



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ –  
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ  
ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ  
ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΣΥΜΦΩΝΑ  
ΜΕ ΤΗΝ ΚΑΤΑΤΑΞΗ  
KÖRPERN**

**Αναστάσιος Κ. Μαλλιάρος  
Αγρονόμος & Τοπογράφος  
Μηχανικός ΕΜΠ**

**«ΕΠΙΣΤΗΜΗ  
ΚΑΙ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ  
ΥΔΑΤΙΚΩΝ  
ΠΟΡΩΝ»**

**Αθήνα, Ιούνιος 2013**

**Επιβλέπων: Μαμάσης Νικόλαος,  
Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ**



## Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

<b>Ευρετήριο Διαγραμμάτων</b>	<b>v</b>
<b>Ευρετήριο Εικόνων</b>	<b>ix</b>
<b>Ευρετήριο Πινάκων</b>	<b>x</b>
<b>Περίληψη</b>	<b>xi</b>
<b>Extended Abstract</b>	<b>xii</b>
<b>1 Εισαγωγή</b>	<b>1</b>
1.1 Παγκόσμιο κλίμα – Παράγοντες που το διαμορφώνουν.....	1
1.2 Ιστορική ανασκόπηση παγκόσμιων κλιματικών κατατάξεων .....	2
1.3 Κλιματική κατάταξη κατά Köppen.....	10
1.4 Η εξέλιξη της μεθόδου Köppen. Διορθώσεις και εφαρμογές.....	21
1.5 Το κλίμα της Ελλάδας.....	22
<b>2 Μετεωρολογικά Δεδομένα</b>	<b>24</b>
<b>3 Ανάλυση</b>	<b>28</b>
3.1 Περιγραφή στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος.....	28
3.2 Προσδιορισμός ετεροσυσχετίσεων.....	39
3.2.1 Συσχετίσεις μεταξύ στατιστικών παραμέτρων .....	39
3.2.2 Σύγκριση κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών.....	42
3.2.3 Έξι (6) επικρατέστεροι κλιματικοί τύποι .....	45
3.3 Διερεύνηση στατιστικών χαρακτηριστικών ακραίων τιμών βροχόπτωσης .....	51
3.3.1 Εκτίμηση στατιστικών κατανομών .....	51
3.3.2 Μέγιστη ημερήσια / Μέση ετήσια βροχόπτωση.....	56
3.3.3 Μήνας μέγιστης βροχόπτωσης .....	60
<b>4 Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας</b>	<b>64</b>
4.1 Μεθοδολογία .....	64
4.2 Εφαρμογή – Διαγράμματα .....	66
4.3 Περιγραφή αποτελεσμάτων.....	67
<b>5 Συμπεράσματα - Προτάσεις</b>	<b>69</b>
5.1 Συμπεράσματα.....	69

5.2 Προτάσεις.....	71
<b>Βιβλιογραφικές Αναφορές</b>	<b>73</b>
Στην ελληνική γλώσσα .....	73
Ξενόγλωσσες.....	73
Διαδίκτυο .....	74
<b>Παράρτημα</b>	<b>75</b>

## Ευρετήριο Διαγραμμάτων

---

Σχήμα 1-1: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των 5 βασικών κατά Köppen κλιματικών τύπων σε φθίνουσα σειρά γεωγραφικής εμφάνισής τους.....	11
Σχήμα 1-2: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του υγρού τροπικού κλίματος Α σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.....	12
Σχήμα 1-3: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Cuiaba, Βραζιλία (-15.55N,-56.12E).....	13
Σχήμα 1-4: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του ξηρού κλίματος Β σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.....	14
Σχήμα 1-5: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Helwan, Αίγυπτος (29.90N,31.30E).....	15
Σχήμα 1-6: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του υγρού κλίματος με ήπιους χειμώνες C σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.....	16
Σχήμα 1-7: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Λισσαβόνα, Πορτογαλία (38.70N,-9.10E).....	17
Σχήμα 1-8: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του υγρού κλίματος με ψυχρούς χειμώνες D σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.....	18
Σχήμα 1-9: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Yakutsk, Ρωσία (62.08N,129.75E).....	19
Σχήμα 1-10: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του πολικού κλίματος Ε σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.....	19
Σχήμα 1-11: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Ammasalik, Γροιλανδία (65.60N,-37.63E).....	20
Σχήμα 1-12: Κυκλικό διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής εμφάνισης των διαφόρων κλιματικών τύπων στην ελληνική επικράτεια.....	23
Σχήμα 2-1: Ραβδόγραμμα απεικόνισης του πλήθους των διαθέσιμων ετών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας των κοντινών στη θάλασσα σταθμών.....	26
Σχήμα 2-2: Ραβδόγραμμα απεικόνισης του πλήθους των διαθέσιμων ετών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας των απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών.....	26
Σχήμα 3-1: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες των τύπων Α και Β.....	31
Σχήμα 3-2: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου C.....	32
Σχήμα 3-3: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων	

της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου D.....	33
Σχήμα 3-4: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου A και B. ....	34
Σχήμα 3-5: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου C.....	35
Σχήμα 3-6: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου D.....	36
Σχήμα 3-7: Ραβδογράμματα σύγκρισης διαφορών μέγιστης-ελάχιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης α), β), γ) και μέγιστης-ελάχιστης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας δ), ε), στ) για τους κοντινούς (μπλε) και απομακρυσμένους από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμούς των κλιματικών τύπων A και B, C και D αντίστοιχα. ....	37
Σχήμα 3-8: Διάγραμμα συσχέτισης μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων και τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου B. ....	39
Σχήμα 3-9: Διάγραμμα συσχέτισης μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου B. ....	40
Σχήμα 3-10: Διάγραμμα συσχέτισης μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων και τυπικών αποκλίσεων μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου C. ....	40
Σχήμα 3-11: Διάγραμμα συσχέτισης κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και μέσων υπερετήσιων τυπικών αποκλίσεων μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου C.....	41
Σχήμα 3-12: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών με τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D. ....	41
Σχήμα 3-13: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου A.....	42
Σχήμα 3-14: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου B. ....	43
Σχήμα 3-15: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου B. ....	43

Σχήμα 3-16: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D.....	44
Σχήμα 3-17: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D.....	44
Σχήμα 3-18: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων και των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων. ....	47
Σχήμα 3-19: Ομαδοποίηση της συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων βάσει των κέντρων βάρους τους.....	47
Σχήμα 3-20: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων και των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων. ....	48
Σχήμα 3-21: Ομαδοποίηση της συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων βάσει των κέντρων βάρους τους. ....	48
Σχήμα 3-22: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων και υπερετήσιων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων.....	49
Σχήμα 3-23: Ομαδοποίηση της συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις μέσες υπερετήσιες τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων βάσει των κέντρων βάρους τους. ....	49
Σχήμα 3-24: Προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ στις μέγιστες ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης με τη μέθοδο των ροπών (πράσινο χρώμα) και τη μέθοδο της ελαχιστοποίησης της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (κόκκινο χρώμα).....	53
Σχήμα 3-25: Προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ στις μέγιστες ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης, με τη μέθοδο της ελαχιστοποίησης της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, για «υψηλή» (μπλε χρώμα) και «χαμηλή» (κόκκινο χρώμα) τιμή της παραμέτρου σχήματος κ. ....	53
Σχήμα 3-26: Προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ με τη μέθοδο της ελαχιστοποίησης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος στις μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών α) Aw β) Bwh γ) Cfa δ) Cfb ε) Csa και στ) Dfc. ....	54
Σχήμα 3-27: Ραβδόγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής (μπλε) και της τυπικής απόκλισης (κόκκινο) των παραμέτρων σχήματος κ κατά την προσαρμογή της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών στις μέγιστες ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων. ....	55
Σχήμα 3-28: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Aw.....	57
Σχήμα 3-29: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Bwh. ....	57
Σχήμα 3-30: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Cfa.....	57
Σχήμα 3-31: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Cfb. ....	58
Σχήμα 3-32: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Csa. ....	58

Σχήμα 3-33: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Dfc. ....	58
Σχήμα 3-34: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου A. ....	60
Σχήμα 3-35: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) για τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου B. ....	61
Σχήμα 3-36: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) για τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου C. ....	61
Σχήμα 3-37: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) για τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου D. ....	62



## Ευρετήριο Εικόνων

---

Εικόνα 1-1: Γενικευμένος παγκόσμιος κλιματικός χάρτης τύπου O-T, προσανατολισμένος ανατολικά	7
Εικόνα 1-2: Ο παγκόσμιος χάρτης του Πτολεμαίου, 1854 (Πανεπιστήμιο Μίσιγκαν, ΗΠΑ). .....	8
Εικόνα 1-3: Χάρτης κλιματικής κατάταξης της Ελλάδας κατά Köppen.....	22
Εικόνα 2-1: Παγκόσμιος χάρτης απεικόνισης της κλιματικής κατάταξης κατά Köppen. (Πηγή: koepfen-geiger.vu-wien.ac.at) .....	24
Εικόνα 2-2: Πλατφόρμα συλλογής κλιματικών δεδομένων φιλοξενούμενη στην ιστοσελίδα του Ολλανδικού Μετεωρολογικού Ινστιτούτου KNMI (Πηγή: climexp.knmi.nl). .....	25
Εικόνα 3-1: Φόρμα συνάθροισης των ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης σε μηνιαίες.....	46
Εικόνα 3-2: Δημιουργία χρονοσειρών μέγιστων ετήσιων ημερήσιων βροχοπτώσεων με ταυτόχρονο υπολογισμό του ποσοστού των εκλιπόντων τιμών. ....	56

## Ευρετήριο Πινάκων

---

Πίνακας 4-1: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου Α.....	66
Πίνακας 4-2: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου Β.....	66
Πίνακας 4-3: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου C.....	66
Πίνακας 4-4: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου D.....	66
Πίνακας 4-5: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για τον κοντινό στη θάλασσα σταθμό τύπου E.....	67
Πίνακας 4-6: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών.....	67

## Περίληψη

---

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία σκοπό έχει να διερευνήσει τη μεταβλητότητα του κλίματος διαφόρων περιοχών του πλανήτη βάσει της κλιματικής κατάταξης Köppen.

Για το σκοπό αυτό, συγκεντρώθηκαν δεδομένα μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για περιοχές της υφηλίου οι οποίες ανήκουν σε κάθε μία από τις 31 συνολικά κλιματικές υποκατηγορίες των 5 βασικών κλιματικών τύπων A, B, C, D και E. Για την κάθε κλιματική υποκατηγορία συγκεντρώθηκαν δεδομένα από δύο σταθμούς, έναν κοντινό (απόσταση έως 50 km) και έναν απομακρυσμένο από τη θάλασσα.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι παράμετροι της μεθόδου Köppen και υλοποιήθηκαν εκείνα τα κριτήρια τα οποία καθορίζουν τον κλιματικό τύπο στον οποίο ανήκει ο κάθε σταθμός.

Υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι των μετεωρολογικών δεδομένων. Αυτές με τη σειρά τους αποτέλεσαν αντικείμενο ανάλυσης έτσι ώστε να διερευνηθεί το μέγεθος της μεταξύ τους συσχέτισης για τον κάθε κλιματικό τύπο ξεχωριστά καθώς και μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών.

Συγκεντρώθηκαν, ακόμη, ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης για τις πιο διαδεδομένες υποκατηγορίες των 5 κλιματικών τύπων. Υπολογίστηκαν οι μέγιστες ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης στις οποίες και έγινε προσαρμογή της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών. Εξετάστηκε, επίσης, ο χαρακτηριστικός λόγος της μέγιστης ημερήσιας προς την αντίστοιχη μέση ετήσια ποσότητα βροχόπτωσης. Το πηλίκο αυτό αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα της έντασης των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης για τον κάθε κλιματικό τύπο. Ακόμη, σημειώθηκαν εκείνοι οι μήνες του έτους στους οποίους παρουσιάζεται η μέγιστη μέση μηνιαία βροχόπτωση των σταθμών και εξετάστηκε η επίδραση της εγγύτητας των σταθμών στη θάλασσα.

Τέλος, διερευνήθηκε η μακροχρόνια κλιματική μεταβλητότητα των σταθμών της κάθε κλιματικής υποκατηγορίας. Η ποσοτικοποίηση της κλιματικής μεταβλητότητας των σταθμών υλοποιήθηκε μέσω της στατιστικής μεθόδου της διαφοράς των μέσων τιμών και της κατανομής t-student.

## Extended Abstract

---

The aim of this thesis was to investigate the climatic variability at various regions around the world by means of Köppen climate classification.

For this purpose, monthly precipitation and temperature data were collected, which belong to each of the 31 subtypes of 5 basic climate types A, B, C, D and E. For each climate subtype, data were gathered from two stations, the first nearby the sea (distance up to 50 kms) and the other away from it. Data were collected from the Dutch Meteorological Institute website (<http://climexp.knmi.nl>). Only fully completed years were used for which there were both rainfall and temperature data. Köppen parameters were calculated and criteria which define the climate type in which each station belongs were implemented.

Data availability of near and far from the sea stations showed that the coastal stations are being studied for a longer period of time.

Basic statistical analysis of all data stations was conducted. Average, standard deviation, seasonality and variance of stations' meteorological data were calculated. The difference of statistical parameters' values between the near and far from the sea stations were analyzed. Then, statistical parameters of meteorological variables for all subcategories of each climate type A, B, C and D were correlated. Only those cases in which there was a high correlation were examined. Furthermore, changes in parameter values were commented.

The temperature and precipitation seasonality between stations near and far from the sea for each climate category were compared. It was observed that temperature seasonality is more intense in type A coastal areas. In contrast, temperature and rainfall seasonality in B and D types appears greater in mainland areas.

Daily rainfall data for the most common subtypes of 5 climate types were collected. These were Aw, Bwh, Cfa, Cfb, Csa and Dfc. Using the Hydrognomon program daily values were aggregated into monthly values. Ten stations from each of the six climate subtypes were examined. In turn, average, standard deviation, seasonality and variance of these monthly values were calculated. Values of the parameters were plotted in diagrams such as the one shown at Figure 1. Studying diagrams like this, it was concluded that there can be a grouping of some climate subtypes based on their values of the statistical parameters.

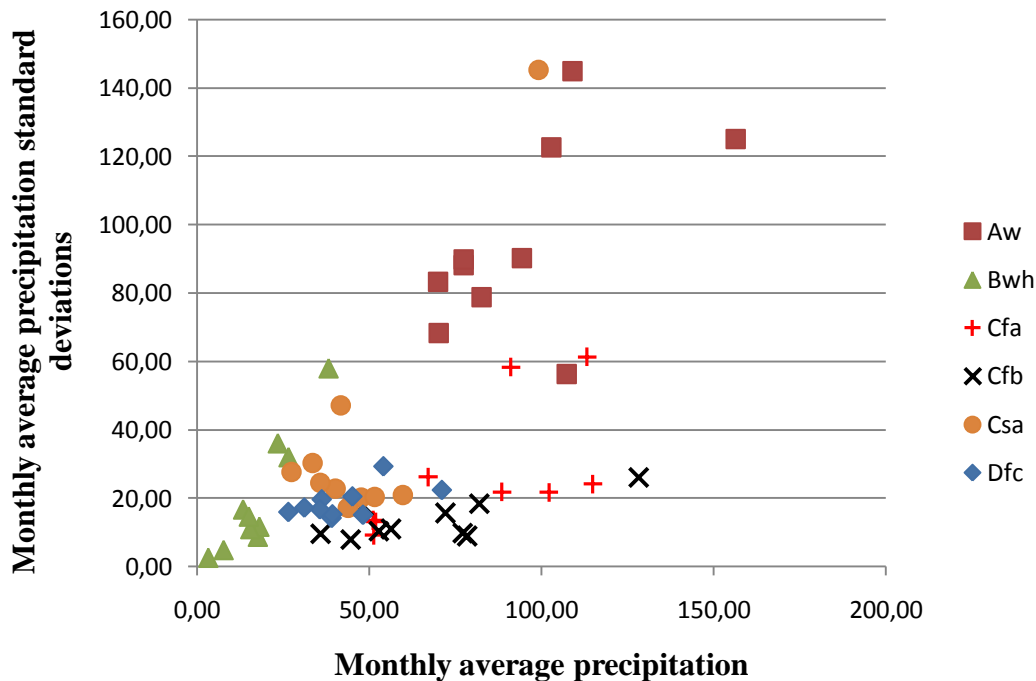


Figure 1: Correlation chart of monthly average and monthly average precipitation standard deviations of 6 climate types' stations.

Through the Extremes evaluation selection of the hydrological data processing program 'Hydrognomon' maximum daily rainfall values were calculated. General Extreme Values distribution was fitted into these extreme value series. For the GEV adjustment two different methods were used. The first one was the method of moments and the other was the root mean square error minimization. The last one appeared to be the most effective. By the root mean square error minimization method it was also shown that for greater values of k shape parameter, GEV distribution fits better in daily maximum precipitation series (Figure 2).

The characteristic ratio of daily maximum to the corresponding annual average rainfall amount of Aw, Bwh, Cfa, Cfb, Csa and Dfc stations was also examined. That quotient consists a hallmark of the extreme rainfall events' intensity of each climate type. The ratios of the coastal and mainland areas were compared. It was observed that in the Aw, Bwh and Csa coastal stations there are more frequent extreme rainfall events. The opposite was observed for Cfb type, whereas the proximity to the sea factor appeared not to influence the occurrence of extreme rainfall events in Cfa and Dfc regions.

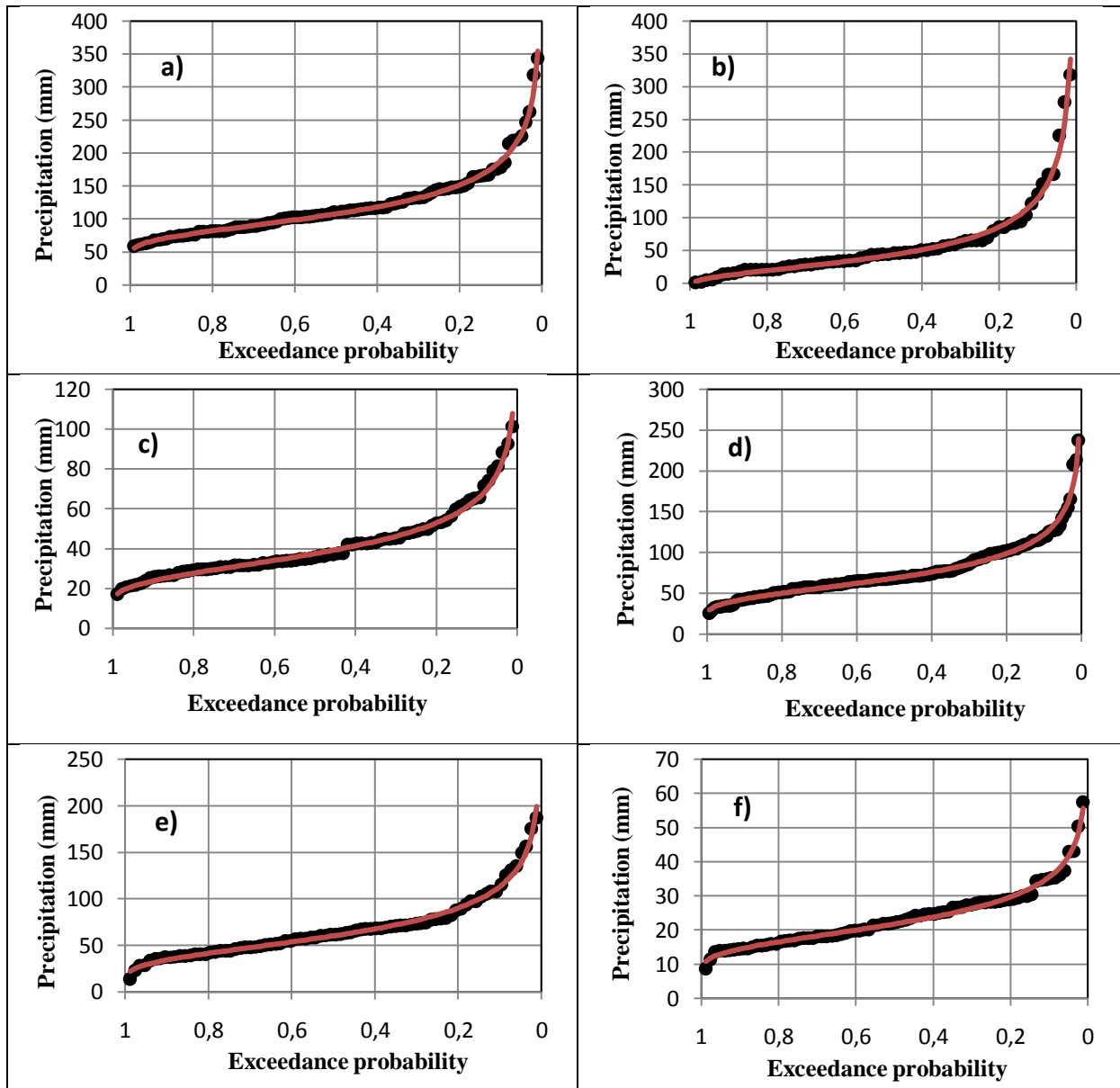


Figure 2: Fitting the General Extreme Values distribution into the daily maximum precipitation values of climate subtypes a) Aw b) Bwh c) Cfa d) Cfb e) Csa and f) Dfc using the root mean square error minimization method.

The months in which maximum mean monthly rainfall occurs during the three climate periods 1900-1935, 1936-1970 and 1971-2005 were noted. Months were grouped into the four seasons of the year and the results were summarized for the whole stations of A, B C and D climate types. The year season in which maximum mean monthly precipitation occurs for all stations as well as between the coastal and mainland stations were compared.

Finally, long-term climate variability of each climate subcategory's station was investigated. Mean monthly rainfall and temperature change between the climate periods 1900-1935 and 1971-2005 was examined. The quantification of the climatic variability of the stations was determined by t-student distribution. The difference of average values statistical method was

used for applying of t-student distribution into the sample data. The variation values of meteorological parameters was examined for significance levels of 1% and 0,001%. According to studies describing Hurst and Kolmogorov dynamics (long term persistence) 1/100.000 percentage is being considered as a statistically significant incidence of climate change in temperature and precipitation values. An increase in monthly average temperature of some climate subtypes was observed, mainly in coastal stations. Indicatively, a statistically significant (0,001%) increase in the temperature of the whole months of the year occurred in the Am tropical monsoon nearby the sea station.

# 1 Εισαγωγή

---

## 1.1 Παγκόσμιο κλίμα – Παράγοντες που το διαμορφώνουν

Κλίμα ονομάζεται η μέση καιρική κατάσταση ή καλύτερα ο μέσος καιρός μιας περιοχής, που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων. Το κλίμα επομένως είναι κάτι διαφορετικό από τον καιρό, που χαρακτηρίζεται σαν μια φυσική κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια μιας μικρής χρονικής περιόδου. Το κλίμα παίζει σπουδαιότατο ρόλο, τόσο στο φυτικό όσο και στο ζωικό βασίλειο. Από το κλίμα ορίζονται οι ζώνες της βλάστησης καθώς και η κατανομή των ζώων και των ανθρώπων πάνω στη γη. Ο τύπος ενός κλίματος συνήθως καθορίζεται από την ταξινόμηση κατά Köppen, που υιοθετεί διαφορετικές κλιματικές ζώνες με βάση τη βλάστηση κάθε περιοχής.

Οι παράγοντες που συντελούν στη μεταβολή του κλίματος από τόπο σε τόπο είναι οι εξής:

- γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο
- διανομή ξηράς και θάλασσας
- ανάγλυφο και κάλυψη του εδάφους
- άνεμοι
- κέντρα υψηλής και χαμηλής πίεσης κ.ά ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, τόσο φυσικοί όσο και ανθρωπογενείς, οι οποίοι προσδιορίζουν το κλίμα της γης. Κατά βάση, το κλίμα είναι το αποτέλεσμα της απορρόφησης και της αναδιανομής της ηλιακής ακτινοβολίας από το σύστημα ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας-γης. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την ενέργεια η οποία κινεί τα καιρικά φαινόμενα και διαμορφώνει το κλίμα. Περίπου το ένα τρίτο της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τις διαφορετικές συνιστώσες του κλιματικού συστήματος: την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την ξηρά και τις διάφορες μορφές ζωής. Εκτός από την ανακλώμενη, μικρού μήκους κύματος, ηλιακή ακτινοβολία, η γη εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία προς το διάστημα.

Η λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην εξερχόμενη ακτινοβολία και την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προσδιορίζει το παγκόσμιο κλίμα. Οποιαδήποτε αλλαγή στους παράγοντες που επιδρούν τόσο στην εισερχόμενη όσο και την εξερχόμενη ακτινοβολία ή στον μηχανισμό αναδιανομής της ενέργειας οδηγούν σε αλλαγή του κλίματος.



Οι παράγοντες αυτοί συνοψίζονται παρακάτω:

- Ηλιακή ακτινοβολία

Οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία φθάνει στη γη, μπορεί να οφείλονται τόσο στην ηλιακή δραστηριότητα (κυρίως στον ενδεκαετή κύκλο των κηλίδων) όσο και σε βραδείες μεταβολές της γεωμετρίας της τροχιάς της γης, συμπεριλαμβανομένων και αλλαγών στην κλίση του άξονα της γης (χρονικές κλίμακες δεκάδων χιλιάδων ετών).

- Ατμοσφαιρική σύσταση

Η αλλαγή της σύστασης της ατμόσφαιρας οδηγεί σε αλλαγή του κλίματος κυρίως μέσα από δύο διαφορετικούς μηχανισμούς. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται στις εκπομπές κάποιων αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο, τα οποία περιορίζουν τις απώλειες ακτινοβολίας προς το διάστημα. Αντίθετη είναι η δράση των αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία εκπέμπονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές και τα οποία αντανακλούν ή/και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθούν οι εκρήξεις ηφαιστειών, οι οποίες εκτοξεύουν μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να παραμείνουν εκεί για πολλά χρόνια οδηγώντας σε μια ψύξη της κατώτερης ατμόσφαιρας, ιδιαίτερα αισθητή στο ημισφαίριο στο οποίο έγινε η έκρηξη.

- Αλλαγές στη χρήση γης

Οι άνθρωποι αντικαθιστούν δάση με καλλιεργημένες εκτάσεις ή ακόμα βλάστηση με τσιμέντο ή άσφαλτο επηρεάζοντας τον τρόπο που η επιφάνεια της γης απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνει την ατμόσφαιρα. Αυτές οι επεμβάσεις επηρεάζουν επίσης τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής και κατ' επέκταση και τις βροχοπτώσεις.

## **1.2 Ιστορική ανασκόπηση παγκόσμιων κλιματικών κατατάξεων**

Στην ευρύτερη βιβλιογραφία πολλοί σύγχρονοι άτλαντες απεικονίζουν παγκόσμιους χάρτες στους οποίους οι ήπειροι διαχωρίζονται σε διάφορους κλιματικούς τύπους σύμφωνα με την κατάταξη του Γερμανού επιστήμονα Wladimir Köppen (1846-1940). Ωστόσο, έχουν γίνει κατά καιρούς προσπάθειες να αποκρυπτογραφηθεί η εξέλιξη των κλιματικών κατατάξεων από τα χρόνια του Πυθαγόρα, τον 6<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα έως το πρώτο μισό του 20ού αιώνα και των χρόνων ζωής του Köppen.

Κατ αρχήν, η λέξη «κλίμα» σχετίζεται ετυμολογικά με τις ελληνικές λέξεις «κλίνομαι» (κείτομαι) και «κλίση», δηλαδή την κλίση της Γης από τον ισημερινό στους πόλους. Ο πρώτος

ισχυρισμός περί σφαιρικότητας του κόσμου αποδίδεται στον Έλληνα φιλόσοφο και μαθηματικό Πυθαγόρα ο οποίος και έζησε τον 6<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα. Στη συνέχεια, ο Παρμενίδης, μαθητής του Πυθαγόρα χώρισε την επιφάνεια του σφαιρικού αυτού κόσμου σε 5 ζώνες (μία διακεκαυμένη, δύο εύκρατες και δύο ψυχρές). Παράλληλα, δήλωσε ότι η κεντρική διακεκαυμένη ζώνη δεν μπορούσε να κατοικηθεί λόγω της εξαιρετικής θερμότητας προερχόμενης από την άμεση ακτινοβολία του Ήλιου (Harley and Woodward 1987), πεποίθηση την οποία δεν ενστερνίζονταν όλοι οι Έλληνες διανοούμενοι της εποχής. Για παράδειγμα, ο φιλόσοφος και ιστορικός της αρχαίας Ελλάδος, Ηρόδοτος υποστήριζε ότι η Γη είναι επίπεδη και εξ αιτίας αυτού η Ινδία είναι πιο ζεστή το πρωί, όταν ο Ήλιος βρίσκεται κοντά στη Γη, παρά το μεσημέρι.

Τον 4<sup>ο</sup> π.Χ. αιώνα, ο Έλληνας φιλόσοφος Αριστοτέλης (384 π.Χ.-322 π.Χ.) επανεξέτασε τις απόψεις των προγενέστερων Ελλήνων φιλοσόφων σχετικά με τη Γη και συμφώνησε με τον ισχυρισμό του Παρμενίδη ότι η Γη είναι σφαιρική και αποτελεί το κέντρο του σύμπαντος. Ισχυρίστηκε ότι υπάρχουν 5 κλιματικές ζώνες και ότι η κατοικήσιμη έκταση της Γης περιορίζεται στην εύκρατη ζώνη μεταξύ των τροπικών και Βόρειων ψυχρών ζωνών. Διατύπωσε, επίσης, την άποψη ότι το δυτικό μισό της εύκρατης ζώνης στην αντίθετη μεριά του κόσμου από ό,τι βρίσκεται η Ελλάδα μπορεί να είναι κατοικήσιμο και ότι, λόγω συμμετρίας, θα πρέπει να υπάρχει και στο νότιο ημισφαίριο μία εύκρατη ζώνη αντίστοιχη με αυτή του βορείου ημισφαιρίου. Ο φιλόσοφος Αριστοτέλης, πίστευε, ακόμη, πως η υπερβολική ζέστη της τροπικής ζώνης αποτελούσε εμπόδιο για την εξερεύνηση της εύκρατης ζώνης του νοτίου ημισφαιρίου.

Παρά το γεγονός ότι ο Αναξίμανδρος είχε εφεύρει το ηλιακό ρολόι ήδη από τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., το οποίο και επέτρεπε τη μέτρηση του ύψους στο οποίο βρίσκεται ο Ήλιος και κατά συνέπεια του γεωγραφικού πλάτους στο οποίο βρίσκεται ένας τόπος, πολύ λίγες παρόμοιες επιστημονικές μετρήσεις ήταν διαθέσιμες στους φιλοσόφους των καιρών. Την εποχή εκείνη, είχαν πραγματοποιηθεί πολλά εξερευνητικά ταξίδια, όπως του Hanno στη δυτική όχθη της Αφρικής το 470 π.Χ. του Himilco στην Αγγλία στα μέσα του 5<sup>ου</sup> π.Χ. αιώνα, του Πυθέα στη Βόρεια θάλασσα περί το 330 π.Χ. και του Μεγάλου Αλεξάνδρου στην Ανατολή στα τέλη του 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Ο εξερευνητής Πυθέας ήταν ο πρώτος που πρότεινε ότι το χρονικό μήκος της μεγαλύτερης ημέρας θα μπορούσε να αποτελεί κριτήριο για την απόφαση των ορίων των διαφόρων κλιμάτων. Ωστόσο, οι Έλληνες γεωγράφοι της εποχής ένιωσαν τρομερά απογοητευμένοι από την αδυναμία των εξερευνητών της εποχής να λάβουν επιστημονικές μετρήσεις κατά τη διάρκεια των ταξιδιών τους, όπως της μέτρησης του υψομέτρου στο οποίο βρισκόταν ο Ήλιος ή το χρονικό μήκος της μεγαλύτερης ημέρας.

Ο Ερατοσθένης (276–194 π.Χ.) ήταν ένας μεγάλος Έλληνας επιστήμονας γεωγράφος της αρχαιότητας του οποίου μεγάλη συμβολή ήταν η ακριβής μέτρηση της περιφέρειας της Γης, βασιζόμενος στην απόσταση μεταξύ των πόλεων της Σύνης και της Αλεξάνδρειας της Αιγύπτου και των ιδιοτήτων της σφαιρικής γεωμετρίας της Γης. Επίσης, επιδίωξε να οριοθετήσει τον κατοικήσιμο κόσμο, ο οποίος θεωρούσε ότι περιβάλλεται από έναν παγκόσμιο ωκεανό. Ο Ερατοσθένης όρισε συγκεκριμένες διαστάσεις για τον κατοικήσιμο κόσμο: 12.550 χιλιόμετρα από τα δυτικά προς τα ανατολικά και 6.115 χιλιόμετρα από νότο προς το βορρά. Χώρισε τον κατοικήσιμο, σύμφωνα με τον ίδιο, κόσμο με γραμμές παράλληλες ως προς τον Ισημερινό οι οποίες διέρχονταν από γνωστές τοποθεσίες όπως η Αλεξάνδρεια και η Ρόδος (Brown, 1979).

Ο αρχαίος Έλληνας αστρονόμος και χαρτογράφος Ίππαρχος το έτος 140 π.Χ. επιχείρησε να διορθώσει το «χάρτη» του Ερατοσθένη διαμέσου ενός άρθρου του, με τίτλο «Κατά του Ερατοσθένη», ισχυριζόμενος πως είναι αδύνατον να εντοπίσεις έναν τόπο πάνω στη Γη δίχως αστρονομικές παρατηρήσεις ληφθείσες από τη συγκεκριμένη περιοχή. Εν συνεχεία, υιοθέτησε τον πρωταρχικό παράλληλο του Ερατοσθένη, ο οποίος διέσχισε την πόλη της Αλεξάνδρειας, ως βάση για τη δική του διαίρεση του «γνωστού» κόσμου, ενώ ήταν ο πρώτος ο οποίος χρησιμοποίησε τον όρο «κλίματα» για τις περιοχές μεταξύ των ισαπέχοντων παραλλήλων. Τέλος, ο αστρονόμος Ίππαρχος ανέφερε πως οι χώρες που βρίσκονται πέρα από τα κλίματα με μακρύτερη χρονικά ημέρα 17 ωρών ήταν ακατοίκτητες εξ αιτίας του κρύου και γι αυτό δεν παρουσίαζαν κανένα ενδιαφέρον για μελέτη.

Γεγονός αποτελεί ότι εξ αιτίας του έργου του αρχαίου Έλληνα φιλόσοφου και εξερευνητή Στράβωνα (63 π.Χ.–23 μ.Χ) κατέχουμε σήμερα πολλές πληροφορίες σχετικά με την επιστήμη της αρχαίας χαρτογραφίας. Ισχυριζόταν, σε συμφωνία με τον προγενέστερό του Ποσειδώνιο (135–51 π.Χ.) ότι υπήρχαν επτά ζώνες στην επιφάνεια της Γης, συμπεριλαμβανομένων δύο ιδιαίτερα θερμών ζωνών σε κάθε μία από τις δύο πλευρές του ισημερινού, όπου το έδαφος ήταν ιδιαίτερα ξερό και επομένως ακατοίκτητο. Σύμφωνα πάντα με τον Στράβωνα, ο γεωγράφος Ποσειδώνιος ήταν ο πρώτος που συσχέτισε το κλίμα με τον άνθρωπο, λέγοντας πως οι άνθρωποι στην διακεκαυμένη ζώνη του ισημερινού γεννιόντουσαν με πολλά μαλλιά, προεξέχοντα χείλη και ροζιασμένα άκρα σαν συνέπεια της αφόρητης ζέστης και της έλλειψης βροχής στις περιοχές τις οποίες ζούσαν.

Ο γεωγράφος Στράβων συμφωνούσε με τις 5 κλιματικές ζώνες του Πυθαγόρα παρά με τις 7 του Ποσειδωνίου, καθώς πίστευε πως η συμμετρία αποτελούσε σημαντικό εργαλείο της γεωγραφικής έρευνας. Ο Στράβων χρησιμοποίησε τον όρο «διακεκαυμένη» για να περιγράψει μία περιοχή τόσο θερμή ώστε να είναι ακατοίκτη, ωστόσο αποσαφήνισε ότι ο όρος δεν

μπορούσε να αναφέρεται σε όλες τις τροπικές περιοχές μιας και η περιοχή από την πόλη της Συήνης της Αιγύπτου έως τα εδάφη της Σομαλιλάνδης στο Κέρας της Αφρικής (ανατολικό άκρο) ήταν γνωστή ως κατοικήσιμη. Επίσης, υποστήριξε πως αφού η Ινδία ήταν γνωστό ότι κατοικείται θα πρέπει να βρίσκεται πιθανότερα σε μία κατεύθυνση Ανατολής-Δύσης παρά Βορρά-Νότου. Για το λόγο αυτό, η Ινδία για πολλούς αιώνες ήταν προσανατολισμένη προς την Ανατολή σε όλους τους χάρτες. Επιπρόσθετα, ο Στράβωνας αποδέχτηκε την ιδέα του Ερατοσθένη για την ύπαρξη μίας κατοικήσιμης ζώνης νότια του ισημερινού, αλλά παράλληλα δήλωσε πως δεν υπήρχε μέχρι τότε απτή απόδειξη ότι κατοικείται, και από τη στιγμή που το καθήκον ενός γεωγράφου είναι να οριοθετεί τον «γνωστό» κόσμο, η εν λόγω περιοχή δεν έχρηζε περαιτέρω αναφοράς. Τέλος, ο Στράβωνας, στις αναφορές του, παρέθετε πολλά παραδείγματα του τρόπου με τον οποίο άνθρωποι και καλλιέργειες συσχετιζόνταν με το κλίμα. Η μνημειώδης του πραγματεία καθιέρωσε για αιώνες στους Ευρωπαίους την αντίληψη ότι το εκάστοτε είδος κλίματος ήταν αυτό το οποίο καθόριζε το είδος της καλλιέργειας, τη θερμοκρασία ακόμη και τα φυσικά χαρακτηριστικά των ανθρώπων, παρά η αστρονομική θέση της εκάστοτε περιοχής.

Από την άλλη, οι Ρωμαίοι γεωγράφοι προσέθεσαν όχι ιδιαίτερα πολλά στις διαχρονικές επιστημονικές ιδέες περί κλιματικών κατατάξεων. Τον 1<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., ο ισπανο-ρωμαίος γεωγράφος Πομπόνιος Μέλας έκανε μία σύντομη περιγραφή σχετικά με τις 5 κλιματικές ζώνες της Γης. Η πραγματεία του παρουσιάζει ενδιαφέρον κυρίως λόγω της αναφοράς του, σε αυτή, περί «αντιχθόνων», ανθρώπων δηλαδή που ζούσαν στη νότια εύκρατη ζώνη, παρόλο που ο ίδιος, όπως εξάλλου και οι προγενέστεροί του Έλληνες γεωγράφοι, πίστευε ότι η ζώνη αυτή ήταν απροσπέλαστη λόγω της ενδιάμεσης διακεκαυμένης ζώνης.

Στη συνέχεια των χρόνων, ο αρχαίος Έλληνας αστρονόμος και χαρτογράφος Πτολεμαίος ο Αλεξανδρινός (87–150 μ.Χ.) με το έργο του διαδραμάτισε σπουδαίο ρόλο στην αναγέννηση της γνώσης στην Ευρώπη του 15<sup>ου</sup> αιώνα. Χαρακτηριστικά, είχε δηλώσει πως σκοπός του ήταν η αναδιαμόρφωση του παγκόσμιου χάρτη έτσι ώστε να βασίζεται σε βασικές αστρονομικές αρχές. Ο Πτολεμαίος είχε αντλήσει μεγάλο μέρος του υλικού του από το έργο του Μαρίνου του Τύριου. Παρ' όλα αυτά δεν είχε διστάσει να επισημάνει τα λάθη στο έργο του Μαρίνου του Τύριου, όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι δεν είχε μοιράσει σε ίσες αποστάσεις τις κλιματικές ζώνες. Σύμφωνα με το έργο του, όρισε 21 ισαπέχοντες παραλλήλους μεταξύ του ισημερινού και τον παράλληλο της Γροιλανδίας, καθώς επίσης προσέθεσε και έναν ακόμη παράλληλο νότια του ισημερινού. Ακόμη, κατηγοριοποίησε τους χάρτες του σε 3 είδη:

- Χρονικό μήκος μεγαλύτερης σε διάρκεια ημέρας

- Γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες
- Κλιματικός αριθμός

Το τελευταίο είδος χαρτών είχε μία απλή αρίθμηση από το 1-7 των κλιματικών ζωνών έχοντας παράλληλα τις ακόλουθες υποκατηγορίες για τη χρονική διάρκεια της ημερήσιας ηλιοφάνειας των περιοχών.

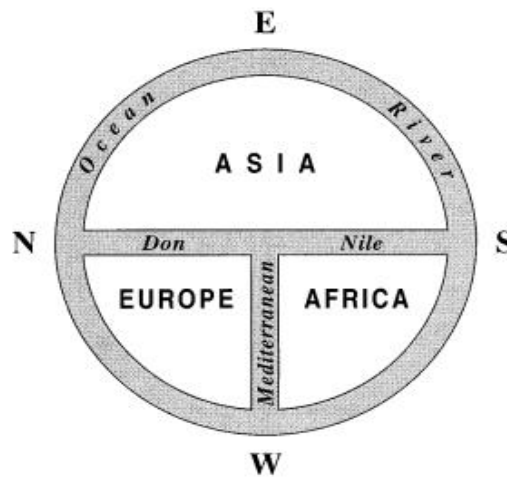
- 1) 13-13,5 ώρες
- 2) 13,5-14 ώρες
- 3) 14-14,5 ώρες
- 4) 14,5-15 ώρες
- 5) 15-15,5 ώρες
- 6) 15,5-16 ώρες
- 7) 16,5-17 ώρες

Στους χάρτες του Πτολεμαίου, οι περιοχές βόρεια της 7<sup>ης</sup> (στα γεωγραφικά πλάτη βόρεια της Αγγλίας) και νότια της 1<sup>ης</sup> ζώνης (νότια της Αραβίας) δεν απεικονίζονταν σε κλιματικές ζώνες ακριβώς επειδή θεωρούνταν μη κατοικήσιμες. Θεωρούσε τις έννοιες κλίμα και γεωγραφικό πλάτος συνώνυμες, καθόσον ισχυριζόταν πως όλα τα ζώα και τα φυτά που βρίσκονται στο ίδιο κλίμα και κάτω υπό παρόμοιες καιρικές συνθήκες παρουσιάζουν σημαντικές ομοιότητες εξαιτίας του ότι κείτονται στον ίδιο παράλληλο και απέχουν την ίδια απόσταση από τους πόλους. Με το έργο του, ο Πτολεμαίος διαιώνισε τον όρο κλίματα των παλαιότερων γεωγράφων και οι χάρτες του έτυχαν εξέχουσας αναγνώρισης κατά τα χρόνια της Ευρωπαϊκής Αναγέννησης.

Με τη σειρά τους, οι Άραβες γεωγράφοι, δανειζόμενοι τον όρο «κλίμα» από τους αρχαίους Έλληνες και τον Πτολεμαίο, παρουσίαζαν και αυτοί στους χάρτες τους τις κλιματικές ζώνες. Ο πιο γνωστός από τους Άραβες γεωγράφους, ο Ίντρις, παρουσίασε τις 7 κλιματικές ζώνες στους χάρτες του γύρω στα 1154 μ.Χ. Ακριβώς αυτός ο διαχωρισμός, του τότε γνωστού κόσμου, σε 7 κλιματικές ζώνες ήταν ιδιαίτερα προσφιλής στους Άραβες μιας και ο αριθμός 7 θεωρούνταν μαγικός.

Στη Δυτική Ευρώπη, τα χρόνια του Μεσαίωνα, εκείνος που διαιώνισε την ιδέα των 5 κλιματικών ζωνών ήταν ο Ιταλός γεωγράφος Μακρόβιος, ο οποίος έζησε γύρω στο 400 μ.Χ. Πίστευε σε έναν σφαιρικό κόσμο και η αντίληψή του για το σύμπαν βασιζόταν στα γραπτά του Πυθαγόρα. Ασπαζόμενος τις ιδέες του Πυθαγόρα, θεωρούσε και αυτός τις 2 πολικές ζώνες ακατοίκητες, ενώ την νότια εύκρατη ζώνη κατοικήσιμη, παρόλο που αυτό δεν μπορούσε να αποδειχθεί λόγω της ενδιάμεσης «διακεκαυμένης» ζώνης.

Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα, οι περισσότεροι χάρτες ήταν τύπου O-T (το γράμμα T εγγεγραμμένο στο γράμμα O) απεικονίζοντας έναν κυκλικό κόσμο χωρισμένο σε 3 ηπείρους (Ασία, Ευρώπη, Αφρική) και προσανατολισμένο ανατολικά.

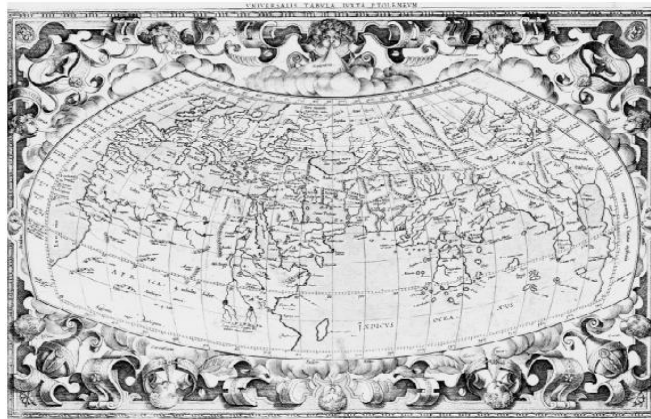


Εικόνα 1-1: Γενικευμένος παγκόσμιος κλιματικός χάρτης τύπου O-T, προσανατολισμένος ανατολικά

Η παντοδύναμη, εκείνα τα χρόνια, Εκκλησία αμφισβητούσε την ύπαρξη των αντιχθόνων, καθώς σύμφωνα με τη Βίβλο, κατά τη διάρκεια του Μεγάλου Κατακλυσμού όλοι οι άνθρωποι αφανίστηκαν εκτός της μοναδικής σωζόμενης Κιβωτού του Νώε στο όρος Αραράτ, το οποίο βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο. Λίγοι ήταν εκείνοι οι χάρτες που δεν ακολουθούσαν τον σύνηθες τύπο O-T των χαρτών της εποχής. Οι χάρτες του γεωγράφου Capella, ο οποίος έζησε γύρω στο 400 μ.Χ. ήταν κυκλικοί και απεικόνιζαν τις κλιματικές ζώνες. Οι γεωγράφοι Ισίδωρος (αρχές του 7<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα) από τη Σεβίλλη της Ισπανίας και Beatus (776 μ.Χ.) από το Λίβανο κατασκεύασαν παγκόσμιους χάρτες τύπου O-T στους οποίους περιλαμβάνονταν ταυτόχρονα και οι κλιματικές ζώνες. Ο Honore de Autun (12<sup>ος</sup> μ.Χ. αιώνας) συνδύαζε χάρτες τύπου O-T με κλιματικές ζώνες, ενώ το 1448 μ.Χ. ο Johannes Leardes από τη Βενετία σχεδίασε έναν χάρτη του κατοικήσιμου τότε κόσμου έχοντας την Ανατολή στην κορυφή καθώς και 2 περιοχές βόρεια και νότια με τον τίτλο «ακατοίκητες λόγω κρύου ή ζέστης». (Bagrow, 1964).

Όταν το έργο του Πτολεμαίου άρχισε να γίνεται ευρύτερα γνωστό στο Δυτικό κόσμο, λόγω της μετάφρασής του στα Λατινικά από τον Angelus το 1408 μ.Χ., συνηθιζόταν να παρουσιάζεται στην πρωταρχική του μορφή με ολόένα νεότερα έργα προστιθέμενα ως παραρτήματα. Από τη στιγμή εκείνη, που ο τότε γνωστός κόσμος άρχιζε να επεκτείνεται και κάτω από τον ισημερινό, τα «νέα» εδάφη νότια του ισημερινού με τις αντίστοιχες κλιματικές ζώνες άρχιζαν να προστίθενται στους χάρτες του Πτολεμαίου. Ο Σύλβανος, στη Βενετία το

1511 μ.Χ., σχεδίασε ένα χάρτη σε σχήμα καρδιάς, ο οποίος απεικόνιζε τις 7 κλιματικές ζώνες βόρεια του ισημερινού, ενώ παράλληλα προσέθεσε 4 νέες κλιματικές ζώνες νότια του ισημερινού. Ο Γερμανός χαρτογράφος Απίανος (1520 μ.Χ.), στον παγκόσμιο χάρτη του, εμφάνισε μία επιπρόσθετη ζώνη, την κλιματική ζώνη 8, ακριβώς επάνω από την κλιματική ζώνη 7 του Πτολεμαίου. Ο κατοικήσιμος κόσμος άρχισε να επεκτείνεται τόσο βόρεια όσο και νότια κατά τον 16<sup>ο</sup> αιώνα. Το 1492 ο Behaim κατασκεύασε μία υδρόγειο στην οποία εμφανίζονταν οι κλιματικές ζώνες. Παρ' όλα αυτά, ορισμένοι χαρτογράφοι της εποχής σχεδίαζαν παγκόσμιους χάρτες χωρίς κλιματικές ζώνες αψηφώντας τη θεωρία του Πτολεμαίου.



Εικόνα 1-2: Ο παγκόσμιος χάρτης του Πτολεμαίου, 1854 (Πανεπιστήμιο Μίσιγκαν, ΗΠΑ).

Ήδη από τα μέσα του 16<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ. είχαν εφευρεθεί επιστημονικές μέθοδοι για τον προσδιορισμό του γεωγραφικού πλάτους ενός τόπου μετρώντας το υψόμετρο στο οποίο βρισκόταν ο Ήλιος και με αστρονομικές παρατηρήσεις του Πολικού Αστήρα. Καθόσον παρόμοιες μετρήσεις άρχισαν να γίνονται ευρύτερα διαθέσιμες, οι πληροφορίες για το γεωγραφικό πλάτος άρχισαν σταδιακά να αντικαθιστούν, τη μέγιστη χρονική διάρκεια ηλιοφάνειας σαν χαρακτηριστικό ενός τόπου. Με τα νέα δεδομένα, λοιπόν, πολλοί χαρτογράφοι, θέλοντας να απεικονίσουν την έννοια του «κλίματος» στους χάρτες τους άρχισαν να υιοθετούν την πρωταρχική θεωρία των αρχαίων Ελλήνων περί 5 κλιματικών ζωνών: μία «διακεκαυμένη», δύο εύκρατες και 2 «παγωμένες». Στους νέους αυτούς χάρτες, οι γεωγράφοι-χαρτογράφοι επεκτείνανε τις κλιματικές ζώνες έτσι ώστε να καλύπτουν τα νέα προσφάτως εξερευνηθέντα εδάφη. Πιο συγκεκριμένα, στους άτλαντες των Lopo Homem (1554) και Willem Blaeu (1648) ήταν εμφανείς οι εκτεταμένες κλιματικές ζώνες οι οποίες πλέον περιελάμβαναν τη Βόρεια και Νότια Αμερική. Ωστόσο, η ιδέα περί οριοθέτησης του κατοικήσιμου κόσμου συνέχισε να υπάρχει για αιώνες. Το 1834, ο γεωγράφος Malte Brun στα κείμενά του είχε δηλώσει: «Ο 78<sup>ος</sup> παράλληλος φαίνεται να αποτελεί το όριο του κατοικήσιμου κόσμου στο Βόρειο ημισφαίριο».

Η πρωταρχική αντίληψη των αρχαίων Ελλήνων περί κλιματικών ζωνών διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους αποδείχτηκε σωστή τον 15<sup>ο</sup> αιώνα όταν και οι γεωγραφικές εξερευνήσεις αποδείξανε πως τα εδάφη στον «Νέο Κόσμο» της Αμερικανικής ηπείρου δεν αποτελούσαν απλές προεκτάσεις των Ευρωπαϊκών κλιματικών ζωνών, αλλά αποτελούσαν ιδιαίτερα ακανόνιστες περιοχές οι οποίες παρουσίαζαν αντιθέσεις στις μεταβλητές της υγρασίας αλλά και της θερμοκρασίας. Το σύστημα των κλιματικών ζωνών συνέχισε να χρησιμοποιείται στους χάρτες της εποχής, κυρίως λόγω της έλλειψης ποσοτικών κλιματικών παρατηρήσεων. Με την κατασκευή μετεωρολογικών οργάνων, όπως του θερμομέτρου τον 17<sup>ο</sup> αιώνα, άρχισαν να πραγματοποιούνται τακτικές κλιματικές παρατηρήσεις στην Ευρώπη. Το 1848, ο Γερμανός βοτανολόγος Dove δημοσίευσε τον πρώτο παγκόσμιο χάρτη θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων.

Η πρώτη ποσοτική ταξινόμηση των παγκόσμιων κλιμάτων πραγματοποιήθηκε από το Γερμανό επιστήμονα Wladimir Köppen το 1900. Ο Köppen είχε λάβει εκπαίδευση φυσιολόγου φυτών από όπου και συνειδητοποίησε ότι τα φυτά μπορούν να αποτελέσουν δείκτες για πολλά κλιματικά στοιχεία μίας περιοχής. Επέλεξε για σύμβολα της ταξινόμησής του τα 5, κατά τον Γάλλο βοτανολόγο De Candolle, είδη βλάστησης τα οποία με τη σειρά τους βασιζόνταν στις κλιματικές ζώνες των αρχαίων Ελλήνων:

A, για τα φυτά της «διακεκαυμένης» ζώνης

C, για τα φυτά της εύκρατης ζώνης

D και E, για τα φυτά της παγωμένης ζώνης

ενώ το γράμμα B συμβόλιζε τα φυτά της ξηρής ζώνης.

Ένα δεύτερο γράμμα συμβόλιζε τον παράγοντα της υγρασίας (για παράδειγμα ο συμβολισμός Af υποδηλώνει το υγρό και τροπικό κλίμα). Κατά τη διάρκεια της ζωής του, ο Köppen, επιχείρησε να προσαρμόσει συγκεκριμένα όρια θερμοκρασίας στα ορισμένα από τον Candolle όρια της βλάστησης. Με την έκδοση του περίφημου έργου του «Εγχειρίδιο Κλιματολογίας», το 1936, έγινε γνωστή η μέθοδος ταξινόμησής του σε όλους τους γεωγράφους ανά τον κόσμο. Τέλος δε, με τη μετάφραση του έργου του στην αγγλική γλώσσα, σύσσωμος ο αγγλόφωνος κόσμος έσπευσε να υιοθετήσει την αριθμητική του μέθοδο κατάταξης των κλιμάτων, ενώ παράλληλα άρχισαν να δημοσιεύονται για την κάθε ήπειρο ξεχωριστά, χάρτες βασισμένοι στην κατά Köppen κλιματική κατάταξη.

Παρά το γεγονός ότι ο Αμερικανός κλιματολόγος Thornthwaite (1899-1963) δημοσίευσε μία πιο ορθολογική μέθοδο ταξινόμησης, αυτή ποτέ δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως. Ο λόγος, προφανώς, έγκειται στην ισχνώς κατανοητή για πολλούς έννοια της «εξατμισοδιαπνοής» και τα 4 δυσνόητα σύμβολα τα οποία χρησιμοποίησε ο συγκεκριμένος επιστήμονας. Γεγονός,



ωστόσο, αποτελεί ότι οι περισσότεροι σύγχρονοι παγκόσμιοι άτλαντες καθώς και σύγχρονα εγχειρίδια γεωγραφίας συνεχίζουν να χρησιμοποιούν την εδώ και 100 έτη κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen, η οποία βασίστηκε στα κατά Candolle είδη βλάστησης, τα οποία με τη σειρά τους προήλθαν από τις 5 κλιματικές ζώνες των Ελλήνων της αρχαιότητας. Συμπερασματικά, γίνεται λόγος μεταξύ των επιστημόνων σχετικά με το αν θα πρέπει να υπάρξει μία νεότερη ταξινόμηση των παγκόσμιων κλιμάτων (Marie Sanderson, 1999).

### **1.3 Κλιματική κατάταξη κατά Köppen**

Οι μέθοδοι παγκόσμιας κλιματικής κατάταξης που έχουνε χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς, διακρίνονται σε γενετικές και εμπειρικές. Οι γενετικές, βασίζονται στη θεώρηση των αιτιών που διαμορφώνουν το κλιματικό καθεστώς, όπως είναι η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, η επίδραση των αερίων μαζών, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία κλπ. Οι εμπειρικές, όπως άλλωστε είναι και η υπό μελέτη μέθοδος Köppen, βασίζονται στη στατιστική ανάλυση της επίδρασης του κλίματος σε ποικίλους παράγοντες, όπως το θερμοκρασιακό καθεστώς της περιοχής, η βλάστηση, η ανθρώπινη επίδραση κλπ.

Η κλιματική κατάταξη κατά Köppen είναι μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους. Δημοσιεύτηκε, αρχικά, από τον γερmano-ρωσικής καταγωγής κλιματολόγο Wladimir Köppen το 1884, με διάφορες μετέπειτα τροποποιήσεις από τον ίδιο, οι πιο αξιοσημείωτες, από τις οποίες, το 1918 και το 1936. Στη συνέχεια, ο Γερμανός κλιματολόγος Rudolf Geiger συνεργάστηκε με τον Köppen και προχώρησανε, πλέον, μαζί σε κάποιες αλλαγές στο σύστημα κατάταξης, γι αυτό και πολλές φορές αναφέρεται σαν κλιματικό σύστημα κατάταξης κατά Köppen-Geiger. Το συγκεκριμένο σύστημα κατάταξης βασίζεται στην αντίληψη ότι η κατά τόπους βλάστηση είναι η πιο αποτελεσματική έκφραση του κλίματος της εκάστοτε περιοχής. Έτσι, τα όρια των κλιματικών ζωνών έχουν επιλεγεί έχοντας υπ' όψη την κατανομή της βλάστησης στις περιοχές του πλανήτη. Η μέθοδος χρησιμοποιεί μέσες ετήσιες και μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης σε συνδυασμό με την εποχικότητα της βροχόπτωσης στην κάθε περιοχή (Markus Kottek, 2005).

Από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας έχει οριστεί η 30ετής σαν χρονική κλίμακα μελέτης για τον καθορισμό του κλίματος κάθε περιοχής και οι πιο συνηθισμένες μετρήσεις που χρησιμοποιούνται είναι αυτές της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της έντασης του ανέμου.

Σύμφωνα, πάντα, με τη μέθοδο Köppen οι παράμετροι οι οποίες χρησιμοποιούνται για την κλιματική κατάταξη μίας περιοχής παρουσιάζονται παρακάτω:

### Μέσες ετήσιες τιμές

- $R$  κατακρήμνιση σε mm
- $T$  θερμοκρασία σε °C

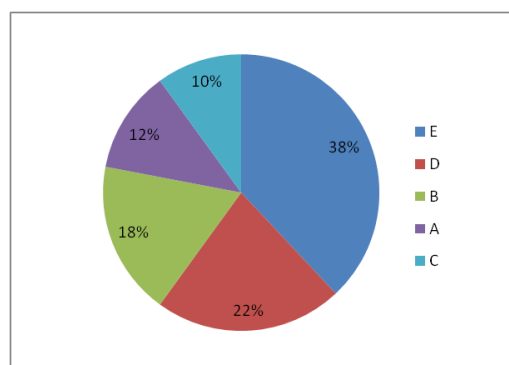
### Μέσες εξαμηνιαίες τιμές

- $R_{6\psi}$  μέσο ύψος κατακρήμνισης του ψυχρού εξαμήνου σε mm
- $R_{6\theta}$  μέσο ύψος κατακρήμνισης του θερμού εξαμήνου σε mm

### Μέσες μηνιαίες τιμές

- $T_{\psi}$  θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα σε °C
- $T_{\theta}$  θερμοκρασία του θερμότερου μήνα σε °C
- $T_{\mu}$  θερμοκρασία ενός μήνα σε °C
- $R_{\xi}$  κατακρήμνιση του ξηρότερου μήνα σε mm
- $R_{\nu}$  κατακρήμνιση του υγρότερου μήνα σε mm
- $R_{\xi\theta}$  κατακρήμνιση του ξηρότερου μήνα του θερμού εξαμήνου σε mm
- $R_{\nu\theta}$  κατακρήμνιση του υγρότερου μήνα του θερμού εξαμήνου σε mm
- $R_{\xi\psi}$  κατακρήμνιση του ξηρότερου μήνα του ψυχρού εξαμήνου σε mm
- $R_{\nu\psi}$  κατακρήμνιση του υγρότερου μήνα του ψυχρού εξαμήνου σε mm

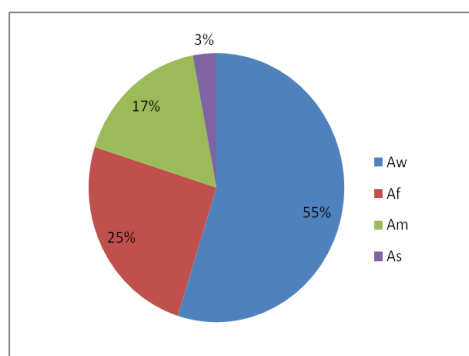
Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των κλιματικών τύπων κατά Köppen με τις υποκατηγορίες τους.



Σχήμα 1-1: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των 5 βασικών κατά Köppen κλιματικών τύπων σε φθίνουσα σειρά γεωγραφικής εμφάνισής τους.

## **Τύπος A Κριτήριο: $T_{\psi} > 18^{\circ}\text{C}$**

**Γενική περιγραφή:** Το υγρό τροπικό κλίμα επικρατεί στις περιοχές βόρεια και νότια του Ισημερινού μέχρι τα γεωγραφικά πλάτη  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}$ . Χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες όλες τις εποχές και άφθονη βροχόπτωση ( $R > 1500$  mm). Στις συνθήκες αυτές ευνοείται η έντονη βλάστηση και αναπτύσσονται τροπικά δάση που περιλαμβάνουν πολλά είδη φυτών προσαρμοσμένων στη μεταβλητή (ανάλογα με το ύψος βλάστησης) εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Τα τροπικά δάση υπάρχουν κυρίως στις λεκάνες των ποταμών Αμαζονίου και Κονγκό και στη ζώνη από τη Σουμάτρα μέχρι τη Ν. Γουινέα.



Σχήμα 1-2: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του υγρού τροπικού κλίματος A σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.

### **Υποκατηγορίες:**

**f: Υγρό τροπικό Κριτήριο:  $R_{\xi} \geq 60$  mm**

Ο τύπος **Af** χαρακτηρίζεται από ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος  $< 3^{\circ}\text{C}$  αφού το ύψος του ηλίου και οι ώρες ηλιοφάνειας είναι σταθερές όλο το έτος. Ο καιρός είναι μονότονος και αποπνικτικός με περίπου ίδια θερμοκρασία κάθε ημέρα. Σχεδόν κάθε απόγευμα νέφη τύπου Cumulus προκαλούν τοπικές ισχυρές και μικρές σε διάρκεια βροχοπτώσεις. Το βράδυ ο ουρανός είναι καθαρός και η ψύξη του εδάφους προκαλεί δρόσο και ομίχλη. Η υψηλή υγρασία και νέφωση διατηρεί τις μέγιστες θερμοκρασίες σε χαμηλά επίπεδα σε σχέση με αυτές των μεσαίων πλατών. Συνήθως  $R > 1500$  mm ενώ στις προσηνεμες περιοχές είναι δυνατόν  $R > 4000$  mm.

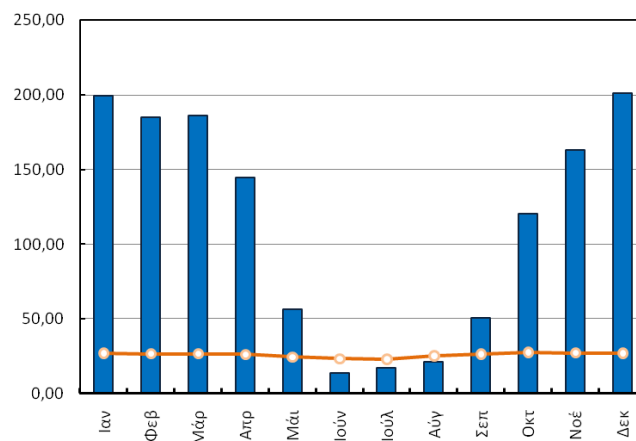
**w: Υγρό και ξηρό-σαβάνα Κριτήριο:  $R_{\xi} < 10 - R/250$**

Ο τύπος **Aw** επικρατεί στις περιοχές που βρίσκονται στα όρια του τύπου Af και προς τους πόλους. Εκεί η ετήσια βροχόπτωση μειώνεται και επικρατεί μια διαχωρισμένη ξηρή περίοδος

το χειμώνα (όταν οι περιοχές αυτές είναι κάτω από την επίδραση των υποτροπικών αντικυκλώνων). Αν και  $R > 1000$  mm, η ξηρή περίοδος διαρκεί περισσότερο από δύο μήνες ( $R_{\xi} < 60$  mm). Επειδή το τροπικό δάσος απαιτεί βροχόπτωση όλο το έτος, επικρατεί υψηλό σκληρό χορτάρι Σαβάννας με διασκορπισμένα, χαμηλά φυλλοβόλα δένδρα, ανθεκτικά σε αυτή την ολιγόμηνη «ξηρασία». Το καλοκαίρι η Διατροφική Ζώνη Σύγκλισης κινείται προς τους πόλους, και φέρνει ισχυρές βροχοπτώσεις με την μορφή θερινών καταιγίδων. Ακόμη η βροχή ενισχύεται και από το πέρασμα ασθενών υφέσεων. Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι μικρότερη από αυτή του τύπου Af και παρουσιάζει μεγαλύτερη διασπορά.

**m: Τροπικό μουσωνικό** Κριτήριο:  $10 - R/250 \leq R_{\xi} < 60$  mm

Ο τύπος Am επικρατεί στη ΝΑ Ασία, Ινδία, ΝΑ Νότια Αμερική. Χαρακτηρίζεται από μικρή ξηρή περίοδο ( $R_{\xi} < 60$  mm) αλλά  $R > 1500$  mm και έτσι διατηρούνται τα τροπικά δάση. Η υπερβολική βροχόπτωση στη διάρκεια μερικών μηνών συνδέεται με τη δράση των μουσώνων.



Σχήμα 1-3: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Cuiaba, Βραζιλία (-15.55N,-56.12E).

**Τύπος B** Κριτήριο  $R < R_1$

όπου  $R_1 = 20 * T + 280$  αν  $R_{60} > 0.7 * R$  (ξηρός χειμώνας)

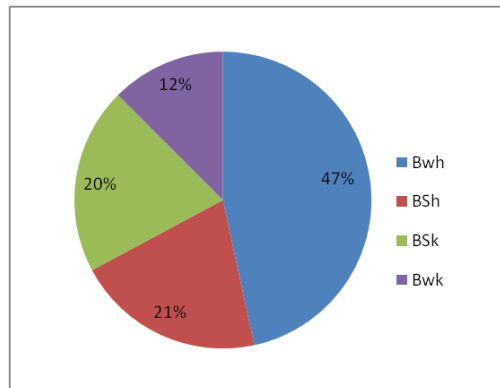
$R_1 = 20 * T$  αν  $R_{60} > 0.7 * R$  (ξηρό καλοκαίρι)

$R_1 = 20 * T + 140$  αν υπάρχει ισοκατανομή κατακρήμνισης



Τα κριτήρια κατάταξης του ξηρού κλίματος στηρίζονται εκτός από τη βροχή και στη θερμοκρασία. Έτσι 350 mm ετήσιας βροχής σε ένα ζεστό κλίμα θα υποστηρίξουν αραιή βλάστηση αλλά σε ψυχρό κλίμα (π.χ στον Καναδά) ένα δάσος κωνοφόρων. Ακόμη μια περιοχή

με μικρή βροχή κατατάσσεται ως ξηρή αν η περισσότερη βροχή πραγματοποιείται την θερμή περίοδο όπου η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη. Η βροχή στα ξηρά κλίματα είναι μικρή και ακανόνιστη. Για παράδειγμα σε σταθμό με μέση ετήσια βροχή 50 mm είναι δυνατόν να μην πραγματοποιηθεί βροχή για 2 χρόνια και σε μια ξαφνική νεροποντή να πέσουν 100 mm. Η βλάστηση αν και μικρή εξαρτάται από την ακανόνιστη βροχή (λίγες έρημοι δεν έχουν καθόλου βλάστηση). Επικρατούν τα ξηρόφυτα, ποικίλες μορφές κάκτων και φυτών που αναπτύσσονται και ζουν μόνο κατά την περίοδο των βροχών.



Σχήμα 1-4: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του ξηρού κλίματος B σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.

### Τύποι δεύτερης κατηγορίας

**S: Ημιάνυδρο-στέπας** Κριτήριο  $R_1/2 < R < R_1$

**W: Άνυδρο-ερήμου** Κριτήριο  $R < R_1/2$

### Τύποι τρίτης κατηγορίας

**h: Θερμό και ξηρό** Κριτήριο:  $T > 18^\circ C$

**k: Δροσερό και ξηρό** Κριτήριο:  $T < 18^\circ C$

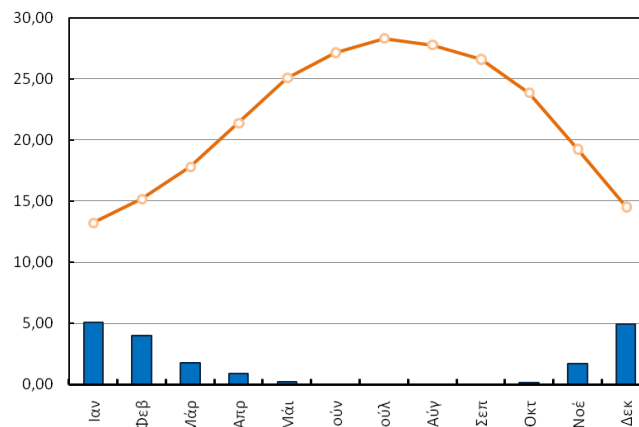
Ο τύπος **BW** επικρατεί στο 12% των ηπειρωτικών περιοχών της γης και συγκεκριμένα στην Δυτική ακτή της Νότιας Αμερικής και της Αφρικής, στο εσωτερικό της Αυστραλίας, από την βορειοδυτική Αφρική μέχρι την κεντρική Ασία και από το Β. Μεξικό μέχρι τις Ν. ΗΠΑ. Η βροχή είναι ακανόνιστη και πραγματοποιείται με τη μορφή απογευματινών θερινών καταιγίδων.

Ο τύπος **BWh** εμφανίζεται στις ερήμους των χαμηλών πλατών όπου η έντονη ηλιακή ακτινοβολία αναπτύσσει μεγάλη θερμοκρασία στο κατάξερο έδαφος. Οι θερμοκρασίες αέρα είναι μεγαλύτερες από οπουδήποτε αλλού και το χειμώνα η μέγιστη θερμοκρασία μπορεί να

φτάσει τους 50°C. Η σχετική υγρασία είναι 5-25% και αυτό επιτρέπει την γρήγορη ψύξη του εδάφους τις βραδινές ώρες. Υπάρχει μεγάλο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος και το χειμώνα οι ελάχιστες θερμοκρασίες μπορεί να είναι μικρότερες από 0°C.

**Ο τύπος BWk** επικρατεί σε περιοχές των μεσαίων πλατών όπου οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες είναι μικρότερες από την προηγούμενη κατηγορία. Τα καλοκαίρια είναι θερμά και οι απογευματινές θερμοκρασίες φτάνουν τους 40°C. Οι χειμώνες είναι πολύ ψυχροί και οι ελάχιστες θερμοκρασίες πέφτουν κάτω και από τους -35°C. Πολλές από αυτές τις ερήμους είναι στην ομβροσκιά μεγάλων οροσειρών (Σιέρρα Νεβάδα, Ιμαλία, Άνδεις). Η ισχνή βροχή προέρχεται από θερινές καταιγίδες ή από χειμερινούς σποραδικούς κυκλώνες.

**Ο τύπος BS** επικρατεί γύρω από τα όρια των άνωδρων εκτάσεων όπου το κλίμα σταδιακά αλλάζει σε ημιάνυδρο. Οι περιοχές αυτές περιλαμβάνουν στέπες που συνήθως η βλάστησή τους αποτελείται από κοντό χορτάρι, διασκορπισμένους θάμνους και μικρά δένδρα. Οι βόρειες περιοχές έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες και συχνότερες χιονοπτώσεις και η μέση ετήσια βροχή είναι μεταξύ 200 και 400 mm. Βορειότερα η βροχή αυξάνει και έτσι οι ημιάνυδρες περιοχές είναι αυτές που διαχωρίζουν τις ξηρές από τις υγρές περιοχές.

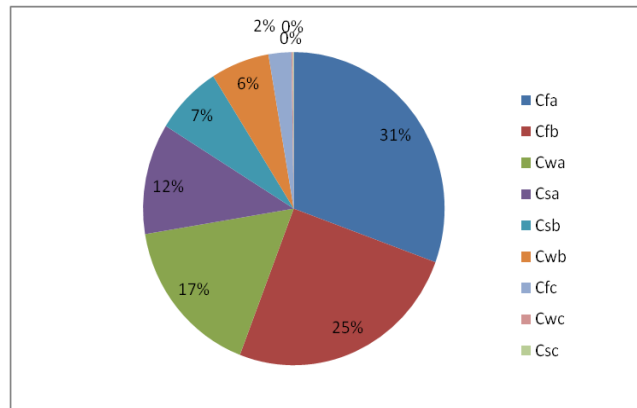


Σχήμα 1-5: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Helwan, Αίγυπτος (29.90N,31.30E).

**Τύπος C Κριτήρια  $T_{\theta}>10^{\circ}C$  και  $-3^{\circ}C<T_{\psi}<18^{\circ}C$**

Το **υγρό κλίμα με ήπιους χειμώνες** επικρατεί στις ανατολικές και δυτικές περιοχές των ηπείρων μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 25°-40°. Χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και αρκετή βροχή (ώστε να μην κατατάσσεται ως ξηρό), ενώ η θερμή και η ψυχρή περίοδος είναι διαχωρισμένες.





Σχήμα 1-6: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του υγρού κλίματος με ήπιους χειμώνες C σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης

### Τύποι δεύτερης κατηγορίας

**w: Ξηρός χειμώνας** Κριτήριο:  $R_{\xi\psi} < R_{\sigma\theta}/10$

**s: Ξηρό καλοκαίρι** Κριτήρια:  $R_{\xi\theta} < 40 \text{ mm}$  και  $R_{\xi\theta} < R_{\sigma\psi}/3$

**f: Υγρό όλο το χρόνο** Κριτήριο: Δεν ισχύουν τα προηγούμενα

### Τύποι τρίτης κατηγορίας

**a: Μεγάλο και θερμό καλοκαίρι** Κριτήρια:  $T_{\theta} > 22^{\circ}\text{C}$  και  $T_{\mu} > 10^{\circ}\text{C}$  για 4 τουλάχιστον μήνες

**b: Μεγάλο και δροσερό καλοκαίρι** Κριτήρια:  $T_{\theta} < 22^{\circ}\text{C}$  και  $T_{\mu} > 10^{\circ}\text{C}$  για 4 τουλάχιστον μήνες

**c: Μικρό και δροσερό καλοκαίρι** Κριτήρια:  $T_{\theta} < 22^{\circ}\text{C}$  και  $T_{\mu} > 10^{\circ}\text{C}$  για 1-3 μήνες

Ο τύπος **Cfa** εμφανίζεται στις ανατολικές ακτές των ηπείρων μεταξύ των πλατών  $25^{\circ}$ - $40^{\circ}$  και συγκεκριμένα στις ΝΑ ΗΠΑ, Α. Κίνα, Ν. Ιαπωνία, ΝΑ Νότια Αμερική και στις ΝΑ ακτές της Αφρικής και της Αυστραλίας. Χαρακτηρίζεται από θερμό και υγρό καλοκαίρι με υψηλές θερμοκρασίες δρόσου ακόμη και μέσα στην ημέρα. Η υψηλή θερμοκρασία συνδυασμένη με την υψηλή υγρασία παράγει αποπνικτικές συνθήκες όπως στους τροπικούς. Οι χειμώνες είναι ήπιοι και στα χαμηλότερα πλάτη η θερμοκρασία δεν πέφτει συχνά κάτω από τους  $0^{\circ}\text{C}$ . Στα βορειότερα πλάτη οι χειμώνες είναι ψυχρότεροι και παρουσιάζονται σποραδικές χιονοπτώσεις. Ο καιρός είναι μεταβλητός αφού σε σχεδόν καλοκαιρινές συνθήκες διέρχονται κυκλώνες μεσαίων πλατών. Η βροχόπτωση (μεταξύ 800 και 1650 mm) είναι κατανομημένη σε όλο το έτος ενώ η περισσότερη θερινή βροχή πέφτει το απόγευμα σαν καταιγίδα.

Ο τύπος **Cfb** αντιπροσωπεύει το θαλάσσιο κλίμα που χαρακτηρίζεται από χαμηλά σύννεφα, ομίχλη και ψιλή βροχή όλο το χρόνο που συνδέεται με τις υγρές θαλάσσιες αέρια μάζες.

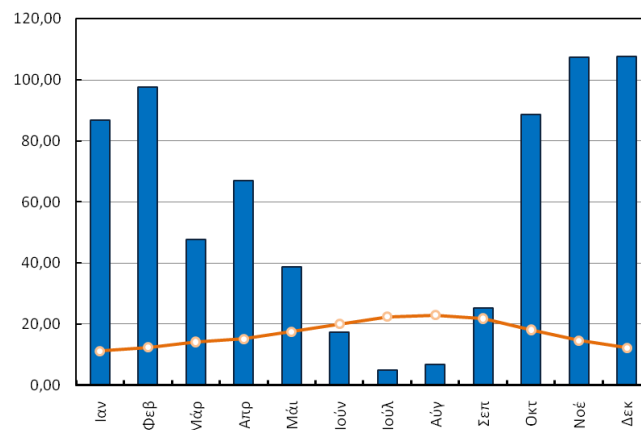
**Ο τύπος Cfe** χαρακτηρίζεται από σύντομα και δροσερά καλοκαίρια.

**Ο τύπος Cs** αντιπροσωπεύει το Μεσογειακό κλίμα που χαρακτηρίζεται από ήπιους υγρούς χειμώνες και ήπια, ζεστά και ξηρά καλοκαίρια λόγω της επιρροής των υποτροπικών αντικυκλώνων. Η ετήσια βροχή κυμαίνεται μεταξύ 300-900 mm αλλά μπορεί και να είναι περισσότερη στα γύρω υψώματα.

**Ο τύπος Csa** παρουσιάζεται στις ηπειρωτικές περιοχές και χαρακτηρίζεται από τα ζεστά καλοκαίρια και χειμώνες ψυχρότερους από τις παράκτιες περιοχές.

**Ο τύπος Csb** εμφανίζεται στις παράκτιες περιοχές με συχνά χαμηλά σύννεφα, ομίχλη και δροσερό καλοκαίρι.

**Ο τύπος Cw** χαρακτηρίζεται από μουσωνικό καθεστώς (ξηρός χειμώνας-υγρό καλοκαίρι).



Σχήμα 1-7: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Λισσαβόνα, Πορτογαλία (38.70N,-9.10E).

### **Τύπος D Κριτήρια $T_{\theta}>10^{\circ}C$ και $T_{\psi}<-3^{\circ}C$**

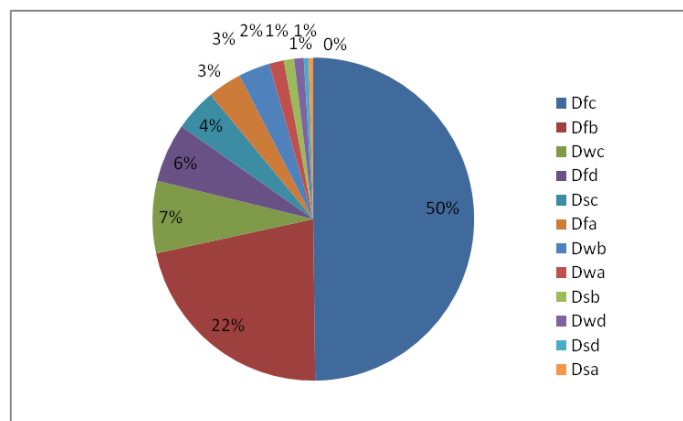
**Το υγρό κλίμα με ψυχρούς χειμώνες** παρουσιάζεται μόνο στο Βόρειο Ημισφαίριο (σχετίζεται άμεσα με τις ηπειρωτικές αέριες μάζες), βορειότερα των περιοχών που χαρακτηρίζονται από τον κλιματικό τύπο C και μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 40°-70°. Χαρακτηρίζεται από θερμά έως δροσερά καλοκαίρια και κρύους εκτεταμένους χειμώνες, με χιονοπτώσεις και δυνατούς ανέμους.



### **Τύποι δευτέρας κατηγορίας (οι ίδιοι με της κατηγορίας C)**

*w* (ξηρός χειμώνας), *s* (ξηρό καλοκαίρι) και *f* (υγρό όλο το χρόνο)





Σχήμα 1-8: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του υγρού κλίματος με ψυχρούς χειμώνες D σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.

### Τύποι τρίτης κατηγορίας (περιλαμβάνονται οι τρεις της κατηγορίας C)

**a** (μεγάλο και θερμό καλοκαίρι), **b** (μεγάλο και δροσερό καλοκαίρι), **c** (μικρό και δροσερό καλοκαίρι)

**d: Δριμείς χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια**      Κριτήριο:  $T_{\psi} < -38^{\circ}\text{C}$

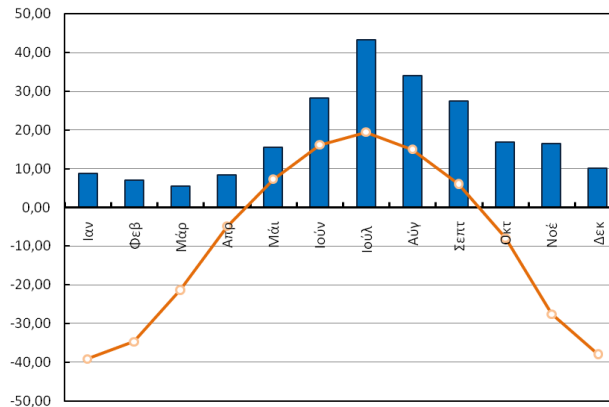
Οι τύποι **Dfa** και **Dfb** εμφανίζονται μεταξύ των πλατών  $40^{\circ}$ - $50^{\circ}$  ( $60^{\circ}$  στην Ευρώπη). Η βροχόπτωση είναι αρκετή (μεταξύ 500-1000 mm) και κατανεμημένη στο έτος. Η βλάστηση των υγρότερων περιοχών περιλαμβάνει δάση από έλατα, πεύκα και βελανιδιές.

Ο τύπος **Dfa** χαρακτηρίζεται από ζεστά και υγρά καλοκαίρια, ενώ η χωρίς πάγο εποχή διαρκεί 5-6 μήνες με αποτέλεσμα να φύεται ποικιλία φυτών. Οι χειμώνες είναι κρύοι με χιόνι και άνεμο.

Ο τύπος **Dfb** επικρατεί βορειότερα με τα καλοκαίρια να είναι μικρότερα, ψυχρότερα και ξηρότερα. Η εποχή χωρίς πάγο διαρκεί 3-5 μήνες. Οι χειμώνες είναι κρύοι με χιόνι και άνεμο και δεν είναι σπάνιο η θερμοκρασία να πέσει κάτω από  $-30^{\circ}\text{C}$  ή να μείνει κάτω από  $-18^{\circ}\text{C}$  για εβδομάδες. Ακόμη, ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται από μεγάλο ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος.

Ο τύπος **Dfc** συναντάται στις περιοχές από τις οποίες προέρχονται οι πολικές αέριες μάζες (Καναδάς, Αλάσκα, Νορβηγία, Σιβηρία). Χαρακτηρίζεται από εκτεταμένους χειμώνες και μικρά και δροσερά καλοκαίρια. Μόνο για 1-3 μήνες η θερμοκρασία περνάει τους  $10^{\circ}\text{C}$ . Η ετήσια βροχόπτωση είναι μικρή ( $<500$  mm) ιδιαίτερα στις ηπειρωτικές περιοχές και ένα μεγάλο ποσοστό προέρχεται από τις θερινές υφέσεις. Η χιονόπτωση δεν είναι μεγάλη αλλά οι χαμηλές θερμοκρασίες έχουν αποτέλεσμα να υπάρχει χιονοκάλυψη πολλούς μήνες. Οι χαμηλές

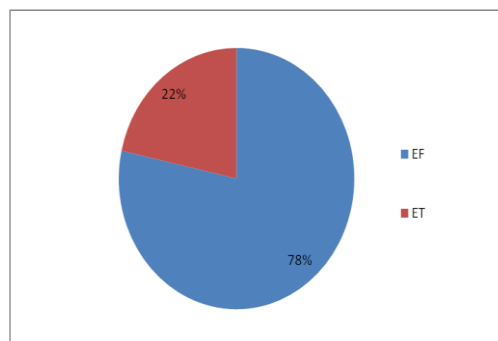
θερμοκρασίες προκαλούν μικρή εξάτμιση και έτσι υπάρχει αρκετή υγρασία για να επιβιώσουν τα δάση των κωνοφόρων (taiga).



Σχήμα 1-9: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Yakutsk, Ρωσία (62.08N,129.75E).

### Τύπος Ε Κριτήριο $T_{\theta} < 10^{\circ}\text{C}$

Το πολικό κλίμα επικρατεί στις Βόρειες ακτές της Αμερικής και της Ευρασίας, στην Γροιλανδία και στην Ανταρκτική. Χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες όλο το χρόνο.



Σχήμα 1-10: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης των υποκατηγοριών του πολικού κλίματος Ε σε φθίνουσα σειρά εμφάνισης.

### Υποκατηγορίες

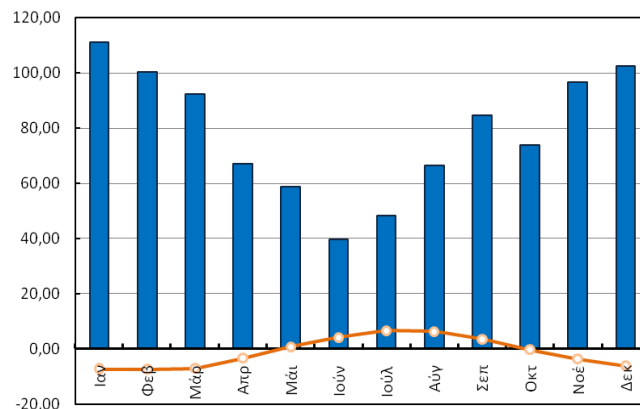
**T: Τούντρα** Κριτήριο:  $0^{\circ}\text{C} < T_{\theta} < 10^{\circ}\text{C}$

Ο τύπος ΕΤ χαρακτηρίζεται από έδαφος που είναι μόνιμα παγωμένο, ενώ το καλοκαίρι όπου ο θερμός καιρός λιώνει τον πάγο που υπάρχει στο ανώτερο εδαφικό στρώμα, η τούνδρα γίνεται βαλτώδης και λασπώδης. Η μέση ετήσια βροχή είναι μικρή (<200 mm) και σε χαμηλότερα

πλάτη το κλίμα θα χαρακτηριζόταν ξηρό, αλλά η πολύ μικρή εξάτμιση έχει αποτέλεσμα να υπάρχει αρκετή υγρασία στην ατμόσφαιρα. Επειδή η περίοδος ανάπτυξης των φυτών είναι πολύ μικρή η βλάστηση της τούνδρας αποτελείται από βρύα, λειχήνες, πολύ μικρά δένδρα και διασκορπισμένη ξυλώδη χαμηλή βλάστηση. Παρά το γεγονός ότι στις περιοχές αυτές το καλοκαίρι υπάρχει μεγάλη ηλιοφάνεια, η γωνία του ηλίου και η ανακλαστικότητα του εδάφους έχουν αποτέλεσμα τα πολύ δροσερά καλοκαίρια. Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι μεγάλο.

**F: Παγοκάλυψη Κριτήριο:  $T_{\theta} < 0^{\circ}\text{C}$ .**

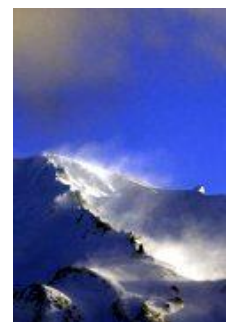
Ο τύπος EF εμφανίζεται στο εσωτερικό της Γροιλανδίας και της Ανταρκτικής όπου οι περιοχές είναι μόνιμα καλυμμένες από χιόνι και πάγο πάχους εκατοντάδων μέτρων και η ανάπτυξη φυτών είναι αδύνατη. Η θερμοκρασία ποτέ δεν ξεπερνάει τους  $0^{\circ}\text{C}$ , ακόμη και το καλοκαίρι. Στον τύπο αυτό συναντώνται τα ψυχρότερα μέρη του κόσμου. Η μέση ετήσια κατακρήμνιση είναι πολύ μικρή ( $< 100\text{ mm}$ ) και η περισσότερη πέφτει σαν χιόνι κατά τη θερμή περίοδο.



Σχήμα 1-11: Συσχέτιση μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης της κλιματικής περιόδου 1970-2005. Σταθμός Ammassalik, Γροιλανδία (65.60N,-37.63E).

**Τύπος H: Ορεινό κλίμα Κριτήριο:  $T_{\theta} < 10^{\circ}\text{C}$**

Οι κλιματολόγοι μετά τον Köppen πρόσθεσαν και μια έκτη κατηγορία κλιμάτων που αποτελεί παραλλαγή της E (αφού έχει το ίδιο κριτήριο) και χαρακτηρίζει τα κλίματα με μεγάλο υψόμετρο (γενικά πάνω από τα 1500 m), ανεξάρτητα από το γεωγραφικό πλάτος.



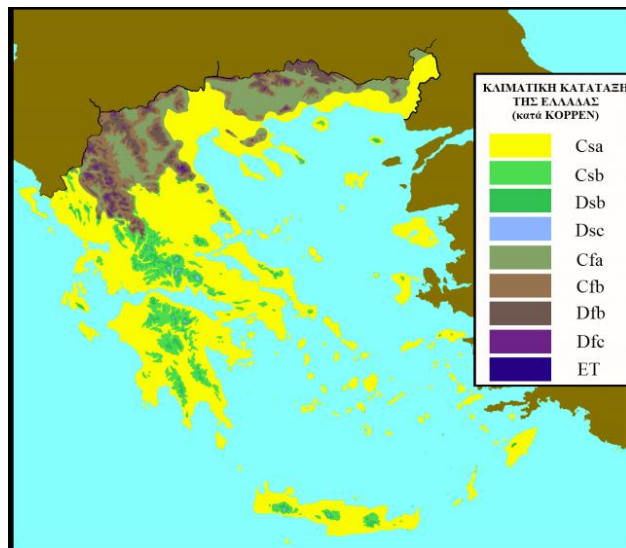
**Ο τύπος Η** χαρακτηρίζει το πολικό κλίμα που συναντάται στα μεγάλα υψόμετρα δεδομένου ότι η θερμοκρασία μειώνεται με το υψόμετρο. Έχει εκτιμηθεί ότι η μεταβολή στα κλιματικά χαρακτηριστικά για υψομετρική μετακίνηση κατά 330 μέτρα, ισοδυναμεί στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη με οριζόντια μετακίνηση 320 km (3<sup>ο</sup> πλάτους) (Μαμάσης, 2010).

#### **1.4 Η εξέλιξη της μεθόδου Köppen. Διορθώσεις και εφαρμογές**

Η πρώτη ποσοτική ταξινόμηση των παγκόσμιων κλιμάτων παρουσιάστηκε από τον Γερμανό επιστήμονα Wladimir Köppen το 1900. Παρουσιάστηκε ως παγκόσμιος κλιματικός χάρτης, ο οποίος στη συνέχεια αναβαθμίστηκε τα έτη 1954 και 1961 από τον κλιματολόγο Rudolf Geiger. Ο Köppen είχε εκπαιδευτεί ως φυσιολόγος φυτών όπου και παρατήρησε ότι τα φυτά αποτελούν δείκτες για πολλά στοιχεία του κλίματος κάθε περιοχής. Η αποτελεσματική αυτή ταξινόμηση που δημοσίευσε ο Köppen είχε κατασκευαστεί έχοντας σαν βάση τους πέντε (5) τύπους βλάστησης που είχε καθορίσει ο Γάλλος βοτανολόγος De Candolle ορμώμενος από τις κλιματικές ζώνες των αρχαίων Ελλήνων. Οι πέντε τύποι βλάστησης κατά Köppen διακρίνονται σε φυτά της ζώνης του Ισημερινού (Α), σε φυτά της άγονης ζώνης (Β), της θερμής εύκρατης ζώνης (C), της χιονισμένης ζώνης (D) και σε φυτά που ευδοκιμούν στην πολική ζώνη (Ε). Το δεύτερο μικρό γράμμα, στην κλιματική αυτή κατάταξη, καθορίζεται από το ύψος της βροχόπτωσης, ενώ το τρίτο αποτελεί ένδειξη της θερμοκρασίας του αέρα. Παρ' όλο που πληθώρα επιστημόνων έχουν δημοσιεύσει ενισχυμένες μορφές της κλιματικής κατάταξης Köppen ή έχουν αναπτύξει εντελώς νέες κλιματικές κατατάξεις, η αρχικά δημοσιευμένη από τον Köppen κλιματική κατάταξη παραμένει και σήμερα η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος.

Η μέθοδος Köppen έχει χρησιμοποιηθεί επανειλημμένα σε πληθώρα κλιματολογικών και υδρολογικών ερευνών. Αντιπροσωπευτικά, η μέθοδος έχει εφαρμοστεί για τον προσδιορισμό της μεταβλητότητας της ετήσιας απορροής σε παγκόσμια κλίμακα. Επίσης, η κατάταξη Köppen έχει χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της επαλήθευσης των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας καθώς και σε διαδικασίες προσομοίωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τέλος, έχουν δημοσιευτεί έρευνες που εξετάζουν τη μέγιστη πιθανή επιρροή της βλάστησης στο παγκόσμιο κλίμα βάσει κάποιων μοντέλων προσομοίωσης. Σε αυτές τις έρευνες, η κατάταξη Köppen βρήκε εφαρμογή ως εργαλείο προσδιορισμού των διαφορών στα αποτελέσματα που δίνουν τα διάφορα μοντέλα προσομοίωσης ([www.britannica.com](http://www.britannica.com)).

## 1.5 Το κλίμα της Ελλάδας



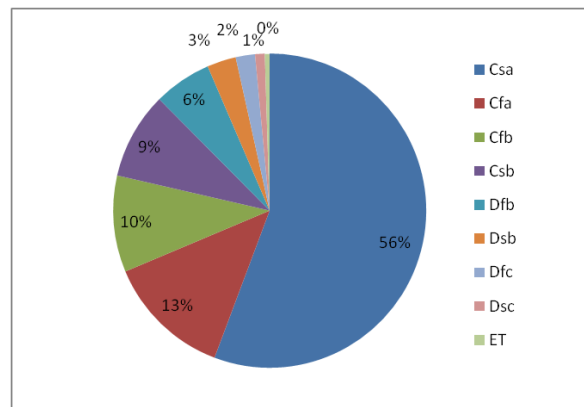
Εικόνα 1-3: Χάρτης κλιματικής κατάταξης της Ελλάδας κατά Köppen.

(Πηγή: Ιωάννης Γιαλαμάς, <http://www.meteoclub.gr>)

Στη χώρα μας κυρίαρχο κλίμα είναι το θαλάσσιο (C), μιας και οι μέσες θερμοκρασίες του ψυχρότερου μήνα κυμαίνονται μεταξύ 0 και 18°C. Το Ηπειρωτικό (D) έχει σαφώς μικρότερη εξάπλωση και απαντάται μόνο στα μεγάλα υψόμετρα κυρίως της κεντροβόρειας χώρας. Περίπου το 56% της επιφάνειας της χώρας μας κατατάσσεται στο “Θαλάσσιο κλίμα με διακριτό ξηρό και πολύ θερμό θέρος” (Csa), το αντιπροσωπευτικό “Μεσογειακό” κλίμα. Εμφανίζεται σε όλη τη νησιωτική, παράκτια και πεδινή χώρα και κυριαρχεί όλο και περισσότερο από βορρά προς νότο. Εξάιρεση αποτελεί το εσωτερικό τμήμα από την Κεντρική Μακεδονία μέχρι τη Θράκη. Περίπου το 9% της επιφάνειας της χώρας κατατάσσεται στο “Θαλάσσιο κλίμα με διακριτό ξηρό και θερμό θέρος” (Csb), το οποίο είναι μια τροποποιημένη μορφή του αντιπροσωπευτικού μεσογειακού κλίματος. Το “πολύ θερμό θέρος” αντικαθίσταται από το “θερμό θέρος”, λόγω επίδρασης του υψομέτρου. Εμφανίζεται από τη Στερεά Ελλάδα και νοτιότερα, σε υψόμετρα >700–900 m. Το “Θαλάσσιο υγρό κλίμα με πολύ θερμό θέρος” (Cfa) καλύπτει περίπου το 13% της επιφάνειας της χώρας και απαντάται στο εσωτερικό της ζώνης Κεντρική Μακεδονία – Θράκη, στις χαμηλές περιοχές της Δυτικής Μακεδονίας, στις ημιορεινές-ορεινές περιοχές της Βόρειας και Δυτικής Θεσσαλίας, καθώς και της Ανατολικής Ηπείρου. Το “Θαλάσσιο υγρό κλίμα με θερμό θέρος” (Cfb) καλύπτει περίπου το 10% της επιφάνειας της χώρας και αποτελεί τροποποιημένη μορφή του Cfa, λόγω επίδρασης του υψομέτρου. Απαντάται περισσότερο στη Δυτική Μακεδονία (σε υψόμετρα <900–1000 m) και λιγότερο στα ημιορεινά-ορεινά τμήματα της Ανατολικής Μακεδονίας – Θράκης, επειδή επικαλύπτεται γρήγορα από το κλίμα Dfb. Ο κλιματικός τύπος Dsb, δηλαδή “Ηπειρωτικό

κλίμα με διακριτό ξηρό και θερμό θέρος” καλύπτει μια μικρή επιφάνεια της χώρας μας (περίπου το 3%) και εμφανίζεται από τη Στερεά Ελλάδα και νοτιότερα, σε υψόμετρα >1.500–1.800 m. Ακόμη μικρότερη εξάπλωση (περίπου το 1%) παρουσιάζει ο τύπος Dsc, δηλαδή “Ηπειρωτικό κλίμα με διακριτό ξηρό και δροσερό θέρος” και εμφανίζεται επίσης από την Στερεά Ελλάδα και νοτιότερα, σε υψόμετρα >1.800–2.000 m. Ο κλιματικός τύπος Dfb, δηλαδή “Ηπειρωτικό υγρό κλίμα με θερμό θέρος” εμφανίζεται από τη Στερεά Ελλάδα και βορειότερα και σε υψόμετρα >700–800 m στην Ανατολική Μακεδονία και >1.100–1.300 m στη Δυτική Μακεδονία-Ήπειρο, Βόρεια και Δυτική Θεσσαλία και καλύπτει περίπου το 6% της χώρας. Ο κλιματικός τύπος Dfc, δηλαδή “Ηπειρωτικό υγρό κλίμα με δροσερό θέρος” εμφανίζεται σε μεμονωμένες ορεινές νησίδες από τη Στερεά Ελλάδα και βορειότερα, σε υψόμετρα από 1.500–1.700 m και πάνω και καλύπτει περίπου το 2% της ελληνικής επικράτειας. Τέλος, ο κλιματικός τύπος ET (Τούνδρας ή υψηλών ορέων) εμφανίζεται σε μεμονωμένες νησίδες των μεγάλων υψομέτρων της κεντροβόρειας χώρας (>2.200–2.500 m). Συνοψίζοντας, παρατηρούνται στη χώρα μας οι εξής κλιματικοί τύποι κατά φθίνουσα σειρά εξάπλωσης:

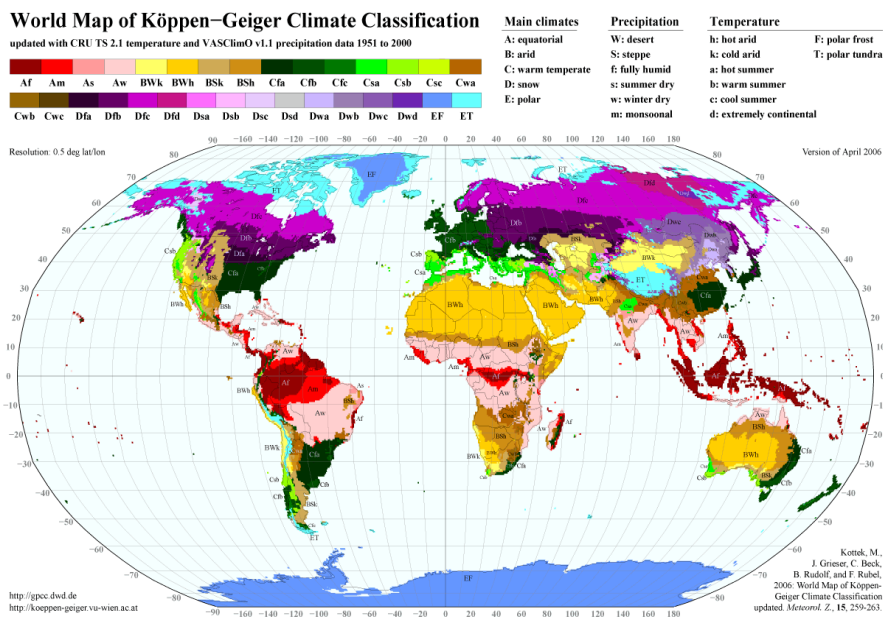
Csa: 56% Cfa: 13% Cfb: 10% Csb: 9% Dfb: 6% Dsb: 3% Dfc: 2% Dsc: 1% ET: <1%



Σχήμα 1-12: Κυκλικό διάγραμμα ποσοστιαίας κατανομής εμφάνισης των διαφόρων κλιματικών τύπων στην ελληνική επικράτεια.

## 2 Μετεωρολογικά Δεδομένα

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας συλλέχθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από την ιστοσελίδα του Μετεωρολογικού Ινστιτούτου της Ολλανδίας Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ήταν αθροιστικές μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης, μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας καθώς και ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης για τους μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται στα γεωγραφικά όρια της εκάστοτε κλιματικής υποκατηγορίας. Υπήρξε διαθέσιμο κατά τη διάρκεια των ερευνητικών διαδικασιών αρχείο με διαμοιρασμένη την υδρόγειο σε σημεία καννάβου με βήμα γεωγραφικών συντεταγμένων ανά 0,5°. Με αυτό τον τρόπο έγινε πιο αποτελεσματικός ο εντοπισμός των περιοχών της υφελίου που ανήκουν στις διάφορες κλιματικές υποκατηγορίες. Κατά τη διαδικασία χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος παγκόσμιος χάρτης στον οποίο απεικονίζονται οι περιοχές του πλανήτη με τις κλιματικές υποδιαίρεσεις Köppen στις οποίες ανήκουν.



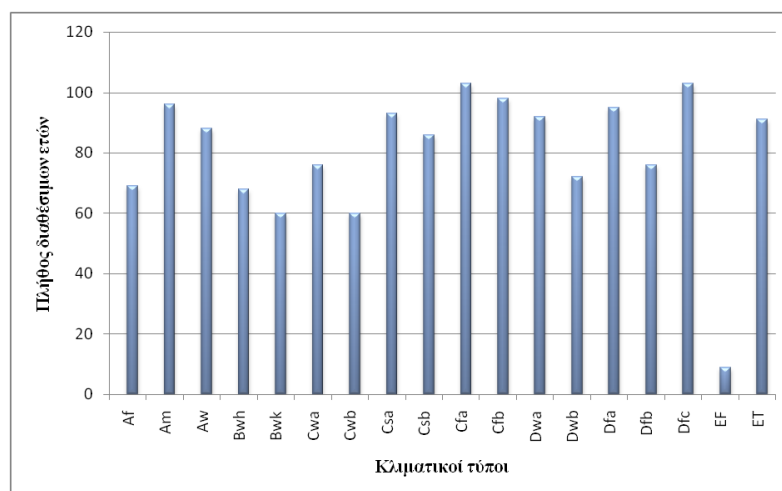
Εικόνα 2-1: Παγκόσμιος χάρτης απεικόνισης της κλιματικής κατάταξης κατά Köppen. (Πηγή: [koppen-geiger.vu-wien.ac.at](http://koppen-geiger.vu-wien.ac.at))

The image shows the KNMI Climate Explorer interface. At the top, there is a navigation bar with 'Climate Explorer', 'European Climate Assessment & Data', and 'KNMI'. A search bar is on the right. Below the navigation, there are links for 'Help', 'News', 'About', 'Contact', and 'Seasonal forecast verification'. The main content area is titled 'Select a monthly time series' and 'Historical observations'. It features three columns of radio buttons for selecting variables: 'GHCN (adjusted)', 'GHCN (all)', and 'other'. The 'GHCN (adjusted)' column includes precipitation, mean temperature, minimum temperature, and maximum temperature. The 'GHCN (all)' column includes mean temperature, minimum temperature, maximum temperature, and sea level pressure. The 'other' column includes PSMML sea level, sea level (JASL), world river discharge (RivDis), USA river discharge (USDR), European SI P (ADVIZ), and N-America snowcourses (NRCS). There is a '(full list)' link. Below this is the 'Select stations' section with options to search by name, coordinates, or station numbers. The 'Time, distance' section allows users to specify the number of years of data, the frequency (monthly), the season starting in, and the search radius. At the bottom, there are 'Get stations' and 'Clear Form' buttons.

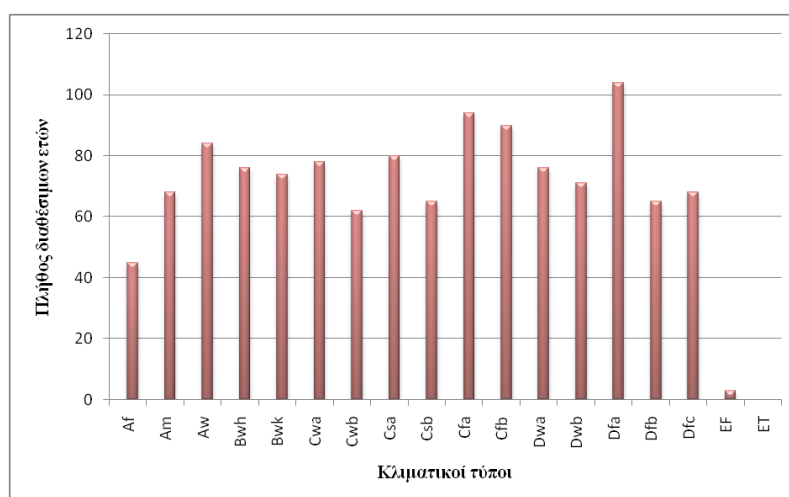
Εικόνα 2-2: Πλατφόρμα συλλογής κλιματικών δεδομένων φιλοξενούμενη στην ιστοσελίδα του Ολλανδικού Μετεωρολογικού Ινστιτούτου KNMI (Πηγή: [climexp.knmi.nl](http://climexp.knmi.nl)).

Συλλέχθηκαν, λοιπόν, μετεωρολογικά δεδομένα εντός του χρονικού εύρους των ετών 1900-2005. Με τον τρόπο αυτό, κατέστη δυνατή η μελέτη της κλιματικής συμπεριφοράς των σταθμών στις εξής 3 κλιματικές περιόδους 1900-1935, 1936-1970 και 1971-2005. Μεταξύ των σκοπών της εργασίας είναι και η μελέτη της επίδρασης της εγγύτητας των μετεωρολογικών σταθμών στη θάλασσα. Για το λόγο αυτό, για την κάθε κλιματική υποκατηγορία συλλέγονταν κάθε φορά μετεωρολογικές παρατηρήσεις από 2 σταθμούς, έναν σε απόσταση μικρότερη των 50 km από τη θάλασσα και έναν απομακρυσμένο από αυτήν. Από τα διαγράμματα τα οποία ακολουθούν προκύπτει μία σύγκριση μεταξύ της διαθεσιμότητας των δεδομένων στους σταθμούς κοντά και μακριά από τη θάλασσα.





Σχήμα 2-1: Ραβδόγραμμα απεικόνισης του πλήθους των διαθέσιμων ετών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας των κοντινών στη θάλασσα σταθμών.



Σχήμα 2-2: Ραβδόγραμμα απεικόνισης του πλήθους των διαθέσιμων ετών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας των απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών.

Από τη σύγκριση των ανωτέρω διαγραμμάτων βγαίνουν δύο πιθανά συμπεράσματα. Πρώτον, ότι η μελέτη των κλιματικών χαρακτηριστικών των παραθαλάσσιων περιοχών υφίσταται για περισσότερα χρόνια και ότι πιθανόν οι σταθμοί κοντά στη θάλασσα συντηρούνται πιο συχνά και τυγχάνουν καλύτερης φροντίδας από αυτούς των ηπειρωτικών περιοχών.

Η συλλογή των κλιματικών δεδομένων αποτέλεσε μία ιδιαίτερα απαιτητική διαδικασία. Εντοπίστηκαν σταθμοί οι οποίοι παρουσίαζαν πολλά εσφαλμένα δεδομένα ή κενές μετρήσεις. Τα έτη στα οποία συνέβαινε αυτό, διαγράφονταν ολοσχερώς χάριν αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων της εργασίας. Σημειώνεται στο σημείο αυτό, ότι διατηρήθηκαν μόνον εκείνα τα έτη για τα οποία υπήρχαν πλήρως συμπληρωμένες χρονοσειρές μετρήσεων βροχόπτωσης

και θερμοκρασίας. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε προσεκτική και ενδελεχής αναζήτηση εκείνων των σταθμών οι οποίοι διέθεταν τα περισσότερα πλήρως συμπληρωμένα έτη διαθέσιμων δεδομένων. Ορισμένα από τα προβλήματα και τις ιδιαιτερότητες της διαδικασίας αναζήτησης των σταθμών περιγράφονται παρακάτω. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι μετεωρολογικοί σταθμοί στην περιοχή του Αμαζονίου οι οποίοι ανήκουν κλιματικά στο υγρό τροπικό κλίμα Af. Συγκεκριμένα, υπήρχανε διαθέσιμα δεδομένα από το έτος 1930 και έπειτα, καθιστώντας αδύνατη τη μελέτη της κλιματικής περιόδου 1900-1935. Σημαντικό πρόβλημα εμφανίστηκε κατά την αναζήτηση σταθμών που ανήκουν στην κλιματική υποκατηγορία του ημιάνυδρου ξηρού κλίματος (στέπα) BSk, BSh. Συγκεκριμένα, εκτός των ελάχιστων διαθέσιμων σταθμών σε αυτές τις περιοχές, οι μετρήσεις ήταν επί το πλείστον άκυρες με ιδιαίτερα συνηθισμένη την έλλειψη δεδομένων θερμοκρασίας. Όλες αυτές οι ιδιαιτερότητες κατέστησαν τη μελέτη των συγκεκριμένων τύπων αδύνατη. Εκ διαμέτρου αντίθετη υπήρξε η διαθεσιμότητα μετρήσεων βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για τον τύπο του υγρού κλίματος με ήπιους χειμώνες C. Το εύρος των διαθέσιμων προς μελέτη ετών εκτεινόταν σε πολλές περιπτώσεις από το 1860–2005. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην πολιτισμική ανάπτυξη των περιοχών αυτών (Μεσόγειος, Κεντρική Ευρώπη κλπ). Πιο περιορισμένη, όσον αφορά στο πλήθος των ετών, υπήρξε η μελέτη ορισμένων υποκατηγοριών του υγρού κλίματος με ψυχρούς χειμώνες D. Συγκεκριμένα, στην περιοχή της ανατολικής Τουρκίας όπου και απαντάται ο κλιματικός τύπος Dsb πραγματοποιούνται μετεωρολογικές παρατηρήσεις από το 1930 και έπειτα καθιστώντας την κλιματική περίοδο 1900-1935 μελετήσιμη μόνο κατά τα 5 τελευταία έτη της. Ο Dsc κλιματικός τύπος συναντάται κοντά στις βορειοανατολικές ακτές της Ρωσίας πλησίον των συνόρων της με το βορειοδυτικό γεωγραφικό κομμάτι των ΗΠΑ. Στους μετεωρολογικούς σταθμούς που εντοπίστηκαν σε αυτή την περιοχή υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από το 1960 και μετά. Τέλος, στην κατηγορία του πολικού κλίματος E ο μοναδικός σταθμός που κατέστη μελετήσιμος ήταν ο κοντινός στη θάλασσα σταθμός τύπου ET. Πρόκειται για σταθμό στα νοτιοανατολικά παράλια της Γροιλανδίας. Στις περιοχές της Ανταρκτικής καθώς και στο ηπειρωτικό κομμάτι της Γροιλανδίας όπου επικρατεί ο τύπος EF, υπήρχανε μετεωρολογικές μετρήσεις από το 1950 μέχρι σήμερα ωστόσο παρουσίαζαν πολλά κενά δεδομένα.

## 3 Ανάλυση

---

### 3.1 Περιγραφή στατιστικών χαρακτηριστικών του δείγματος

Αφού συλλέχθηκαν τα δεδομένα βροχόπτωσης και θερμοκρασίας των σταθμών, στη συνέχεια έγινε η κατάλληλη επεξεργασία έτσι ώστε να προκύψουν οι ακόλουθες στατιστικές παράμετροι:

- Μέσος όρος ( $\mu$ )
- Τυπική απόκλιση ( $\sigma$ )
- Συντελεστής διασποράς (CV)
- Κανονικοποιημένη τυπική απόκλιση μέσων μηνιαίων τιμών - Εποχικότητα
- Μέση υπερετήσια τυπική απόκλιση – Υπερετήσια διακύμανση
- Συντελεστής γραμμικής συσχέτισης ( $R^2$ )

Ο **μέσος όρος** ( $\mu$ ) ή αλλιώς η δειγματική μέση τιμή ενός συνόλου  $n$  παρατηρήσεων αποτελεί το σπουδαιότερο και χρησιμότερο μέτρο στην επιστήμη της Στατιστικής και είναι ένα μέτρο θέσης, δηλαδή δείχνει σχετικά τις θέσεις των αριθμών στους οποίους αναφέρεται. Η μέση τιμή συμμετέχει σε αρκετούς τύπους της στατιστικής και εξετάζεται σε σχεδόν όλες τις στατιστικές κατανομές. Γενικά, ορίζεται ως το άθροισμα των παρατηρήσεων δια του πλήθους αυτών. Είναι, δηλαδή, η μαθηματική πράξη ανεύρεσης της «μέσης απόστασης» ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους αριθμούς. Η μέση τιμή συμβολίζεται συνήθως με  $\bar{x}$ . Γενικός τύπος της μέσης τιμής είναι ο εξής:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = \frac{1}{n} (t_1 + \dots + t_n) \quad (3.1)$$

όπου  $t_i$  η  $i$  παρατήρηση και  $n$  το πλήθος των παρατηρήσεων.

Η **τυπική απόκλιση** ( $\sigma$ ) ορίζεται ως η θετική τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης ( $\sigma^2$ ). Με τη σειρά της, η διακύμανση ή αλλιώς διασπορά ( $\sigma^2$ ) μίας τυχαίας μεταβλητής δηλώνει πόσο συγκεντρωμένες γύρω από τη μέση τιμή ( $\mu$ ) είναι οι τιμές της τυχαίας μεταβλητής. Ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού της διασποράς είναι ο εξής:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \quad (3.2)$$

Ο **συντελεστής διασποράς CV** ορίζεται ως το πηλίκο της τυπικής απόκλισης ( $\sigma$ ) δια της μέσης τιμής ( $\mu$ ). Ο συντελεστής διασποράς εκφράζει ένα μέτρο σχετικής διασποράς των τιμών της μεταβλητής.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (3.3)$$

Έχοντας υπολογίσει την τυπική απόκλιση όλων των μηνών του έτους αυτή διαιρέθηκε με τη μέση τιμή των δώδεκα μηνών του έτους. Με τον τρόπο αυτό, επιχειρήθηκε να δοθεί ένα μέτρο της **εποχικότητας** στις μετεωρολογικές μεταβλητές (βροχόπτωση, θερμοκρασία) των σταθμών. Στις περιπτώσεις που ο ως άνω λόγος πλησίαζε τη μηδενική τιμή, το γεγονός αυτό αποτελούσε ένδειξη μη εποχικότητας. Αντιθέτως, στους σταθμούς στους οποίους αυτός ο λόγος παρουσίαζε τιμές μεγαλύτερες της μονάδας ( $>1$ ), εξαγόταν το συμπέρασμα περί εποχικότητας εμφάνισης των μετεωρολογικών παραμέτρων κατά τη διάρκεια του έτους.

Κατόπιν, έχοντας υπολογίσει τους συντελεστές διασποράς για κάθε μήνα του έτους, υπολογίστηκε ο μέσος όρος αυτών. Η τιμή αυτή αποτέλεσε ένα μέτρο της **υπερετήσιας διακύμανσης** της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας για τον κάθε σταθμό. Πιο συγκεκριμένα, στις περιπτώσεις που ο μέσος όρος των συντελεστών διασποράς των μηνών του έτους έτεινε στο μηδέν (0), αυτό αποτελούσε ένδειξη σταθερότητας, των τιμών των δύο μετεωρολογικών παραμέτρων, ανά έτος. Από την άλλη, όσο μεγαλύτερη τιμή ( $>1$ ) λάμβανε η παραπάνω υπολογισθείσα τιμή, αποτελούσε ένδειξη υπερετήσιας μεταβολής της εκάστοτε μετεωρολογικής μεταβλητής.

Ο **συντελεστής γραμμικής συσχέτισης** είναι εκείνη η στατιστική παράμετρος που εκφράζει την συγκέντρωση των σημείων ενός διαγράμματος διασποράς γύρω από την ευθεία παλινδρόμησης. Πιο συγκεκριμένα, αν  $X$  και  $Y$  δύο μεταβλητές μεγέθους  $n$  τότε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης υπολογίζεται από τον τύπο:

$$r(X, Y) = r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.4)$$

Εάν οι μέσες τιμές δεν είναι ακέραιοι αριθμοί, τότε ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης  $r$  δίνεται από τον τύπο:

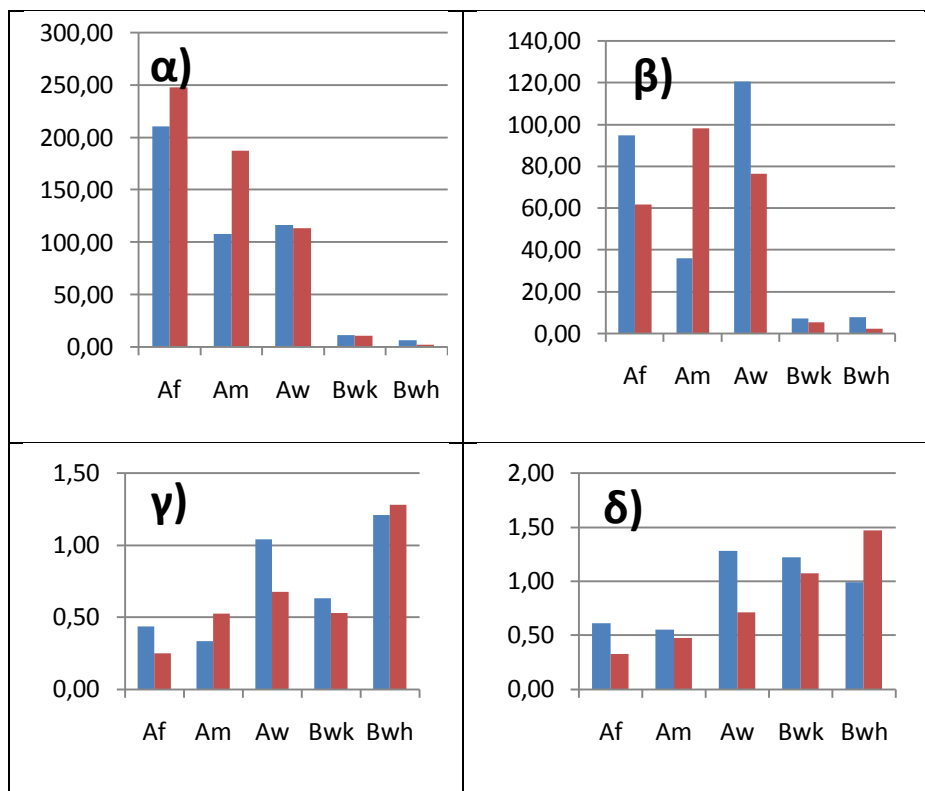
$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) \cdot (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2}} \quad (3.5)$$

Ανάλογα με τις διάφορες τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης  $r$ , βγαίνουν διαφορετικά κάθε φορά συμπεράσματα όσον αφορά στη συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών. Αναλυτικά,

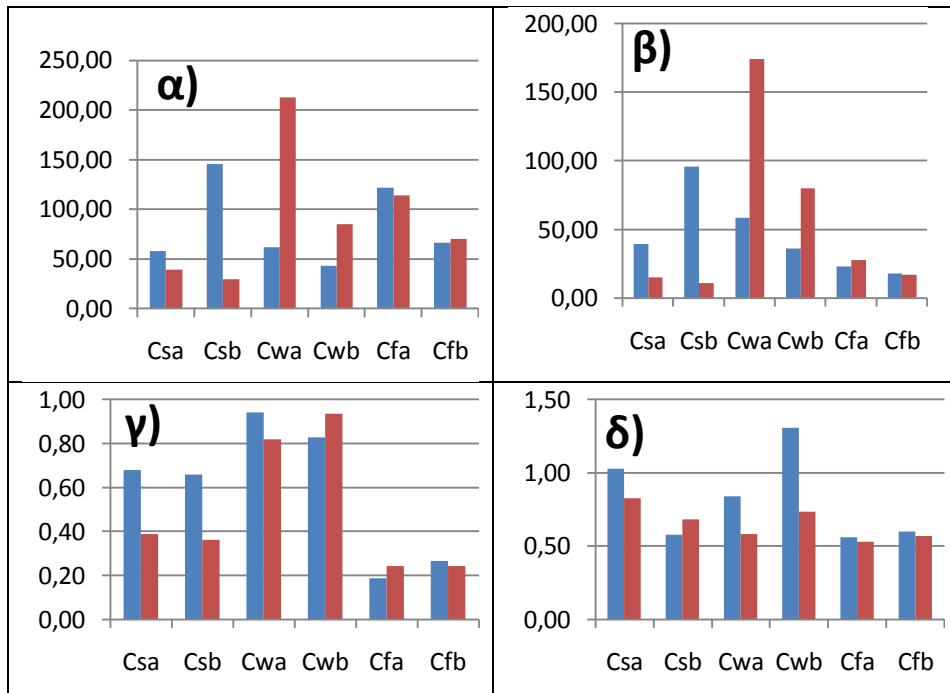
- Εάν  $0 < r < 1$  τότε τα μεγέθη  $X$  και  $Y$  είναι θετικά γραμμικά συσχετισμένα.
- Εάν  $-1 < r < 0$  τότε τα  $X$  και  $Y$  είναι αρνητικά γραμμικά συσχετισμένα.
- Εάν  $r = 1$  τότε έχουμε τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση και όλα τα σημεία βρίσκονται πάνω στην ευθεία  $y = \alpha + \beta \cdot x$  και ισχύει  $\beta > 0$ . Αντίστοιχα, όταν  $r = -1$ , έχουμε τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση με  $\beta < 0$ .
- Εάν  $r = 0$  τότε δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών  $X$  και  $Y$ . Οπότε λέμε ότι είναι γραμμικά ασυσχέτιστες.

Εκτός των άλλων, υπολογίστηκαν οι μετεωρολογικές μεταβλητές του Ετήσιου Θερμοκρασιακού Εύρους και του Ετήσιου Εύρους Βροχόπτωσης. Πιο αναλυτικά, για την πιο πρόσφατη κλιματική περίοδο 1971-2005 σημειώθηκαν οι μέσες μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Υπολογίστηκαν, λοιπόν, οι διαφορές  $P_{\max} - P_{\min}$  και  $T_{\max} - T_{\min}$  οι οποίες και αποτελούν ένα ακόμη σημαντικό χαρακτηριστικό του κάθε κλιματικού τύπου ξεχωριστά.

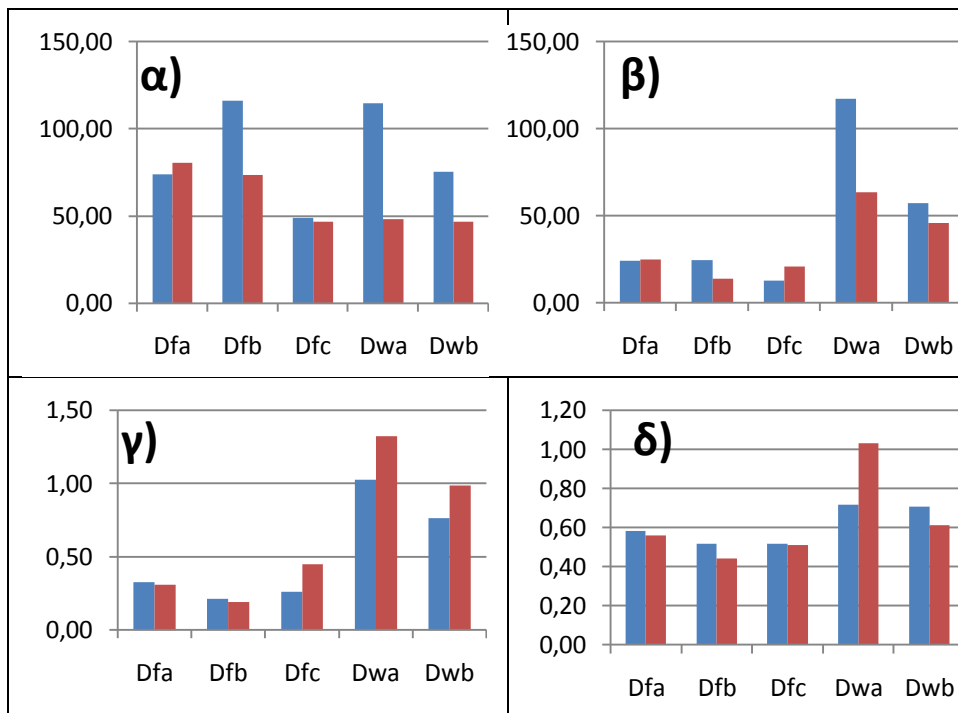
Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν με τη βοήθεια των στατιστικών συναρτήσεων του προγράμματος Microsoft Excel. Ύστερα από κατάλληλη καθοδήγηση, δημιουργήθηκε ένα πρότυπο φύλλο εργασίας βάσει του οποίου έγιναν όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί στα μετεωρολογικά δεδομένα των σταθμών. Ακολουθεί σειρά διαγραμμάτων στα οποία εμφανίζονται τα στατιστικά χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών μεταβλητών των σταθμών των διαφόρων κλιματικών τύπων, ενώ παράλληλα συγκρίνονται οι διαφορές αυτών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα περιοχών. Οι κλιματικοί τύποι Α και Β παρουσιάζονται σε κοινά διαγράμματα εξαιτίας του γεγονότος ότι παρουσιάζουν σχετικά παρόμοιες συμπεριφορές.



Σχήμα 3-1: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες των τύπων Α και Β.

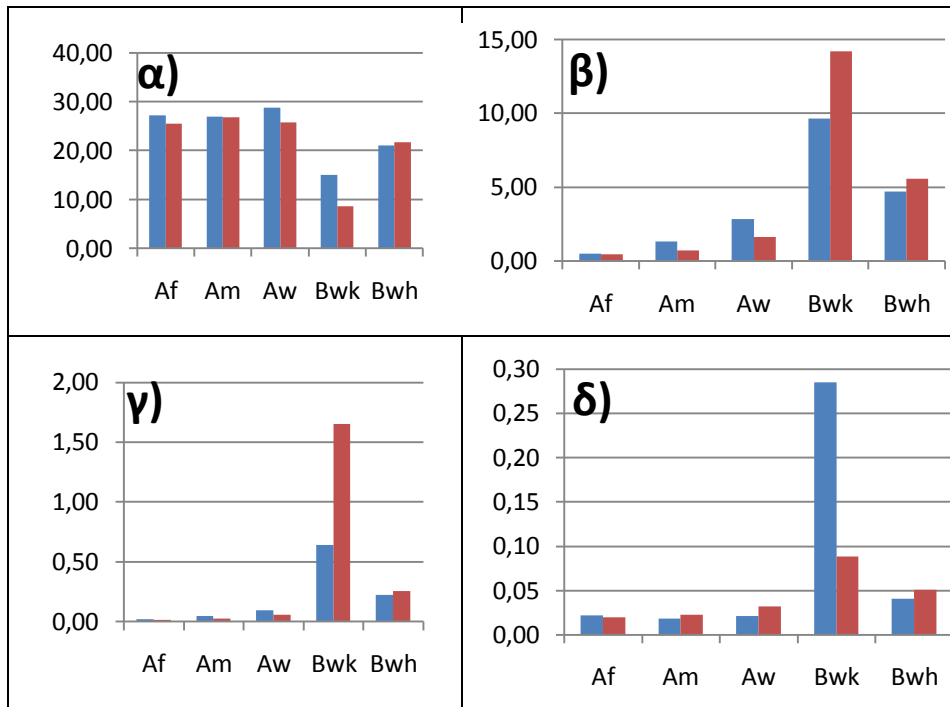


Σχήμα 3-2: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου C.

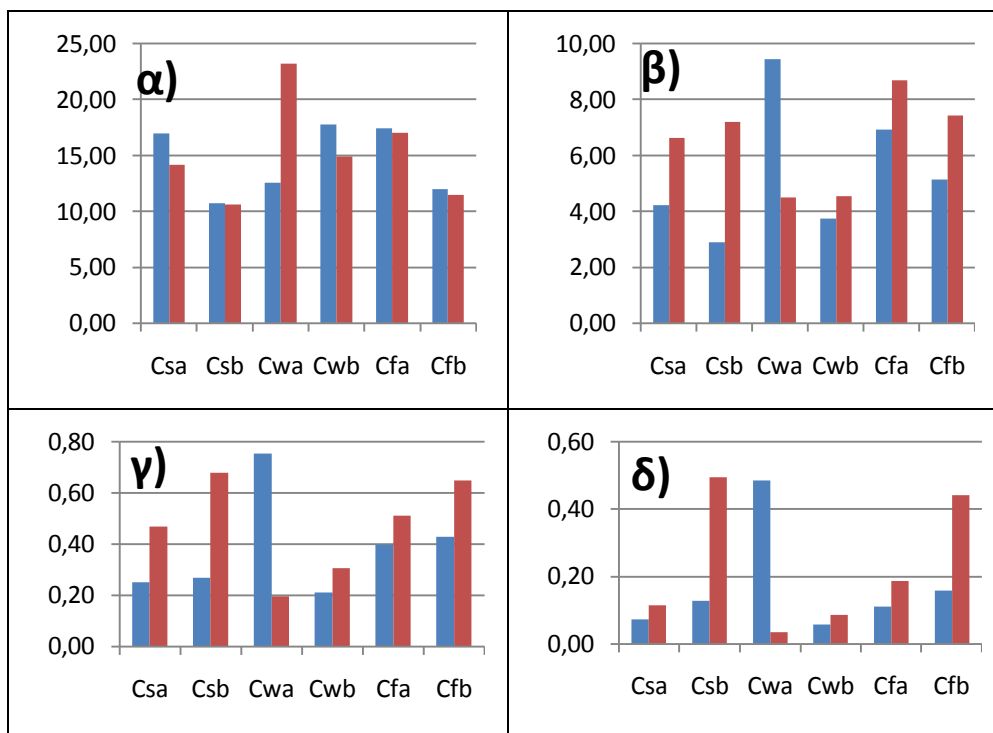


Σχήμα 3-3: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων βροχοπτώσεων για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου D.

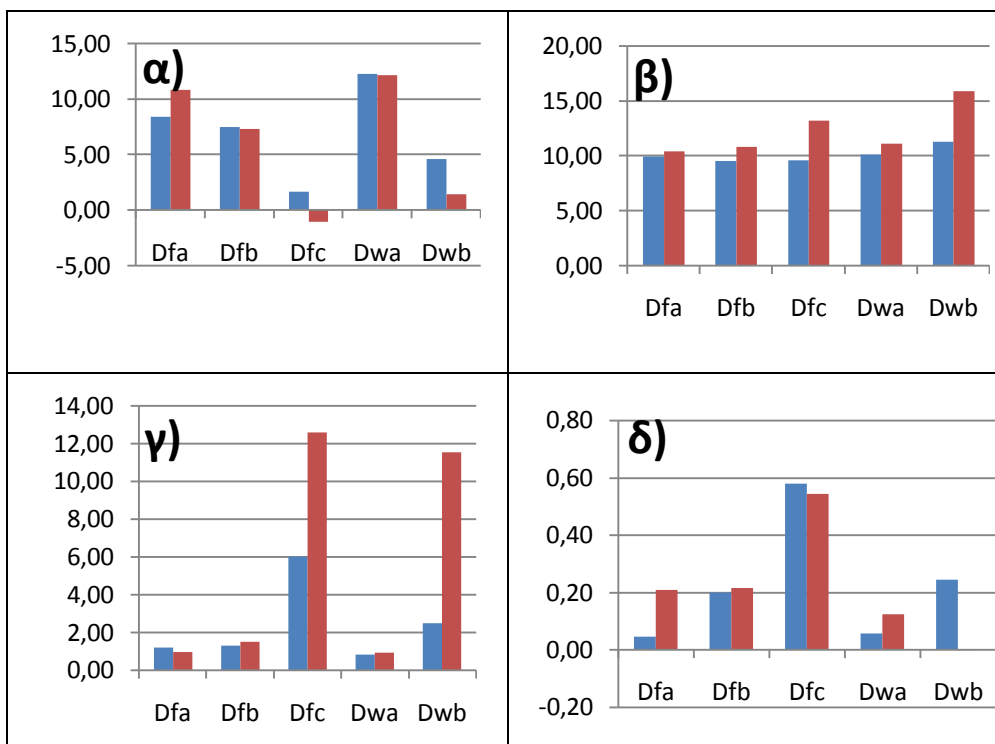




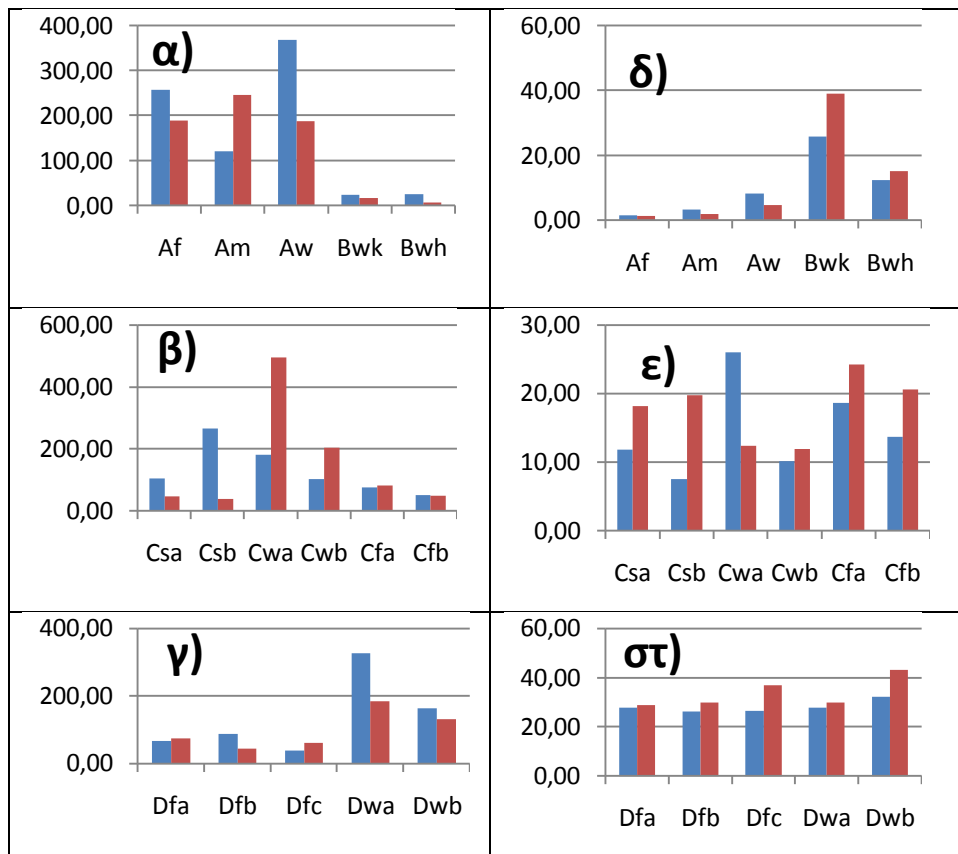
Σχήμα 3-4: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου A και B.



Σχήμα 3-5: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου C.



Σχήμα 3-6: Ραβδογράμματα σύγκρισης α) των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών β) των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών γ) των λόγων της μηνιαίας τυπικής απόκλισης προς τη μέση ετήσια τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών (εποχικότητα) και δ) της μέσης τιμής των λόγων της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή των μηνιαίων θερμοκρασιών για όλα τα έτη (υπερετήσια διακύμανση) των κοντινών (μπλε) και απομακρυσμένων από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμών που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες τύπου D.



Σχήμα 3-7: Ραβδογράμματα σύγκρισης διαφορών μέγιστης-ελάχιστης μέσης μηνιαίας βροχοπτώσεως α), β), γ) και μέγιστης-ελάχιστης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας δ), ε), στ) για τους κοντινούς (μπλε) και απομακρυσμένους από τη θάλασσα (κόκκινο) σταθμούς των κλιματικών τύπων A και B, C και D αντίστοιχα.

Από το Σχήμα 3-1 συμπεραίνεται ότι οι μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις στους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς των τύπων Af και Am είναι εμφανώς υψηλότερες απ' ό,τι των παραλιακών σταθμών. Οι τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών Af και Aw είναι μεγαλύτερες στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς. Το αντίθετο συμβαίνει για τον κλιματικό τύπο Am όπου η τυπική απόκλιση των βροχοπτώσεων είναι αρκετά μεγαλύτερη στους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς. Τέλος, για το υγρό και ξηρό τροπικό κλίμα Aw η εποχικότητα και η διακύμανση της βροχοπτώσεως είναι εντονότερη στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς, ενώ μεγαλύτερη διακύμανση βροχοπτώσεως παρουσιάζουν οι απομακρυσμένοι από τη θάλασσα σταθμοί του τύπου Bwh.

Από το Σχήμα 3-2 γίνεται εμφανές ότι για τον τύπο Csb οι στατιστικές παράμετροι της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και της εποχικότητας της βροχοπτώσεως είναι αισθητά μεγαλύτερες στους σταθμούς πλησίον της θάλασσας. Για τον τύπο Cwa η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της βροχοπτώσεως για τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς είναι αρκετά μεγαλύτερη έναντι των κοντινών στη θάλασσα σταθμών, ενώ η διακύμανση της

μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου Cwb.

Στο Σχήμα 3-3 παρατηρείται ότι οι μέσες τιμές των βροχοπτώσεων των τύπων Dfb, Dwa και Dwb καθώς και οι τυπικές αποκλίσεις των βροχοπτώσεων των Dwa περιοχών εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς. Από την άλλη, η εποχικότητα της βροχόπτωσης των τύπων Dwa, Dwb και η διακύμανση της βροχόπτωσης του τύπου Dwa εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές στους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς.

Στο Σχήμα 3-4 συγκρίνονται οι στατιστικές παράμετροι της θερμοκρασίας των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των Α και Β κατά Köppen κλιματικών υποκατηγοριών.

Οι μέσες τιμές και οι διακυμάνσεις των θερμοκρασιών των κοντινών στη θάλασσα σταθμών των τύπων Bwk είναι μεγαλύτερες έναντι των απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών ενώ το αντίθετο συμβαίνει για τις στατιστικές παραμέτρους της τυπικής απόκλισης και της εποχικότητας της θερμοκρασίας των σταθμών του ίδιου τύπου (Bwk).

Από το Σχήμα 3-5 συμπεραίνεται ότι στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς τύπου Cwa η μέση τιμή, η εποχικότητα και η διακύμανση της θερμοκρασίας εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές έναντι των απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών. Από την άλλη, η μέση τιμή των θερμοκρασιών των τύπων Cwa, Cfa και οι τυπικές αποκλίσεις, η εποχικότητα και η διακύμανση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών των τύπων Csa, Csb και Cfb παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές στους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς.

Από τα ραβδογράμματα τα οποία παρουσιάζονται στο Σχήμα 3-6 γίνεται αντιληπτό ότι στους κοντινούς σταθμούς στη θάλασσα οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασιών των κλιματικών τύπων Dfc, Dwb καθώς και η εποχικότητα της θερμοκρασίας των Dwb σταθμών παρουσιάζουν υψηλότερες τιμές έναντι των απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών. Αντίθετα, στους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς η τυπική απόκλιση και η εποχικότητα της θερμοκρασίας των Dfc και Dwb τύπων παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τους παραθαλάσσιους σταθμούς.

Τέλος, στα ραβδογράμματα του Σχήματος 3-7 απεικονίζονται οι διαφορές της μέγιστης μείον την ελάχιστη μέση μηνιαία βροχόπτωση (ετήσιο εύρος βροχόπτωσης) και της μέγιστης μείον την ελάχιστη μέση μηνιαία θερμοκρασία (ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος). Από τη μελέτη αυτών συμπεραίνεται ότι οι κοντινοί στη θάλασσα μετεωρολογικοί σταθμοί των τύπων Aw και Dwa εμφανίζουν μεγαλύτερα ετήσια εύρη βροχόπτωσης. Το αντίθετο συμβαίνει για τους τύπους Am, Cwa, όπου οι απομακρυσμένοι από τη θάλασσα μετεωρολογικοί σταθμοί παρουσιάζουν μεγαλύτερα εύρη βροχόπτωσης. Το ετήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι μεγαλύτερο για τις

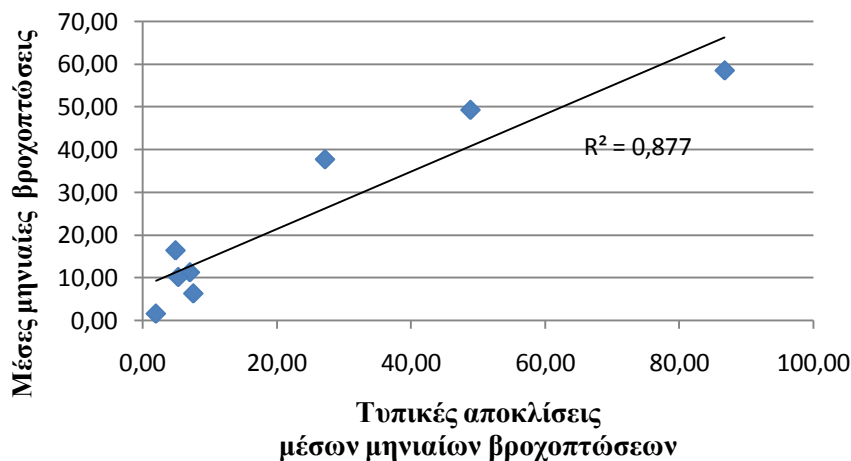
παραθαλάσσιες περιοχές μόνο του Cwa κλιματικού τύπου. Όπως προκύπτει από τα ραβδογράμματα του Σχήματος 3-7 μεγαλύτερα ετήσια εύρη θερμοκρασίας παρουσιάζουν οι απομακρυσμένοι από τη θάλασσα σταθμοί για τις περισσότερες κλιματικές υποκατηγορίες (π.χ. Csa, Csb, Cfa, Cfb, Dfc και Dwb).

### 3.2 Προσδιορισμός ετεροσυσχετίσεων

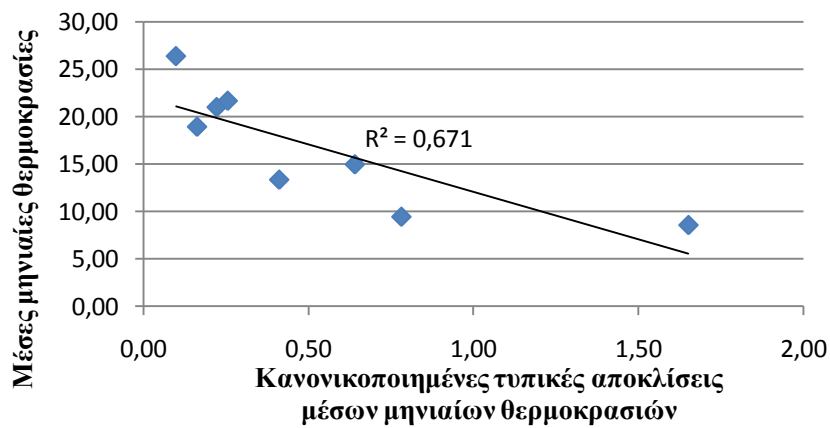
Στα πλαίσια της ανάλυσης των μετεωρολογικών δεδομένων της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας επιχειρήθηκε η εξέταση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ των στατιστικών τους παραμέτρων. Κατασκευάστηκαν, λοιπόν, διαγράμματα στα οποία εμφανίζονται η γραμμική τάση καθώς και η τιμή του συντελεστή  $R^2$ .

#### 3.2.1 Συσχετίσεις μεταξύ στατιστικών παραμέτρων

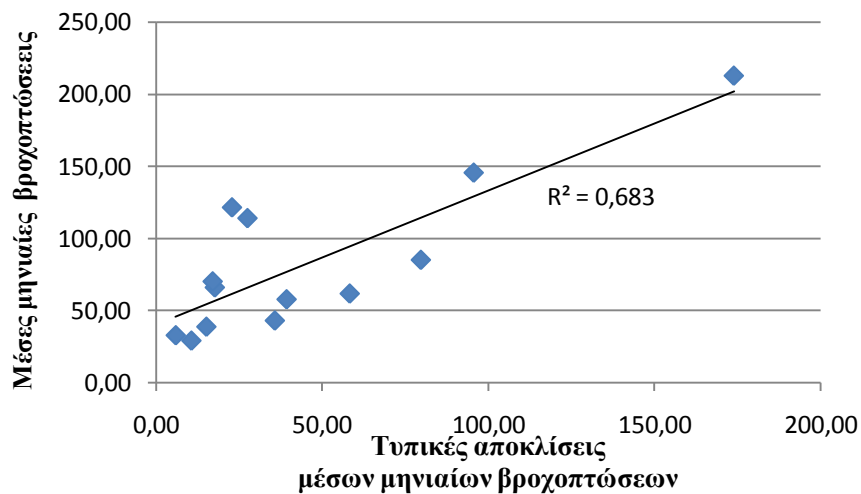
Εξετάστηκε, λοιπόν, η συσχέτιση μεταξύ των στατιστικών παραμέτρων (μέση τιμή-τυπική απόκλιση, μέση τιμή-εποχικότητα, μέση τιμή-υπερετήσια διακύμανση, τυπική απόκλιση-εποχικότητα, κλπ) των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών (Af, BSk, Cfb, DSb κλπ), ομαδοποιημένων ανά κλιματικό τύπο A, B, C, D. Όσον αφορά στον κλιματικό τύπο του πολικού κλίματος E, αυτός δε συμμετείχε στην ανάλυση εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων. Παρατίθενται παρακάτω τα διαγράμματα μεταξύ των παραμέτρων εκείνων που εμφάνισαν τις υψηλότερες συσχετίσεις.



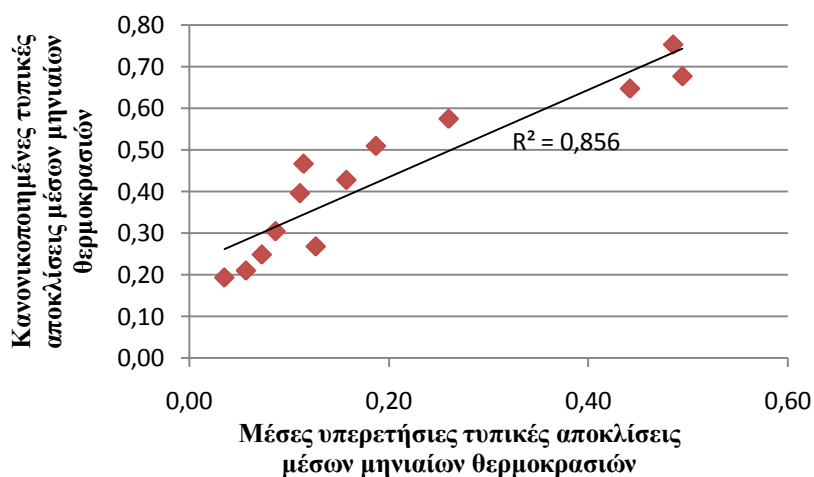
Σχήμα 3-8: Διάγραμμα συσχέτισης μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων και τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου B.



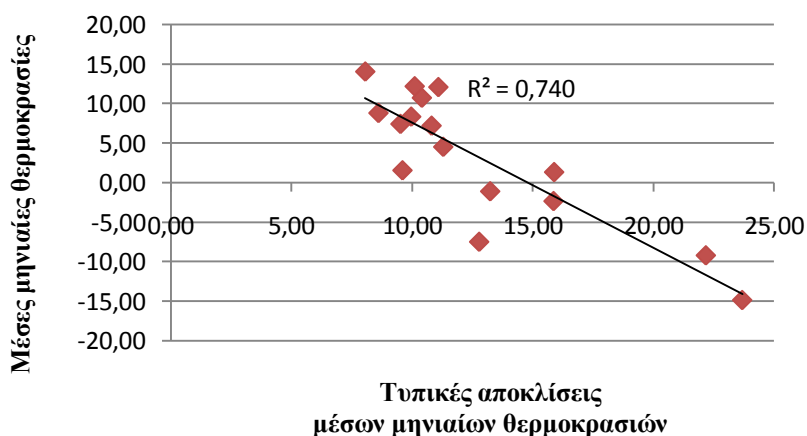
Σχήμα 3-9: Διάγραμμα συσχέτισης μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.



Σχήμα 3-10: Διάγραμμα συσχέτισης μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων και τυπικών αποκλίσεων μέσω μηνιαίων βροχοπτώσεων για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου C.



Σχήμα 3-11: Διάγραμμα συσχέτισης κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και μέσων υπερετησιών τυπικών αποκλίσεων μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου C.



Σχήμα 3-12: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών με τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D.

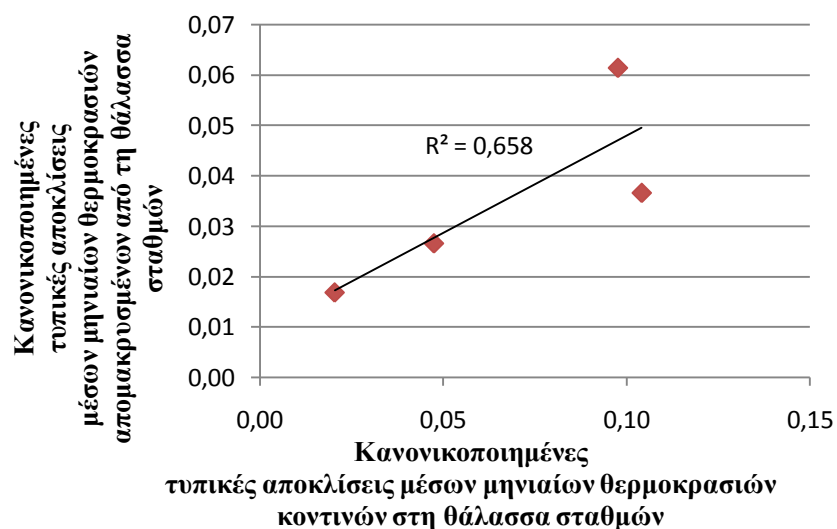
Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα τα οποία παρουσιάζονται παραπάνω, ισχυρή συσχέτιση εμφανίζεται στους σταθμούς του κλιματικού τύπου B μεταξύ των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων και των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων. Παρατηρείται πως για μεγαλύτερες μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις η τυπική απόκλιση των μέσων μηνιαίων τιμών αυξάνεται. Παράλληλα, για τον ίδιο κλιματικό τύπο B ισχυρά συσχετισμένες εμφανίζονται οι τιμές των μέσων μηνιαίων και της εποχικότητας των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών. Από το Σχήμα 3-9, επίσης, βγαίνει το συμπέρασμα πως για μεγαλύτερες μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης εμφανίζεται μικρότερη εποχικότητα. Όσον



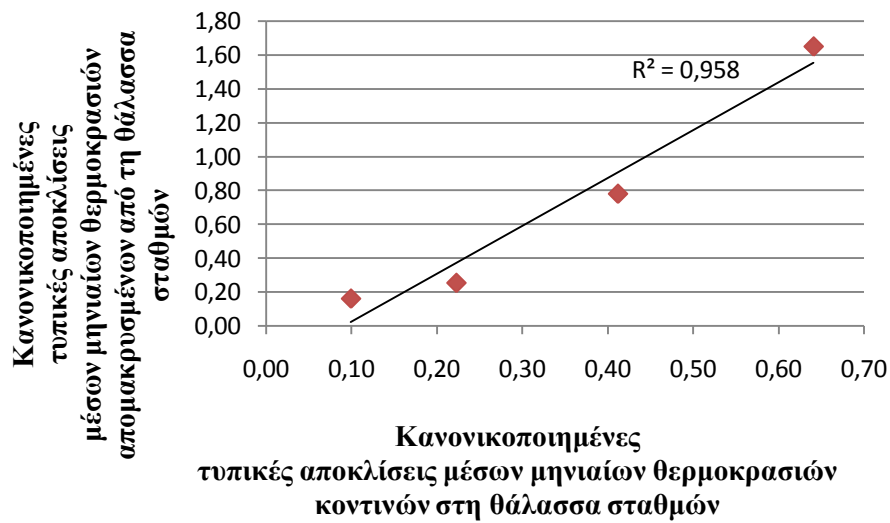
αφορά στο σύνολο των σταθμών που ανήκουν στο υγρό κλίμα με ήπιους χειμώνες (C), αξιόλογη συσχέτιση παρουσιάζουν οι μέσες μηνιαίες και οι τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης. Οι δύο παράμετροι μεταβάλλονται αναλογικά όπως προκύπτει από το αντίστοιχο διάγραμμα του Σχήματος 3-10. Για τον ίδιο κλιματικό τύπο έντονη συσχέτιση παρουσίασαν οι κανονικοποιημένες με τις μέσες υπερετήσιες τυπικές αποκλίσεις των μηνιαίων τιμών της θερμοκρασίας οι οποίες επίσης παρουσιάζουν αναλογία κατά τη μεταβολή των τιμών τους. Τέλος, στο υγρό κλίμα με ψυχρούς χειμώνες (D) οι μέσες μηνιαίες και οι τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών συσχετίζονται σε σημαντικό βαθμό. Οι υψηλές (10-15°C) μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του τύπου D παρουσιάζουν αντίστοιχα χαμηλές τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών τους.

### 3.2.2 Σύγκριση κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών

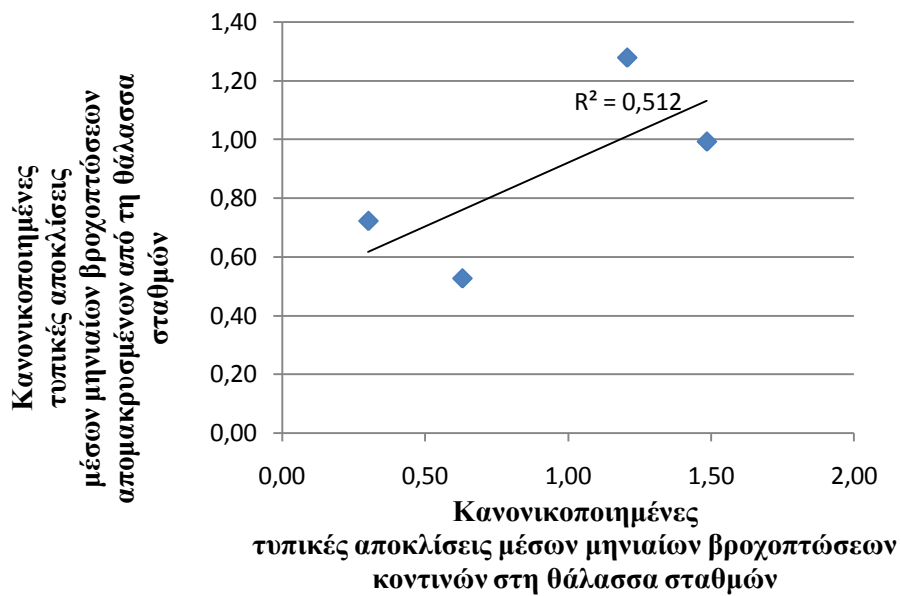
Επιπλέον, συσχετίστηκε ξεχωριστά η κάθε στατιστική παράμετρος της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για τους κοντινούς και απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς των κλιματικών τύπων A, B, C και D. Ακολουθεί η παράθεση των διαγραμμάτων συσχέτισης της εποχικότητας (κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις μέσων μηνιαίων τιμών) της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών. Τα διαγράμματα συσχέτισης μεταξύ των υπόλοιπων στατιστικών παραμέτρων είναι συγκεντρωμένα στο Παράρτημα της εργασίας.



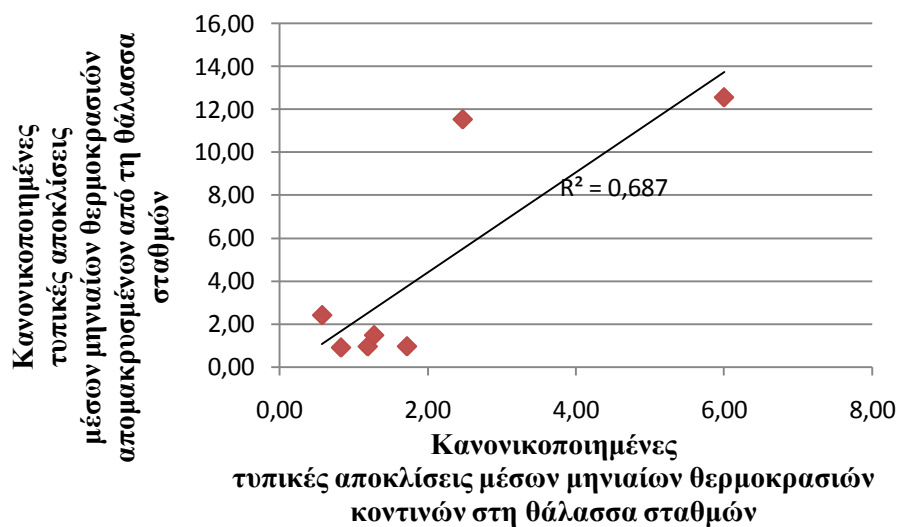
Σχήμα 3-13: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου A.



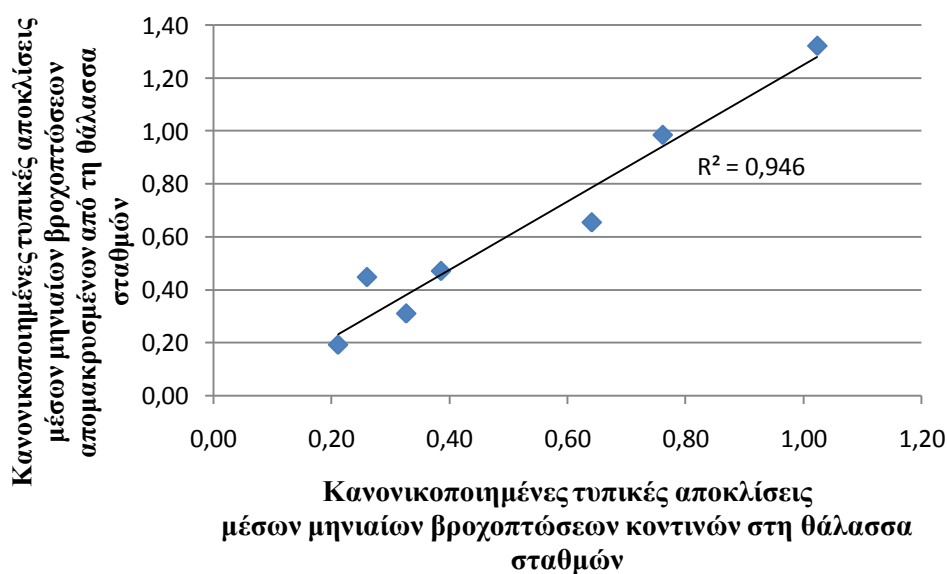
Σχήμα 3-14: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.



Σχήμα 3-15: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.



Σχήμα 3-16: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D.



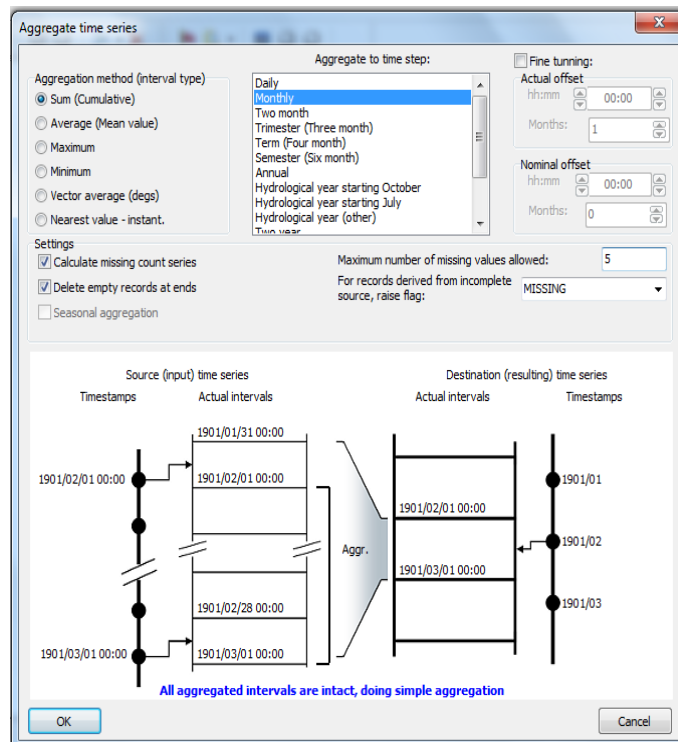
Σχήμα 3-17: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D.

Από τις κλίσεις των γραμμών τάσης στα σχήματα 3-13 έως 3-17 φαίνεται ότι η εποχικότητα της θερμοκρασίας των Α κλιματικών τύπων είναι πιο έντονη στις κοντινές στη θάλασσα περιοχές. Απεναντίας, η εποχικότητα των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των τύπων Β και D εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές για τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς. Το αντίστοιχο διάγραμμα για τον κλιματικό τύπο C δεν παρουσιάζεται καθώς δεν υπήρξε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών.

Από τη μελέτη των διαγραμμάτων Π-2 έως Π-9 προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα. Στον κλιματικό τύπο Α, οι τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών φαίνεται να εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς. Το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει για τις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες και τις διακυμάνσεις των μηνιαίων θερμοκρασιών των σταθμών τύπου Β. Από το Σχήμα Π-4 του παραρτήματος, προκύπτει ότι οι τυπικές αποκλίσεις των θερμοκρασιών των ηπειρωτικών περιοχών του ξηρού κλίματος Β είναι μεγαλύτερες. Τέλος, για τα κλίματα τύπου D οι τυπικές αποκλίσεις των βροχοπτώσεων παρουσιάζονται μεγαλύτερες στους παραθαλάσσιους σταθμούς (βλ. Σχήμα Π-8). Σημειώνεται, στο σημείο αυτό, ότι αναλύθηκαν μόνον εκείνα τα διαγράμματα στα οποία οι συσχετίσεις μεταξύ των στατιστικών παραμέτρων εμφάνιζαν έναν υψηλό βαθμό σημαντικότητας ( $R^2 > 0,550$ ).

### **3.2.3 Έξι (6) επικρατέστεροι κλιματικοί τύποι**

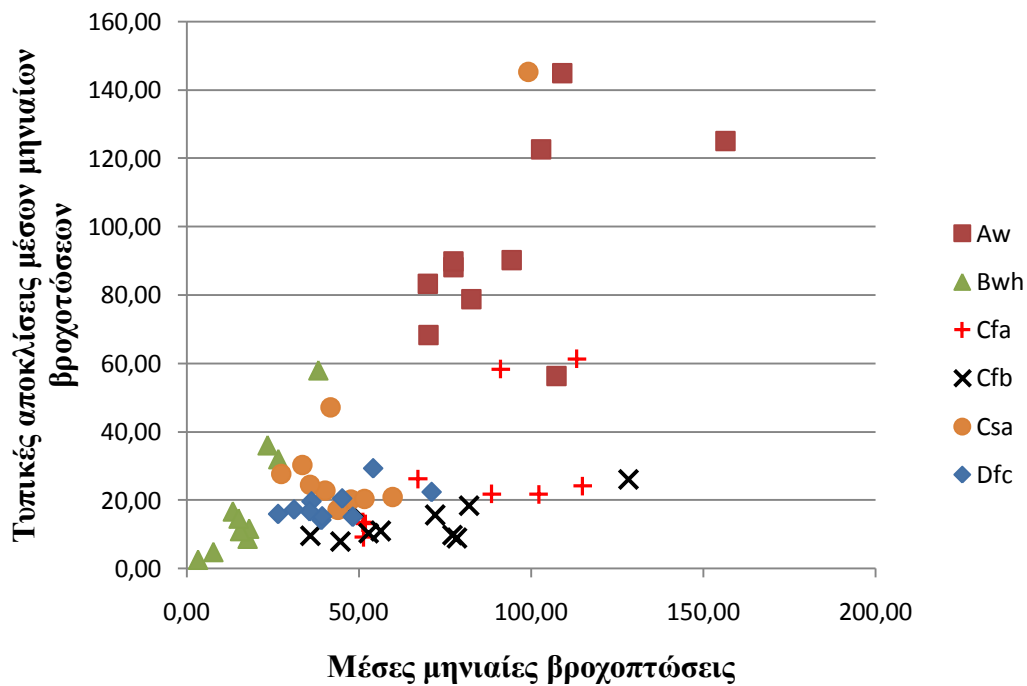
Τέλος, επιδιώχθηκε να διερευνηθεί η συσχέτιση μεταξύ των στατιστικών χαρακτηριστικών των πιο διαδεδομένων κλιματικών τύπων Aw, Bwh, Cfa, Cfb, Csa, Dfc. Για την καλύτερη αξιοπιστία των αποτελεσμάτων συγκεντρώθηκαν δεδομένα από δέκα (10) σταθμούς για την κάθε κλιματική υποκατηγορία. Τα δεδομένα προέκυψαν από συνάθροιση ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης σε αθροιστικές μηνιαίες τιμές μέσω της επιλογής Series→Aggregation του προγράμματος Hydrognomon. Ως περιοριστικός παράγοντας για τη διασφάλιση της ποιότητας των δεδομένων, επιλέχθηκε να συναθροιστούν μόνο οι μήνες που διαθέτουν τουλάχιστον 25 ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη καρτέλα.



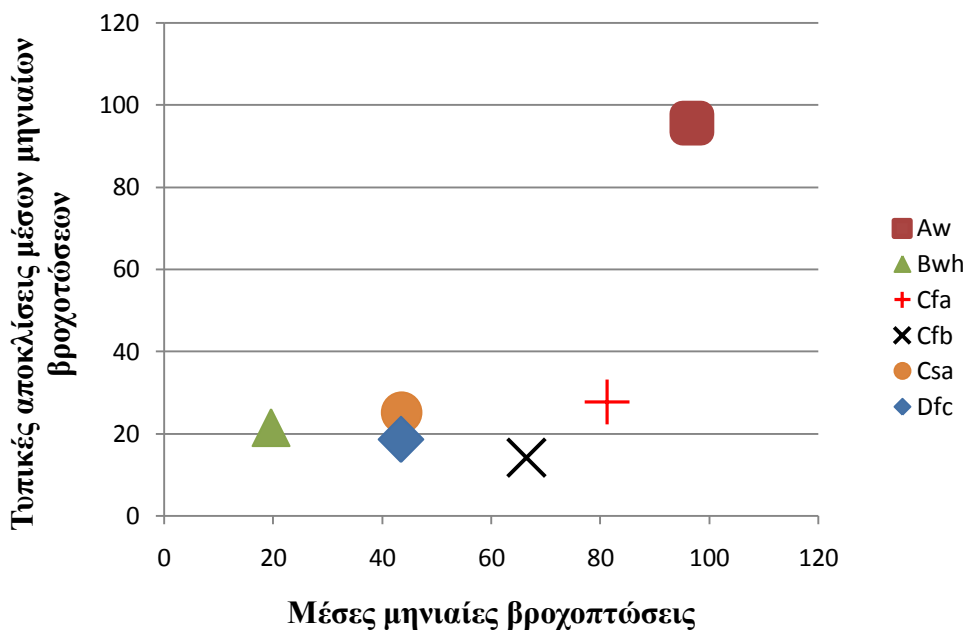
Εικόνα 3-1: Φόρμα συνάθροισης των ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης σε μηνιαίες.

Υπολογίστηκαν, με τη σειρά τους, οι στατιστικές παράμετροι των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 σταθμούς των 6 υπό μελέτη κλιματικών υποκατηγοριών. Στη συνέχεια, κατασκευάστηκαν διαγράμματα απεικόνισης της συσχέτισης μεταξύ των στατιστικών παραμέτρων της βροχόπτωσης των 6 κλιματικών τύπων. Τα διαγράμματα παρατίθενται στο παράρτημα της παρούσας εργασίας (Σχήματα Π-10 έως Π-20).

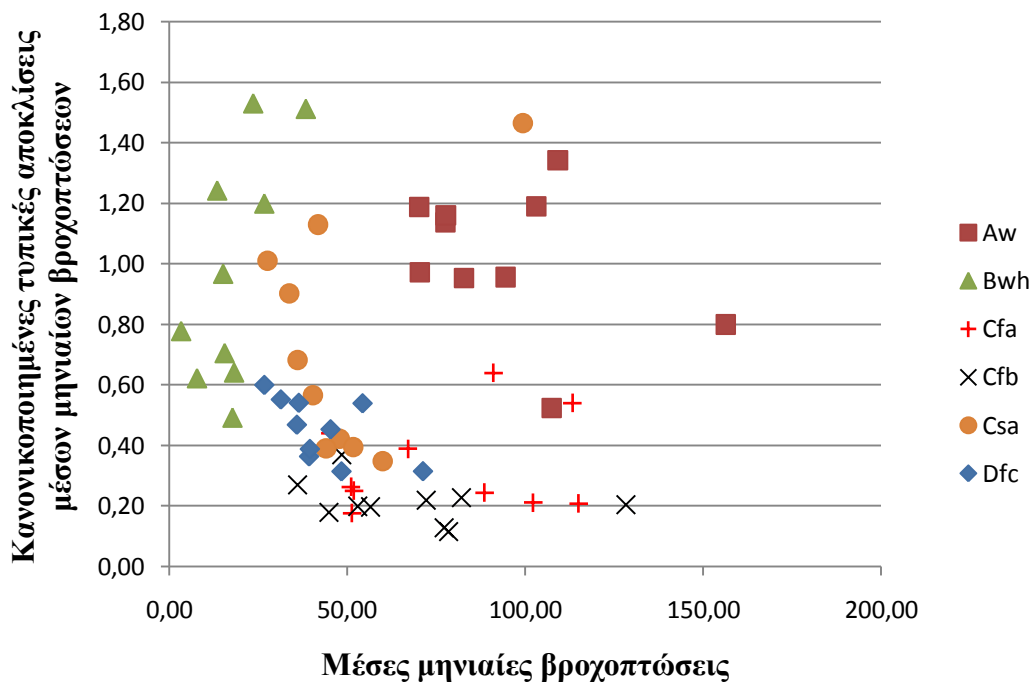
Ακολουθεί παράθεση διαγραμμάτων στα οποία παρουσιάζονται ομαδοποιημένοι οι σταθμοί των 6 κλιματικών υποκατηγοριών βάσει της ετεροσυσχέτισης μεταξύ των στατιστικών τους χαρακτηριστικών.



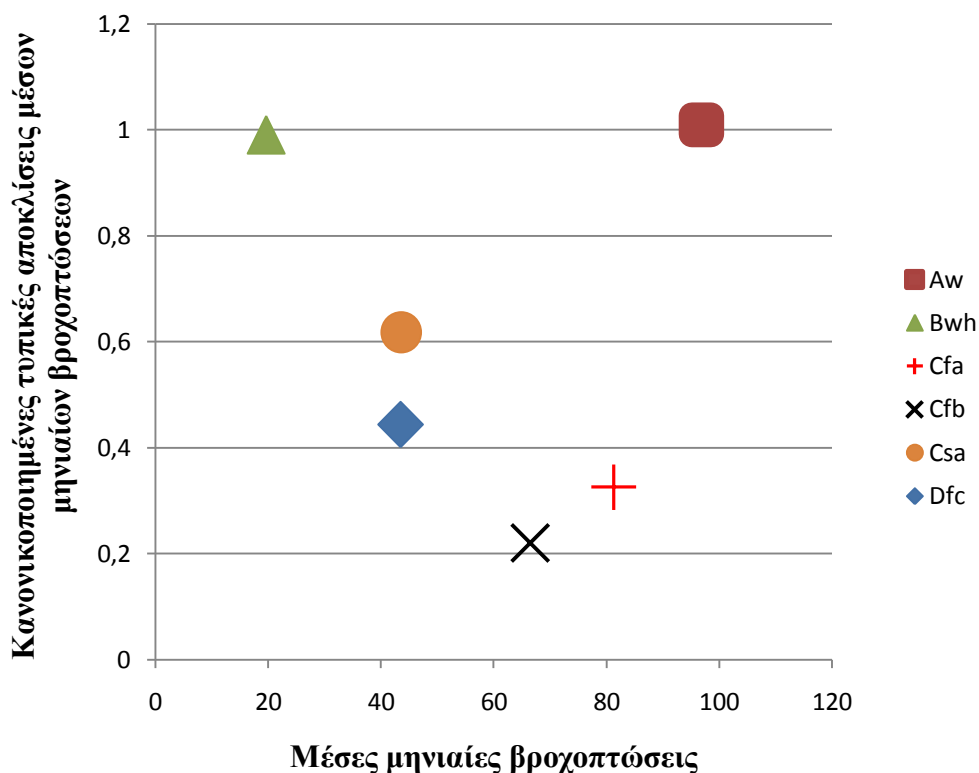
Σχήμα 3-18: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων και των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων.



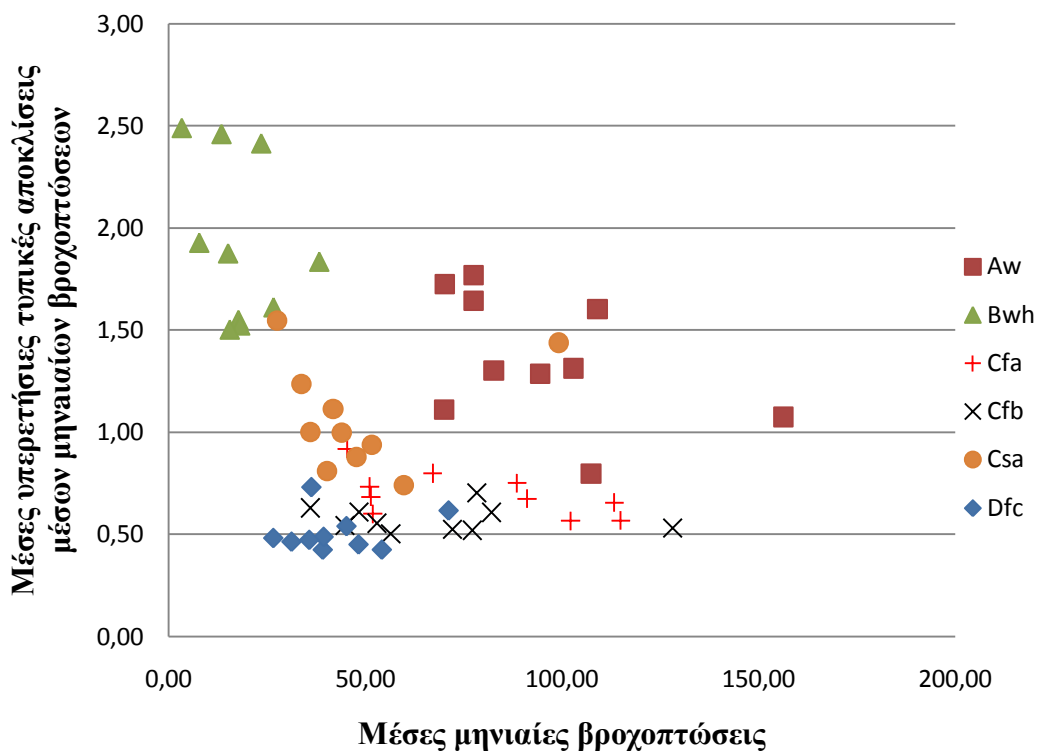
Σχήμα 3-19: Ομαδοποίηση της συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων βάσει των κέντρων βάρους τους.



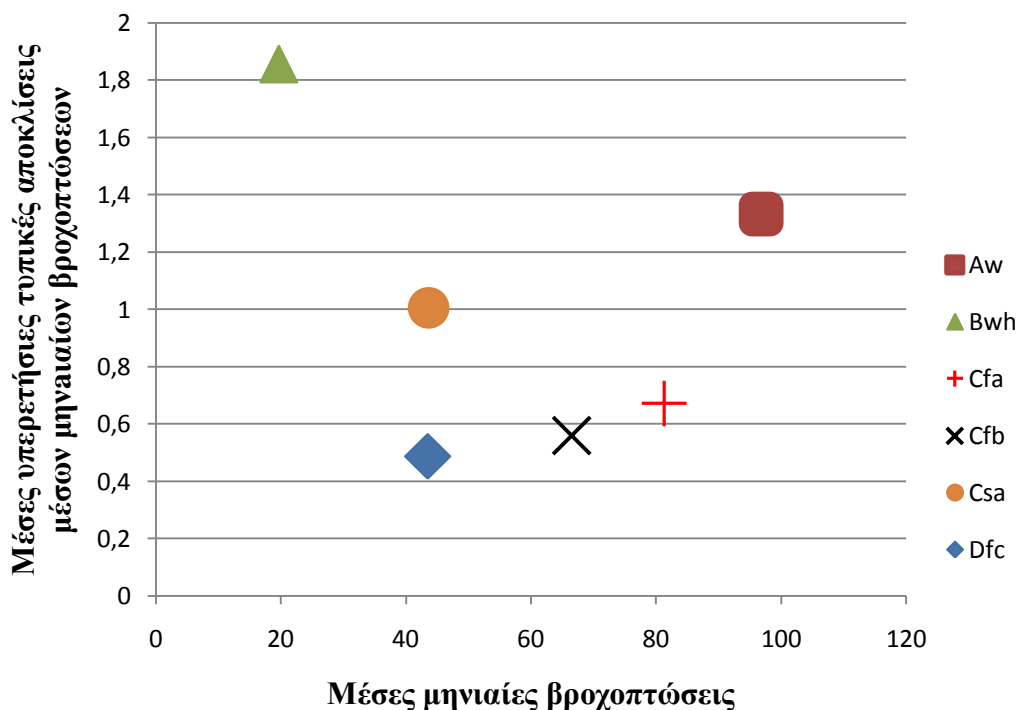
Σχήμα 3-20: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων και των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων.



Σχήμα 3-21: Ομαδοποίηση της συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων βάσει των κέντρων βάρους τους.



Σχήμα 3-22: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων και υπερετήσιων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων.



Σχήμα 3-23: Ομαδοποίηση της συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις μέσες υπερετήσεις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων βάσει των κέντρων βάρους τους.



Για την κατασκευή των διαγραμμάτων 3-19, 3-21 και 3-23 στα οποία απεικονίζονται τα κέντρα βάρους των συσχετίσεων μεταξύ των στατιστικών παραμέτρων των 6 κλιματικών υποκατηγοριών, χρησιμοποιήθηκε ειδικός αλγόριθμος αναπτυγμένος στη γλώσσα προγραμματισμού Visual Basic από τον S. Neilson (<http://www.neilson.co.za/downloads/ClusterAnalysis.bas>). Ο αλγόριθμος εκτελέστηκε σε περιβάλλον Windows μέσω του προγράμματος Microsoft Excel. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Ανάλυση συστάδων σε μέσους όρους k. Πιο συγκεκριμένα, είναι μία μέθοδος για την αυτόματη ομαδοποίηση δεδομένων σε ένα μικρότερο αριθμό υποσυνόλων ή συστάδων έτσι ώστε οι παραγόμενες ομαδοποιημένες εγγραφές να είναι στατιστικά σημαντικότερες μεταξύ τους με βάση τα προς σύγκριση χαρακτηριστικά τους. Στη Στατιστική, η ανάλυση συστάδων σε μέσους όρους k είναι μία μέθοδος που σκοπό έχει το διαχωρισμό n παρατηρήσεων σε k ομάδες, όπου τελικά η κάθε παρατήρηση ανήκει στην ομάδα με την πλησιέστερη μέση τιμή. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με το διαχωρισμό των δεδομένων στον απαιτούμενο αριθμό κλάσεων ομαδοποιώντας με τέτοιο τρόπο τα δεδομένα έτσι ώστε η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ των διαστάσεων των δεδομένων και των κέντρων βάρους των κλάσεων να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη (<http://www.neilson.co.za/?p=9>). Αναλυτικά, ο κώδικας ο οποίος περιγράφει τη διαδικασία παρατίθεται στο Παράρτημα.

Από τα διαγράμματα αυτά, γίνεται κατανοητό ότι μπορεί να υπάρξει μία ομαδοποίηση ορισμένων κλιματικών τύπων βάσει των τιμών των στατιστικών τους παραμέτρων. Για παράδειγμα, οι κλιματικές περιοχές τύπου Aw και Bwh φαίνεται να διαχωρίζονται σε μεγάλο βαθμό από τους υπόλοιπους κλιματικούς τύπους. Από το διάγραμμα του Σχήματος 3-18 προκύπτει ότι μετεωρολογικοί σταθμοί οι οποίοι παρουσιάζουν μέση μηνιαία βροχόπτωση στο εύρος των 80-120 mm και τυπική απόκλιση μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης μεταξύ των τιμών 20-40 mm ανήκουν πιθανώς στην Cfa κατάταξη κατά Köppen. Ακόμη, περιοχές με μέση μηνιαία βροχόπτωση μεταξύ 50-70 mm και τυπική απόκλιση ανάμεσα στα όρια των 10-25 mm φαίνεται να ανήκουν στον Cfb κλιματικό τύπο. Είναι προφανές ότι αυτός ο συλλογισμός δεν μπορεί να γενικευθεί με ακρίβεια για τον κάθε τύπο ξεχωριστά, ωστόσο πραγματοποιείται μία χονδρική κλιματική ομαδοποίηση των περιοχών βάσει των στατιστικών τιμών των βροχοπτώσεών τους. Συμπεραίνεται, με αυτό το συλλογισμό, ότι σταθμοί με ένα εύρος μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων 60-100 mm και τυπική απόκλιση μηνιαίας βροχόπτωσης 15-40 mm θα χαρακτηρίζονται πιθανώς από τον κλιματικό τύπο Cf. Όσον αφορά στους τύπους Csa και Dfc, οι μέσες μηνιαίες και οι τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων σε αυτές τις περιοχές φαίνεται να παρουσιάζουν μία παρόμοια στατιστική συμπεριφορά. Ωστόσο, ένας

μικρός διαχωρισμός παρατηρείται μέσω του Σχήματος 3-23, όπου και οι δύο τύποι Csa και Dfc φαίνεται να παρουσιάζουν κατά μέσο όρο 40 mm μηνιαίας βροχόπτωσης ενώ στον Dfc εμφανίζεται διακύμανση βροχόπτωσης με τιμή 0,5 και στον Csa με τιμή 1, αντίστοιχα. Όπως φάνηκε, λοιπόν, ο διαχωρισμός μεταξύ των διαφόρων κλιματικών τύπων βάσει της στατιστικής συμπεριφοράς των μετεωρολογικών τους παραμέτρων δεν είναι πάντοτε επιτυχής. Για το λόγο αυτό, η συγκεκριμένη μέθοδος κρίνεται επισφαλής για εξαγωγή γενικευμένων συμπερασμάτων και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη κάθε φορά προσοχή στις στατιστικές παραμέτρους οι οποίες εξετάζονται.

**Σημείωση :** Κατά τον υπολογισμό του κέντρου βάρους των στατιστικών παραμέτρων βροχόπτωσης του κλιματικού τύπου Csa δεν λήφθηκαν υπ' όψη οι τιμές του σταθμού της Ινδίας εξ αιτίας του γεγονότος ότι ο συγκεκριμένος σταθμός παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά από όλους τους υπόλοιπους. Χαρακτηριστικά παρατηρήθηκε μέση μηνιαία τιμή βροχόπτωσης 99,28 mm με τυπική απόκλιση 145,32 mm, ενώ οι ομαδοποιημένοι τελικά Csa σταθμοί παρουσίασαν  $\mu=43,59$  mm και  $\sigma=25,12$  mm. Η θεώρηση του σταθμού της Ινδίας στον υπολογισμό του κέντρου βάρους των συνολικών σταθμών Csa θα οδηγούσε σε σημαντικό σφάλμα.

### **3.3 Διερεύνηση στατιστικών χαρακτηριστικών ακραίων τιμών βροχόπτωσης**

Επιχειρήθηκε, στη συνέχεια, να μελετηθούν οι ακραίες τιμές βροχόπτωσης για τις έξι (6) πιο σημαντικές κλιματικές υποκατηγορίες. Πιο συγκεκριμένα, εξετάστηκαν οι μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις και υλοποιήθηκε η προσαρμογή της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών στα διαθέσιμα έτη δεδομένων των σταθμών. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το ποσοστό της βροχόπτωσης το οποίο συνέβη την ημέρα της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης σε σύγκριση με την αθροιστική ετήσια βροχόπτωση του αντίστοιχου έτους. Τέλος, εντοπίστηκαν εκείνοι οι μήνες στους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη μέση μηνιαία βροχόπτωση κατά τη χρονική περίοδο 1900-2005 τόσο για το σύνολο των σταθμών των κλιματικών τύπων A, B, C και D όσο και ξεχωριστά για τους κοντινούς και απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς.

#### **3.3.1 Εκτίμηση στατιστικών κατανομών**

Για κάθε έναν από τους δέκα (10) σταθμούς των έξι πιο συνηθισμένων κλιματικών τύπων Aw, Bwh, Cfa, Cfb, Csa, Dfc προσαρμόστηκε η κατανομή των Γενικών Ακραίων Τιμών στις μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις. Για το λόγο αυτό καταρτίστηκε στο Excel η συγκεκριμένη κατανομή όπου και υπολογίστηκαν οι παράμετροι σχήματος  $\kappa$ , κλίμακας  $\lambda$  και θέσης  $\psi$ . Όπου,

$$\kappa = \frac{1}{3} - \frac{1}{0.31 + 0.91C_{sx} + \sqrt{(0.91C_{sx})^2 + 1.8}} \quad (3.6)$$

$$\lambda = \frac{|\kappa|\sigma_x}{\sqrt{\Gamma(1-2\kappa) - \Gamma^2(1-\kappa)}} \quad (3.7)$$

και

$$\psi = \frac{\mu_x}{\lambda} - \frac{\Gamma(1-\kappa) - 1}{\kappa} \quad (3.8)$$

Η κατανομή Γενικών Ακραίων Τιμών είναι μία γενίκευση των κατανομών ακραίων τιμών η οποία συνδυάζει τις 3 περιπτώσεις AT-1, AT-2 και AT-3. Οι παράμετροι της κατανομής είναι τρεις, μία παράμετρος σχήματος  $\kappa$ , μία παράμετρος κλίμακας  $\lambda$  και μία παράμετρος θέσης  $\psi$ . Όταν  $\kappa \rightarrow 0$  τότε λαμβάνουμε την AT-1, ενώ για  $\kappa > 0$  και  $\psi = 1/\kappa$  μπορούμε να λάβουμε την AT-2. Η μαθηματική σχέση της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών μεγίστων είναι η παρακάτω:

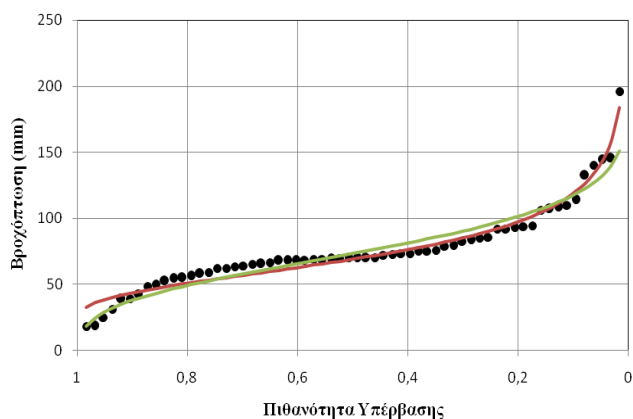
$$F(x) = e^{-[1 + \kappa(\frac{x}{\lambda} - \psi)]^{-\frac{1}{\kappa}}} \quad (3.9)$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει για τιμές του  $\kappa$  διάφορες του 0. Όταν το  $\kappa$  τείνει στο 0 και συγκεκριμένα στο λογισμικό «Υδρογνώμων» όταν  $|\kappa| < 0.001$  χρησιμοποιείται η έκφραση κατανομής Ακραίων Τιμών τύπου 1 μεγίστων. Η αντίστροφη συνάρτηση κατανομής δίνεται από τη σχέση:

$$x(u) = \lambda\psi + \frac{\lambda}{\kappa} [(-\ln u)^{-\kappa} - 1] \quad (3.10)$$

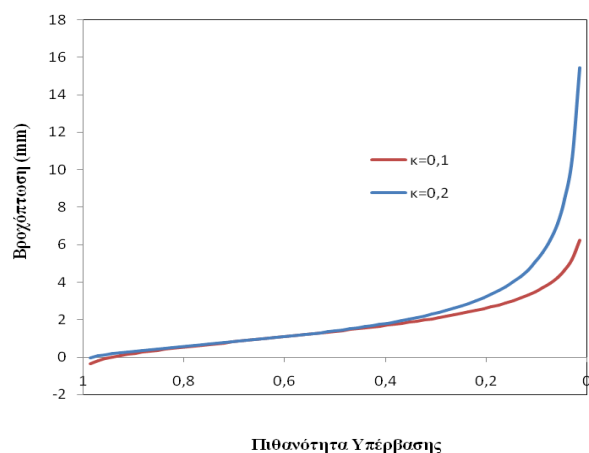
Αντίστοιχα, όταν το  $\kappa$  τείνει στο 0 χρησιμοποιείται η  $x(u)$  της κατανομής μεγίστων Ακραίων Τιμών τύπου 1 (Κουτσογιάννης, 1999).

Η προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ στις ακραίες τιμές ημερήσιας βροχόπτωσης έγινε με σκοπό να εκτιμηθούν κατά το δυνατόν καλύτερα οι ακραίες τιμές των μεγίστων ημερήσιων τιμών βροχόπτωσης. Εξετάστηκαν δύο μέθοδοι. Η μέθοδος των ροπών και η μέθοδος της ελαχιστοποίησης της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (RMSE). Όπως φαίνεται από το Σχήμα 3-24, η μέθοδος της ελαχιστοποίησης της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος για την προσαρμογή της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών στις χρονοσειρές των μεγίστων ημερήσιων βροχοπτώσεων είναι πιο αποτελεσματική από τη μέθοδο των ροπών για το λόγο αυτό και προτιμήθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος για τις ανάγκες της εργασίας.



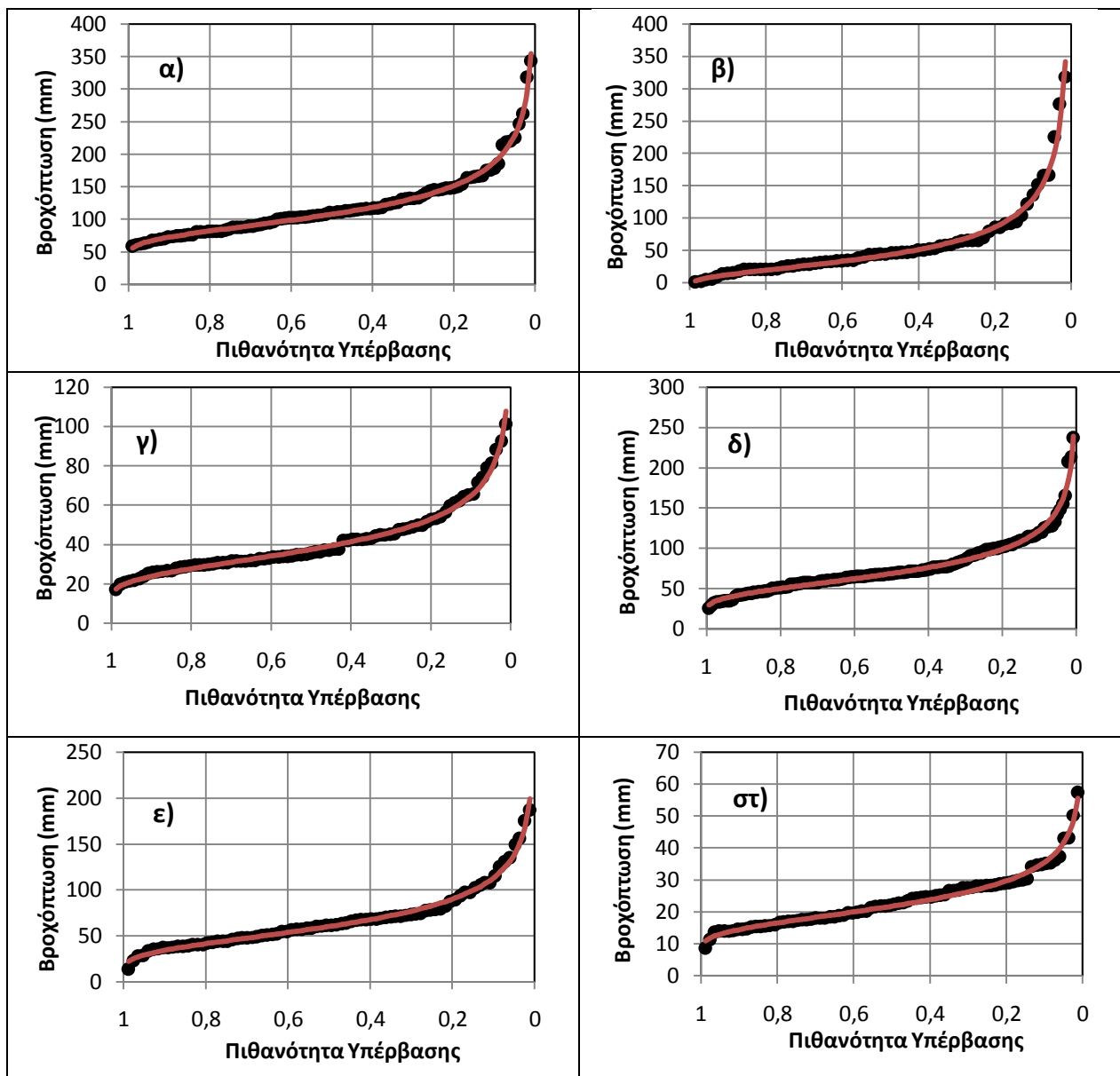
Σχήμα 3-24: Προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ στις μέγιστες ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης με τη μέθοδο των ροπών (πράσινο χρώμα) και τη μέθοδο της ελαχιστοποίησης της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (κόκκινο χρώμα).

Κατά την προσαρμογή της κατανομής των Γενικών Ακραίων Τιμών στις χρονοσειρές των μέγιστων ημερήσιων γεγονότων βροχόπτωσης παρατηρήθηκε στατιστικά ότι για μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου σχήματος  $\kappa$ , η κατανομή προσέγγιζε με το βέλτιστο δυνατό τρόπο τις ακραίες τιμές των μέγιστων ημερήσιων βροχών.



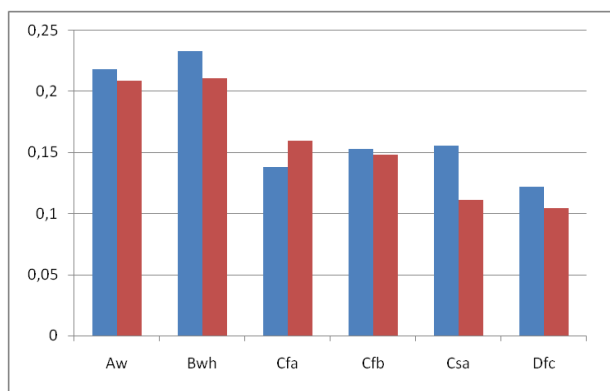
Σχήμα 3-25: Προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ στις μέγιστες ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης, με τη μέθοδο της ελαχιστοποίησης της ρίζας του μέσου τετραγωνικού σφάλματος, για «υψηλή» (μπλε χρώμα) και «χαμηλή» (κόκκινο χρώμα) τιμή της παραμέτρου σχήματος  $\kappa$ .

Στο Σχήμα 3-26 το οποίο ακολουθεί εμφανίζεται η προσαρμογή της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών στις χρονοσειρές μέγιστων ημερήσιων γεγονότων υετού σε έναν, κάθε φορά, χαρακτηριστικό σταθμό από τις 6 κλιματικές υποκατηγορίες.



Σχήμα 3-26: Προσαρμογή της κατανομής ΓΑΤ με τη μέθοδο της ελαχιστοποίησης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος στις μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών α) Aw β) Bwh γ) Cfa δ) Cfb ε) Csa και στ) Dfc.

Από τη διαδικασία της προσαρμογής της κατανομής ΓΑΤ στους 10 σταθμούς της κάθε κλιματικής υποκατηγορίας, υπολογίστηκε ο μέσος όρος και η τυπική απόκλιση της παραμέτρου σχήματος  $\kappa$  για την καθεμία από τις 6 κλιματικές υποκατηγορίες ξεχωριστά.

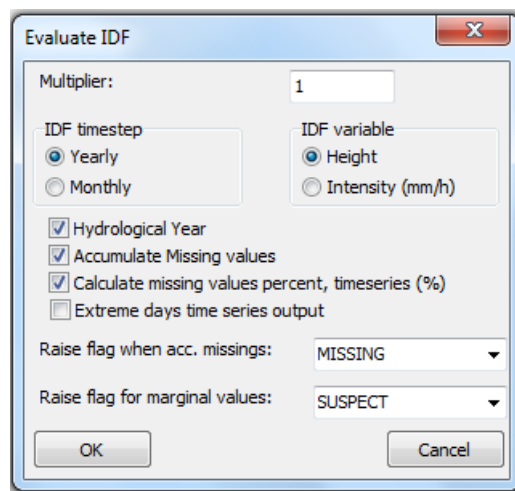


Σχήμα 3-27: Ραβδόγραμμα απεικόνισης της μέσης τιμής (μπλε) και της τυπικής απόκλισης (κόκκινο) των παραμέτρων σχήματος κ κατά την προσαρμογή της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών στις μέγιστες ημερήσιες τιμές βροχόπτωσης των σταθμών των 6 υπό μελέτη κλιματικών τύπων.

Από το τελευταίο σχήμα προκύπτουν πολλά σημαντικά συμπεράσματα για τα γεγονότα ακραίων βροχοπτώσεων στον κάθε κλιματικό τύπο ξεχωριστά. Πιο συγκεκριμένα, οι σταθμοί που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες των τύπων A και B παρουσιάζουν παράμετρο σχήματος κ με μέση τιμή και τυπική απόκλιση που κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0,2-0,23. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι ακραίες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις είναι αρκετά μεγαλύτερες από το μέσο όρο των μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων που συνήθως συμβαίνουν. Για παράδειγμα, σε σταθμό που ανήκει στην κλιματική υποκατηγορία Aw με συνήθεις μέσες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις της τάξης των 150-200 mm, έχουν συμβεί μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις 300 και 350 mm (Σχήμα 3-26α). Στον κλιματικό τύπο Bwh συμβαίνει μία μεγαλύτερη κατανομή των μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων με αρκετές ακραίες ημερήσιες βροχοπτώσεις να απέχουν αρκετά από τον μέσο όρο των ακραίων ημερήσιων γεγονότων υετού. Στο σταθμό του Μεξικού του θερμού και ξηρού ερημικού κλίματος Bwh, οι συνήθεις μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις που εμφανίζονται είναι της τάξης των 50 – 100 mm, ωστόσο οι ακραίες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις οι οποίες έχουν εμφανιστεί είναι ακόμη και 220–320 mm (Σχήμα 3-26β). Οι ακραίες αυτές βροχοπτώσεις σε ένα ερημικό κλίμα όπως το Bwh μπορεί να οφείλονται σε γεγονότα παγκόσμιας κυκλοφορίας όπου μπορεί να εμφανιστεί μία ιδιαίτερα υγρή αέρια μάζα κατά τη διάρκεια του χρόνου. Αντίθετη συμπεριφορά με μέση τιμή και τυπική απόκλιση της παραμέτρου σχήματος κ να κυμαίνεται από 0,10-0,15 παρουσιάζουν οι σταθμοί που ανήκουν στους κλιματικούς τύπους C και D. Συγκεκριμένα, οι ακραίες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις οι οποίες εμφανίζονται σε αυτές τις περιοχές δεν απέχουν πολύ από την πλειονότητα των μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων.

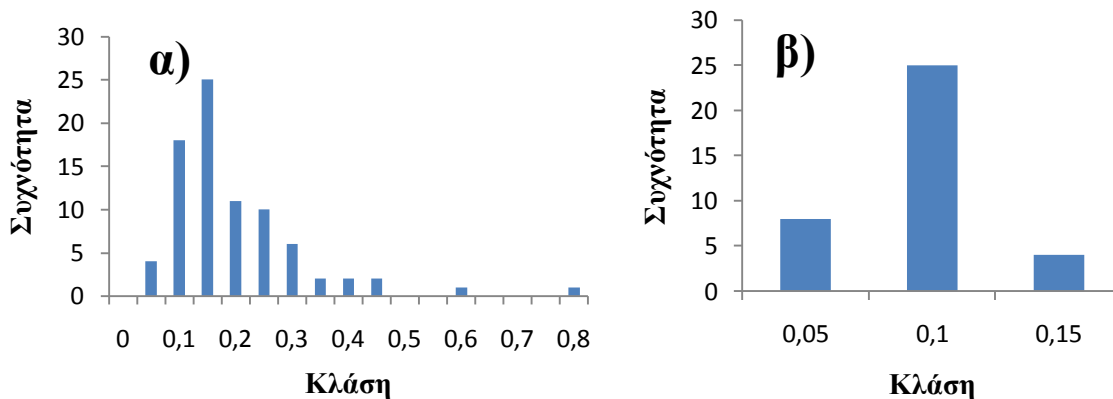
### 3.3.2 Μέγιστη ημερήσια / Μέση ετήσια βροχόπτωση

Για τον υπολογισμό του λόγου της μέγιστης ημερήσιας προς της μέση ετήσια βροχόπτωση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό «Υδρογνώμων» το οποίο και έχει αναπτυχθεί από την ερευνητική ομάδα «Ιτιά», του Τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Από τα ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης των σταθμών υπολογίστηκαν οι ακραίες ετήσιες ημερήσιες βροχοπτώσεις. Η διαδικασία υλοποιήθηκε μέσω της επιλογής Hydrology→Extremes evaluation. Η καρτέλα η οποία εμφανίζεται στο πρόγραμμα είναι η ακόλουθη:

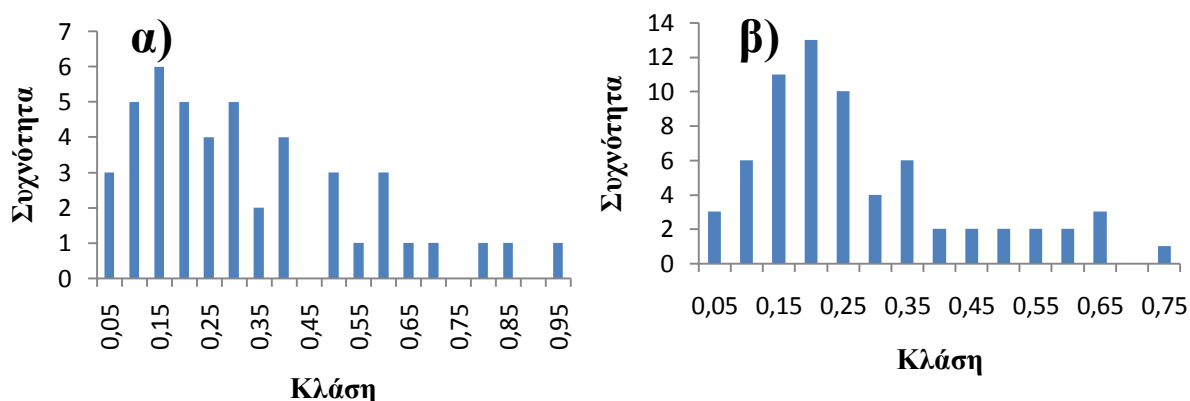


Εικόνα 3-2: Δημιουργία χρονοσειρών μέγιστων ετήσιων ημερήσιων βροχοπτώσεων με ταυτόχρονο υπολογισμό του ποσοστού των εκλιπόντων τιμών.

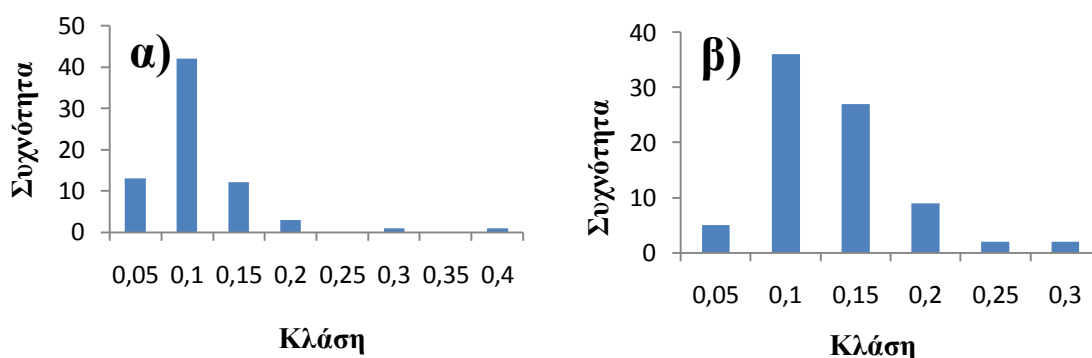
Για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων διαγράφηκαν τα έτη στα οποία έλειπαν ημερήσια δεδομένα σε ποσοστό μεγαλύτερο του 33% (Papalexίου and Koutsoyiannis, 2013). Κατόπιν, υπολογίστηκε ο λόγος της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης προς τη μέση ετήσια βροχόπτωση  $\frac{\max \text{ daily}}{\text{mean annual}}$ . Δημιουργήθηκαν κλάσεις εύρους 0,05% για τα ποσοστά του παραπάνω λόγου. Τέλος, υπολογίστηκε η συχνότητα εμφάνισης των ποσοστών και με αυτό τον τρόπο, πλέον, καταρτίστηκαν ιστογράμματα τα οποία απεικονίζουν το «μέγεθος» της ακραίας ημερήσιας βροχόπτωσης σε σχέση με την αντίστοιχη ετήσια αθροιστική βροχόπτωση.



Σχήμα 3-28: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Aw.

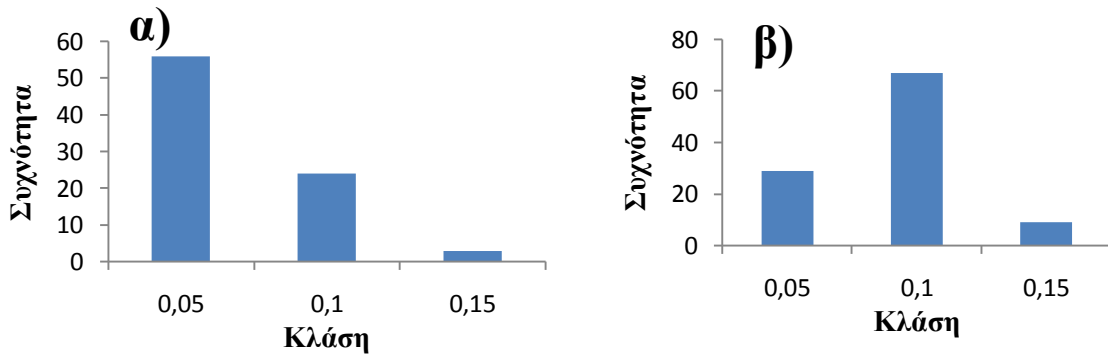


Σχήμα 3-29: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Bwh.

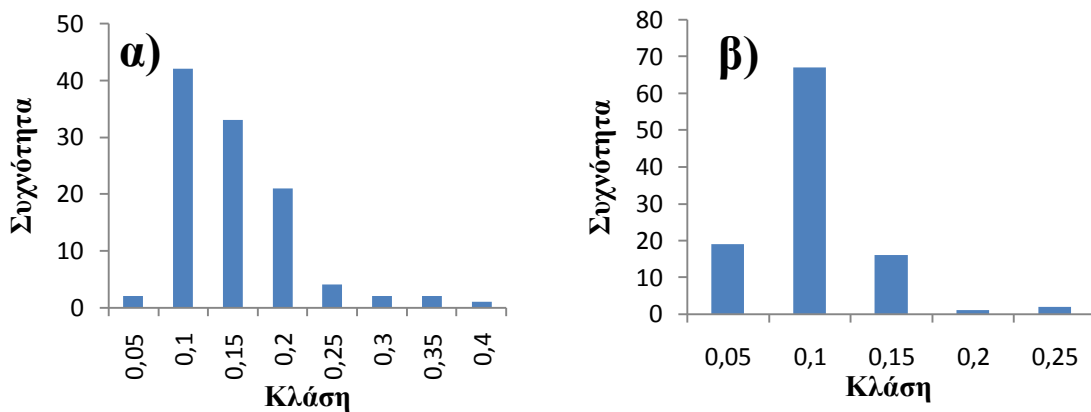


Σχήμα 3-30: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Cfa.

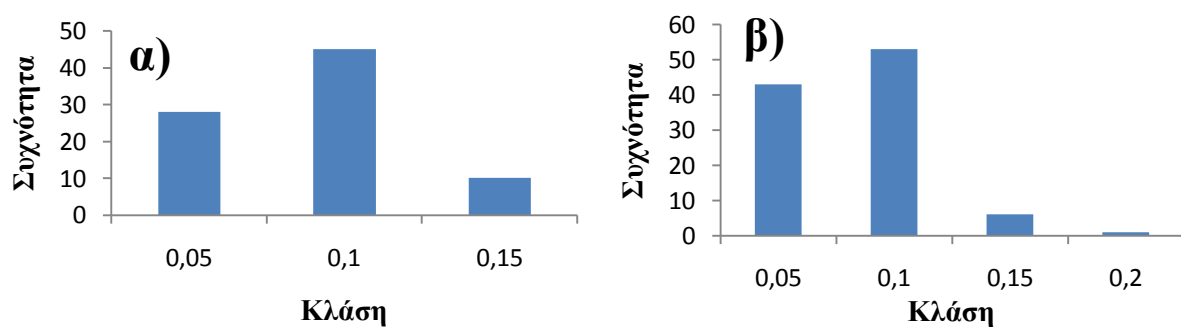




Σχήμα 3-31: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Cfb.



Σχήμα 3-32: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Csa.



Σχήμα 3-33: Ιστογράμματα απεικόνισης του ποσοστού της μέγιστης ημερήσιας βροχόπτωσης αναλογικά με την ετήσια βροχόπτωση για τους σταθμούς κοντά (α) και μακριά (β) από τη θάλασσα της κλιματικής υποκατηγορίας Dfc.

Στο υγρό και ξηρό (τύπου Σαβάνας) τροπικό κλίμα Aw, ο σταθμός μακριά από τη θάλασσα φαίνεται να παρουσιάζει μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις σε ποσοστό 10-15% της συνολικής ετήσιας βροχής, ωστόσο ο κοντινός σταθμός στη θάλασσα παρουσιάζει ορισμένες πιο ακραίες

μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις (40-45%) καθώς και ορισμένα ιδιαίτερα ακραία γεγονότα όπου σε μία ημέρα συνέβη βροχή η οποία αντιστοιχεί στο 60 και 80% της ετήσιας βροχής.

Στο θερμό και ξηρό κλίμα (τύπου ερήμου) Bwh, επίσης, ο απομακρυσμένος από τη θάλασσα σταθμός παρουσιάζει μία πιο ήπια κλιματική συμπεριφορά, όπου οι περισσότερες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις αποτελούν το 20-30% της βροχής του έτους και ορισμένες ημέρες βροχής 50-60% ακόμη και 75% της ετήσιας βροχής. Από την άλλη, ο πλησίον στη θάλασσα σταθμός παρουσιάζει μία πιο ακραία συμπεριφορά στα ημερήσια γεγονότα βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος των μέγιστων ημερήσιων αναλογικά με τις ετήσιες ποσότητες βροχής, κυμαίνεται στο 40% με αρκετές ακόμη ημερήσιες βροχές να αναλογούν στο 60, 70 και 80% του ετήσιου υετού. Τελευταίο, αλλά ιδιαίτερου κλιματικού ενδιαφέροντος γεγονός, αποτελεί η ημέρα του έτους 1983 οπότε και καταγράφηκε βροχόπτωση η οποία αναλογούσε στο 93,67% της συνολικής ετήσιας.

Στον κλιματικό τύπο Cfa φαίνεται η απόσταση από τη θάλασσα να μην αποτελεί κριτήριο κλιματικής μεταβλητότητας. Πιο συγκεκριμένα, ο σταθμός που βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 50 χιλιομέτρων από τη θάλασσα παρουσιάζει ακραίες ημερήσιες βροχοπτώσεις που αναλογούν κυρίως στο 10% των συνολικών ετήσιων με κάποιες ακραίες ημερήσιες βροχές της τάξης του 30 και 40%. Από την άλλη, ο απομακρυσμένος από τη θάλασσα σταθμός παρουσιάζει έναν μέσο όρο της τάξης του 10-15%, με μεμονωμένα γεγονότα ημερήσιας βροχής ανάλογης του 25 και 30% της ετήσιας.

Με τη σειρά του, ο κλιματικός τύπος Cfb παρουσιάζει αρκετά ήπιες μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις με τον κοντινό σταθμό στη θάλασσα να εμφανίζει σε ένα μεγάλο ποσοστό μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις οι οποίες αναλογούν στο 5% της βροχής του έτους, ενώ ο απομακρυσμένος από τη θάλασσα σταθμός μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις της τάξης του 10% των ετήσιων. Από αυτή τη σύγκριση φαίνεται ότι οι περιοχές που ανήκουν στον κλιματικό τύπο Cfb παρουσιάζουν πολύ ήπιες καταιγίδες. Όσον αφορά στην επίδραση της εγγύτητας των περιοχών στη θάλασσα φαίνεται ότι στον παραθαλάσσιο σταθμό συμβαίνουν πιο ήπιες ακραίες βροχές.

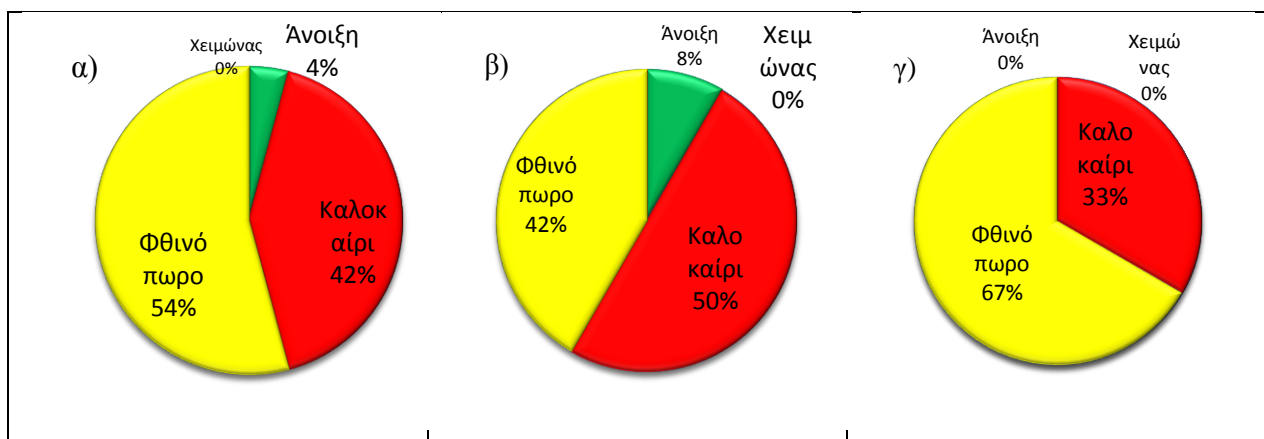
Όσον αφορά στον κλιματικό τύπο Csa, ο σταθμός που βρίσκεται κοντά στη θάλασσα εμφανίζει μία πιο ακραία τάση στις μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις. Ένα μεγάλο ποσοστό μέγιστων ημερήσιων βροχοπτώσεων είναι συγκεντρωμένο σε ποσοστά 10-20% της ετήσιας βροχής με ορισμένες καταιγίδες να αποτελούν το 30, 35 ακόμη και το 40% της ετήσιας αθροιστικής βροχόπτωσης. Αντίθετα, ο σταθμός που βρίσκεται μακριά από τη θάλασσα

εμφανίζει αρκετά ήπιες ακραίες ημερήσιες βροχοπτώσεις της τάξης του 10% της ετήσιας βροχής, με μεμονωμένες καταιγίδες οι οποίες αποτέλεσαν το 20 και 25% αντίστοιχα του συνολικού ετήσιου υετού. Στην περίπτωση αυτή, λοιπόν, η εγγύτητα στη θάλασσα αποτελεί ένδειξη συχνών ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης.

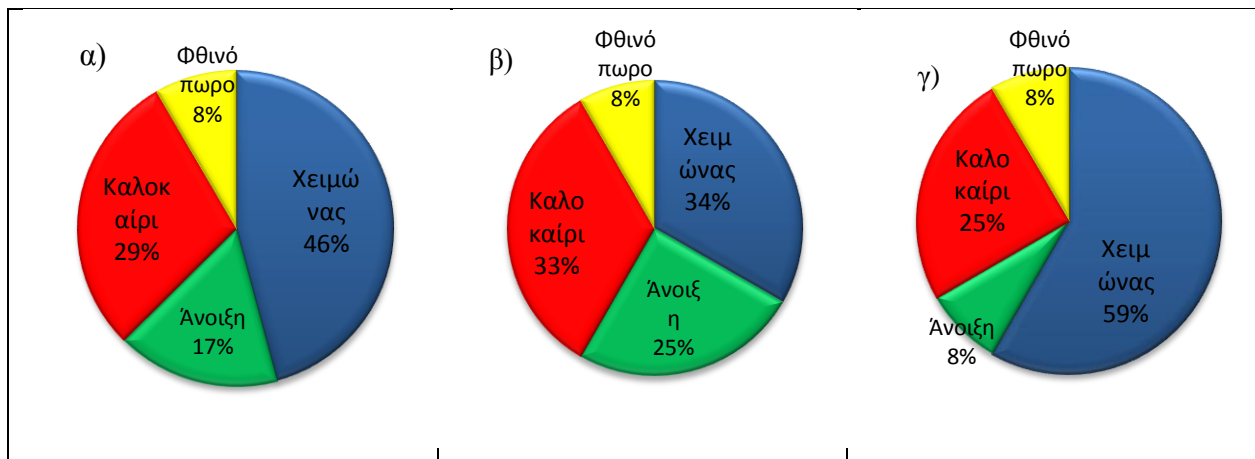
Στον κλιματικό τύπο Dfc φαίνεται η θάλασσα να μην αποτελεί κριτήριο εμφάνισης ή μη ακραίων βροχοπτώσεων. Πιο συγκεκριμένα, το συμπέρασμα το οποίο προήλθε από τη μελέτη του διαγράμματος του Σχήματος 3-33 είναι ότι αμφότεροι ο κοντινός και απομακρυσμένος από τη θάλασσα σταθμός εμφανίζουν σε μεγάλο ποσοστό ακραίες ημερήσιες βροχοπτώσεις της τάξης του 5 και 10% της συνολικής ετήσιας βροχής.

### 3.3.3 Μήνας μέγιστης βροχόπτωσης

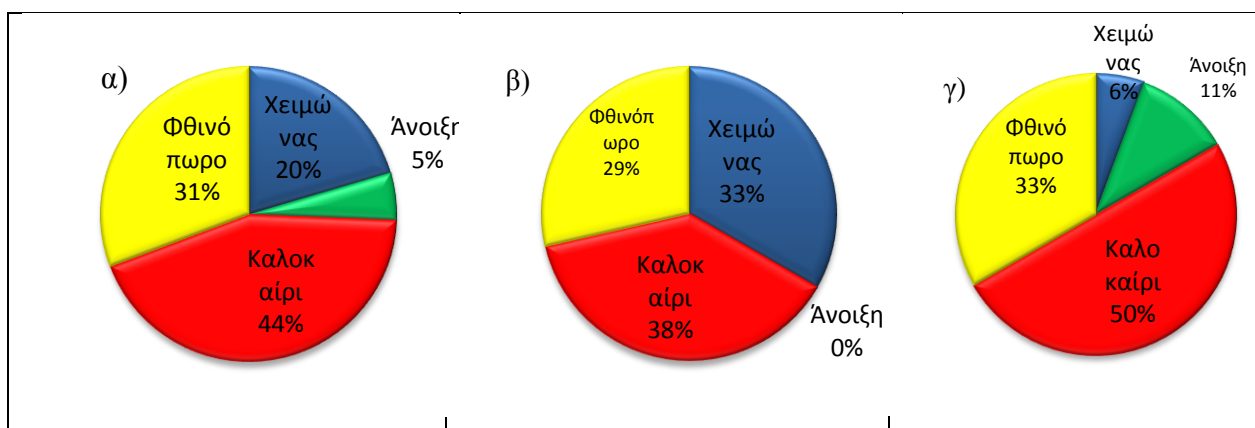
Από τα κλιματικά δεδομένα όλων των σταθμών εντοπίστηκαν εκείνοι οι μήνες στους οποίους παρουσιάζεται η μέγιστη μέση μηνιαία βροχόπτωση κατά την περίοδο 1900-2005. Για τη βέλτιστη απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται κυκλικά διαγράμματα με τις 4 εποχές του έτους κατανεμημένες σε ποσοστά ανάλογα με τη συχνότητα εμφάνισης του μήνα μέγιστης βροχόπτωσης σε αυτές. Σημειώνεται ότι οι μήνες-εποχές αναφέρονται στο Βόρειο ημισφαίριο. Εξετάζεται, μεταξύ των άλλων, η επίδραση της εγγύτητας των σταθμών στη θάλασσα στην εμφάνιση της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης.



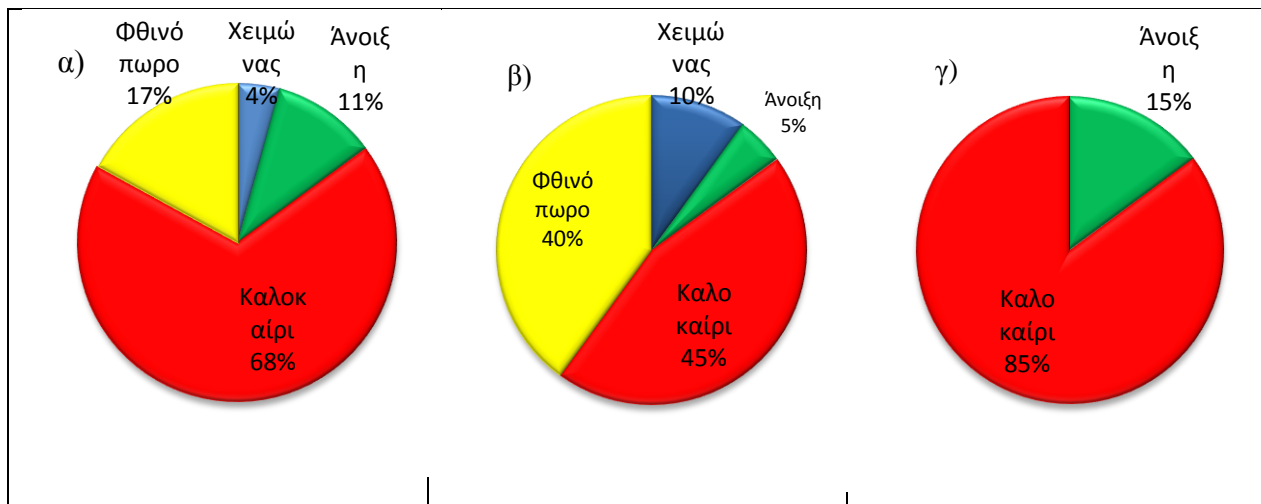
Σχήμα 3-34: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου Α.



Σχήμα 3-35: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) για τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου Β.



Σχήμα 3-36: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχόπτωσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) για τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου C.



Σχήμα 3-37: Κυκλικό διάγραμμα απεικόνισης της εμφάνισης της μέγιστης μέσης μηνιαίας βροχοπτώσης στις 4 εποχές του έτους για α) το σύνολο των υπό μελέτη σταθμών β) για τους κοντινούς στη θάλασσα και γ) τους απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς του κλιματικού τύπου D.

Από την παράθεση των κυκλικών διαγραμμάτων γίνεται αντιληπτό ότι στα υγρά τροπικά κλίματα A οι μέγιστες βροχοπτώσεις συμβαίνουν σχεδόν σε απόλυτο ποσοστό κατά τους μήνες Ιούνιο έως Νοέμβριο. Μικρό προβάδισμα εμφανίζουν οι φθινοπωρινοί (54%) έναντι των καλοκαιρινών μηνών (42%). Στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς οι μέγιστες βροχοπτώσεις συμβαίνουν κυρίως το καλοκαίρι (50%) και ένα μικρό ποσοστό εμφάνισης γεγονότων μέγιστου υετού έχει μετατοπιστεί από το φθινόπωρο στην άνοιξη. Οι απομακρυσμένοι από τη θάλασσα σταθμοί εμφανίζουν τις μέγιστες βροχές σε μεγάλο ποσοστό κατά την εποχή του φθινοπώρου (67%).

Στα ξηρά κλίματα τύπου B, ακραίες μέγιστες βροχοπτώσεις συμβαίνουν κυρίως (46%) το χειμερινό τρίμηνο Δεκέμβριο – Φεβρουάριο. Στους σταθμούς κοντά στη θάλασσα οι μέγιστες βροχοπτώσεις εμφανίζονται σε παρόμοιο ποσοστό τις εποχές του χειμώνα (34%) και του καλοκαιριού (33%). Από την άλλη, οι ηπειρωτικοί σταθμοί εμφανίζουν μέγιστες βροχές κυρίως το χειμώνα με ποσοστό εμφάνισης 59%.

Η πλειονότητα των μέγιστων βροχοπτώσεων στα υγρά κλίματα με ήπιους χειμώνες C, εμφανίζεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (44%). Στους παραθαλάσσιους σταθμούς συμβαίνουν κυρίως το καλοκαίρι (38%) με ένα επίσης σημαντικό ποσοστό κατά την εποχή του χειμώνα (33%). Στους σταθμούς μακριά από τη θάλασσα ελαττώνεται το ποσοστό εμφάνισης των ακραίων βροχών κατά την εποχή του χειμώνα. Μέγιστες βροχές εμφανίζονται πιο συχνά (συγκριτικά με τους κοντινούς σταθμούς) την άνοιξη, ενώ γενικότερα οι μεγαλύτερες βροχές συμβαίνουν το καλοκαίρι (50%) και το χειμώνα (33%).

Τέλος, οι περιοχές που ανήκουν στο υγρό κλίμα με ψυχρούς χειμώνες D εμφανίζουν τις μεγαλύτερες βροχές κυρίως κατά την περίοδο του καλοκαιριού με ποσοστό εμφάνισης 68%. Στους κοντινούς στη θάλασσα σταθμούς το ποσοστό εμφάνισης της μέγιστης βροχής κατά το καλοκαίρι μειώνεται σε 45% καθώς φαίνεται ότι συμβαίνουν συχνότερες (σε σχέση με το σύνολο των σταθμών) ακραίες βροχές το φθινόπωρο (40%). Οι σταθμοί μακριά από τη θάλασσα παρουσιάζουν τις μέγιστες βροχοπτώσεις τους σε συντριπτικό ποσοστό (85%) κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

## 4 Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας

### 4.1 Μεθοδολογία

Για την εκτίμηση της πιθανής κλιματικής μεταβλητότητας των μετεωρολογικών χαρακτηριστικών των σταθμών χρησιμοποιήθηκε η κατανομή t-student δύο δειγμάτων. Η κατανομή εφαρμόστηκε με τη βοήθεια των παραμέτρων  $H$  οι οποίες υπολογίστηκαν. Αναλυτικότερα, με τη μεταβλητή  $H$  συμβολίζεται η παράμετρος της στατιστικής μεθόδου της διαφοράς των μέσων τιμών. Παρακάτω παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο των δύο μεθόδων.

#### Στατιστική μέθοδος διαφοράς μέσων τιμών

Η δοκιμή ελέγχει το κατά πόσον δύο ανεξάρτητα τυχαία δείγματα ακολουθούν την κανονική κατανομή από τον ίδιο πληθυσμό. Εάν  $\mu_1, \mu_2$  οι μέσες τιμές,  $\sigma_1, \sigma_2$  οι τυπικές αποκλίσεις και  $N_1, N_2$  τα μεγέθη των δύο δειγμάτων χρησιμοποιείται η μεταβλητή  $H$ .

$$H = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}} \sqrt{\frac{N_1 \sigma_1^2 + N_2 \sigma_2^2}{N_1 + N_2 - 2}}} \quad (4.1)$$

Η μηδενική υπόθεση ότι και τα δύο δείγματα προέρχονται από τον ίδιο στατιστικό πληθυσμό ( $\mu_1 = \mu_2$ ) δεν απορρίπτεται για κάποιο επίπεδο σημαντικότητας  $\alpha$  όταν:

$H \leq C_\alpha$  όπου  $C_\alpha$  η ανηγμένη μεταβλητή της κατανομής *Student* για  $N_1 + N_2 - 2$  βαθμούς ελευθερίας και πιθανότητα υπέρβασης  $\alpha$  (Μαμάσης, 2010).

#### T-test δύο δειγμάτων

Σκοπός της κατανομής t είναι η σύγκριση των αποκρίσεων δύο διαφορετικών δειγματικών πληθυσμών. Οι δύο ομάδες δειγμάτων μπορούν να προέρχονται από διαφορετικές πειραματικές διαδικασίες ή από διαφορετικούς «φυσικούς» πληθυσμούς. Σαν αρχικές υποθέσεις λαμβάνονται τα παρακάτω:

- Και οι δύο σειρές δεδομένων προέρχονται από ξεχωριστούς πληθυσμούς.
- Οι αποκρίσεις κάθε ομάδας είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους.
- Οι μεταβλητές των δύο υπό μελέτη δειγμάτων ακολουθούν κανονική κατανομή.

Η διαδικασία περιγράφεται με τα εξής βήματα:

1. Η μηδενική υπόθεση είναι ότι οι δύο πληθυσμοί έχουν την ίδια μέση τιμή. Για να εξεταστεί η μηδενική υπόθεση πρέπει να υπολογιστούν οι μέσες τιμές  $\bar{x}_1, \bar{x}_2$  των δύο δειγμάτων, οι διακυμάνσεις  $\bar{s}_1, \bar{s}_2$  αυτών, τα μεγέθη  $n_1$  και  $n_2$  των δύο δειγμάτων καθώς και ο βαθμός ελευθερίας  $k$ . Όπου:

$$x = (1/n) \sum x_i \quad (4.2)$$

$$s^2 = (1/(n-1)) [\sum x_i^2 - (1/n)(\sum x_i)^2] \quad (4.3)$$

$$K = n_1 + n_2 - 2 \text{ για } n_1 = n_2 \quad (4.4)$$

2. Υπολογίζεται η τιμή  $t$  βάσει του παρακάτω τύπου:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)}} \quad (4.5)$$

3. Συγκρίνεται, στη συνέχεια, η υπολογισμένη τιμή  $t$  με την κρίσιμη τιμή της μεταβλητής  $t$  από τον πίνακα κατανομής για ορισμένο επίπεδο εμπιστοσύνης. Κατόπιν, εξετάζεται αν ικανοποιείται η μηδενική υπόθεση ή όχι.

Η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται όταν η υπολογισμένη τιμή της μεταβλητής  $t$  προσεγγίζει την κρίσιμη τιμή  $t$  του πίνακα κατανομής.

Σημείωση: Η μέθοδος δύναται να χρησιμοποιηθεί εφ' όσον οι διακυμάνσεις των δύο πληθυσμών είναι άνισες όπως επίσης και τα μεγέθη αυτών. (<http://www.monarchlab.org/Lab/Research/Stats/2SampleT.aspx>)

Στην παρούσα εργασία, λοιπόν, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος  $t$  μεταξύ της πρώτης (1900-1935) και της τρίτης (1971-2005) κλιματικής περιόδου. Στις περιπτώσεις που η τιμή  $t$  προσέγγιζε το μηδέν ( $t \rightarrow 0$ ) εξαγόταν το συμπέρασμα ότι πραγματοποιείται στατιστικά σημαντική μεταβολή στη μέση τιμή βροχόπτωσης ή θερμοκρασίας. Εξετάστηκαν δύο επίπεδα σημαντικότητας. Το πρώτο εξέφραζε την 1% και το δεύτερο την 0,001% πιθανότητα οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης από τις δύο κλιματικές περιόδους να προέρχονται από μια κατανομή με τα ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά. Στους πίνακες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα ποσοστά των μηνών του έτους για τα οποία υπάρχει στατιστικά σημαντική ένδειξη κλιματικής αλλαγής μεταξύ των δύο χρονικών περιόδων.



## 4.2 Εφαρμογή – Διαγράμματα

Πίνακας 4-1: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου Α.

		Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	44%	39%	0%	0%	22%	19%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%
P	Αύξηση	3%	0%	3%	0%	3%	0%
	Μείωση	6%	0%	0%	0%	3%	0%

Πίνακας 4-2: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου Β

		Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	33%	0%	0%	0%	17%	0%
	Μείωση	4%	0%	3%	0%	3%	0%
P	Αύξηση	0%	0%	3%	0%	1%	0%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Πίνακας 4-3: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου C.

		Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	25%	1%	11%	0%	18%	1%
	Μείωση	2%	0%	2%	1%	2%	1%
P	Αύξηση	4%	0%	2%	0%	3%	0%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Πίνακας 4-4: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών κλιματικού τύπου D.

		Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	24%	11%	8%	1%	16%	6%
	Μείωση	3%	0%	2%	0%	2%	0%
P	Αύξηση	7%	0%	4%	0%	5%	0%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Πίνακας 4-5: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για τον κοντινό στη θάλασσα σταθμό τύπου E.

		ΕΤ	
		1%	0,001%
T	Αύξηση	0%	0%
	Μείωση	8%	0%
P	Αύξηση	0%	0%
	Μείωση	0%	0%

Πίνακας 4-6: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας για το σύνολο των σταθμών.

		Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	25%	10%	5%	0%	18%	7%
	Μείωση	4%	0%	2%	0%	2%	0%
P	Αύξηση	3%	0%	3%	0%	3%	0%
	Μείωση	1%	0%	0%	0%	1%	0%

### 4.3 Περιγραφή αποτελεσμάτων

Από τους πίνακες που παρουσιάζονται παραπάνω παρατηρείται κυρίως μία αύξηση στις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των σταθμών των κλιματικών τύπων A, B, C και D για ορισμένους από τους μήνες του έτους. Πιο συχνή εμφανίζεται να είναι η αύξηση αυτή στις παραθαλάσσιες περιοχές. Στο Παράρτημα παρατίθενται αναλυτικά οι πίνακες εκτίμησης της μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για τους κοντινούς και απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς της κάθε κλιματικής υποκατηγορίας. Ακολουθεί περιγραφή των πιο αξιοσημείωτων αποτελεσμάτων της μελέτης που διενεργήθηκε.

Για επίπεδο σημαντικότητας 1% εμφανίζονται μεταβολές στις μέσες μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης μεταξύ των 2 κλιματικών περιόδων για αρκετούς σταθμούς. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία θα περιγραφούν μόνον εκείνα τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν για επίπεδο σημαντικότητας 1/100.000, που είναι στατιστικά σημαντικό ποσοστό για πιθανή ύπαρξη δυναμικής Hurst-Kolmogorov (Hamed, 2008).

Για επίπεδο σημαντικότητας 0,001%, λοιπόν, εμφανίζεται αύξηση των μέσων θερμοκρασιών του κοντινού στη θάλασσα σταθμού τύπου Am (τροπικό μουσσονικό κλίμα) για το σύνολο των μηνών του έτους (Πίνακας Π-1). Για τον τύπο Aw ο παραθαλάσσιος σταθμός εμφανίζει μεγαλύτερες θερμοκρασίες την περίοδο 1971-2005 σε δύο μήνες του έτους. Στον τύπο Cwb ο

σταθμός κοντά στη θάλασσα παρουσιάζει αυξημένη μέση θερμοκρασία σε έναν μόνο μήνα (Πίνακας Π-3). Όσον αφορά στις υποκατηγορίες του υγρού με ψυχρούς χειμώνες τύπου D, οι κοντινοί στη θάλασσα σταθμοί των Dfb και Dwa κλιμάτων παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε 2 και 6 αντίστοιχα μήνες. Τέλος, ο ηπειρωτικός σταθμός τύπου Dfd εμφανίζεται θερμότερος στον έναν από τους δώδεκα μήνες του έτους (Πίνακας Π-4).

Τονίζεται στο σημείο αυτό, ότι η μελέτη της κλιματικής μεταβλητότητας πραγματοποιήθηκε για έναν κοντινό και έναν απομακρυσμένο από τη θάλασσα σταθμό των κλιματικών υποκατηγοριών και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να γενικευθούν τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης εργασίας για την κλιματική συμπεριφορά του κάθε κλιματικού τύπου. Σημειώνεται, ακόμη, ότι τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν αποτελούν πρωτίστως μία ποιοτική και όχι ποσοτική εκτίμηση της μεταβολής των τιμών των μετεωρολογικών παραμέτρων μεταξύ των δύο κλιματικών περιόδων.

## 5 Συμπεράσματα - Προτάσεις

---

### 5.1 Συμπεράσματα

Κατά την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας προέκυψαν διάφορα συμπεράσματα όσον αφορά στη συμπεριφορά των μετεωρολογικών παραμέτρων των διαφόρων κλιματικών τύπων οι οποίοι μελετήθηκαν. Λόγω της ποικιλίας στη σύγκριση και τη μελέτη των δεδομένων των σταθμών πραγματοποιείται μία ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν.

Ύστερα από την πρωταρχική διεργασία της συγκέντρωσης των μετρήσεων προέκυψε ότι οι παραθαλάσσιοι σταθμοί εμφανίζουν μεγαλύτερες χρονοσειρές διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων. Το γεγονός αυτό οδήγησε στο συμπέρασμα ότι προηγήθηκε ιστορικά η μελέτη της κλιματικής συμπεριφοράς των κοντινών στη θάλασσα περιοχών έναντι των ηπειρωτικών. Πιθανό συμπέρασμα είναι, επίσης, ότι οι παραθαλάσσιοι σταθμοί τυγχάνουν πιο τακτικής συντήρησης. Ακόμη, παρατηρήθηκε ότι στις εύκρατες περιοχές τύπου C, όπου και συγκεντρώνεται το σύνολο σχεδόν των αρχαιότερων πολιτισμών υπάρχει ευρύ φάσμα δεδομένων θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, ενώ σε περιοχές τύπων A και B όπου συναντώνται τροπικά και ξηρά κλίματα (Αμαζόνιος, έρημος Σαχάρα) τα δεδομένα περιορίζονται σε μικρότερο χρονικό εύρος.

Από τη σύγκριση των στατιστικών χαρακτηριστικών της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών για το σύνολο των κλιματικών υποκατηγοριών προέκυψαν ποικίλα συμπεράσματα. Οι σταθμοί του κλιματικού τύπου A εμφανίζουν πιο έντονη εποχικότητα θερμοκρασίας κοντά στη θάλασσα. Η τυπική απόκλιση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών είναι μεγαλύτερη στους παραθαλάσσιους σταθμούς περιοχών τύπου A. Το αντίθετο συμβαίνει σε κλιματικές περιοχές τύπου B. Ωστόσο, οι μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και οι διακυμάνσεις αυτών από έτος σε έτος εμφανίζονται μεγαλύτερες στους κοντινούς σταθμούς στη θάλασσα τύπου B. Σε κλίματα τύπου C παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερα ετήσια εύρη θερμοκρασιών συναντώνται στις ηπειρωτικές περιοχές. Το ίδιο σημειώθηκε για αρκετούς τύπους κλίματος D. Η εποχικότητα στις μηνιαίες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις των B και D κλιματικών περιοχών εμφανίζεται εντονότερη στους ηπειρωτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς. Τέλος, σε κλίματα τύπου D οι τυπικές αποκλίσεις των βροχοπτώσεων εμφανίζονται μεγαλύτερες στους παραθαλάσσιους σταθμούς.

Κατά τη μελέτη των έξι (6) επικρατέστερων κλιματικών τύπων προέκυψε το συμπέρασμα ότι αυτοί μπορούν να ομαδοποιηθούνε βάσει της συσχέτισης μεταξύ των

στατιστικών παραμέτρων των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης και θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα, οι περιοχές που ανήκουν στις κλιματικές υποκατηγορίες Aw, Bwh, Cfa και Cfb εμφανίζουν συνδυασμούς μεταξύ των στατιστικών παραμέτρων βροχόπτωσης οι οποίοι κατηγοριοποιούν μοναδικά την κάθε κατηγορία. Από την άλλη, για περιοχές που ανήκουν στους κλιματικούς τύπους Csa και Dfc δεν φαίνεται να συμβαίνει κάτι παρόμοιο. Ωστόσο, μία αμυδρή διαφορετικότητα εμφανίζεται κατά τη συσχέτιση των τιμών υπερετήσιας διακύμανσης και των μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης των Csa και Dfc περιοχών.

Από την προσαρμογή της κατανομής Γενικών Ακραίων Τιμών στις μέγιστες ημερήσιες βροχοπτώσεις των σταθμών, διαπιστώθηκε ότι η μέθοδος της ελαχιστοποίησης του μέσου τετραγωνικού σφάλματος προσεγγίζει καλύτερα τις ακραίες τιμές. Η μέθοδος των ροπών απορρίφθηκε ως λιγότερο αποτελεσματική. Διαπιστώθηκε, ακόμη, πως καλύτερη προσαρμογή συνέβαινε για μεγαλύτερες τιμές της παραμέτρου σχήματος  $\kappa$  της κατανομής ΓΑΤ. Η διαδικασία της προσαρμογής της κατανομής πραγματοποιήθηκε για 10 σταθμούς της κάθε μίας από τις 6 υπό μελέτη κλιματικές υποκατηγορίες. Υπολογίστηκε η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της παραμέτρου σχήματος  $\kappa$  κατά τις διαδικασίες προσαρμογής. Διαπιστώθηκε ότι οι σταθμοί Aw και Bwh εμφανίζουν μεγαλύτερες μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις της παραμέτρου  $\kappa$ . Το γεγονός αυτό καταδεικνύει κατ' αρχήν τη βέλτιστη προσαρμογή της κατανομής στους δύο αυτούς τύπους. Η υψηλή τυπική απόκλιση του δείκτη  $\kappa$  αποτελεί ένδειξη της πιθανότητας η κατανομή να προσεγγίζει τα ακραία ημερήσια μέγιστα πολύ καλά (υψηλές τιμές του  $\kappa$ ), αλλά και τις περιπτώσεις η προσαρμογή να μην είναι ιδιαίτερα επιτυχής (χαμηλές τιμές του  $\kappa$ ). Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι στα τροπικά (A) και ξηρά (B) κλίματα οι ακραίες ημερήσιες βροχοπτώσεις που πρόκειται να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια του έτους ενδέχεται να απέχουν πολύ (2,5-3 φορές μεγαλύτερες) από τα συνήθη μέγιστα ημερήσια γεγονότα υετού.

Συγκρίθηκε το ποσοστό του λόγου της μέγιστης ημερήσιας βροχής ενός έτους προς το αντίστοιχο ετήσιο αθροιστικό ύψος βροχής για έναν κοντινό και έναν απομακρυσμένο από τη θάλασσα σταθμό για κάθε μία από τις κλιματικές υποκατηγορίες Aw, Bwh, Cfa, Cfb, Csa και Dfc. Προέκυψε ότι οι σταθμοί που ανήκουν στους τύπους Aw, Bwh, Csa και βρίσκονται κοντά στη θάλασσα εμφανίζουν πιο ακραία ημερήσια γεγονότα βροχής. Για τις κλιματικές κατηγορίες Cfa και Dfc διαπιστώθηκε ότι η εγγύτητα των σταθμών στη θάλασσα δεν διαδραματίζει παράγοντα εμφάνισης ή μη ακραίων βροχών. Τέλος, ο κοντινός στη θάλασσα σταθμός του τύπου Cfb εμφάνισε πιο ήπιες μέγιστες ημερήσιες βροχές απ' ό,τι ο ηπειρωτικός σταθμός.

Εντοπίστηκαν οι μήνες κατά τους οποίους εμφανίζεται η μέγιστη βροχόπτωση στους σταθμούς κοντά και μακριά από τη θάλασσα κατά τη διάρκεια του έτους για τους διάφορους κλιματικούς τύπους A, B, C και D. Οι μήνες, με τη σειρά τους, ομαδοποιήθηκαν στις 4 εποχές του έτους. Διαπιστώθηκε ότι για το σύνολο των A σταθμών η μέγιστη βροχόπτωση συμβαίνει σε μήνα του φθινοπώρου. Παρόμοια συμπεριφορά εμφανίζουν οι απομακρυσμένοι από τη θάλασσα σταθμοί, ενώ στους σταθμούς κοντά στη θάλασσα οι μέγιστες βροχοπτώσεις συμβαίνουν κυρίως το καλοκαίρι. Στα ξηρά κλίματα B οι συνολικοί σταθμοί καθώς και οι σταθμοί μακριά από τη θάλασσα εμφανίζουν ακραία γεγονότα βροχής κατά το χειμερινό τρίμηνο. Στους παραθαλάσσιους, ωστόσο, σταθμούς μέγιστες βροχές συμβαίνουν σε ανάλογο ποσοστό τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Στα υγρά κλίματα με ήπιους χειμώνες C μέγιστες βροχοπτώσεις συμβαίνουν το καλοκαίρι τόσο για το σύνολο όσο και για τους κοντινούς και απομακρυσμένους από τη θάλασσα σταθμούς. Δευτερεύον ποσοστό εμφάνισης της μέγιστης βροχής αποτελεί η εποχή του χειμώνα. Τόσο το σύνολο των σταθμών όσο και οι ηπειρωτικοί σταθμοί των υγρών κλιμάτων με ψυχρούς χειμώνες D εμφανίζουν ακραίες βροχές κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Στους παραθαλάσσιους σταθμούς η πλειονότητα των μέγιστων βροχοπτώσεων συμβαίνει μεν το καλοκαίρι αλλά σημαντικό ποσοστό μετατοπίζεται την εποχή του φθινοπώρου.

Στο τελευταίο στάδιο της εργασίας εξετάστηκε η μεταβολή στις μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για το σύνολο των σταθμών οι οποίοι μελετήθηκαν. Η σύγκριση έγινε μεταξύ της περιόδου 1900-1935 και 1971-2005. Παρατηρήθηκε αύξηση της θερμοκρασίας κυρίως σε παραθαλάσσιες περιοχές. Συγκεκριμένα, ο κοντινός σταθμός στη θάλασσα τύπου Am εμφάνισε αυξημένη θερμοκρασία στο σύνολο των μηνών του έτους σε σχέση με την 1<sup>η</sup> κλιματική περίοδο 1900-1935. Στον τύπο Aw ο παραθαλάσσιος σταθμός εμφανίζει υψηλότερες θερμοκρασίες σε δύο μήνες του έτους. Οι κοντινοί στη θάλασσα σταθμοί των τύπων Cwb, Dfb και Dwa εμφάνισαν υψηλότερες θερμοκρασίες σε αντίστοιχα 1, 2 και 6 μήνες του έτους. Από την άλλη, ο ηπειρωτικός σταθμός Dfd εμφανίζεται θερμότερος σε έναν από τους δώδεκα μήνες του έτους.

## 5.2 Προτάσεις

Για μία ακόμη πιο λεπτομερή μελέτη της μεταβλητότητας του κλίματος βάσει των παραδοχών της κατάταξης Köppen προτείνεται η συλλογή δεδομένων από περισσότερους σταθμούς για την κάθε κλιματική κατηγορία. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε ένας κοντινός και ένας απομακρυσμένος από τη θάλασσα σταθμός. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν, επομένως, είναι κυρίως ποιοτικά. Για να γίνει μία γενίκευση των αποτελεσμάτων ανά

κλιματικό τύπο επιβάλλεται η μελέτη των δεδομένων μεγάλου πλήθους μετεωρολογικών σταθμών.

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

---

### Στην ελληνική γλώσσα

- Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος, *Τεχνική Υδρολογία*, Έκδοση 3, 418 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1999.
- Μαμάσης και Κουτσογιάννης, *Υδρομετεωρολογία, Κλιματολογία και κλιματική αλλαγή*, Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2010.
- Νεραντζάκη Σοφία, Πιθανοτικές κατανομές ακραίων βροχοπτώσεων, Εφαρμογή σε παγκόσμια κλίμακα, Διπλωματική εργασία, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, Νοέμβριος 2012.
- Φαρμακάκη Αικατερίνη, *Κλιματικός Άτλαντας Ελλάδος*, Διεπιστημονικό-Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Περιβάλλον και Ανάπτυξη», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2012.

### Ξενόγλωσσες

- Bagrow L., *History of Cartography*, London, 1964.
- Cannon A.J., *Köppen versus the computer: comparing Köppen-Geiger and multivariate regression tree climate classifications in terms of climate homogeneity*, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, 201-401 Burrard Street, Vancouver, V6C 3S5, BC, Canada, 2011.
- Christoph Beck, Jurgen Grieser, Markus Kottek, Franz Rubel and Bruno Rudolf, *Characterizing global climate change by means of Köppen climate classification*, Global Precipitation Climatology Centre, Offenbach Germany, 2005.
- Easterling D., Evans J., Groisman P., *Observed variability and trends in extreme climate events*, American Meteorological Society, 2000.
- Hamed, K.H., *Trend detection in hydrologic data: The Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis*, Journal of Hydrology, 349(3-4), 350-363, 2008.
- Harley J.B., Woodward D., *Cartography in prehistoric, ancient, and medieval Europe and the Mediterranean* 1987, University of Chicago, 1987.
- Katz R., Brown B., *Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages*, Environmental and Societal Impacts Group, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado USA 1992.
- Koutsoyiannis D., *Climate change, the Hurst phenomenon, and hydrological statistics*, Hydrological Sciences Journal, February 2003.
- Koutsoyiannis D., *Hydrology and Change*, Hydrological Sciences Journal, 2013.
- Lloyd Arnold Brown, *The Story of Maps*, Dover Publications, 1979.
- Marie Sanderson, *The Classification of Climates from Pythagoras to Koeppen*, Department of Geography, University of Waterloo, Waterloo Ontario, Canada, 1999.



- Markonis, Y., and D. Koutsoyiannis, *Climatic variability over time scales spanning nine orders of magnitude: Connecting Milankovitch cycles with Hurst–Kolmogorov dynamics*, *Surveys in Geophysics*, 34 (2), 181–207, 2013.
- Markus Kottek, Jurgen Grieser, Christophe Beck, Bruno Rudolf and Franz Rubel, *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*, Biometeorology Group, University of Veterinary Medicine Vienna, Austria, 2005.
- Mason B.J., *Towards the understanding and prediction of climatic variations*, *Quart. J. of the R. Meteorological Society*, 1976.
- New M., Hulme M. and Jones P., *Representing Twentieth-Century Space–Time Climate Variability*, American Meteorological Society, 2000.
- Papalexioy, S.M. and D. Koutsoyiannis, *Battle of extreme value distributions: A global survey on extreme daily rainfall*, Department of Water Resources, Faculty of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Zographou, Greece, 2013.
- Saliinger J., Sivakumar M., Motha R., *Increasing climate variability and change*, Springer 2005.
- Wanner H., Grosjean M., Rothlisberger R., Xoplaki E., *Climate Variability, Predictability and Climate Risks*, Springer 2006.

## **Διαδίκτυο**

<http://www.britannica.com/>

<http://en.wikipedia.org>

<http://knmi.nl/>

<http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/>

<http://climexp.knmi.nl/selectstation.cgi>

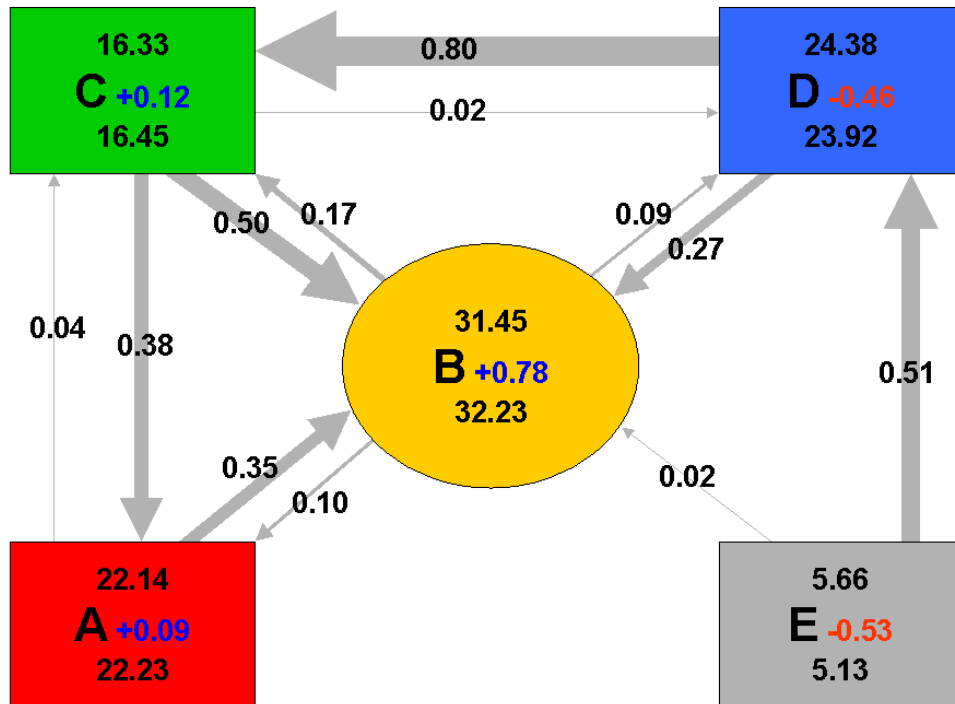
<http://www.meteoclub.gr>

<http://www.neilson.co.za/?p=9>

<http://www.neilson.co.za/downloads/ClusterAnalysis.bas>

<http://www.monarchlab.org/Lab/Research/Stats/2SampleT.aspx>

## Παράρτημα



Σχήμα Π-1: Διάγραμμα απεικόνισης των μεταβολών μεταξύ των κλιματικών τύπων.

### Αλγόριθμος ανάλυσης συστάδων σε μέσους όρους κ (Sheldon Neilson)

Attribute VB\_Name = "ClusterAnalysis"

```

'-----
' Module   : ClusterAnalysis
' Author   : Sheldon Neilson
' Website  : www.neilson.co.za
' Date     : 2011/09/01
' Purpose  : k-Means Cluster Analysis
'-----

```

```

Private Type Records
    Dimension() As Double
    Distance() As Double
    Cluster As Integer
End Type

```

```

Dim Table As Range
Dim Record() As Records
Dim Centroid() As Records

```

Sub Run()

```

'Run k-Means
  If Not kMeansSelection Then
    Call MsgBox("Error: " & Err.Description, vbExclamation, "kMeans Error")
  End If
End Sub

Function kMeansSelection() As Boolean
'Get user table selection
  On Error Resume Next
  Set Table = Application.InputBox(Prompt:= _
    "Please select the range to analyse.", _
    title:="Specify Range", Type:=8)

  If Table Is Nothing Then Exit Function    'Cancelled

  'Check table dimensions
  If Table.Rows.Count < 4 Or Table.columns.Count < 2 Then
    Err.Raise Number:=vbObjectError + 1000, Source:="k-Means Cluster Analysis",
Description:="Table has insufficient rows or columns."
  End If

  'Get number of clusters
  Dim numClusters As Integer
  numClusters = Application.InputBox("Specify Number of Clusters", "k Means Cluster Analysis",
Type:=1)

  If Not numClusters > 0 Or numClusters = False Then
    Exit Function    'Cancelled
  End If
  If Err.Number = 0 Then
    If kMeans(Table, numClusters) Then
      outputClusters
    End If
  End If

kMeansSelection_Error:
  kMeansSelection = (Err.Number = 0)
End Function

Function kMeans(Table As Range, Clusters As Integer) As Boolean
'Table - Range of data to group. Records (Rows) are grouped according to
attributes/dimensions(columns)
'Clusters - Number of clusters to reduce records into.

  On Error Resume Next

  'Script Performance Variables
  Dim PassCounter As Integer

  'Initialize Data Arrays
  ReDim Record(2 To Table.Rows.Count)
  Dim r As Integer    'record
  Dim d As Integer    'dimension index
  Dim d2 As Integer   'dimension index
  Dim c As Integer    'centroid index

```

```

Dim c2 As Integer    'centroid index
Dim di As Integer    'distance

Dim x As Double      'Variable Distance Placeholder
Dim y As Double      'Variable Distance Placeholder

For r = LBound(Record) To UBound(Record)
    'Initialize Dimension Value Arrays
    ReDim Record(r).Dimension(2 To Table.columns.Count)
    'Initialize Distance Arrays
    ReDim Record(r).Distance(1 To Clusters)
    For d = LBound(Record(r).Dimension) To UBound(Record(r).Dimension)
        Record(r).Dimension(d) = Table.Rows(r).Cells(d).Value
    Next d
Next r

'Initialize Initial Centroid Arrays
ReDim Centroid(1 To Clusters)
Dim uniqueCentroid As Boolean

For c = LBound(Centroid) To UBound(Centroid)
    'Initialize Centroid Dimension Depth
    ReDim Centroid(c).Dimension(2 To Table.columns.Count)

    'Initialize record index to next record
    r = LBound(Record) + c - 2

    Do      ' Loop to ensure new centroid is unique
        r = r + 1      'Increment record index throughout loop to find unique record to use as a centroid

        'Assign record dimensions to centroid
        For d = LBound(Centroid(c).Dimension) To UBound(Centroid(c).Dimension)
            Centroid(c).Dimension(d) = Record(r).Dimension(d)
        Next d

        uniqueCentroid = True

        For c2 = LBound(Centroid) To c - 1

            'Loop Through Record Dimensions and check if all are the same
            x = 0
            y = 0
            For d2 = LBound(Centroid(c).Dimension) To _
                UBound(Centroid(c).Dimension)
                x = x + Centroid(c).Dimension(d2) ^ 2
                y = y + Centroid(c2).Dimension(d2) ^ 2
            Next d2

            uniqueCentroid = Not Sqr(x) = Sqr(y)
            If Not uniqueCentroid Then Exit For
        Next c2

        Loop Until uniqueCentroid
    Do

Next c

```

'Calculate Distances from Centroids

Dim lowestDistance As Double

Dim lastCluster As Integer

Dim ClustersStable As Boolean

Do 'While Clusters are not Stable

PassCounter = PassCounter + 1

ClustersStable = True 'Until Proved otherwise

'Loop Through Records

For r = LBound(Record) To UBound(Record)

lastCluster = Record(r).Cluster

lowestDistance = 0 'Reset lowest distance

'Loop through record distances to centroids

For c = LBound(Centroid) To UBound(Centroid)

=====

' Calculate Elucidean Distance

=====

'  $d(p,q) = \text{Sqr}((q1 - p1)^2 + (q2 - p2)^2 + (q3 - p3)^2)$

-----

'  $X = (q1 - p1)^2 + (q2 - p2)^2 + (q3 - p3)^2$

'  $d(p,q) = X$

x = 0

y = 0

'Loop Through Record Dimensions

For d = LBound(Record(r).Dimension) To \_

UBound(Record(r).Dimension)

y = Record(r).Dimension(d) - Centroid(c).Dimension(d)

y = y ^ 2

x = x + y

Next d

x = Sqr(x) 'Get square root

'If distance to centroid is lowest (or first pass) assign record to centroid cluster.

If c = LBound(Centroid) Or x < lowestDistance Then

lowestDistance = x

'Assign distance to centroid to record

Record(r).Distance(c) = lowestDistance

'Assign record to centroid

Record(r).Cluster = c

End If

Next c

'Only change if true

If ClustersStable Then ClustersStable = Record(r).Cluster = lastCluster

Next r

```

'Move Centroids to calculated cluster average
For c = LBound(Centroid) To UBound(Centroid)   'For every cluster

    'Loop through cluster dimensions
    For d = LBound(Centroid(c).Dimension) To _
        UBound(Centroid(c).Dimension)

        Centroid(c).Cluster = 0   'Reset number of records in cluster
        Centroid(c).Dimension(d) = 0   'Reset centroid dimensions

        'Loop Through Records
        For r = LBound(Record) To UBound(Record)

            'If Record is in Cluster then
            If Record(r).Cluster = c Then
                'Use to calculate avg dimension for records in cluster

                'Add to number of records in cluster
                Centroid(c).Cluster = Centroid(c).Cluster + 1
                'Add record dimension to cluster dimension for later division
                Centroid(c).Dimension(d) = Centroid(c).Dimension(d) + _
                    Record(r).Dimension(d)

            End If

        Next r

        'Assign Average Dimension Distance
        Centroid(c).Dimension(d) = Centroid(c).Dimension(d) / _
            Centroid(c).Cluster

    Next d
Next c

Loop Until ClustersStable

kMeans = (Err.Number = 0)
End Function

Function outputClusters() As Boolean

    Dim c As Integer   'Centroid Index
    Dim r As Integer   'Row Index
    Dim d As Integer   'Dimension Index

    Dim oSheet As Worksheet
    On Error Resume Next

    Set oSheet = addWorksheet("Cluster Analysis", ActiveWorkbook)

    'Loop Through Records
    Dim rowNumber As Integer
    rowNumber = 1

    'Output Headings

```

```

With oSheet.Rows(rowNumber)
  With .Cells(1)
    .Value = "Row Title"
    .Font.Bold = True
    .HorizontalAlignment = xlCenter
  End With
  With .Cells(2)
    .Value = "Centroid"
    .Font.Bold = True
    .HorizontalAlignment = xlCenter
  End With
End With

'Print by Row
rowNumber = rowNumber + 1      'Blank Row
For r = LBound(Record) To UBound(Record)
  oSheet.Rows(rowNumber).Cells(1).Value = Table.Rows(r).Cells(1).Value
  oSheet.Rows(rowNumber).Cells(2).Value = Record(r).Cluster
  rowNumber = rowNumber + 1
Next r

'Print Centroids - Headings
rowNumber = rowNumber + 1
For d = LBound(Centroid(LBound(Centroid)).Dimension)
To UBound(Centroid(LBound(Centroid)).Dimension)
  With oSheet.Rows(rowNumber).Cells(d)
    .Value = Table.Rows(1).Cells(d).Value
    .Font.Bold = True
    .HorizontalAlignment = xlCenter
  End With
Next d

'Print Centroids
rowNumber = rowNumber + 1
For c = LBound(Centroid) To UBound(Centroid)
  With oSheet.Rows(rowNumber).Cells(1)
    .Value = "Centroid " & c
    .Font.Bold = True
  End With
  'Loop through cluster dimensions
  For d = LBound(Centroid(c).Dimension) To UBound(Centroid(c).Dimension)
    oSheet.Rows(rowNumber).Cells(d).Value = Centroid(c).Dimension(d)
  Next d
  rowNumber = rowNumber + 1
Next c

oSheet.columns.AutoFit      '//AutoFit columns to contents

outputClusters_Error:
  outputClusters = (Err.Number = 0)
End Function

Function addWorksheet(Name As String, Optional Workbook As Workbook) As Worksheet
  On Error Resume Next
  '// If a Workbook wasn't specified, use the active workbook

```

If Workbook Is Nothing Then Set Workbook = ActiveWorkbook

Dim Num As Integer

// If a worksheet(s) exist with the same name, add/increment a number after the name

While WorksheetExists(Name, Workbook)

Num = Num + 1

If InStr(Name, " (") > 0 Then Name = Left(Name, InStr(Name, " ("))

Name = Name & " (" & Num & ")"

Wend

//Add a sheet to the workbook

Set addWorksheet = Workbook.Worksheets.Add

//Name the sheet

addWorksheet.Name = Name

End Function

Public Function WorksheetExists(WorkSheetName As String, Workbook As Workbook) As Boolean

On Error Resume Next

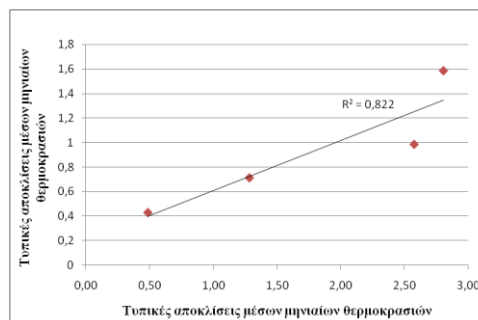
WorksheetExists = (Workbook.Sheets(WorkSheetName).Name <> "")

On Error GoTo 0

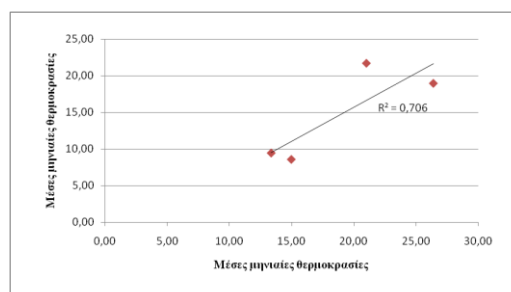
End Function

<http://www.neilson.co.za/downloads/ClusterAnalysis.bas>)

### Σύγκριση στατιστικών παραμέτρων κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών

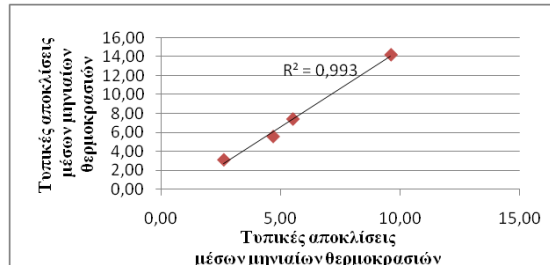


Σχήμα Π-2: Διάγραμμα συσχέτισης των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Α.

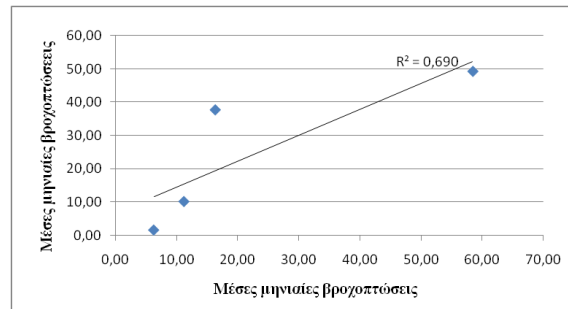


Σχήμα Π-3: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.

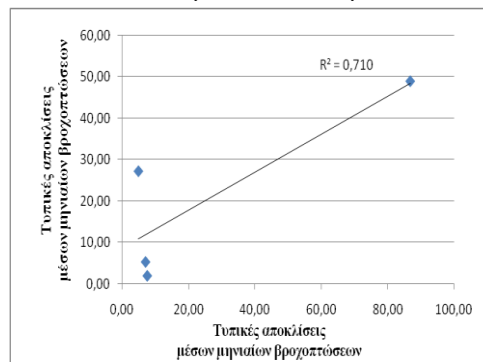




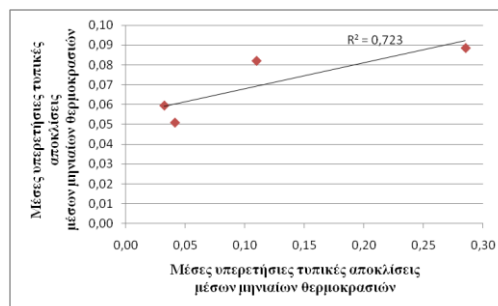
Σχήμα Π-4: Διάγραμμα συσχέτισης των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.



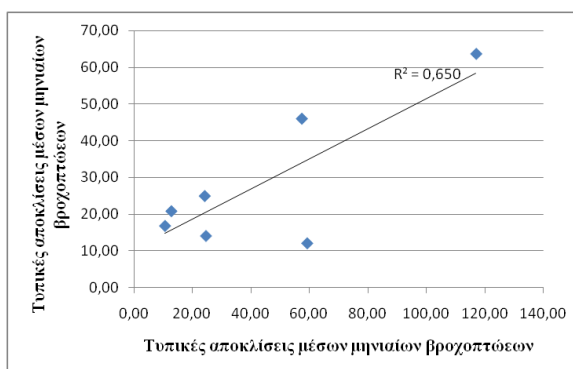
Σχήμα Π-5: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.



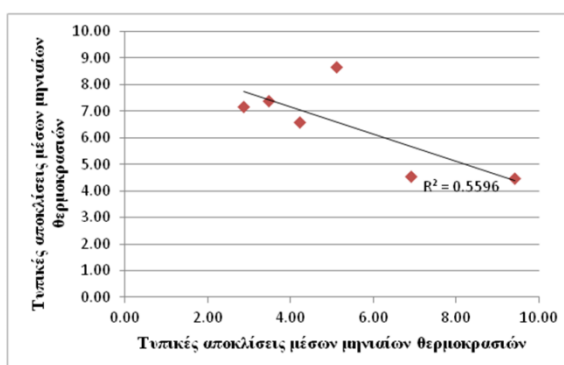
Σχήμα Π-6: Διάγραμμα συσχέτισης των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.



Σχήμα Π-7: Διάγραμμα συσχέτισης μέσων υπερετήσιων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.

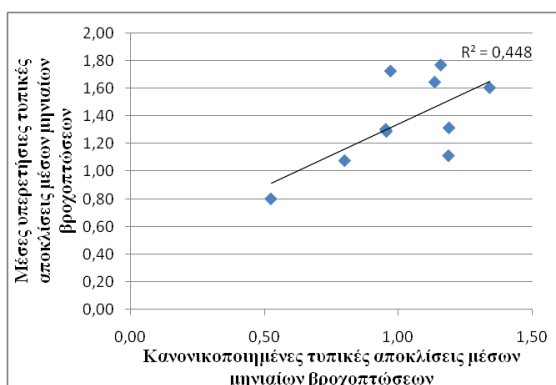


Σχήμα Π-8: Διάγραμμα συσχέτισης τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D.

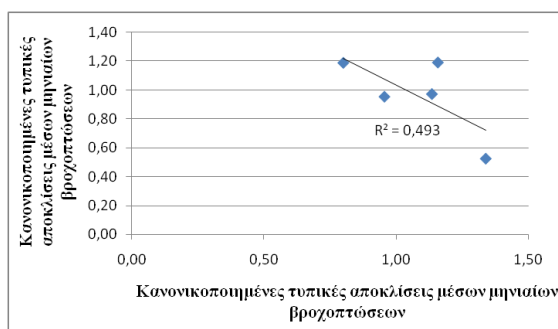


Σχήμα Π-9: Διάγραμμα συσχέτισης τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών των κλιματικών υποκατηγοριών τύπου C.

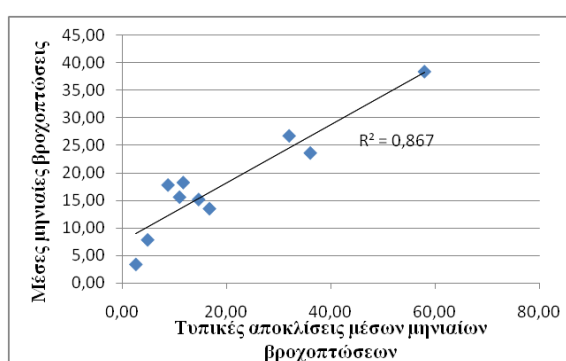
### Έξι (6) επικρατέστεροι κλιματικοί τύποι



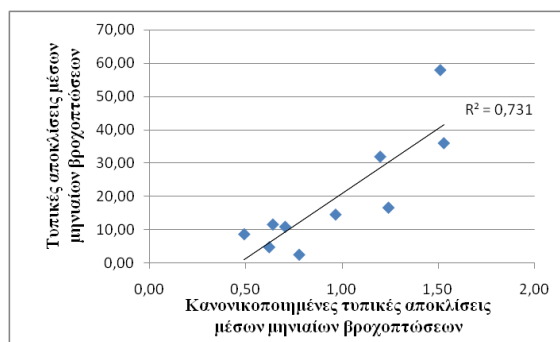
Σχήμα Π-10: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων υπερετήσιων με τις κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Aw.



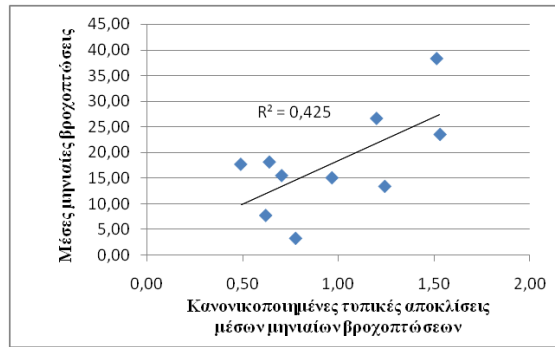
Σχήμα Π-11: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών που ανήκουν στον κλιματικό τύπο Aw.



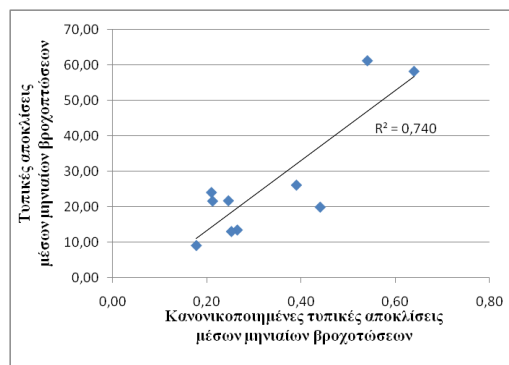
Σχήμα Π-12: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων με τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Bwh.



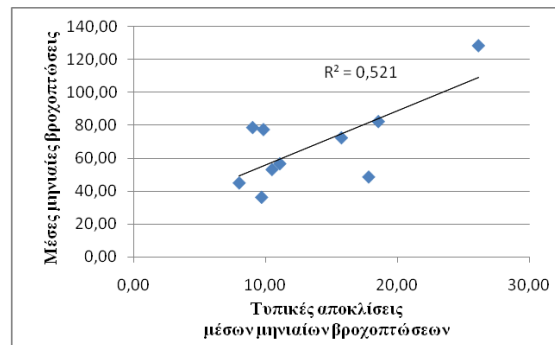
Σχήμα Π-13: Διάγραμμα συσχέτισης των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων με τις κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Bwh.



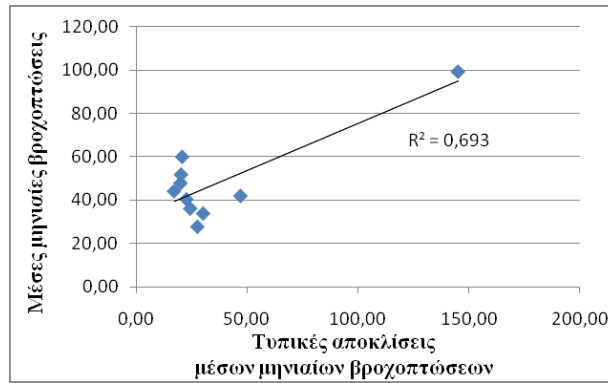
Σχήμα Π-14: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Bwh.



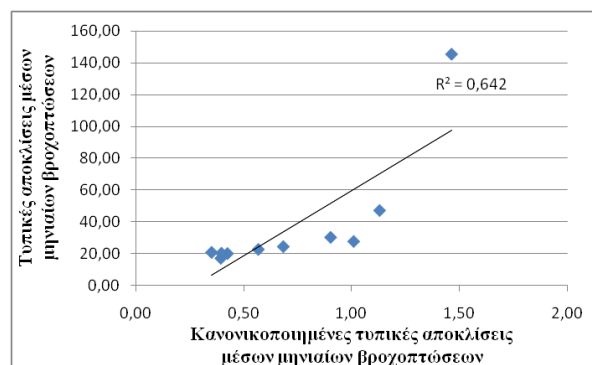
Σχήμα Π-15: Διάγραμμα συσχέτισης των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων με τις κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις αυτών για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Cfa.



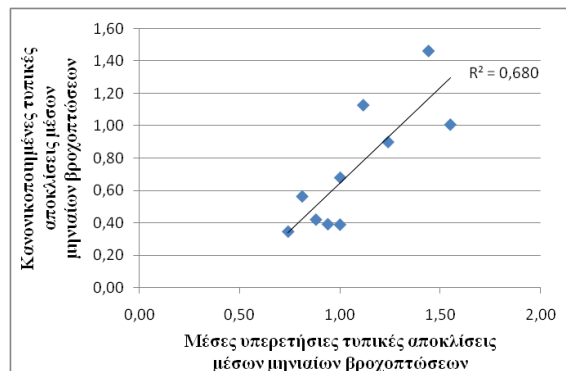
Σχήμα Π-16: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων με τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Cfb.



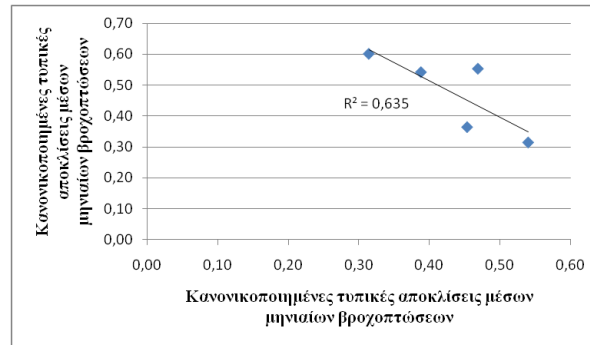
Σχήμα Π-17: Διάγραμμα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων με τις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Csa.



Σχήμα Π-18: Διάγραμμα συσχέτισης των τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων με τις κανονικοποιημένες τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Csa.



Σχήμα Π-19: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων με τις μέσες υπερετήσεις τυπικές αποκλίσεις των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων για τους 10 υπό μελέτη σταθμούς κλιματικού τύπου Csa.



Σχήμα Π-20: Διάγραμμα συσχέτισης των κανονικοποιημένων τυπικών αποκλίσεων των μέσων μηνιαίων βροχοπτώσεων μεταξύ των κοντινών και απομακρυσμένων από τη θάλασσα σταθμών κλιματικού τύπου Dfc.

Πίνακας Π-1: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Α.

		Τύπος Α																	
		Af				Am				Aw				Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	33%	17%	0%	0%	44%	39%	0%	0%	22%	19%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
P	Αύξηση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	8%	0%	3%	0%	3%	0%	3%	0%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	3%	0%

Πίνακας Π-2: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας κλιματικών υποκατηγοριών τύπου Β.

		Τύπος Β													
		Bwk				Bwh				Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	0%	0%	0%	0%	67%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	17%	0%
	Μείωση	8%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	4%	0%	3%	0%	3%	0%
P	Αύξηση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	3%	0%	1%	0%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Πίνακας Π-3: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας κλιματικών υποκατηγοριών τύπου C.

		Τύπος C																	
		Csa				Csb				Cwa				Cwb					
		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά			
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%		
T	Αύξηση	92%	0%	33%	0%	17%	0%	8%	0%	8%	0%	17%	0%	8%	8%	0%	0%		
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	8%		
P	Αύξηση	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
		Cfa				Cfb				Cfc				Σύνολο					
		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Σύνολο	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	25%	0%	17%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%			25%	1%	11%	0%	18%	1%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%			2%	0%	2%	1%	2%	1%
P	Αύξηση	25%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			4%	0%	2%	0%	3%	0%
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			0%	0%	0%	0%	0%	0%

Πίνακας Π-4: Εκτίμηση μακροχρόνιας κλιματικής μεταβλητότητας κλιματικών υποκατηγοριών τύπου D.

		Τύπος D																			
		Dfa				Dfb				Dfc				Dfd				Dsa			
		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση	0%	0%	0%	0%	42%	17%	0%	0%	17%	0%	8%	0%			25%	8%	0%	0%		
	Μείωση	8%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%	0%	0%			0%	0%	0%	0%		
P	Αύξηση	17%	0%	8%	0%	8%	0%	8%	0%	8%	0%	8%	0%			0%	0%	0%	0%		
	Μείωση	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			0%	0%	0%	0%		
		Dsb				Dwa				Dwb				Dwc				Dwd			
		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά		Κοντά		Μακριά	
		1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%	1%	0,001%
T	Αύξηση			0%	0%	83%	50%	8%	0%	0%	0%	25%	0%			0%	0%			8%	0%
	Μείωση			0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%			8%	0%			0%	0%
P	Αύξηση			0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	0%	0%	0%			0%	0%			8%	0%
	Μείωση			0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			0%	0%			0%	0%