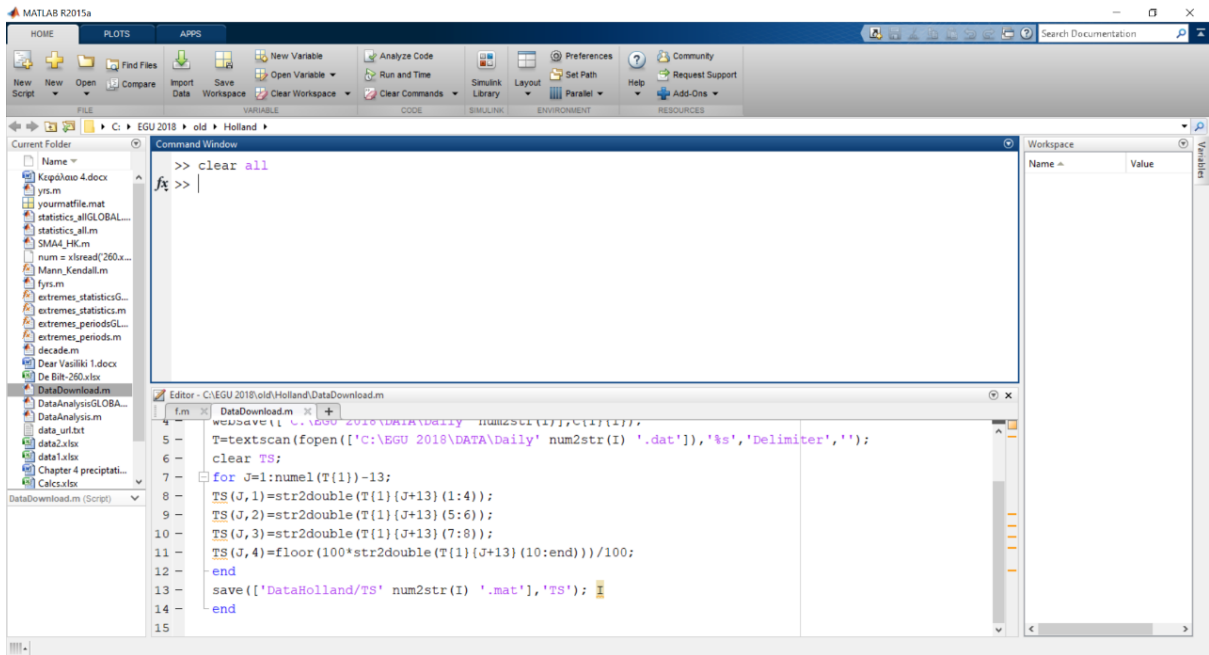
Στην Εικόνα 3.8 παρουσιάζεται το περιβάλλον εργασίας της Matlab

<sup>5</sup> 'ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟΥ ΕΚΚΡΕΜΟΥΣ Χειράκης Δαμιανός

Πτυχιακή Εργασία'

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



ΣΧΗΜΑ 3. 8: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ "MATLAB"

## 4. ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 4.1 ΣΥΛΛΟΓΗ, ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τη συλλογή δεδομένων βασιστήκαμε στην πρόταση τους να ληφθούν δεδομένα από τη βάση δεδομένων του KNMI (Royal Netherlands Meteorological Institute) που είναι η Ολλανδική εθνική μετεωρολογική υπηρεσία. Πιο αναλυτικά το KNMI συμβουλεύει και προειδοποιεί την κοινωνία ώστε να μειώσει τους κινδύνους στον τομέα του καιρού, του κλίματος και της σεισμολογίας και να περιορίσει τις ζημιές και τους τραυματισμούς. Με την υψηλής ποιότητας γνώση και τεχνολογία, καθώς και με ένα εκτεταμένο δίκτυο παρατήρησης, το KNMI προσφέρει προϊόντα και υπηρεσίες που συμβάλλουν στην ασφάλεια, την προσβασιμότητα, τη βιωσιμότητα και την ευημερία των Κάτω Χωρών.

Στόχος τους είναι η συγκέντρωση πληροφοριών σχετικά με την ατμόσφαιρα, την υπόγεια επιφάνεια και η μετάφραση αυτών των πληροφοριών σε κινδύνους για την κοινότητα. Επιπλέον επιδιώκουν την παραγωγή υψηλής ποιότητας γνώσης και πληροφορίας στον τομέα του καιρού, του κλίματος και της σεισμολογίας λειτουργώντας και βρίσκοντας σε διαθεσιμότητα 24 ώρες την ημέρα, επτά ημέρες την εβδομάδα. Επιπλέον, συνεχώς διευρύνουν και εμβαθύνουν αυτές τις γνώσεις σε συνεργασία με ερευνητικά ιδρύματα, πανεπιστήμια και επιχειρήσεις.

Πιο συγκεκριμένα τα ωριαία ύψη βροχής λήφθηκαν από τη διεύθυνση <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens> όπου βρίσκονται τα στοιχεία 50 σταθμών.

Μετά τη λήψη των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι 29 από τους 50 σταθμούς καθώς οι άλλοι 21 δεν είχαν αρκετά δεδομένα. Από τους 29 αυτούς σταθμούς υπάρχει καταγραφή δεδομένων από το 1950 χωρίς αυτό να σημαίνει ότι οι περισσότεροι ξεκίνησαν τη λειτουργία καταγραφής ωριαίων υψών βροχής από το 1950. Εν αντίθεση οι περισσότεροι από αυτούς ξεκίνησαν τη δεκαετία του 1980.

Η χρήση αυτών των δεδομένων θεωρήθηκε αναγκαία στην διερεύνηση μας καθώς είναι τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή του διαγράμματος από το KNMI που στάθηκε ως αφορμή για αυτή τη διερεύνηση.

Επιπλέον ημερήσια ύψη βροχής λήφθηκαν από την διεύθυνση [http://climexp.knmi.nl/getdutchstations.cgi?id=9be2d46841c1b962a7a46efb2deef827&TYPE=precip\\_hom1910](http://climexp.knmi.nl/getdutchstations.cgi?id=9be2d46841c1b962a7a46efb2deef827&TYPE=precip_hom1910) όπου βρίσκονται τα στοιχεία 101 σταθμών.

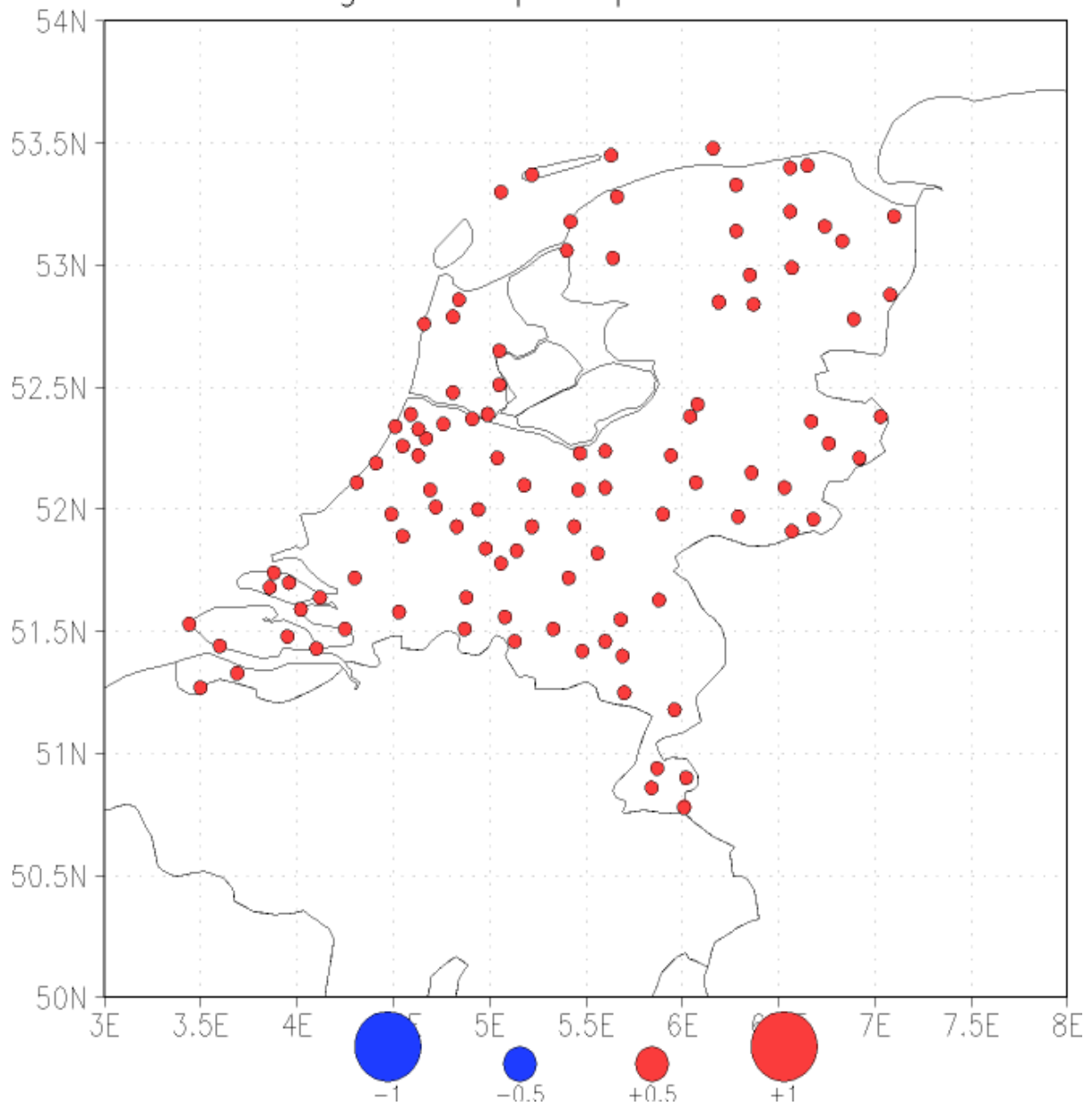
Η λήψη αυτών των δεδομένων έγινε με τη χρήση της Matlab όπου αποθήκευε τα στοιχεία κάθε σταθμού σε αρχείο .mat. Στο αρχείο αυτό υπήρχε η ημερομηνία και το ύψος βροχής που αντιστοιχούσε σε αυτή. Στη συνέχεια με τη χρήση κώδικα στη Matlab για κάθε σταθμό υπολογίστηκε αν υπάρχει έτος με λιγότερες από 330 καταγραφές υψών βροχής ώστε να μην ληφθούν υπόψη αυτά τα έτη στην ανάλυσή μας. Να σημειωθεί ότι κανένας σταθμός δεν είχε έλλειψη δεδομένων για κάποιο έτος.



**Σκούρα Βασιλική**

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

homogenised precipitation stations



**ΣΧΗΜΑ 4. 1:** ΧΑΡΤΗΣ ΜΕ ΤΟΥΣ 101 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΟΛΛΑΝΔΙΑΣ<sup>6</sup>

<sup>6</sup> 'Map of Stations by KNMI Climate Explorer'.

## 4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η παρούσα ανάλυση γίνεται για την περιοχή της Ολλανδίας καθώς υπάρχει η υποψία ότι στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται ακραίες βροχοπτώσεις και κυρίως στο Νοτιοδυτικό τμήμα.

Η Ολλανδία ή Κάτω χώρες έχει ως επίσημη ονομασία 'Βασίλειο των Κάτω Χωρών' και αποτελείται από τρία μέρη: την Ολλανδία στην Δυτική Ευρώπη, τις Ολλανδικές Αντίλλες και την Αρούμπα στην Καραϊβική με πρωτεύουσα το Άμστερνταμ. Αδιαμφισβήτητα αποτελεί ένα ιδιαίτερο κράτος τόσο από κλιματική όσο και από γεωγραφική υπόσταση.

Πιο αναλυτικά το κλίμα της είναι ωκεάνιο με δυτικούς ανέμους ως επί το πλείστον. Οι βροχές είναι άφθονες όλο τον χρόνο(εκτός του χειμώνα), ενώ οι θερμοκρασίες είναι σχετικά ήπιες το χειμώνα και δροσερές το καλοκαίρι. Χιονοπτώσεις συμβαίνουν κυρίως από τις αρχές Δεκεμβρίου έως και τα τέλη Φεβρουαρίου. Βροχές έχει όλο τον υπόλοιπο χρόνο και κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από -1, -2 έως 4-5 βαθμούς το χειμώνα και από 11-12 έως 20-22 βαθμούς το καλοκαίρι. Οι διαφορές θερμοκρασίας τόσο κατά το καλοκαίρι όσο και κατά και χειμώνα είναι σχετικά μικρές, και αυτό συμβαίνει διότι το χειμώνα ένα θερμό ρεύμα, το οποίο έρχεται κάθε χρόνο από τον κόλπο του Μεξικού, επηρεάζει τη θερμοκρασία της θάλασσας, με αποτέλεσμα να μην παγώνει σχεδόν ποτέ. Εάν δεν συνέβαινε αυτό, υπολογίζεται πως το Άμστερνταμ το χειμώνα θα είχε μέση θερμοκρασία γύρω στους -10 βαθμούς Κελσίου.<sup>7</sup> Επιπλέον έχει παρατηρηθεί αύξηση των βροχοπτώσεων από το 1950 με το φαινόμενο να είναι ισχυρότερο στις παραθαλάσσιες περιοχές. Παρατηρείται λίγο περισσότερη βροχή το χειμώνα, από το καλοκαίρι χωρίς να βρέχει περισσότερες μέρες, αλλά ότι όταν βρέχει το χειμώνα να έχει μεγαλύτερο ύψος βροχής.

Η Ολλανδία έχει έκταση 33.491 τ.χλμ. ξηράς και, αν ληφθεί υπ' όψιν και το 20% της θαλάσσιας έκτασης συνολική επιφάνεια: 41.526 τ.χλμ. Η μισή χώρα βρίσκεται λιγότερο από ένα μέτρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ το 1/4 κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Το ψηλότερο σημείο της χώρας είναι το Φάαλσερμπεργχ (Vaalserberg) στα νότια της χώρας, στα σύνορα με το Βέλγιο και τη Γερμανία και έχει υψόμετρο μόλις 321 μέτρα. Το χαμηλότερο σημείο της χώρας βρίσκεται στο δήμο Νίουερκερκ αν ντεν Άισελ (Ολλανδικά: Nieuwerkerk aan den IJssel) και βρίσκεται 6,76 μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, αποτελώντας έτσι το χαμηλότερο σημείο της Ευρώπης. Το τοπίο είναι γενικά πιο λοφώδες στα ανατολικά και νότια της χώρας<sup>8</sup>.

Πολλά τμήματα της Ολλανδίας δεν ήταν πάντα στεριά αλλά θάλασσα που οι Ολλανδοί διεκδίκησαν. Το 18,4% της συνολικής έκτασης της Ολλανδίας είναι υδάτινες επιφάνειες. Στις ακτές υπάρχουν αμμόλοφοι και κανάλια που περικλείονται από φράγματα για να

<sup>7</sup>[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CE%AF%CE%B1#%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1\\_%CE%BA%CE%B1%CE%B9\\_%CE%BA%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CE%BB%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%B4%CE%AF%CE%B1#%CE%93%CE%B5%CF%89%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%86%CE%AF%CE%B1_%CE%BA%CE%B1%CE%B9_%CE%BA%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1) Ολλανδία#Γεωγραφία\_και\_κλίμα

<sup>8</sup>"Γεωγραφία Και Κλίμα[Επεξεργασία | Επεξεργασία Κώδικα] Οι Περιοχές Της Ολλανδίας Που Είναι Πάνω Από Το Επίπεδο Της Θάλασσ," n.d.

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

συγκρατούν τη θάλασσα, να μην εισχωρεί στην ξηρά, η οποία βρίσκεται κάτω από το επίπεδο της. Στα Βόρεια η ξηρά είναι διαμελισμένη και σχηματίζει τα Φριζικά Νησιά. Στα Νότια παράλια σχηματίζονται το δέλτα του Ρήνου και του Μοζα. Η Ανατολική Ολλανδία είναι επίσης επίπεδη με έλη, αμμόλοφους και ζώνες από δάση ελατών. Οι σημαντικότεροι ποταμοί της χώρας είναι ο Ρήνος, ο Μάας και ο Σχέλντε.<sup>9</sup>



**ΣΧΗΜΑ 4. 2 :** ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΟΛΛΑΝΔΙΑΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

---

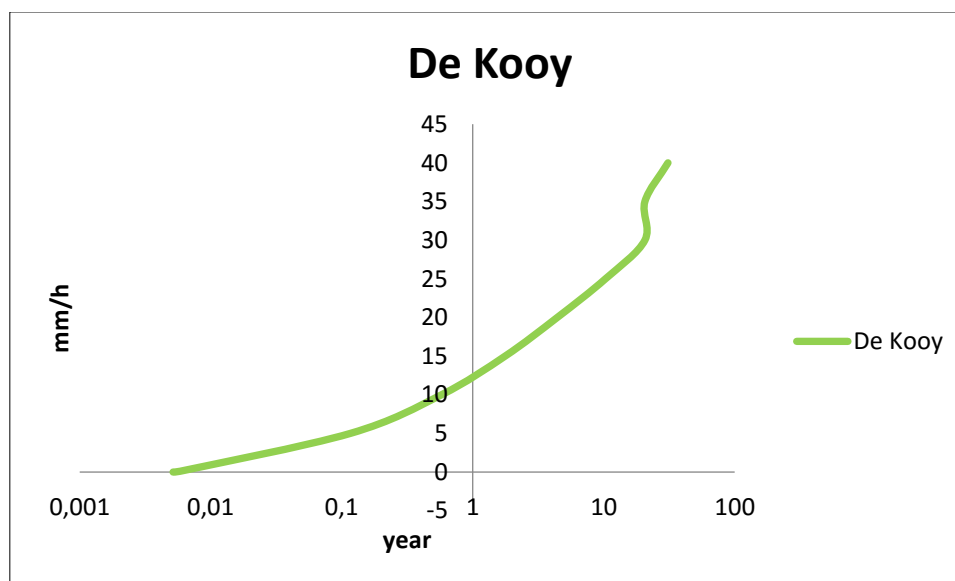
<sup>9</sup>2007Siorovigas.Pdf’.

## 5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 5.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΩΡΙΑΙΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

#### 5.1.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ KNMI

Μετά τη συλλογή των δεδομένων, τα ωριαία ύψη βροχής περάστηκαν σε ένα πίνακα Excel για κάθε βροχογραφικό σταθμό της Ολλανδίας. Στον πίνακα αυτόν υπάρχουν στήλες που περιείχαν το έτος, τον μήνα, το ημερήσιο ύψος βροχής και το μέγιστο ωριαίο ύψος βροχής για κάθε μέρα. Στη συνέχεια για κάθε σταθμό υπολογίστηκε και δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα που στον οριζόντιο άξονα φαίνεται η περίοδος επαναφοράς και στον κατακόρυφο άξονα το μέγιστο ωριαίο ύψος βροχής. Η δημιουργία αυτών των διαγραμμάτων χρησιμοποιήθηκε για μια αρχική απεικόνιση της συμπεριφοράς κάθε σταθμού. Στο Σχήμα 5.1 φαίνεται ένα τέτοιο διάγραμμα.



ΣΧΗΜΑ 5. 1: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ DEKOOPY

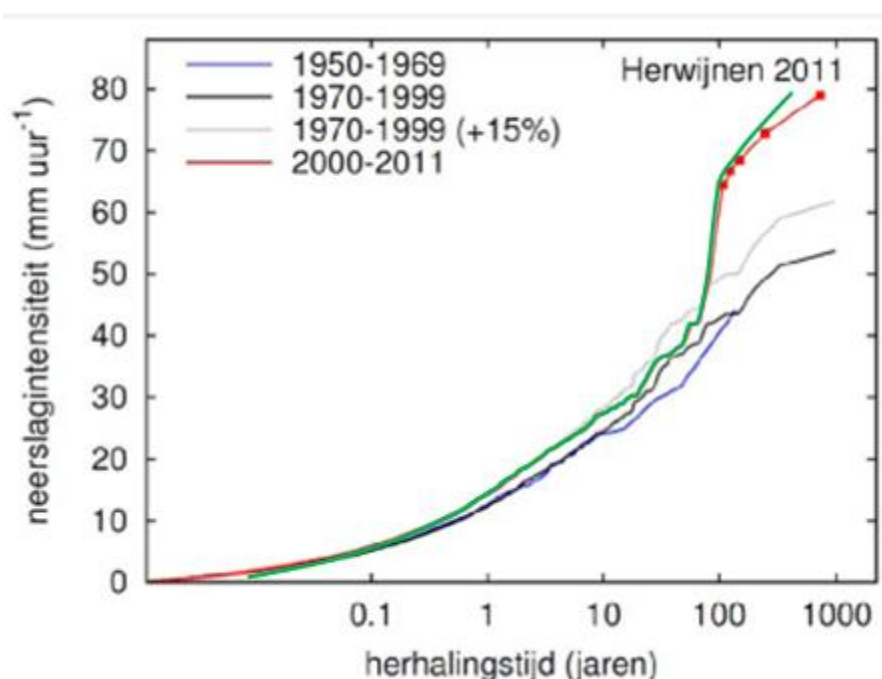
Στην συνέχεια έγινε προσπάθεια για τη δημιουργία του διαγράμματος του KNMI, λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα όλων των σταθμών. Ωστόσο κατά τη διαδικασία αυτή δημιουργήθηκαν διαγράμματα για δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Όπως είχαμε διαπιστώσει τα δεδομένα από τους βροχογραφικούς σταθμούς δεν είχαν την ίδια χρονική διάρκεια λειτουργίας καθώς δεν ξεκίνησαν την ίδια χρονική περίοδο. Για το λόγο αυτό πέρα από το διαχωρισμό σε περιόδους, σύμφωνα με το διαχωρισμό που είχε κάνει το

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

KNMI, διαχωρίσαμε και τους σταθμούς που χρησιμοποιήσαμε για κάθε περίοδο σύμφωνα με το πότε ξεκίνησαν.

Πιο συγκεκριμένα στην πρώτη περίπτωση για κάθε περίοδο χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι σταθμοί που είχαν ξεκινήσει μέσα σε αυτή την περίοδο ή που είχαν καταγραφή δεδομένων για αυτή την περίπτωση. Δηλαδή για τη χρονική περίοδο 1950-1969 χρησιμοποιήθηκαν όλοι οι σταθμοί που είχαν δεδομένα εκείνη την περίοδο χωρίς ωστόσο να έχουν τον ίδιο όγκο δεδομένων καθώς δεν είχαν όλοι την ίδια χρονική έναρξη. Το ίδιο έγινε και για τις περιόδους 1970-1999 και 2000-2011. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα, για κάθε περίοδο, πάνω στο διάγραμμα του KNMI για να μπορεί να γίνει καλύτερη σύγκριση και εκτίμηση των αποτελεσμάτων.

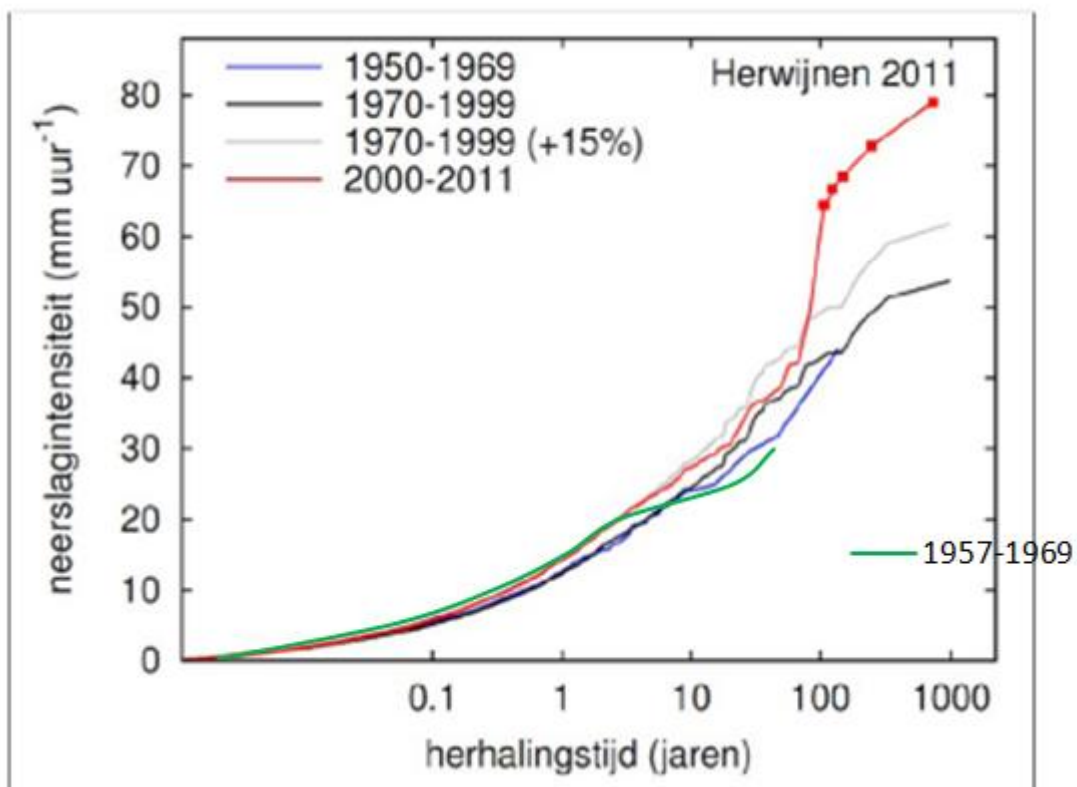


**ΣΧΗΜΑ 5. 2:** ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2000-2011(ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ KNMI)

Τα διαγράμματα αυτά ήρθαν πολλοί κοντά με το διάγραμμα που υπολογίστηκε από το KNMI ωστόσο η μέθοδος αυτή δεν ήταν σωστή καθώς ο όγκος των δεδομένων σε κάθε σταθμό διέφερε με αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχής αύξηση δεδομένων γεγονός που επηρέαζε το αποτέλεσμα.

Στη δεύτερη περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη την χρονική έναρξη καθώς και τη διάρκεια λειτουργίας κάθε σταθμού, χρησιμοποιήσαμε δεδομένα, για κάθε περίοδο, διατηρώντας την ίδια χρονική έναρξη για κάθε σταθμό της περιόδου.

Αναλυτικότερα για τη χρονική περίοδο 1950-1969 είχαμε δεδομένα από πέντε σταθμούς. Ωστόσο άλλοι από αυτούς είχαν ξεκινήσει την καταγραφή δεδομένων πριν από αυτή τη περίοδο και άλλοι κατά τη διάρκεια. Γι' αυτό χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα και των πέντε σταθμών από την χρονική περίοδο 01/01/1957 έως 31/12/1969.

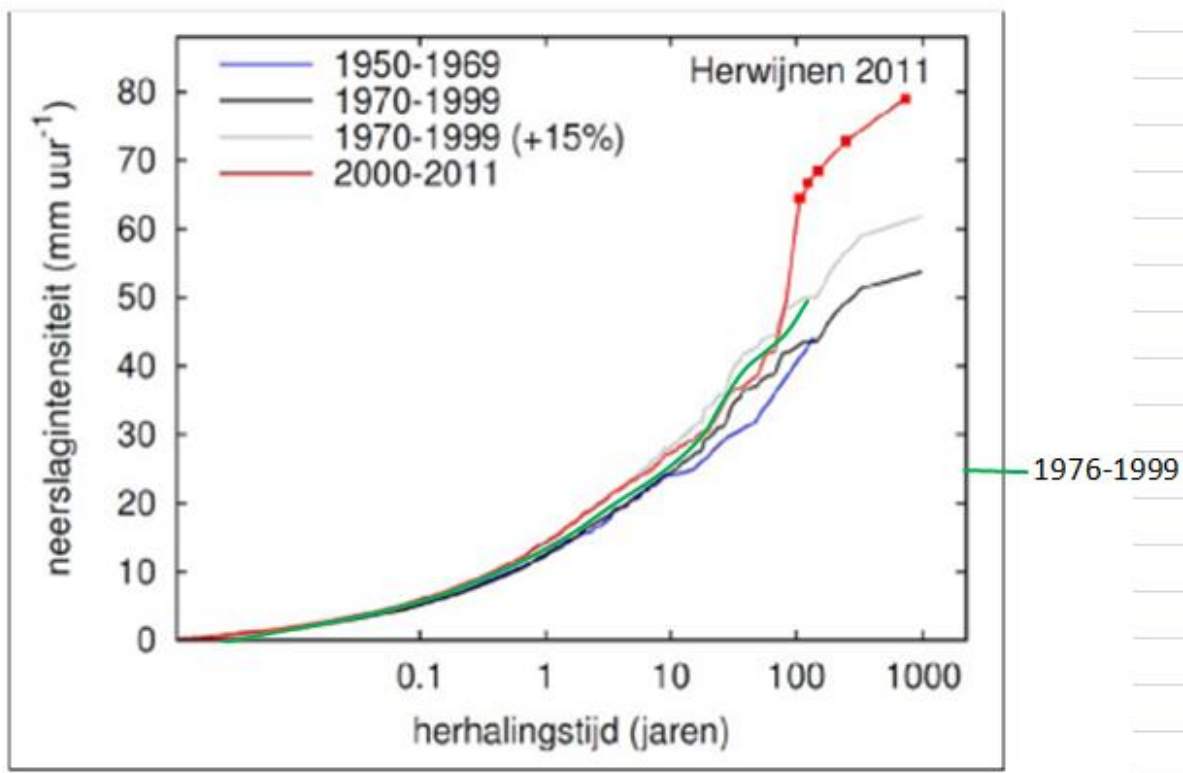


**ΣΧΗΜΑ 5. 3:** ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1957-1969(ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΝΜΙ)

Για την χρονική περίοδο 1970-1999 θεωρήθηκε αναγκαίο να φτιάξουμε δύο διαγράμματα καθώς αυτή τη χρονική περίοδο έχουμε έναρξη καταγραφής δεδομένων από τους περισσότερους σταθμούς, με αύξηση κυρίως κατά τη δεκαετία του 1980 και τις αρχές του 1990. Για το λόγο αυτό στο πρώτο διάγραμμα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δεκατρείς σταθμούς από την χρονική περίοδο 01/01/1976 έως 31/12/1999.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

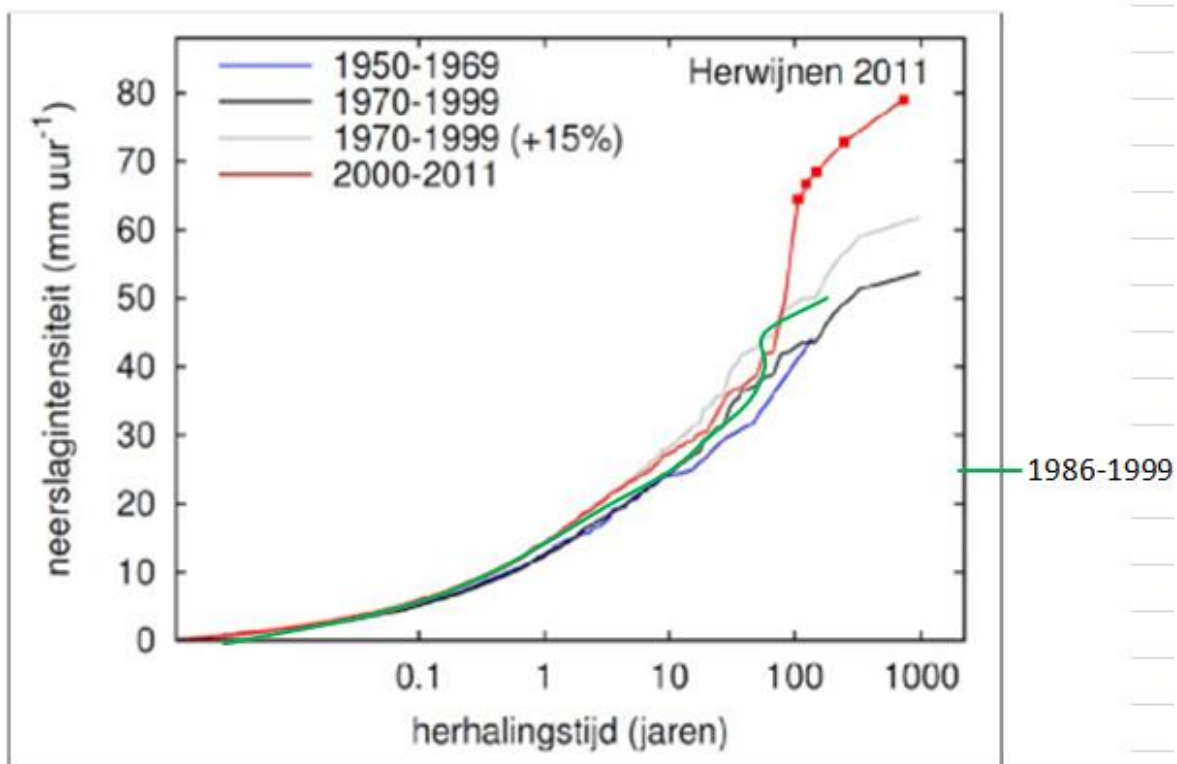


**ΣΧΗΜΑ 5. 4:** ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1976-1999(ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΝΜΙ)

Στη συνέχεια κατασκευάστηκε ένα δεύτερο διάγραμμα, για την περίοδο 1970-199, όπου χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από δεκαέξι σταθμούς από την χρονική περίοδο 01/01/1986 έως 31/12/1999.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



**ΣΧΗΜΑ 5. 5:** ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1986-1999(ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΝΜΙ)

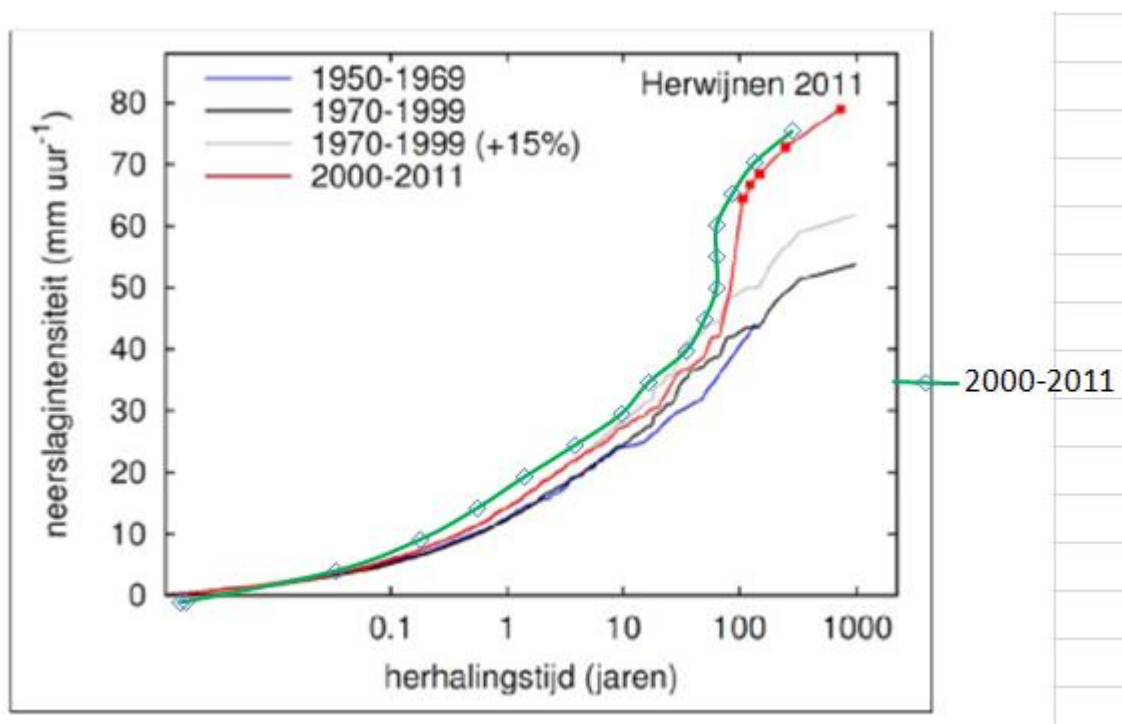
Ο λόγος που δεν προχωρήσαμε σε κατασκευή διαγράμματος για χρονική περίοδο με χρόνο έναρξης καταγραφής πέρα του 1986, ήταν το γεγονός ότι μικραίνει πολύ ο όγκος δεδομένων, λόγω μικρής χρονικής περιόδου, παρά την αύξηση των σταθμών.

Για την χρονική περίοδο 2000-2011 χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 33 σταθμούς με από την χρονικής περίοδο 01/05/2001 έως 31/12/2011.



### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

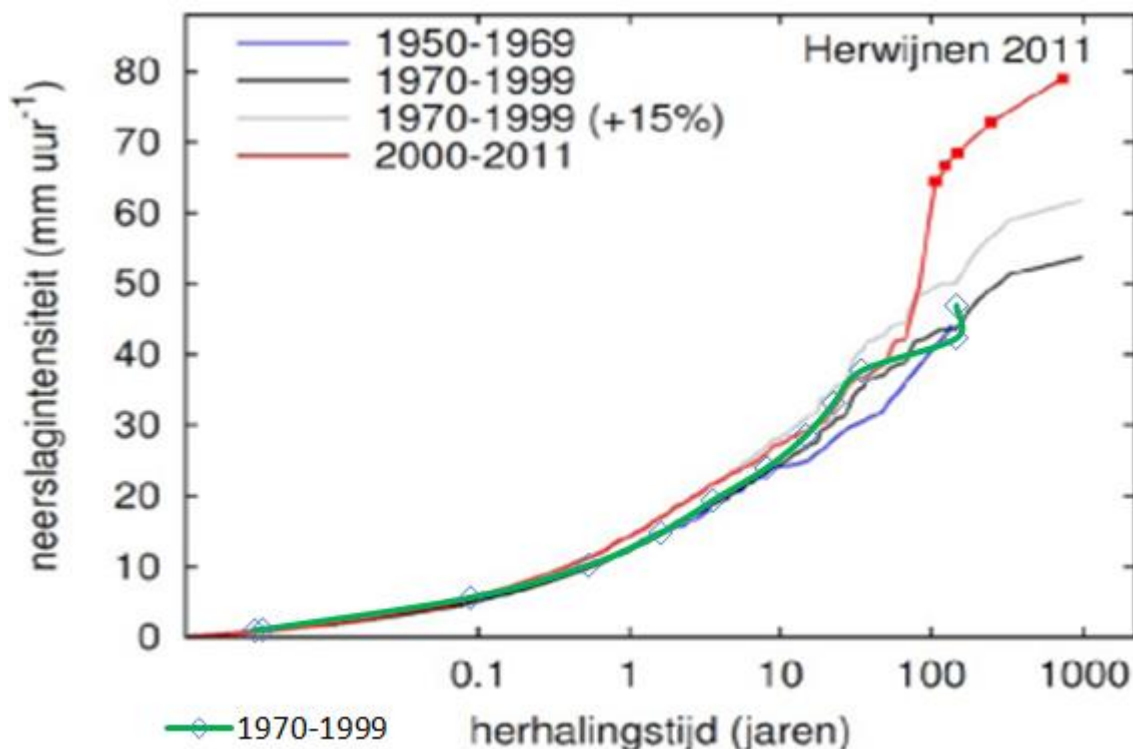


**ΣΧΗΜΑ 5. 6:** ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2000-2011(ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΝΜΙ)

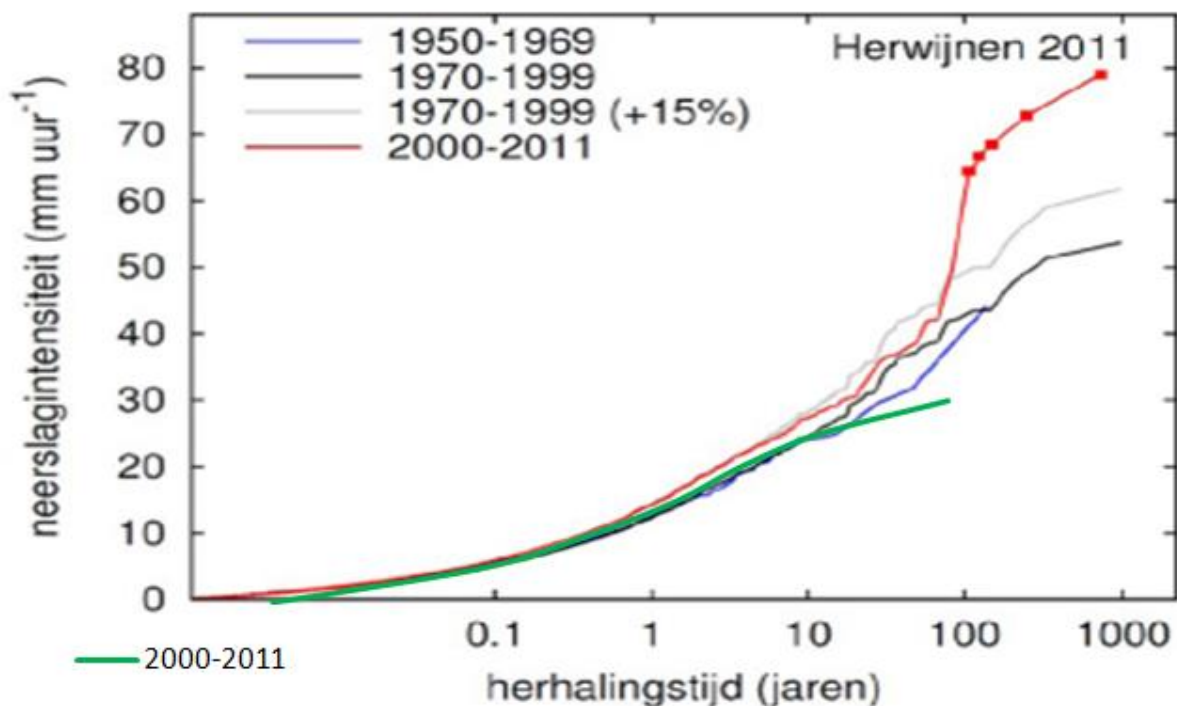
Ωστόσο τελικά κατασκευάσαμε για την περίοδο 1970-1999 και 2000-2011 δύο επιπλέον διαγράμματα με τους σταθμούς που έχουν δεδομένα από την δεκαετία του 1950. Οι σταθμοί αυτοί είναι : Eelde, Maastricht, Vlissingen, De Kooy και De Bilt.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



**ΣΧΗΜΑ 5. 7:** ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΦΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1970-1999 ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ 5 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΠΟΥ ΞΕΚΙΝΟΥΝ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1950 (ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΝΜΙ)



**ΣΧΗΜΑ 5. 8:** ΜΕ ΠΡΑΣΙΝΟ ΧΡΩΜΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΦΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2000-2011 ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΤΟΥΣ 5 ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΠΟΥ ΞΕΚΙΝΟΥΝ ΤΗ ΔΕΚΑΕΤΙΑ ΤΟΥ 1950 (ΟΙ ΥΠΟΛΟΙΠΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΝΜΙ)

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

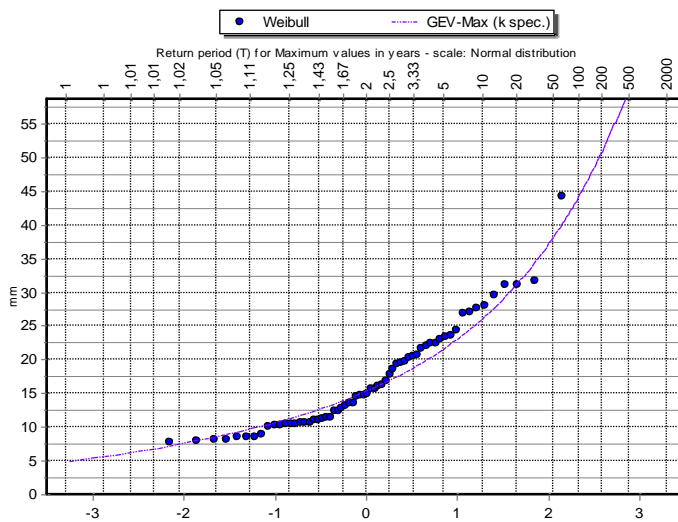
Είναι φανερό πως η πρόσθεση σταθμών προκαλεί την αύξηση στο ύψος βροχής όπως είναι λογικό λόγω της αύξησης των δεδομένων. Αντίθετα διατηρώντας τον αριθμό των σταθμών παρατηρούμε ότι η καμπύλη του ύψους βροχής συναρτήσει της περιόδου επαναφοράς δεν πλησιάζει τα αποτελέσματα από το ΚΝΜΙ.

### 5.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ GEV<sub>max</sub> ΒΑΣΗ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΩΡΙΑΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ

Στη συνέχεια τα ωριαία ύψη βροχής για κάθε βροχογραφικό σταθμό της Ολλανδίας περάστηκαν σε ένα πίνακα Excel και στη συνέχεια έγινε η καταχώρηση και η απεικόνιση των δεδομένων, για κάθε σταθμό, στον Υδρογνώμονα όπως αναλύεται στο κεφάλαιο “Λογισμικό επεξεργασίας χρονοσειρών”.

Ακολουθώντας την διαδικασία αυτή, για κάθε σταθμό, δημιουργήσαμε διαγράμματα για τη GEV<sub>max</sub>. Πιο συγκεκριμένα για κάθε σταθμό δημιουργήσαμε διάγραμμα GEV<sub>max</sub> με την παράμετρο  $k$  που αντιστοιχούσε σε κάθε σταθμό καθώς και για  $k=0,15$  (από μελέτη “Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall - Demetris Koutsoyiannis) καθώς η εκτίμηση της παραμέτρου  $k$  από μικρό δείγμα είναι αβέβαιη ενώ για  $k=0,15$  τα δεδομένα μας προσαρμόζονταν καλύτερα .

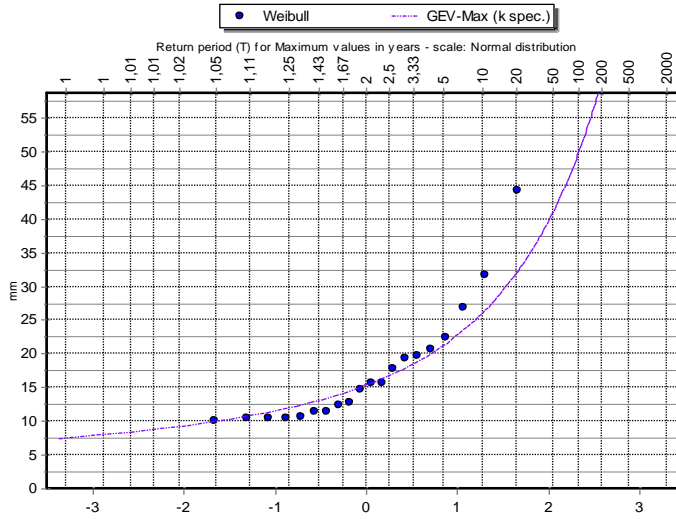
Παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα της GEV<sub>max</sub> από το σταθμό De Bilt.



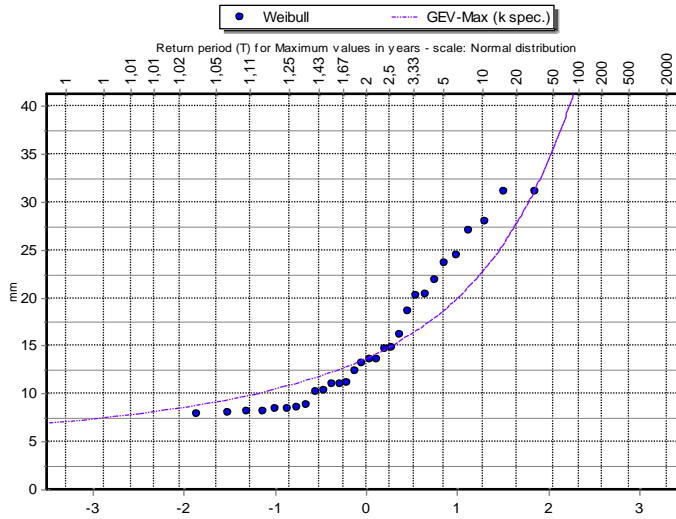
ΣΧΗΜΑ 5. 9: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GEV<sub>max</sub> ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1950-2011 ΜΕ  $k=0,15$

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



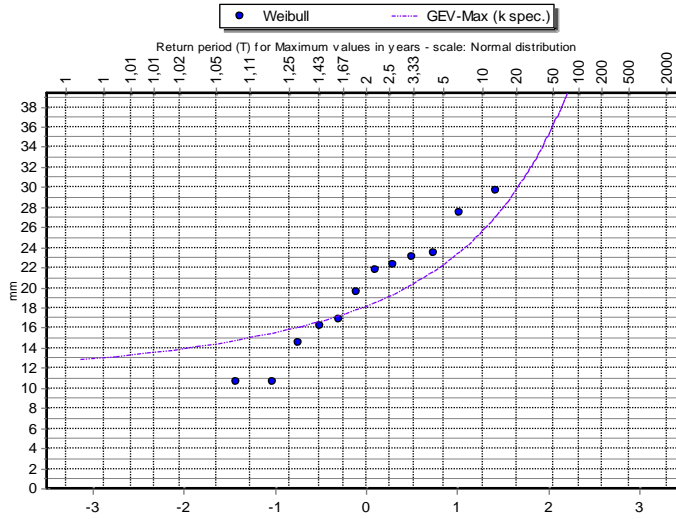
ΣΧΗΜΑ 5. 10: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GEVMAX ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1950-2011 ΜΕ  $K=0,2655$



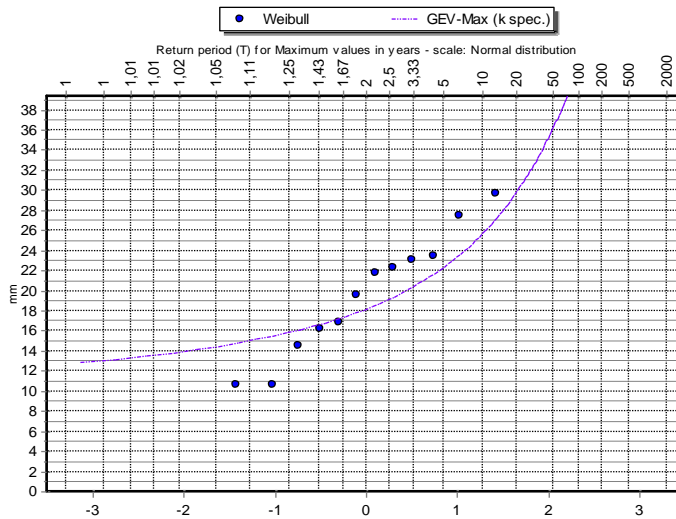
ΣΧΗΜΑ 5. 11: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GEVMAX ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1950-2069 ΜΕ  $K=0,2655$

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



ΣΧΗΜΑ 5. 12: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GEVMAX ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1970-1999 ΜΕ  $K=0,2655$



ΣΧΗΜΑ 5. 13: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GEVMAX ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2000-2011 ΜΕ  $K=0,2655$

Επιπλέον συλλέχθηκαν οι παράμετροι GEV της για κάθε σταθμό. Πιο αναλυτικά  $k$  είναι η shape παράμετρος,  $\sigma$  η scale παράμετρος και  $\mu$  η location παράμετρος.

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

	k	sigma	mu
<a href="#">Valkenburg Zh</a>	-0,22069	4,641738	13,45496
<a href="#">De Kooy</a>	0,107406	4,625938	11,98703
<a href="#">Schiphol</a>	0,02478	4,249273	12,51575
<a href="#">Hoorn Terschelling</a>	0,011108	4,925291	13,8189
<a href="#">De Bilt</a>	0,265524	4,797939	12,77836
<a href="#">Stavoren</a>	0,451882	4,356425	11,61219
<a href="#">Lelystad</a>	-0,75153	5,781381	17,6205
<a href="#">Leeuwarden</a>	0,241186	4,411914	12,71159
<a href="#">Marknesse</a>	0,3184	4,512575	12,96037
<a href="#">Deelen</a>	0,211771	4,241967	12,88957
<a href="#">Lauwersoog</a>	0,081256	4,316911	12,84006
<a href="#">Heino</a>	-0,00642	3,598416	14,93014
<a href="#">Hoogeveen</a>	0,267703	4,802803	15,11131
<a href="#">Eelde</a>	0,038959	3,881411	12,66736
<a href="#">Hupsel</a>	-0,19472	6,215855	18,54681
<a href="#">Nieuw Beerta</a>	0,147613	3,562635	13,32671
<a href="#">Twenthe</a>	0,117199	4,229489	13,29715
<a href="#">Vlissingen</a>	0,167485	3,327142	11,54957
<a href="#">Westdorpe</a>	0,209334	6,098336	14,57712
<a href="#">Wilhelminadorp</a>	0,207214	3,678417	12,20777
<a href="#">Hoek van Holland</a>	0,370004	5,293732	14,62872
<a href="#">Rotterdam</a>	0,243249	3,591522	12,71213
<a href="#">Cabauw Mast</a>	0,48486	5,051499	11,09457
<a href="#">Gilze-Rijen</a>	0,095423	4,770795	13,61054
<a href="#">Herwijnen</a>	0,380924	4,604727	12,58629
<a href="#">Eindhoven</a>	0,182524	3,247879	13,85357
<a href="#">Volkel</a>	0,226652	4,475224	12,105

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

<a href="#">Maastricht</a>	0,071239	5,472555	13,11424
<a href="#">Arcen</a>	0,077922	6,872217	15,84168

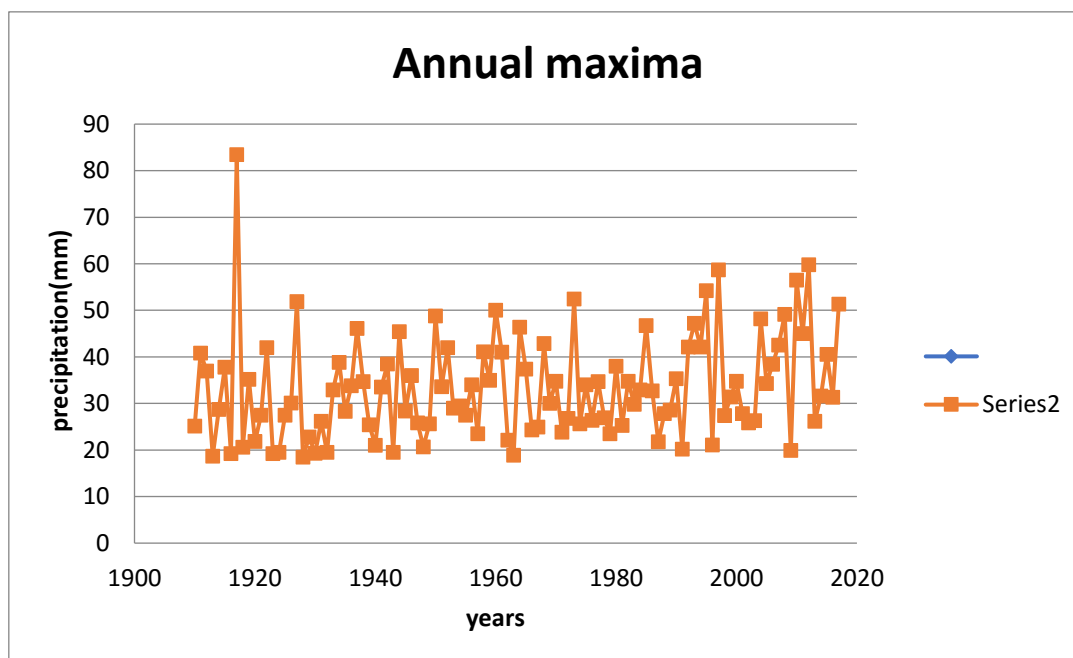
ΣΧΗΜΑ 5. 14: ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΗΣ GEV ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ

## 5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

### 5.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

Μετά τη συλλογή των δεδομένων, τον έλεγχο και τη δημιουργία αρχείων .mat για κάθε σταθμό, τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού MATLAB.

Αρχικά υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό τα μέγιστα ημερήσια ύψη βροχής και στη συνέχεια απεικονίστηκαν σε διαγράμματα έτσι ώστε να παρατηρηθεί η συμπεριφορά των ημερήσιων υψών βροχής ανά έτος για κάθε σταθμό.

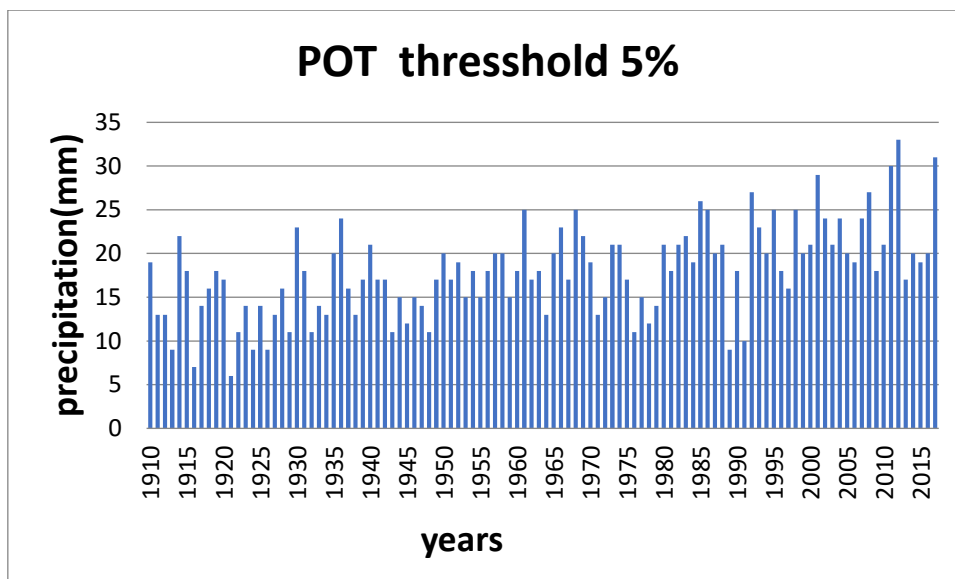


ΣΧΗΜΑ 5. 15: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ HOLLUM ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΓΙΣΤΑ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΑΝΑ ΕΤΟΣ.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο αριθμός POT (Pick of the Threshold) ανά έτος, πενταετία και δεκαετία για κάθε σταθμό. Με αυτό τον τρόπο μπορέσαμε να δείξουμε το 5% της υψηλότερης ημερήσιας βροχόπτωσης ανά έτος, πενταετία και δεκαετία. Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η απεικόνισή τους ανά έτος καθώς φαίνεται πιο εύκολα η εξέλιξη του φαινομένου σε κάθε σταθμό.



ΣΧΗΜΑ 5. 16: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ POT ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ HOLLUM ΑΝΑ ΕΤΟΣ.

#### 5.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ MANN KENDALL (MK) TEST

Επιπλέον τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν και στο Mann Kendall (MK) test για την στατιστική εκτίμηση αν υπάρχει μονοτονική ανοδική ή καθοδική τάση της ημερήσιας βροχόπτωσης με την πάροδο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε για τα μέγιστα ετήσια καθώς και για το POT κάθε σταθμού.

MK	Annual_maxima	POT
Number of stations with positive significance	44	96



### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

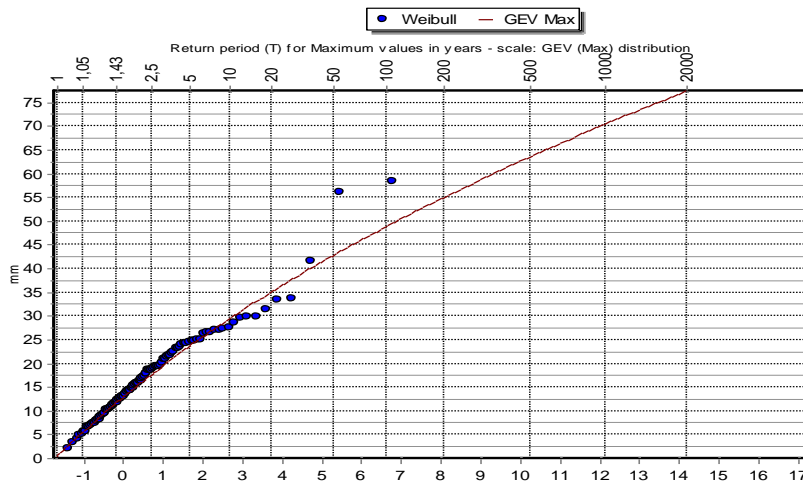
Number of stations with negative significance	0	0
---	---	---

ΣΧΗΜΑ 5. 17: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ MANN KENDALL (MK) TEST

### 5.2.3 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ GEV<sub>MAX</sub> ΒΑΣΗ ΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΑΠΟ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ

Επιπλέον τα δεδομένα από τα ημερήσια ύψη βροχής για κάθε βροχογραφικό σταθμό της Ολλανδίας περάστηκαν σε ένα πίνακα Excel και στη συνέχεια έγινε η καταχώρηση και η απεικόνιση των δεδομένων, για κάθε σταθμό, στον Υδρογνώμονα όπως αναλύεται στο κεφάλαιο “Λογισμικό επεξεργασίας χρονοσειρών”.

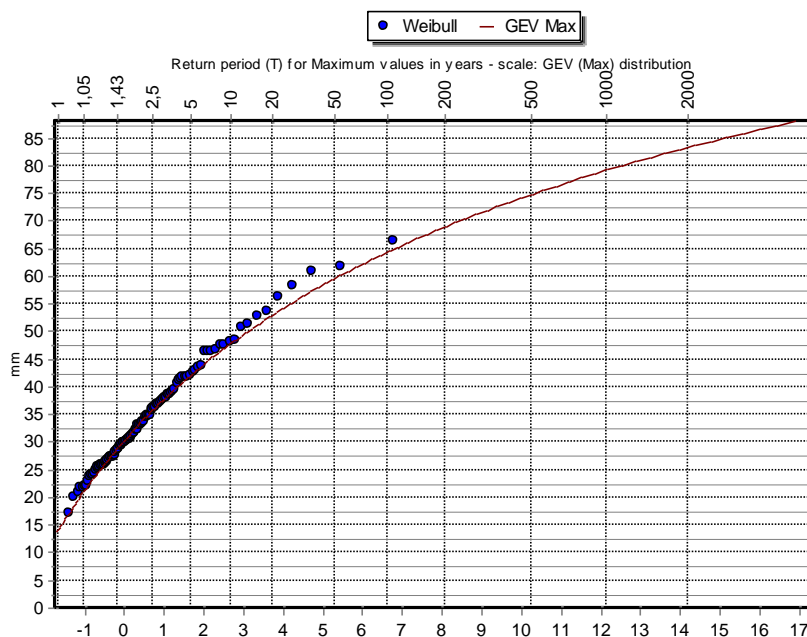
Ακολουθώντας την διαδικασία που προαναφέρθηκε δημιουργήσαμε διαγράμματα για τη GEV<sub>max</sub>. Πιο συγκεκριμένα για κάθε σταθμό δημιουργήσαμε διάγραμμα GEV<sub>max</sub> με την παράμετρο  $k$  που αντιστοιχούσε σε κάθε σταθμό και στη συνέχεια δημιουργήσαμε διαγράμματα ανά δεκαετία χρησιμοποιώντας την τιμή της παραμέτρου  $k$  ίση με 0,15 (από μελέτη “Statistics of extremes and estimation of extreme rainfall - Demetris Koutsoyiannis) καθώς η εκτίμηση της παραμέτρου  $k$  από μικρό δείγμα είναι αβέβαιη ενώ για  $k=0,15$  τα δεδομένα μας προσαρμόζονταν καλύτερα.



ΣΧΗΜΑ 5. 18: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GEV<sub>MAX</sub> ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1910-2018 ΜΕ  $k=0,03722$

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



**ΣΧΗΜΑ 5. 19:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ GEVMAX ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1910-2018 ΜΕ  $k=0,15$

Επιπλέον συλλέχθηκαν οι παράμετροι GEV της για κάθε σταθμό. Πιο αναλυτικά  $k$  είναι η shape παράμετρος,  $\sigma$  η scale παράμετρος και  $\mu$  η location παράμετρος.

	k
Hollum	0,07821
West Terschelling	0,11669
Schiermonnikoog	0,05362
Oost-Vlieland	0,1211
Petten	0,11353
Sneek	0,06623
Makkum	0,07128
Harlingen	0,10723
Sint Annaparochie	0,14065
Appelscha	0,05488
Groningen	0,07632
Warffum	0,05929
Finsterwolde	0,12867
Ter Apel	0,07884
Zoutkamp	0,09587
Veendam	0,06875
Sappemeer	0,14318

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

Uithuizen	0,07947
Marum	0,05362
Hoorn	0,11227
Schellingwoude	0,0265
Edam	0,06434
Overveen	0,05866
Anna Paulowna	0,06434
Schagen	0,14507
Zandvoort	0,1129
Zaandijk	0,05866
Zaandijk	0,05866
Frederiksoord	0,04163
Dwingeloo	0,04156
Heerde	0,07254
Wapenveld	0,10029
Denekamp	0,08704
Emmen	0,08767
Groot Ammers	0,06938
Heemstede	0,02965
Lijnden	0,05172
Hoofddorp	0,0348
Roelofarendsveen	0,04857
Scheveningen	0,08263
Amsterdam	0,08137
Boskoop	0,13876
Gouda	0,17282
Katwijk Aan Den Rijn	0,0328
Den Bommel	0,13119
Ijsselmonde	0,01577
Bergschenhoek	0,06055
Lisse	0,1047
Arnhem	0,08326
Putten	0,12425
Apeldoorn	0,06118
Woudenberg	0,08263
Nijkerk	0,07254
Loenen Aan De Vecht	0,10596
Culemborg	0,11732
De Bilt	0,03722
Eerbeek	0,04857
Lunteren	0,08263
Benschop	0,06749
Tiel	0,05992
Lochem	0,07632
Almelo	0,08074

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

Enschede	0,07506
Wintersw	0,08452
Doetinchem	0,06245
Hengelo	0,07821
Borculo	0,13876
Aalten	0,0883
Vlissingen	0,0738
Kapelle	0,041
Brouwershaven	0,09713
Kerkwerve	0,09398
Biervliet	0,09398
St Kruis	0,10533
Stavenisse	0,04416
Noordgouwe	0,07001
Westkapelle	0,07506
Krabbendijke	0,06434
Tilburg	0,08263
Oudenbosch	0,13245
Herwijnen	0,07122
Esbeek	0,04479
Bergen Op Zoom	0,12488
Oosterhout	0,11227
Chaam	0,09272
Andel	0,14444
Gorinchem	0,0984
Helmond	0,06686
Gemert	0,03974
Nuland	0,07569
Eindhoven	0,11669
Megen	0,13813
Someren	0,12047
Sint Anthonis	0,09776
Oirschot	0,07001
Roermond	0,10029
Valkenburg	0,08957
Weert	0,10281
Schaesberg	0,08641
Schinnen	0,10281
Vaals	0,05362

**ΣΧΗΜΑ 5. 20:** ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ Κ ΤΗΣ GEV ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ

## Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία

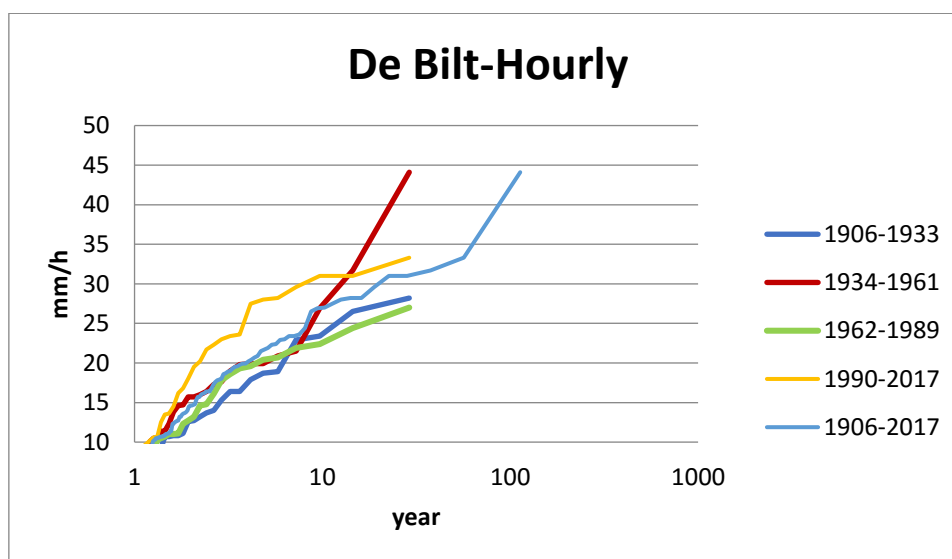
### 5.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΚΑΙ ΩΡΙΑΙΩΝ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

Λαμβάνοντας υπόψιν τους κοινούς σταθμούς που είχαμε και από τις δύο βάσεις δεδομένων, προσπαθήσαμε να δημιουργήσουμε διαγράμματα με το ύψος βροχής σε συνάρτηση με τη περίοδο επαναφοράς. Πιο συγκεκριμένα, για κάθε σταθμό, δημιουργήθηκαν δύο διαγράμματα .

	Hourly	Daily
<a href="#">Valkenburg Zh</a>	1973-2015	1910-2017
<a href="#">Hoorn</a> <a href="#">Terschelling</a>	1995-2017	1910-2017
<a href="#">De Bilt</a>	1906-2017	1910-2017
<a href="#">Vlissingen</a>	1957-2017	1910-2017
<a href="#">Herwijnen</a>	1992-2004	1910-2017
<a href="#">Eindhoven</a>	1985-2017	1910-2008

**ΣΧΗΜΑ 5. 21:** ΟΙ ΚΟΙΝΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ.

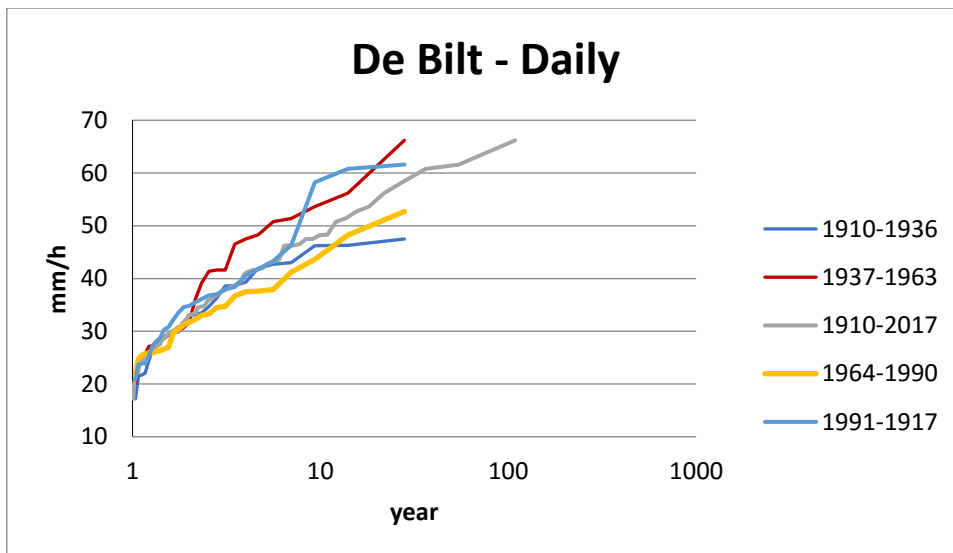
Στα δύο διαγράμματα για κάθε σταθμό απεικονίζεται το ύψος βροχής σε συνάρτηση με την περίοδο επαναφοράς για το συνολικό χρόνο συλλογής των δεδομένων αλλά και για το χωρισμό τους σε μικρότερες χρονικές περιόδους. Αυτό έγινε ώστε να συγκριθούν τα δεδομένα από τα ωριαία ύψη βροχής και τα ημερήσια ύψη βροχής.



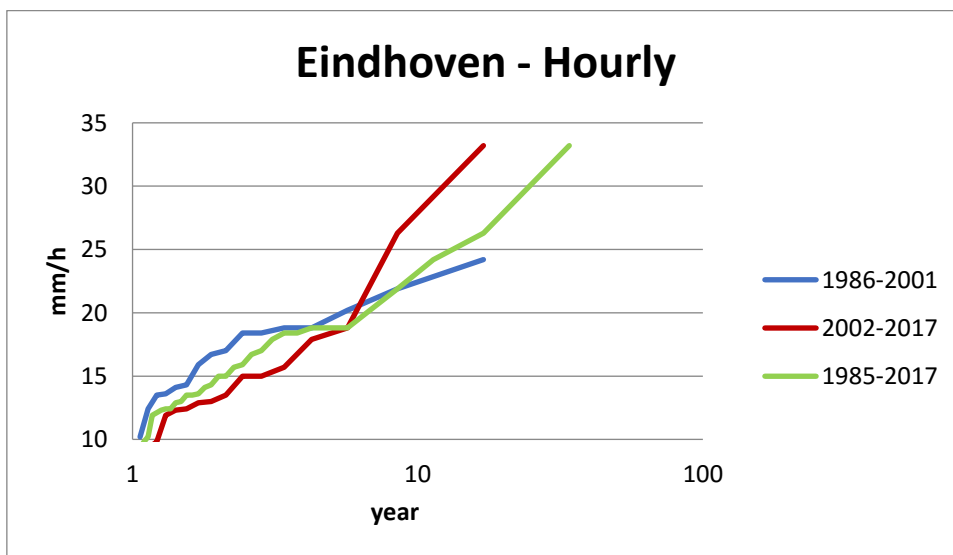
**ΣΧΗΜΑ 5. 22:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΜΕ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



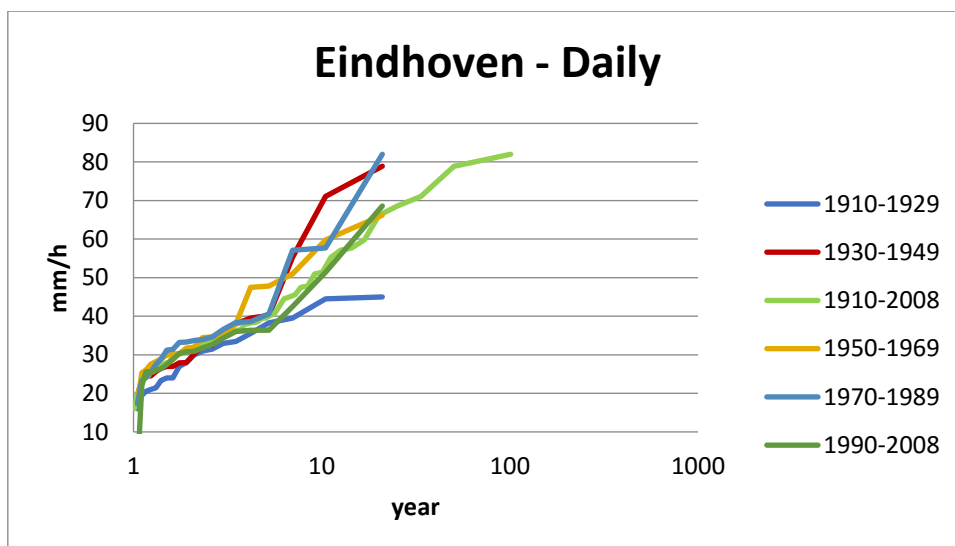
**ΣΧΗΜΑ 5. 23:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ DE BILT ΜΕ ΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.



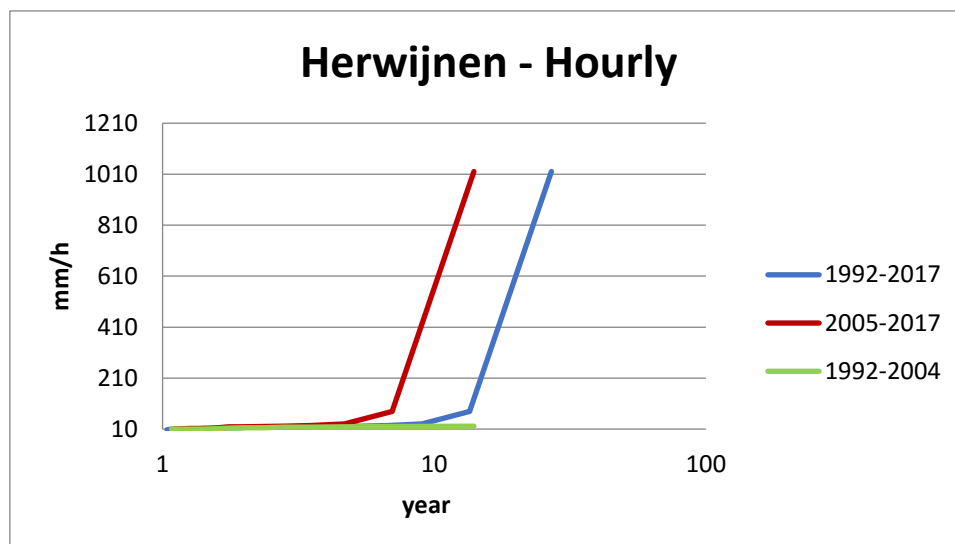
**ΣΧΗΜΑ 5. 24:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΕΙΝΔΗΟΒΕΝ ΜΕ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



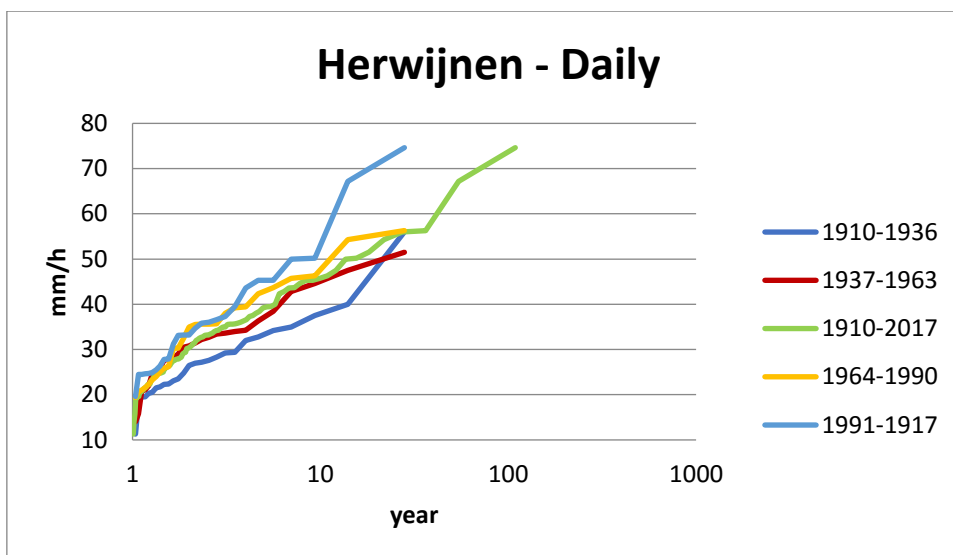
**ΣΧΗΜΑ 5. 25:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΕΙΔΗΟΒΕΝ ΜΕ ΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.



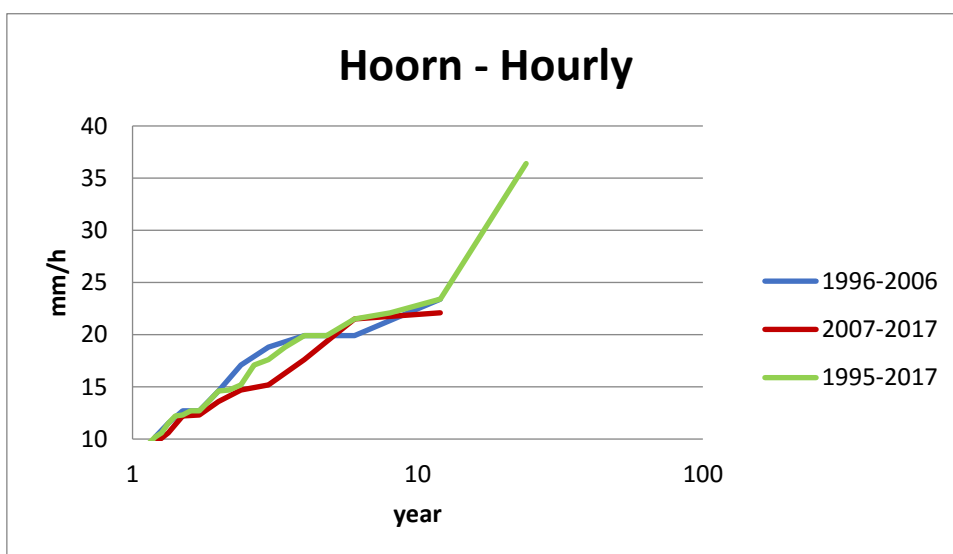
**ΣΧΗΜΑ 5. 26:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ ΗΕΡΒΙΩΝΕΝ ΜΕ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



ΣΧΗΜΑ 5. 27: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ HERWIJNEN ΜΕ ΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

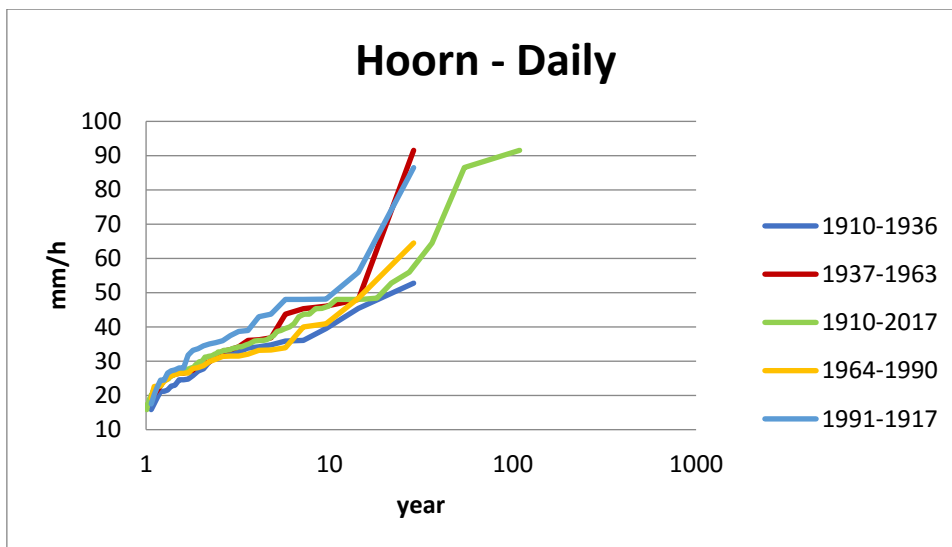


ΣΧΗΜΑ 5. 28: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ HOORN ΜΕ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

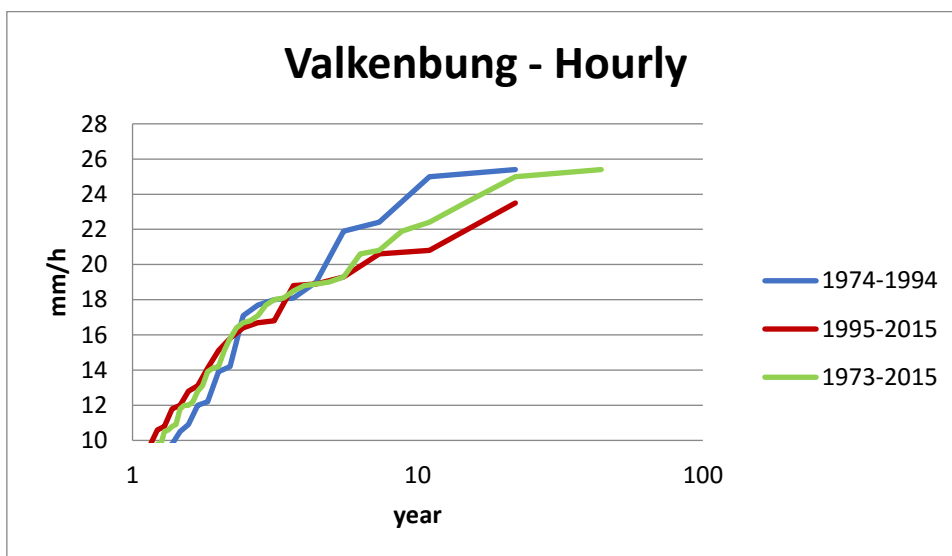


### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



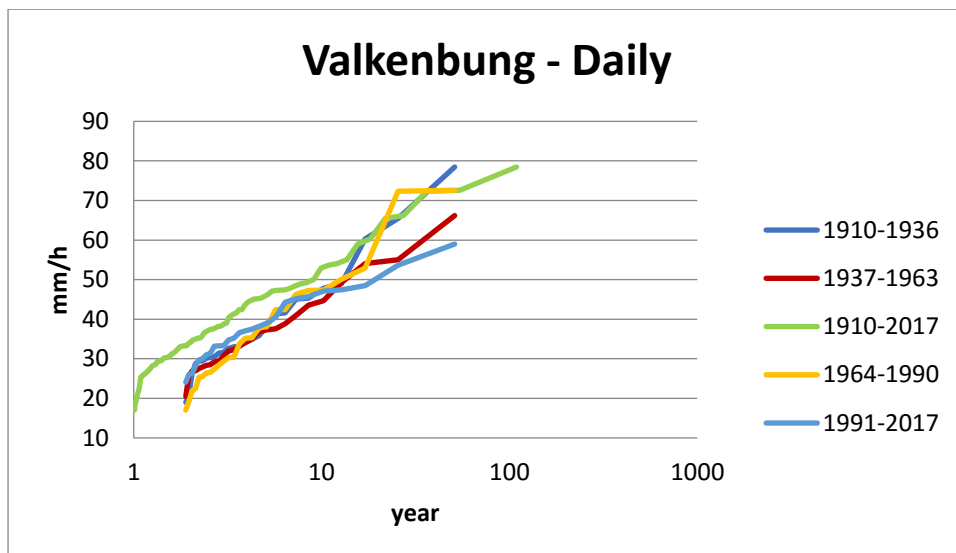
ΣΧΗΜΑ 5. 29: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ HOORN ΜΕ ΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.



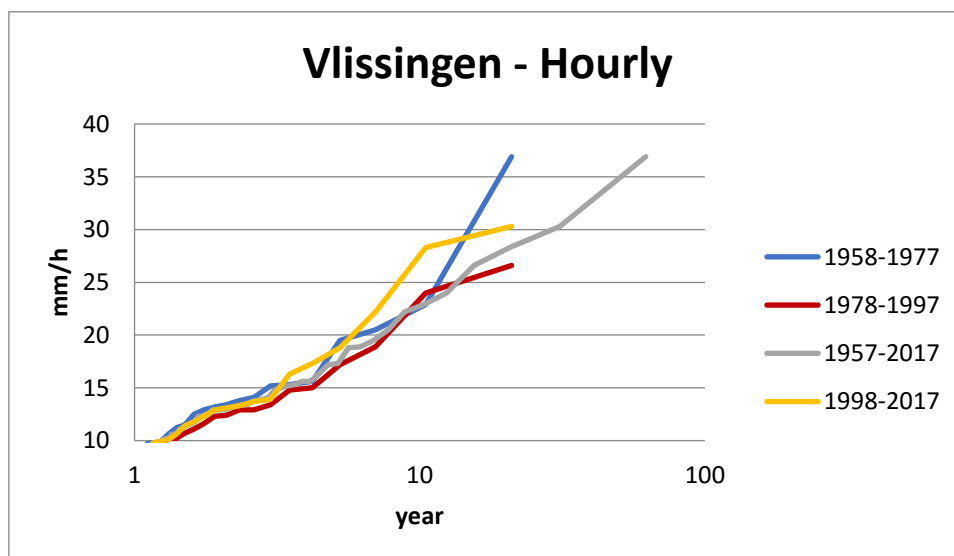
ΣΧΗΜΑ 5. 30: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ VALKENBUNG ΜΕ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



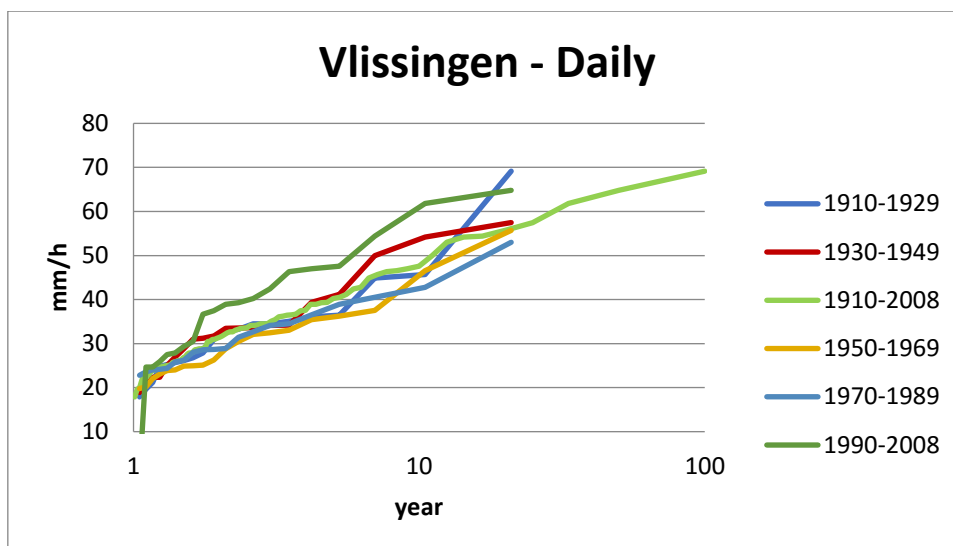
ΣΧΗΜΑ 5. 31: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ VALKENBUNG ΜΕ ΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.



ΣΧΗΜΑ 5. 32: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ VLISSINGEN ΜΕ ΤΟ ΩΡΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

### Σκούρα Βασιλική

Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία



**ΣΧΗΜΑ 5. 33:** ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΤΑΘΜΟ VLISSINGEN ΜΕ ΤΟ ΗΜΕΡΗΣΙΟ ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ.

Όπως ήταν αναμενόμενο τα διαγράμματα με τα δεδομένα από τα ωριαία ύψη βροχής διαφέρουν με τα δεδομένα από τα ημερήσια ύψη βροχής. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούνται μεγαλύτερα ύψη βροχής στα δεδομένα από τα ημερήσια πράγμα αναμενόμενο.

## 6. ΣΥΝΟΨΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση της στατιστικής συμπεριφοράς των βροχοπτώσεων στην Ολλανδία σε ημερήσια και ωριαία κλίμακα. Δεδομένα ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων KNMI και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από 101 βροχογραφικούς σταθμούς με ημερήσια ύψη βροχής και από 29 βροχογραφικούς σταθμούς με ωριαία ύψη βροχής καλύπτοντάς ικανοποιητικά την περιοχή της Ολλανδίας.

Αρχικά η προσπάθεια δημιουργίας του διαγράμματος του KNMI με τη χρήση των ίδιων δεδομένων, των ωριαίων υψών βροχής, οδήγησε στην ανακατασκευή ενός διαγράμματος που ναι μεν είναι αρκετά κοντά με του KNMI αλλά διαπιστώσαμε ότι το εύρος των δεδομένων σε κάθε βροχογραφικό σταθμό δεν είναι ίδιο καθώς διαφέρουν οι ημερομηνίες έναρξης συλλογής των δεδομένων. Γι' αυτό δημιουργήσαμε και άλλα διαγράμματα διατηρώντας ίδιο εύρος δεδομένων από κάθε σταθμό για κάθε περίοδο. Επιπλέον κατασκευάσαμε το διάγραμμα κάθε περιόδου διατηρώντας σταθερό τον αριθμό των σταθμών. Τα διαγράμματα που δημιουργήθηκαν διέφεραν αρκετά με αυτό που κατασκεύασε το KNMI και δεν φαίνεται αυτή η ανοδική τάση που είχαν υποστηρίξει. Όπως είναι φανερό από τα διαγράμματα η ανοδική τάση αποδίδεται στην αύξηση των δεδομένων και όχι στην αύξηση του ύψους βροχής.

Στη συνέχεια της επεξεργασίας των ωριαίων υψών βροχής δημιουργήθηκαν για κάθε σταθμό το διάγραμμα της  $GEV_{max}$  συναρτήσεως της παραμέτρου  $k$  του κάθε σταθμού αλλά και για  $k=0,15$ . Καλύτερη προσαρμογή παρατηρήθηκε για  $k=0,15$  καθώς λόγω του μικρού δείγματος που είχαμε η εκτίμηση του  $k$  για κάθε σταθμό θα ήταν αβέβαιη.

Στη διαγραμματική απεικόνιση της  $GEV_{max}$  για τα ημερήσια ύψη βροχής ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με τα ωριαία. Το  $k$  κάθε σταθμού προσάρμοσε αρκετά καλά τα δεδομένα ωστόσο και πάλι η επιλογή του  $k=0,15$  λειτούργησε καλύτερα. Ωστόσο και στις δύο περιπτώσεις δεδομένων, ωριαίων και ημερησίων, ο μέσος όρος του  $k$  απ' όλους τους σταθμούς ήταν  $k=0,13$  και  $k=0,083$  αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές του συντελεστή είναι συνήθης και αντιστοιχούν στους παγκόσμιους μέσους όρους πράγμα που μας υποδεικνύει την μη ύπαρξη τόσο μεγάλων ουρών και κατ' επέκταση όχι συχνή εμφάνιση ακραίων.

Επιπλέον στην επεξεργασία ημερησίων υψών βροχής έγινε γραφική απεικόνιση της υψηλότερης ημερήσιας βροχόπτωσης ανά έτος. Στο διάγραμμα του σταθμού που εμφανίστηκε το μεγαλύτερο POT μπορεί να παρατηρηθεί ότι ο αριθμός των POT ανά έτος ελαφρώς αυξάνεται. Ωστόσο, σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι αυτό δεν πρέπει να αποδοθεί μόνο στην πιθανή αλλαγή του κλίματος αλλά σημαντικό ρόλο σε αυτή την ένδειξη έχει η μέτρηση της συσκευής και η συχνότητα χρήσης της μέσα στη διάρκεια των 107 ετών καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται και τα όργανα μέτρησης αυξάνουν την ευαισθησία τους και την ακρίβειά τους.

Όσον αφορά τη δοκιμή Mann-Kendall στα δεδομένα ημερήσια ύψη βροχής παρατηρήθηκε ότι ένας μεγάλος αριθμός χρονοσειρών εμφάνισε θετικές τάσεις. Η σημαντικότητά τους δεν μπορεί να είναι εξασφαλισμένη καθώς βασίζεται στην υπόθεση ανεξαρτησίας των

### **Σκούρα Βασιλική**

*Διερεύνηση της μεταβολής των ακραίων βροχοπτώσεων στην Ολλανδία*

δεδομένων η οποία γενικώς δεν επαρκεί. Ωστόσο η ανοδική τάση σημαίνει ότι η μεταβλητή αυξάνεται διαχρονικά, χωρίς αυτό να συνεπάγεται ότι η τάση μπορεί και να είναι γραμμική. Επιπλέον δεν παρατηρήθηκε αρνητική τάση σε κάποιον σταθμό.

Τέλος έγινε προσπάθεια σύγκρισης διαγραμμάτων για τους έξι κοινούς σταθμούς που είχαμε από τα δεδομένα των ωριαίων και ημερήσιων υψών βροχής. Όπως φάνηκε και από τα διαγράμματα διέφεραν τόσο τα ύψη βροχής όσο και οι περίοδοι επαναφοράς. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς τα ημερήσια ύψη βροχής παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές. Αυτή η σύγκρισή λειτουργεί ως ερέθισμα για τη σημασία των δεδομένων που επεξεργαζόμαστε. Καθώς απ' ότι φαίνεται η μονόπλευρη χρήση δεδομένων είτε ημερησίων είτε ωριαίων υψών βροχής μπορεί να συμβάλει στην εξαγωγή μη ασφαλών συμπερασμάτων.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Marcel Crock, Rob de Vos . 2018 . *Waarom de KNMI-scenario 's niet zullen uitkomen*
- Ahmad, M.I., C.D. Sinclair, and A. Werritty. 1988. Log-logistic Flood Frequency Analysis. *Journal of Hydrology* 98 (3–4) (April 15): 205–224.
- Benktander, G., & Segerdahl, C. 1960. On the analytical representation of claim distributions with special reference to excess of loss reinsurance. *in: XVIth International Congress of Actuaries*. Brussels.
- Bryson, M. C. (1974). Heavy-Tailed Distributions: Properties and Tests. *American Statistical Association and American Society for Quality*, Vol. 16, No. 1, 61-68.
- Buishand, T. (1978). Some remarks on the use of daily rainfall models. *J. Hydrol.*, 36, 295–308.
- Perez Nicolas Hernandez, Santiago Carrillo Menendez Luis Seco, *A theoretical comparison between moments and L-moments, 2003*
- Random Variables. *Stochastic Processes and Their Applications* 49 (1) (January): 75–98.
- Cunnane, C. 1973. A Particular Comparison of Annual Maxima and Partial Duration Series Methods of Flood Frequency Prediction. *Journal of Hydrology* 18 (3–4) (March): 257–271.
- Dalle Molle, J. 2002. Modelling Catastrophic Loss Events Using Extreme Value Theory - Fundamental Results and Applications in Finance and Insurance. *New Zealand Society of Actuaries Conference*. Rotorua.
- Fisher, R., & Tippett, L. 1928. Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample. *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, Vol 24, 180-190.
- Gumbel, Emil Julius. 1958. *Statistics of extremes*. New York: Columbia University Press.
- Heo, J., Boes, D., & Salas, J. 2001a. Regional flood frequency analysis based on a Weibull model: Part 1. Estimation and asymptotic variances. *J. Hydrol*, 242, 157–170.
- Jenkinson, A. F. 1955. The Frequency Distribution of the Annual Maximum (or Minimum) Values of Meteorological Elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 81 (348):
- Klüppelberg, Claudia, 1988. Subexponential Distributions and Integrated Tails. *Journal of Applied Probability* 25 (1) (March): 132.
- Koutsoyiannis, D. 2004. Statistics of Extremes and Estimation of Extreme Rainfall, 1, Theoretical Investigation. *Hydrological Sciences Journal* 49 (4): 575–590
- .

- Leadbetter, M. R. 1974. On Extreme Values in Stationary Sequences. *Probability Theory and Related Fields* 28 (4): 289–303. 85
- Makkonen, Lasse. 2006. “Plotting Positions in Extreme Value Analysis.” *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 45 (2) (February): 334–340.
- Papalexiou, S.M., D. Koutsoyiannis, and C. Makropoulos. 2012. How Extreme Is Extreme? An Assessment of Daily Rainfall Distribution Tails. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions* 9: 5757–5778.
- Reiss, R. D., & Thomas, M. (2007). *Statistical Analysis of Exterme Values*. Birkhäuser.
- Stedinger, J. R., Vogel, R. M., & Foufoula-Georgiou, E. (1993). Frequency Analysis of Extreme Events, Chapter 18 in Handbook of Hydrology. Maidment, DR, McGraw-Hill.
- Tadikamalla, Pandu R. 1980. A Look at the Burr and Related Distributions. *International Statistical Review / Revue Internationale De Statistique* 48 (3) (December): 337. 86
- Tavares, L.Valadares, and J.Evaristo Da Silva. 1983. Partial Duration Series Method Revisited. *Journal of Hydrology* 64 (1–4) (July): 1–14.
- Teugels, Jozef L. 1975. The Class of Subexponential Distributions. *The Annals of Probability* 3 (6) (December): 1000–1011.
- Weibull, Waloddi. 1939. *A Statistical Theory of the Strength of Materials*. Generalstabens litografiska anstalts förlag.
- Werner, Thomas, and Christian Upper. 2004. Time Variation in the Tail Behavior of Bund Future Returns. *Journal of Futures Markets* 24 (4): 387–398. doi:10.1002/fut.10120.
- Rosso Gianluca, *Extreme Value Theory for Time Series using Peak-Over-Threshold method, 2015*
- D. Koutsoyiannis . 2003 . *Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics*
- Αδαμαντόπουλος Αντώνιος .2006. *Matlab – Χρήση και εφαρμογές σε οικονομικά μοντέλα*
- Χειράκης Δαμιανός .2011. *Έλεγχος ανάστροφου εκκρεμούς: 4-5*
- Τσιτσέλη Θεοδώρα .2014 . *Κατάρτιση ομβρίων καμπυλών στην Πελοπόννησο: 13-14*
- Νέζη Μαρία . 2018. *Πολυμεταβλητή στατιστική ανάλυση ακραίων βροχοπτώσεων και παροχών σε δείγμα 400 λεκανών απορροής των ΗΠΑ από τη βάση δεδομένων MOPEX*
- Νερατζάκη Σοφία . 2012 . *Πιθανοτικές κατανομές ακραίων βροχοπτώσεων. Εφαρμογή σε παγκόσμια κλίμακα*

## **8. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ**

- ❖ <https://www.knmi.nl/home>
- ❖ <https://www.wikipedia.org/>
- ❖ <http://www.itia.ntua.gr/el/>
- ❖ <https://www.mathworks.com/help/matlab/>
- ❖ <https://gmao.gsfc.nasa.gov/research/subseasonal/atlas/GEV-RV-html/GEV-RV-description.html>