

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ**

# **ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΥΠΟ ΚΑΙΡΟΥ**

**ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΝΙΚΟΛΑΟΣ Π. ΜΑΜΑΣΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ 1997**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

<b>1.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</b>	<b>2</b>
1.1.1 Γενικά	2
1.1.2 Κατατάξεις τύπων καιρού	3
1.1.3 Γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης	4
1.1.4 Ισχυρές καταιγίδες και πλημμύρες	5
1.1.5 Στοχαστικά και προσδιοριστικά μοντέλα	6
1.1.6 Χρονοσειρές εκδήλωσης τύπων καιρού	8
1.1.7 Η μελέτη της βροχής κατά τύπο καιρού στη βιβλιογραφία	9
<b>1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ</b>	<b>10</b>
<b>1.3 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ - ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΣΗΜΕΙΑ</b>	<b>12</b>
1.3.1 Γενικά	12
1.3.2 Συμβολή στην επιστημονική έρευνα και τεχνολογία	13
1.3.3 Πρωτότυπα σημεία	15

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ

<b>2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>18</b>
<b>2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ</b>	<b>21</b>
2.2.1 Γενικά	21
2.2.2 Κατάταξη Mc Cabe [1989]	21
<b>2.3 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ</b>	<b>23</b>
2.3.1 Γενικά	23

2.3.2 Κατάταξη Shaw [1962]	24
2.3.3 Κατάταξη Huff [1969]	25
2.3.4 Κατάταξη Barnsley et al. [1995]	25
<b>2.4 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ</b>	<b>26</b>
2.4.1 Εισαγωγή	26
2.4.2 Αναδρομή στις κατατάξεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας	27
2.4.3 Κατάταξη Baur et al. [1944]	30
2.4.4 Κατάταξη Lamb [1972]	32
2.4.5 Κατάταξη Scuepp [1968]	34
2.4.6 Κατάταξη Conte και Colacino [1995]	35
2.4.7 Κατάταξη Brandley [1982]	37
2.4.8 Κατάταξη Wilson et al. [1991]	38
2.4.9 Κατάταξη McCabe [1994]	38
2.4.10 Κατάταξη Hughes και Guttorp [1994]	39
<b>2.5 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ</b>	<b>40</b>
2.5.1 Εισαγωγή	40
2.5.2 Κατάταξη Καραλή [1969]	41
2.5.3 Κατάταξη Λαλιώτη [1977]	44
2.5.4 Ανάλυση συνοπτικών καταστάσεων Καραπιπέρη [1974]	45
<b>2.6 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΑΗΕΡΑΣ [1979]</b>	<b>46</b>
2.6.1 Εισαγωγή	46
2.6.2 Αντικυκλωνικοί τύποι	47
2.6.3 Υφεσιακοί τύποι	50
2.6.4 Μικτοί τύποι	54
2.6.5 Χαρακτηριστικοί τύποι	55

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ**

<b>3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ</b>	<b>61</b>
3.2.1 Θεωρητική βάση	61
3.2.2 Χωροχρονικές κλίμακες	62
<b>3.3 ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ</b>	<b>64</b>
3.3.1 Γενικά	64
3.3.2 Μοντέλα κλιμάκωσης	67
<b>3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ</b>	<b>69</b>
3.4.1 Γενικά	69
3.4.2 Δυναμικά ατμοσφαιρικά μοντέλα	69
3.4.3 Ένα προσδιοριστικό μοντέλο με φυσική θεωρητική βάση	76
<b>3.5 ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ</b>	<b>77</b>
3.5.1 Γενικά	77
3.5.2 Δύο πρόσφατες εμπειρικές προσεγγίσεις	78
3.5.3 Μοντέλα radar	79
3.5.4 Κίνηση βροχής (rainfall movement)	80
<b>3.6 ΕΝΑ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΡΟΧΗΣ</b>	<b>81</b>
<b>3.7 ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ</b>	<b>83</b>
3.7.1 Γενικά	83
3.7.2 Μοντέλα βροχής κατά τύπο καιρού	84

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΥΠΟ ΚΑΙΡΟΥ**

<b>4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>90</b>
<b>4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>91</b>
4.2.1 Περιοχή μελέτης	91

4.2.2 Βροχομετρικά δεδομένα	96
4.2.3 Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας	97
<b>4.3 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ</b>	<b>98</b>
4.3.1 Μέθοδοι εκτίμησης επιφανειακής βροχόπτωσης και παρεμβολής επιφανειών	98
4.3.2 Περιγραφή των μεθόδων παρεμβολής που εφαρμόστηκαν	104
4.3.3 Μεθοδολογία κατάρτισης επιφανειών	108
4.3.4 Παρουσίαση δεδομένων επιφανειών	110
<b>4.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΧΩΡΟ</b>	<b>113</b>
4.4.1 Εισαγωγή	113
4.4.2 Στατιστικές επιφάνειες	113
4.4.3 Χωρική ολοκλήρωση ημερήσιας βροχής σε υποπεριοχές	125
4.4.4 Χωρική συσχέτιση επιφανειών βροχής	134
4.4.5 Κατάρτιση εμπειρικών ημιμεταβλητογραμμάτων	137
<b>4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>140</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ**

<b>5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>143</b>
<b>5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ</b>	<b>144</b>
5.2.1 Συχνότητα εκδήλωσης τύπων καιρού	144
5.2.2 Ανάλυση μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης τύπων καιρού	145
5.2.3 Ανάλυση διαδοχής τύπων καιρού	152
<b>5.3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ</b>	<b>160</b>
5.3.1 Επίδραση των τύπων καιρού στη μηνιαία βροχόπτωση	160
5.3.2 Επίδραση των τύπων καιρού στη γεωγραφική κατανομή υγρών και ξηρών περιόδων	165

<b>5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>170</b>
-------------------------	------------

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ**

<b>6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	<b>173</b>
<b>6.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b>	<b>174</b>
6.2.1 Δεδομένα βροχής	174
6.2.2 Δεδομένα πλημμυρών	178
<b>6.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΡΟΧΗΣ</b>	<b>179</b>
6.3.1 Συχνότητες εκδήλωσης τύπων καιρού και ισχυρών καταιγίδων	179
6.3.2 Χαρακτηριστικά επεισοδίου βροχής κατά τύπο καιρού	184
6.3.3 Δομή συσχέτισης των ωριαίων υψών βροχής	193
6.3.4 Σύγκριση των χαρακτηριστικών της βροχής με ανάλογες εργασίες	200
<b>6.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΒΡΟΧΗΣ</b>	<b>201</b>
6.4.1 Εισαγωγή	201
6.4.2 Στοχαστική προσομοίωση επεισοδίων βροχής	204
<b>6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ</b>	<b>207</b>
<b>6.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ</b>	<b>209</b>
<b>6.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>212</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

<b>7.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ</b>	<b>215</b>
<b>7.2 SUMMARY</b>	<b>217</b>
<b>7.3 ΣΗΜΕΙΑ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ</b>	<b>218</b>
7.3.1 Γενικά	218
7.3.2 Βροχόπτωση και τύποι καιρού	219
7.3.3 Ανίχνευση ομοίων καταστάσεων καιρού με τη χρήση μετεωρολογικών μεταβλητών	221
7.3.4 Βάση δεδομένων συνοπτικών καταστάσεων	225
<b>7.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	<b>226</b>

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

<b>ΒΙΒΛΙΑ</b>	<b>231</b>
<b>ΜΕΛΕΤΕΣ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ</b>	<b>231</b>
<b>ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ</b>	<b>234</b>

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διατριβής, αισθάνομαι την ανάγκη να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε εκείνους που με βοήθησαν, και μου συμπαραστάθηκαν κατά το χρονικό διάστημα εκπόνησής της.

Πρώτα θα ήθελα να αναφερθώ στα τρία μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, τα οποία ανέλαβαν το φορτίο παρακολούθησης αυτής της διατριβής. Ο **Δημήτρης Κουτσογιάννης**, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ, μου ενέπνευσε τη δικιά του επιστημονική ανησυχία, με δίδαξε όλα αυτά τα χρόνια την επιστημονική μεθοδολογία και πρακτική, ενώ με την πολύ μεγάλη γνώση και εμπειρία του σε πολλούς επιστημονικούς τομείς, με καθοδήγησε με σιγουριά και μεθοδικότητα, έως και την ολοκλήρωση της εργασίας. Η **Μαρία Μιμίκου**, Καθηγήτρια ΕΜΠ, παρακολούθησε πολύ στενά την εκπόνηση και συνέβαλε ουσιαστικά στην δομή της εργασίας, ενώ αρκετές φορές μου υπενθύμισε ότι η ιδιότητα μου σαν μηχανικού πρέπει να αντικατοπτρίζεται στο περιεχόμενό της. Ο **Θεμιστοκλής Ξανθόπουλος**, Καθηγητής ΕΜΠ, επιβλέπων της διατριβής, δημιούργησε και προστάτευσε όλα αυτά τα χρόνια ένα ζωτικό χώρο, μέσα στον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί επιστημονική έρευνα. Με την πραγματικά μεγάλη επιστημονική και κοινωνική εμπειρία του, με βοήθησε ουσιαστικά σε πάρα πολλά ζητήματα.

Στη συνέχεια θα πρέπει να αναφερθώ στους επιστήμονες εκείνους που με βοήθησαν σε πολλά επιστημονικά και τεχνικά ζητήματα. Ο **Παναγιώτης Μαχαίρας**, Καθηγητής ΑΠΘ, μου εμπιστεύτηκε το ημερολόγιο τύπων καιρού, προϊόν πολύχρονης εργασίας, χωρίς το οποίο θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση του συγκεκριμένου θέματος, και μου εξήγησε πολλά μετεωρολογικά θέματα. Ο **Μανώλης Αφτιάς**, Λέκτορας ΕΜΠ, πίστεψε στην αρχική ιδέα και με συμβούλεψε σε πολλά σημαντικά θέματα. Η **Έφη Φούφουλα-Γεωργίου**, Αν. Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Μινεζότα ΗΠΑ, με βοήθησε στην κατανόηση και αξιολόγηση των προσεγγίσεων που χρησιμοποιούνται από την διεθνή επιστημονική κοινότητα, για τη μελέτη και μοντελοποίηση της βροχής. Ο **Βαγγέλης Μπαλτάς**, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, με υποστήριξε σε διάφορα επιστημονικά θέματα, ενώ με τη διαρκή παρότρυνσή του συνέβαλε ώστε η εργασία να ολοκληρωθεί σε εύλογο χρονικό διάστημα. Ο **Αντώνης Χριστοφίδης**, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, με βοήθησε καθοριστικά στον χειρισμό και προγραμματισμό πολλών από τα διάφορα πληροφορικά συστήματα που χρησιμοποιήθηκαν.

Σημαντική βοήθεια ακόμη μου προσέφεραν η **Χαρά Ανυφαντή**, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, που με βοήθησε στη συλλογή των πρωτογενών δεδομένων, και οι γραμματείς του Τομέα Υδατικών Πόρων **Φανή Κρεμιζή** και **Δήμητρα Μπουλουγούρη** οι οποίες φιλότιμα με υποστήριξαν σε γραμματειακά θέματα.

Δε θα πρέπει να παραλείψω το **Τομέα Υδατικών Πόρων** που μου διέθεσε τους χώρους, τον τεχνικό εξοπλισμό και το εκπαιδευτικό πλαίσιο για την πραγματοποίηση της διατριβής, ενώ ευχαριστώ θερμά τα μέλη του για τη συμπαράσταση και το φιλικό περιβάλλον.

Ακόμη θέλω να ευχαριστήσω τις υπηρεσίες συλλογής υδρομετεωρολογικών δεδομένων της ΔΕΗ, της ΕΜΥ και του ΥΠΕΧΩΔΕ, οι οποίες μου επέτρεψαν την πρόσβαση στις πρωτογενείς μετρήσεις.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να αναφερθώ στους ανθρώπους εκείνους που ηθελημένα ή αθέλητα μου καλλιέργησαν αμφιβολίες για την σκοπιμότητα εκπόνησης μιας τέτοιας εργασίας, υπενθυμίζοντάς μου το οικονομικό ή επαγγελματικό κόστος. Και αυτούς τους ευχαριστώ γιατί μου έδωσαν την ευκαιρία να αποδείξω, ότι το επιστημονικό ενδιαφέρον μπορεί να υπερνικήσει τα προβλήματα της καθημερινής ζωής.

Τέλος θα πρέπει να αναφερθώ στη σύντροφό μου **Αριστέα Καλού**, για την αμέριστη συμπαράσταση της όλο αυτό το χρονικό διάστημα, ενώ η έκφραση ευχαριστηρίων προς τη μητέρα μου **Μαρία Σκοπελίτη-Μαμάση**, δεν εμπνέεται από τη συνηθισμένη σε αυτές τις περιστάσεις τυπικότητα, αλλά πηγάζει από την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, στη διεκπεραίωση πολλών τυπικών αλλά χρονοβόρων διαδικασιών.



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

**ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ - ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΣΗΜΕΙΑ**

## 1.1 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

### 1.1.1 Γενικά

Η φυσική διεργασία της βροχής και η εξέλιξη της στο χώρο και στο χρόνο παρουσιάζει έντονα τυχαίο χαρακτήρα, και για αυτό οι περισσότερες προσεγγίσεις που στοχεύουν στη μελέτη και μοντελοποίηση του φαινομένου στηρίζονται στη θεωρία των πιθανοτήτων. Σπανιότερα το φαινόμενο μελετάται με τη χρήση προσδιοριστικών προσεγγίσεων, δηλαδή με προσεγγίσεις οι οποίες περιγράφουν με μαθηματικές σχέσεις το μηχανισμό γέννησης της βροχής και θεμελιώνονται στη θερμοδυναμική, τη μηχανική των ρευστών, και τη φυσική των νεφών. Η ανάπτυξη προσεγγίσεων με προσδιοριστική θεωρητική βάση είναι ιδιαίτερα δύσκολη δεδομένης της πολυπλοκότητας του μηχανισμού γέννησης της βροχόπτωσης και της εξάρτησης του φαινομένου από γεωγραφικές, φυσιογραφικές και κλιματικές ιδιαιτερότητες.

Η μελέτη, μοντελοποίηση και πρόγνωση της βροχόπτωσης συνήθως αντιμετωπίζεται με μια βασική προσέγγιση που ανήκει σε κάποια από τις δύο παραπάνω κατηγορίες, πολύ συχνά όμως συμπληρώνεται σε κάποιο βαθμό από προσέγγιση της άλλης κατηγορίας. Στην επιλογή της βασικής προσέγγισης εκτός των άλλων παραγόντων επιδρά καθοριστικά και η χρονική βάση μελέτης του φαινομένου. Όταν η χρονική βάση είναι μεγάλη (μήνας, έτος), η εφαρμογή προσδιοριστικών μεθόδων για τη μελέτη της βροχής είναι ανέφικτη, αφού το φυσικό φαινόμενο γεννιέται, εξελίσσεται και ολοκληρώνεται σε πολύ μικρότερους χρόνους. Ακόμη η σχετικά μικρή μεταβλητότητα και η στατιστική κανονικότητα που παρουσιάζει η βροχή σε αυτές τις χρονικές κλίμακες, συμβάλλουν στην εφαρμογή προσεγγίσεων που στηρίζονται στην θεωρία των πιθανοτήτων για τη μελέτη του φαινομένου. Στις περιπτώσεις που η χρονική βάση είναι μικρή (ημέρα, κλίμακα επεισοδίου, ώρα) ορισμένα χαρακτηριστικά της δομής του φαινομένου της βροχής, όπως η εξάρτηση των διαδοχικών υψών βροχής, περιγράφονται με ικανοποιητική ακρίβεια από τις προσεγγίσεις που στηρίζονται στην θεωρία των πιθανοτήτων. Αντίθετα οι προσεγγίσεις αυτές δεν μπορούν να περιγράψουν άλλα χαρακτηριστικά όπως η ένταση βροχής, η διάρκεια και το συνολικό ύψος του επεισοδίου τα οποία εμφανίζουν μεγάλη μεταβλητότητα, και συνδέονται με τη διαλείπουσα φύση του φαινομένου στις μικρές χρονικές κλίμακες. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι δυνατόν να μελετηθούν με τη χρήση προσδιοριστικών μεθόδων και αυτό έχει αποτέλεσμα η μελέτη, μοντελοποίηση και πρόγνωση της βροχής σε

ημερήσια κλίμακα ή και μικρότερη, να γίνεται αποτελεσματικότερα με το συνδυασμό των δύο προσεγγίσεων.

Η παρούσα εργασία έχει σκοπό να συμβάλλει στο προσδιοριστικό μέρος της μοντελοποίησης της βροχόπτωσης εξετάζοντας τη σε σχέση με τη μορφή και τα χαρακτηριστικά της επικρατούσας συνοπτικής (καιρικής) κατάστασης, υπό την επίδραση της οποίας πραγματοποιήθηκε το φυσικό φαινόμενο. Η προσέγγιση αυτή δεν είναι καθαρά προσδιοριστική αλλά βασίζεται στη εμπειρική στατιστική διαπίστωση ορισμένων χαρακτηριστικών του φαινομένου όταν επικρατεί κάποια συγκεκριμένη καιρική κατάσταση. Τέτοια χαρακτηριστικά είναι η πιθανότητα να εκδηλωθεί καταιγίδα, το ύψος και η διάρκεια του επεισοδίου βροχής, καθώς και η γεωγραφική κατανομή του σε κάποια συγκεκριμένη περιοχή. Η μελέτη της βροχής κατά *τύπο καιρού* λειτουργεί συμπληρωματικά σε όλες τις προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση της βροχής, και αποτελεί ένα ακόμη εργαλείο για τον προσδιορισμό των βασικών χαρακτηριστικών της.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται συνοπτικά οι κύριες συνιστώσες της μελέτης της βροχόπτωσης, και η διερεύνηση που πραγματοποιήθηκε σε σχέση με τους τύπους καιρού. Ακόμη παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των τύπων καιρού, και η συμβολή τους στην κατανόηση και μοντελοποίηση της χωροχρονικής εξέλιξης της βροχής. Τέλος στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζεται η γενική διάρθρωση της εργασίας και επισημαίνονται τα σημεία στα οποία συμβάλλει στην έρευνα και την τεχνολογία που αναπτύσσονται σχετικά με τη βροχόπτωση.

### **1.1.2 Κατατάξεις τύπων καιρού**

Η ομαδοποίηση των "ομοίων" καταστάσεων καιρού και η κατάταξη της βροχής ανάλογα με τον τύπο καιρού που την προκάλεσε, έχει μέχρι τώρα γίνει σε λίγες περιπτώσεις, σε συγκεκριμένους τόπους και κλίματα. Οι ομαδοποιήσεις του καιρού που έχουν μέχρι τώρα χρησιμοποιηθεί μπορούν γενικά να διακριθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που γίνεται η κωδικοποίηση της καιρικής κατάστασης, τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, και τους χάρτες καιρού που εξετάστηκαν. Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι κατατάξεις οι οποίες βασίζονται στις παρατηρημένες τιμές ορισμένων μετεωρολογικών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η ηλιοφάνεια. Οι κατατάξεις αυτές δεν απαιτούν τη χρήση συνοπτικών χαρτών και πρακτικά εκφράζουν τη συσχέτιση ανάμεσα στην βροχή και τις άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι κατατάξεις οι οποίες θεωρούν την παρουσία

συγκεκριμένων μετεωρολογικών σχηματισμών, όπως διάβαση μετώπου (θερμού, ψυχρού, συνεσφιγμένου), παρουσία θερμού τομέα, ύπαρξη θερμικής αστάθειας και άλλα τοπικά μετεωρολογικά φαινόμενα η μορφή των οποίων είναι δυνατόν να ποικίλει στα διάφορα κλίματα. Οι κατατάξεις αυτές απαιτούν τη χρήση μετεωρολογικών χαρτών, αλλά η απαιτούμενη πληροφορία εξάγεται σχετικά εύκολα, και γενικά δεν απαιτεί ιδιαίτερη εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης, δηλαδή εμπειρία στην αναγνώριση και κατανόηση των μετεωρολογικών καταστάσεων με τη χρήση χαρτών καιρού. Τέλος στην τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι κατατάξεις οι οποίες συνδέονται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή μελέτης, όπως οι τροχιές των υφέσεων, οι θέσεις των αντικυκλώνων και η μορφή των ισοβαρών καμπυλών σε διάφορες στάθμες της ατμόσφαιρας. Οι κατατάξεις αυτές απαιτούν τη χρήση χαρτών καιρού, συνήθως σε διαφορετικές στάθμες της ατμόσφαιρας, με σκοπό την τυποποίηση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Η ιδιαιτερότητα της κάθε συνοπτικής κατάστασης καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την κατάταξή της σε κάποιο τύπο, και για το λόγο αυτό απαιτεί αρκετά μεγάλη εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης. Στην κατηγορία αυτή ανήκει και η κατάταξη που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, η οποία έχει εισαχθεί από το Maheras [1979], και σχετίζεται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην ανατολική Μεσόγειο. Η κατάταξη αυτή περιλαμβάνει πέντε αντικυκλωνικούς, έξι υφεσιακούς, δύο μικτούς και τρεις χαρακτηριστικούς τύπους και περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 2.

### **1.1.3 Γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης**

Η επίδραση του τύπου καιρού στη γεωγραφική κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης είναι το πρώτο σημαντικό σημείο που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία. Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μίας συγκεκριμένης περιοχής όπως το ανάγλυφο, η γειτνίαση με τη θάλασσα και ο προσανατολισμός των οροσειρών, σε συνδυασμό με τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά του κάθε τύπου καιρού, προκαλούν διαφορετική χωρική κατανομή της βροχόπτωσης. Η ανάλυση που έγινε δείχνει ότι η επικράτηση ορισμένων τύπων οδηγεί σε πολύ διαφορετικές πιθανότητες να εκδηλωθεί βροχόπτωση μεταξύ των γεωγραφικών περιοχών, και ότι σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές το μεγαλύτερο ποσοστό των υγρών ημερών ανήκει σε ορισμένους συγκεκριμένους τύπους. Σαν παράδειγμα αναφέρεται ότι στην περιοχή που εξετάστηκε και περιλαμβάνει τα τρία υδατικά διαμερίσματα της Στερεάς Ελλάδας, με εμβαδόν 25.000 km<sup>2</sup>, οι υφεσιακοί τύποι με δυτική τροχιά προκαλούν βροχοπτώσεις στη δυτική πλευρά της

περιοχής η οποία χαρακτηρίζεται από το ανάγλυφο της οροσειράς της Πίνδου, ενώ πολύ σπάνια επεκτείνεται η βροχόπτωση ανατολικότερα, όσες μέρες και αν διατηρηθεί η διαταραχή. Ακόμη το 30% των ημερών με ισχυρή βροχόπτωση στη Βόρεια Εύβοια ανήκουν σε συγκεκριμένο τύπο παρά το γεγονός ότι ο τύπος αυτός επικρατεί μόνο στο 6 % των ημερών, ενώ στην ίδια περιοχή το 85% των βροχερών ημερών ανήκει σε τρεις τύπους.

Η αναγνώριση σε χάρτες καιρού "όμοιων" συνοπτικών καταστάσεων γίνεται εμπειρικά και από τους μετεωρολόγους με σημαντική εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης και τους βοηθάει ουσιαστικά στην πρόβλεψη της γεωγραφικής κατανομής της βροχόπτωσης. Η συμβολή της εργασίας αυτής έγκειται στην ποσοτικοποίηση των προβλέψεων με βάση τη στατιστική ανάλυση των χαρακτηριστικών της βροχής. Έτσι η γνώση του επικρατούντος τύπου καιρού συμβάλλει στην εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης εντόνων επεισοδίων βροχής αλλά και στην συνάρτηση κατανομής του ημερήσιου ύψους, που είναι διαφορετικές για κάθε τύπο και γεωγραφική περιοχή.

#### **1.1.4 Ισχυρές καταιγίδες και πλημμύρες.**

Η επίδραση των τύπων καιρού στα χαρακτηριστικά των ισχυρών καταιγίδων, έχει ελάχιστα μέχρι τώρα ερευνηθεί, όπως προκύπτει από τη επισκόπηση της βιβλιογραφίας (Κεφάλαιο 3). Η διερεύνηση που έγινε αφορά στη μελέτη της ισχυρής βροχόπτωσης σε ένα σημείο του χώρου και σε μικρές χρονικές κλίμακες (επεισοδίου, ωριαία). Τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου που εξετάζονται είναι η πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας, η διάρκεια, το συνολικό ύψος, και η μέση ένταση του επεισοδίου καθώς και η δομή αυτοσυσχέτισης των ωριαίων υψών. Η ανάλυση έγινε με τη χρήση στατιστικών μεθόδων με στόχο την εκτίμηση της επίδρασης κάθε τύπου καιρού στα προηγούμενα χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα δείχνουν μικρή επίδραση των τύπων καιρού στα περισσότερα από τα προηγούμενα χαρακτηριστικά, εκτός από την πιθανότητα εκδήλωσης ισχυρού επεισοδίου.

Η τυχόν επίδραση των τύπων καιρού στα χαρακτηριστικά της ισχυρής βροχόπτωσης, αποδυναμώνεται σημαντικά στα χαρακτηριστικά των πλημμυρών (όπως προκύπτει από την παρούσα εργασία). Σε αυτό συμβάλλει η πολυπλοκότητα του φυσικού μηχανισμού βροχής-απορροής, αλλά και άλλοι παράγοντες όπως η προηγούμενη κατάσταση της λεκάνης, και η διαδοχή των τύπων καιρού. Η επισκόπηση στη βιβλιογραφία δείχνει ότι η επίδραση των τύπων καιρού στα χαρακτηριστικά των πλημμυρών έχει μελετηθεί σε ελάχιστες περιπτώσεις. Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν

διερευνητικά με τη χρήση ημερήσιων παροχομετρικών δεδομένων ορισμένα χαρακτηριστικά (πιθανότητα εκδήλωσης πλημμύρας, μέση και μέγιστη ημερήσια παροχή) και η ανάλυση έδειξε ότι δε σχετίζονται σημαντικά με τους τύπους καιρού.

### 1.1.5 Στοχαστικά και προσδιοριστικά μοντέλα

Η θεωρητική βάση των στοχαστικών μοντέλων, στηρίζεται στην έννοια της στοχαστικής ανέλιξης, πού ορίζεται ως μία απειροπληθής οικογένεια τυχαίων μεταβλητών που περιγράφει μαθηματικά τη χρονική εξέλιξη του ύψους (ή της έντασης) βροχής σε ένα σημείο του χώρου [Waymire and Gupta, 1981b]. Η στοχαστική ανέλιξη μπορεί να μελετηθεί με βάση ένα σύνολο μετρήσεων της σε καθορισμένες χρονικές στιγμές, το σύνολο των οποίων ονομάζεται πραγματοποιημένη χρονοσειρά. Η στατιστική ανάλυση των μετρήσεων αυτών επιτρέπει την εκτίμηση της μαθηματικής δομής της στοχαστικής ανέλιξης και την προσαρμογή πιθανοτικών κατανομών ή στοχαστικών μοντέλων. Η δομή αυτή όμως εμφανίζει μεγάλη μεταβλητότητα στα διάφορα μέρη της γης, αλλά ακόμη και σε γειτονικές περιοχές, ενώ η χρονική κλίμακα θεώρησης της βροχής είναι πολύ σημαντική στα χαρακτηριστικά της στοχαστικής ανέλιξης. Έτσι σε μεγάλες κλίμακες, όπως η ετήσια, οι τιμές της ανέλιξης του ύψους βροχής κυμαίνονται πολύ λιγότερο από τις μικρές χρονικές κλίμακες όπως η ωριαία. Αντίθετα η στατιστική εξάρτηση μεταξύ διαδοχικών υψών βροχής μεγαλώνει όσο μικραίνει η χρονική κλίμακα. Τέλος το γεγονός ότι η βροχή στις μικρές χρονικές κλίμακες είναι ένα φαινόμενο διαλείπον, προϋποθέτει τη μελέτη και άλλων στοχαστικών μεταβλητών που πρέπει να μελετηθούν πέραν του ύψους βροχής όπως η διάρκεια του επεισοδίου βροχής και ο χρόνος διακοπής [Κουτσογιάννης, 1988].

Τα προβλήματα που συνήθως καλείται να αντιμετωπίσει ο υδρολόγος μηχανικός, διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες [Ξανθόπουλος, 1994]: **(α)** Αναζήτηση των υδατικών αποθεμάτων και βέλτιστη χωροχρονική διανομή τους στους καταναλωτές και **(β)** αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τα έκτακτα υδρολογικά χαρακτηριστικά δηλαδή των πλημμυρών και των ξηρασιών. Στη πρώτη κατηγορία η βροχή ενδιαφέρει σε μεγάλες χρονικές κλίμακες όπως είναι η μηνιαία και η ετήσια ενώ στη μελέτη των πλημμυρών σε κλίμακα επεισοδίου ή και μικρότερη.

Τα προβλήματα της πρώτης κατηγορίας αντιμετωπίζονται με πολλές μεθοδολογίες, αλλά όταν αφορούν πολύπλοκα υδατικά συστήματα χρησιμοποιείται πολλές φορές η τεχνική της στοχαστικής προσομοίωσης.

Αυτή προϋποθέτει τη γνώση της μαθηματικής δομής των στοχαστικών ανελίξεων που υπεισέρχονται στο πρόβλημα και την κατασκευή εργαλείων που μπορούν να παράγουν παράλληλες τυχαίες συνθετικές χρονοσειρές για κάθε ανέλιξη έτσι ώστε να διατηρούνται τα στατιστικά χαρακτηριστικά της παρατηρημένης χρονοσειράς και γενικότερα η στοχαστική δομή κάθε ανέλιξης. Με τη παραγωγή παράλληλων συνθετικών χρονοσειρών πολλαπλάσιου μήκους από τις παρατηρημένες, όλων των μεταβλητών που υπεισέρχονται σε ένα σύστημα είναι δυνατή η μελέτη του συστήματος σε ένα πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα αλλά και η εξαγωγή πιθανοτήτων διαφόρων σεναρίων.

Στη κατηγορία της μελέτης και πρόγνωσης πλημμυρών η τεχνική της προσομοίωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παράλληλη παραγωγή πολλών συνθετικών χρονοσειρών υψών βροχής (π.χ. ωριαίων) διατηρώντας την στοχαστική δομή που έχει η ανέλιξη (όπως την ισχυρή εξάρτηση των διαδοχικών υψών βροχής), αλλά και τη δομή άλλων μεταβλητών που σχετίζονται με το επεισόδιο βροχής όπως είναι η διάρκεια και το συνολικό ύψος. Έτσι έχοντας πολλές πιθανές πραγματοποιήσεις του επεισοδίου μπορούμε για παράδειγμα να υπολογίσουμε την πιθανότητα το ύψος βροχής να ξεπερνά ένα όριο στο επόμενο χρονικό βήμα. Ενώ η ισχυρή αυτοσυσχέτιση που έχει η ωριαία χρονοσειρά του ύψους βροχής κάνει ευκολότερη την εκτίμηση των μελλοντικών υψών, η μεγάλη μεταβλητότητα που χαρακτηρίζει τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου αλλά και την πιθανότητα εκδήλωσης ισχυρής καταιγίδας έχει αποτέλεσμα αυτά τα στοχαστικά μοντέλα να μην είναι επιχειρησιακά. Έτσι είναι αναγκαίος ο συνδυασμός τους με μοντέλα με διαφορετική θεωρητική βάση από την στοχαστική (προσδιοριστικά, εμπειρικά) με σκοπό την καλύτερη πρόγνωση της εξέλιξης του επεισοδίου. Εδώ συμβάλλει δυνητικά η ανάλυση των ισχυρών καταιγίδων κατά τύπο καιρού εξετάζοντας αν υπάρχει σημαντικά διαφορετική πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας μεταξύ των διαφόρων τύπων, αν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής (διάρκεια, συνολικό ύψος, δομή συσχέτισης). Ακόμη εξετάζεται αν συμβάλλει η εισαγωγή της έννοιας τύπος καιρού, στην εξήγηση ενός σημαντικού ποσοστού της διασποράς των χαρακτηριστικών αυτών.

Η χρήση προσδιοριστικών μοντέλων (φυσικών, μοντέλων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας) με τους ίδιους στόχους δεν αποκλείει τη χρήση των τύπων καιρού η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα και να εκτιμήσει τις στατιστικές παραμέτρους των ζητούμενων μεγεθών. Τα

περισσότερα προσδιοριστικά μοντέλα που υπάρχουν στη βιβλιογραφία είναι αρκετά πολύπλοκα στη κατασκευή τους και έχουν μελετηθεί και βαθμονομηθεί σε συγκεκριμένους τόπους και κλίματα. Τα μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που τρέχουν σε μεγάλα υπολογιστικά συστήματα μετεωρολογικών οργανισμών έχουν στόχο τη πρόβλεψη των τιμών μετεωρολογικών παραμέτρων (συμπεριλαμβανομένου του ύψους βροχής) σε σημεία κανάβου όλης της γήινης επιφάνειας. Η επαλήθευση τέτοιων μοντέλων δείχνει ότι η διάσταση του κανάβου (50 ή 100 km) αλλά και η ιδιαιτερότητα των διαφόρων γεωγραφικών περιοχών οδηγεί σε μία γενική αντίληψη της έκτασης και εξέλιξης του φαινομένου της βροχής αλλά όχι σε μία ακριβή πρόγνωση και για το λόγο αυτό η χρήση τους από τις μετεωρολογικές υπηρεσίες είναι συμβουλευτική και γίνεται παράλληλα με τη χρήση και άλλων τεχνικών. Ακόμη τα τελευταία χρόνια έχει διαδοθεί σημαντικά η χρήση μετεωρολογικού radar με σκοπό τη χωροχρονική εκτίμηση της βροχής. Αυτό επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη και εφαρμογή κατάλληλων μοντέλων, για τη βαθμονόμηση των οποίων όμως επιβάλλεται η ταυτόχρονη λειτουργία δικτύου βροχογράφων [Mimikou and Baltas, 1996].

#### **1.1.6 Χρονοσειρές εκδήλωσης τύπων καιρού**

Τα προηγούμενα σημεία που παρουσιάστηκαν σχετίζονται με τη μελέτη και μοντελοποίηση της βροχόπτωσης σε μικρές χρονικές κλίμακες, με τη θεώρηση των τύπων καιρού. Στόχος είναι η αξιοποίηση των στατιστικά σημαντικών ευρημάτων, ως ένα ακόμη εργαλείο που θα συμβάλλει στη μοντελοποίηση και προσομοίωση της βροχόπτωσης. Η συνιστώσα που θεωρείται εδώ, αφορά στο ημερήσιο και εποχιακό καθεστώς εκδήλωσης των τύπων καιρού και της επίδρασης στο βροχομετρικό καθεστώς μιας γεωγραφικής περιοχής. Η ανάλυση γίνεται με στόχο την προσδιορισμό των συχνοτήτων κάθε τύπου καιρού στους μήνες, τη διαπίστωση τάσεων ή αλμάτων στις ετήσιες χρονοσειρές εκδήλωσης, καθώς και τη διαπίστωση αν κάποιος τύπος παρουσιάζει σημαντική πιθανότητα να το διαδεχτεί την επόμενη ημέρα κάποιος άλλος ή και ο ίδιος τύπος καιρού. Η ανίχνευση στατιστικά σημαντικών σχέσεων στην ημερήσια πιθανότητα διαδοχής κάποιων τύπων, μπορεί να συμβάλλει στη μοντελοποίηση και πρόγνωση της βροχής, μέσα από τη μελέτη της εμμονής κάθε τύπου καιρού. Αντίθετα η μελέτη των ιστορικών μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης των τύπων καιρού δεν μπορεί να εξαγάγει συμπεράσματα για το μέλλον, δεδομένου ότι η πραγματοποίηση των διαφόρων τύπων κυκλοφορίας σε μία περιοχή, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι διέπονται από χαοτική



συμπεριφορά. Έτσι η μηνιαία ανάλυση απλά συμβάλλει στην κατανόηση του μετεωρολογικού καθεστώτος, και στον εντοπισμό των ιστορικών κλιματικών μεταβολών. Ακόμη με την ταυτόχρονη μελέτη των μηνιαίων βροχοπτώσεων είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η επίδραση των τύπων στο βροχομετρικό καθεστώς και στη γεωγραφική κατανομή των ξηρών και υγρών περιόδων. Το τελευταίο είναι πολύ σημαντικό στη διαχείριση των υδατικών πόρων, μεγάλων υδατικών συστημάτων.

### **1.1.7 Η μελέτη της βροχής κατά τύπο καιρού στη βιβλιογραφία**

Η θεώρηση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης για τη μελέτη της βροχής έχει γίνει σε ορισμένες γεωγραφικές περιοχές για συγκεκριμένες χωρικές και χρονικές κλίμακες. Στις περισσότερες από τις προσεγγίσεις που συναντώνται στη βιβλιογραφία, ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της βροχής μελετώνται σε σχέση με τον τύπο της συνοπτικής κατάστασης, και οι σημαντικές διαφορές που ανιχνεύονται, αξιοποιούνται για να βελτιώσουν τη συμπεριφορά άλλων μοντέλων, συνήθως στοχαστικών. Είναι πάντως χαρακτηριστικό ότι η μοντελοποίηση και προσομοίωση της βροχής θεωρώντας τον τύπο καιρού που επικρατεί, έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα κατά την τελευταία δεκαετία.

Η ημερήσια βροχόπτωση είναι αυτή που έχει κυρίως μελετηθεί από τους ερευνητές σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, ενώ πολλές φορές τα συμπεράσματα αξιοποιούνται για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση του φαινομένου. Συγκεκριμένα σε μικρές χωρικές κλίμακες έχουμε τις εργασίες του Mahera [1983] για τη Θεσσαλονίκη, των Hay et al. [1991] για λεκάνη απορροής των Η.Π.Α., των Wilson et al. [1991] και των Hughes and Guttorp [1994] για σταθμούς της πολιτείας της Ουάσιγκτων των Η.Π.Α., και του Wilby [1994], [1995] για σταθμούς της Βρετανίας. Σε μεγάλες χωρικές κλίμακες έχουμε τις εργασίες των Maheras and Flocas [1985] για την περιοχή της Βόρειας Ελλάδας, και των Bardossy and Plate [1991], [1992] για τη Γερμανία.

Η επίδραση των τύπων καιρού στην ένταση των επεισοδίων βροχής έχει μελετηθεί από την Shaw [1962] στην Βρετανία, ενώ οι Huff [1969], και Huff and Shipp [1969] μελέτησαν τη χωρική και χρονική εξέλιξη της βροχής κατά τύπο καιρού, στο Ιλινόις των Η.Π.Α.

Οι κατατάξεις που στηρίχτηκαν οι προηγούμενες εργασίες παρουσιάζονται μεταξύ άλλων στο Κεφάλαιο 2. Ακόμη εκτενέστερη παρουσίαση των προηγούμενων εργασιών παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3.

## 1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αποτελείται από την εισαγωγή (Κεφάλαιο 1), έξι Κεφάλαια (2 έως 7) και τη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια περιγράφονται συνοπτικά τα περιεχόμενα των Κεφαλαίων 2 έως 7.

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται μία ιστορική αναδρομή και ταξινόμηση των σημαντικότερων κατατάξεων τύπων καιρού. Οι κατατάξεις διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε, τις μετεωρολογικές καταστάσεις και μεταβλητές που θεωρήθηκαν, και τους χάρτες καιρού που χρησιμοποιήθηκαν. Για κάθε κατηγορία παρουσιάζονται ξεχωριστά οι κατατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν από τους ερευνητές, για τη μελέτη της βροχής και της απορροής. Ακόμη περιγράφονται οι κατατάξεις που έχουν γίνει για τον Ελληνικό χώρο, από Έλληνες μετεωρολόγους, και τέλος γίνεται μια σύντομη περιγραφή όλων των τύπων καιρού της κατάταξης Μαχαίρα, η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται μια γενική βιβλιογραφική επισκόπηση των διάφορων προσεγγίσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη, μοντελοποίηση και πρόγνωση της βροχής. Για την κατάταξη της εκτεταμένης βιβλιογραφίας επισημαίνονται στην αρχή του Κεφαλαίου ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της μοντελοποίησης της βροχής, όπως είναι η θεωρητική βάση και η χωροχρονική κλίμακα θεώρησης. Ακόμη γίνεται παρουσίαση των βασικότερων χαρακτηριστικών των κύριων θεωρητικών βάσεων μοντελοποίησης της βροχής (στοχαστικές, προσδιοριστικές και εμπειρικές). Η επισκόπηση είναι συνοπτική δεδομένης της πολύ μεγάλης βιβλιογραφίας, και είναι προσανατολισμένη στη παρουσίαση των εργασιών εκείνων που σχετίζονται κατά κάποιο τρόπο με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, δηλαδή τη μελέτη της βροχόπτωσης σε λεπτές χωροχρονικές κλίμακες. Ακόμη ιδιαίτερα παρουσιάζονται οι εργασίες εκείνες που η μελέτη και μοντελοποίηση της βροχής έχει γίνει με τη θεώρηση του "τύπου" της επικρατούσας συνοπτικής κατάστασης.

Στο **Κεφάλαιο 4** εξετάζεται η επίδραση των τύπων καιρού στη γεωγραφική κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης. Ειδικότερα περιγράφεται η διαχείριση και η επεξεργασία των ημερήσιων βροχομετρικών δεδομένων με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (Σ.Γ.Π). Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική επισκόπηση των διάφορων μεθόδων υπολογισμού επιφανειακής βροχόπτωσης από σημειακές

μετρήσεις, ενώ αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή. Ακόμη περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία κατάρτισης και παρουσίασης των επιφανειών βροχής, οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική ανάλυση των επιφανειών αυτών κατά τύπο καιρού, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διάφορες επεξεργασίες.

Στο **Κεφάλαιο 5** εξετάζεται το εποχιακό καθεστώς εκδήλωσης των διαφόρων τύπων καιρού, αναλύονται οι ημερήσιες και μηνιαίες χρονοσειρές εκδήλωσης, και εξετάζεται η επίδραση τους στο βροχομετρικό καθεστώς συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών. Συγκεκριμένα για όλους τους τύπους καιρού γίνεται ανάλυση συχνοτήτων στους μήνες, στατιστική ανάλυση των μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης καθώς και εκτίμηση των συναρτήσεων αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης των ημερήσιων χρονοσειρών. Ακόμη γίνεται στατιστική ανάλυση σημειακών βροχομετρικών δεδομένων με στόχο τον προσδιορισμό της επίδρασης των τύπων καιρού στο βροχομετρικό καθεστώς μιας γεωγραφικής περιοχής, και στη γεωγραφική κατανομή των ξηρασιών και των υγρών περιόδων.

Στο **Κεφάλαιο 6** εξετάζεται η επίδραση των τύπων καιρού στην εκδήλωση και χρονική εξέλιξη της σημειακής βροχόπτωσης, στα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής και στη χωρική και χρονική κατανομή της ωριαίας βροχόπτωσης. Ειδικότερα τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας, η διάρκεια και το συνολικό ύψος βροχής, το ωριαίο ύψος βροχής και η μέση ένταση του επεισοδίου. Ακόμη εξετάζεται η δομή της αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης των ωριαίων σημειακών χρονοσειρών βροχής. Στη συνέχεια εξετάζεται η συμβολή των εμπειρικών προσεγγίσεων και ειδικότερα αυτής των τύπων καιρού, στη παραγωγή συνθετικών επεισοδίων βροχής. Η παραγωγή των επεισοδίων γίνεται με τη χρήση ενός μοντέλου κλιμάκωσης το οποίο έχει ρυθμιστεί με βάση τα σημειακά δεδομένα βροχής. Το μοντέλο χρησιμοποιείται για τη συνθετική παραγωγή επεισοδίων βροχής και εξετάζονται διαφορετικά σχήματα προσομοίωσης με στόχο τη βελτίωση των αποτελεσμάτων. Σε ένα από τα σχήματα αυτά υπεισέρχονται οι αρχικές εκτιμήσεις για τη διάρκεια και το συνολικό ύψος του επεισοδίου οι οποίες εκτιμώνται με βάση εμπειρικές προσεγγίσεις. Ακόμη στο ίδιο κεφάλαιο γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων της επιφανειακής (Κεφάλαιο 4) με τη σημειακή ανάλυση της βροχής κατά τύπο καιρού. Τέλος

με την επεξεργασία ημερήσιων δεδομένων βροχής και απορροής μελετήθηκε η επίδραση του τύπου καιρού στην πιθανότητα εκδήλωσης και σε ορισμένα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών επεισοδίων. Η ανάλυση πλημμυρών έγινε διερευνητικά με ημερήσια δεδομένα, δεδομένου ότι η πολυπλοκότητα του μηχανισμού βροχής απορροής δυσκολεύει τη θεωρητική συσχέτιση μεταξύ τύπων καιρού και απορροής.

Στο **Κεφάλαιο 7** παρουσιάζονται τα σημεία εκείνα που συνοψίζουν και ολοκληρώνουν την εργασία. Ετσι στο Κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται συνοπτικά οι σημαντικότερες μεθοδολογίες που εφαρμόστηκαν και σχολιάζονται τα αποτελέσματα. Ακόμη επισημαίνονται οι κατευθύνσεις εκείνες που, με βάση τα αποτελέσματα της εργασίας, θα πρέπει να διερευνηθούν μελλοντικά, και τέλος παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα.

## **1.3 ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ - ΠΡΩΤΟΤΥΠΑ ΣΗΜΕΙΑ**

### **1.3.1 Γενικά**

Η επίδραση των τύπων καιρού στα χαρακτηριστικά των υδρολογικών διεργασιών είναι ένα θέμα που έχει ελάχιστα μελετηθεί και οπωσδήποτε η εργασία αυτή ερεύνησε αρκετά άγνωστα σημεία, εισήγαγε νέους τρόπους θεώρησης με πρωτότυπες επιστημονικές συμβολές. Οι συμβολές αυτές έχουν στόχο την καλύτερη κατανόηση και μοντελοποίηση του φαινομένου της βροχής. Ο μεγάλος αριθμός των υδρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν και η ποικιλία των επεξεργασιών που πραγματοποιήθηκαν, επέβαλε εκτός από τη χρήση έτοιμων προγραμμάτων υπολογιστή και την ανάπτυξη ειδικών εφαρμογών σε διάφορα υπολογιστικά συστήματα. Πολλές από τις εφαρμογές που αναπτύχθηκαν είναι πρωτότυπες, και σχετίζονται με τη διαχείριση, στατιστική επεξεργασία και γεωγραφική παρουσίαση των βροχομετρικών δεδομένων.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζεται η συμβολή της εργασίας στην επιστημονική έρευνα που γίνεται σχετικά με τη βροχόπτωση, αλλά και στη τεχνολογία που αναπτύσσεται σχετικά με τη διαχείριση, επεξεργασία και παρουσίαση των υδρολογικών δεδομένων. Ακόμη παρουσιάζονται οι αναλύσεις, οι επεξεργασίες και οι τεχνικές εκείνες οι οποίες είναι πρωτότυπες βιβλιογραφικά.

### 1.3.2 Συμβολή στην επιστημονική έρευνα και την τεχνολογία

Η επισκόπηση στη διεθνή βιβλιογραφία των εργασιών που συνδέουν τη βροχόπτωση με τον τύπο καιρού αποκαλύπτει ότι για το θέμα αυτό έχει πραγματοποιηθεί ένας μικρός αριθμός εργασιών, το μεγαλύτερο ποσοστό από τις οποίες έχουν δημοσιευτεί τη δεκαετία του 1990 (Hay et al., [1991]; Bardossy and Plate, [1991]; Wilson et al., [1991]; Bardossy and Plate, [1992]; Hughes and Guttorp, [1994]; Wilby, [1994]; Wilby, [1995]). Ακόμη λιγότερο έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη της βροχόπτωσης, οι κατατάξεις τύπων καιρού που να σχετίζονται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία (Bardossy and Plate, [1991]; Bardossy and Plate, [1992]; Wilby, [1994]). Οι κατατάξεις αυτές έχουν συνολική θεώρηση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης και συνήθως έχουν γίνει από μετεωρολόγους με μεγάλη εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης ή μετεωρολογικούς οργανισμούς.

Η παρούσα εργασία συνέβαλε στην κατανόηση της συμπεριφοράς των περισσότερων χαρακτηριστικών της βροχής στη περιοχή που μελετήθηκε, σε σχέση με τους συγκεκριμένους τύπους κυκλοφορίας. Η διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών αυτών ποσοτικοποιήθηκε, για να αξιοποιηθεί στη μοντελοποίηση της βροχής. Η κατηγοριοποίηση των κατατάξεων καιρού, τα χαρακτηριστικά των επεισοδίων βροχής, το βροχομετρικό καθεστώς, η γεωγραφική κατανομή της ημερήσιας βροχής, είναι ορισμένα από τα κύρια σημεία που ερευνήθηκαν. Ορισμένα από τα σημεία αυτά, όπως τα χαρακτηριστικά των επεισοδίων βροχής, μελετώνται για πρώτη φορά, ενώ άλλα δεν έχουν μελετηθεί στον Ελλαδικό χώρο και με τους συγκεκριμένους τύπους κυκλοφορίας. Συγκρίνοντας τα συμπεράσματα που προκύπτουν με αυτά άλλων εργασιών (όπου είναι δυνατόν), γίνεται φανερό ότι η ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, συμβάλλει στην έρευνα και προσθέτει στη γνώση που σχετίζεται με τη βροχόπτωση.

Για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης των τύπων καιρού στα χαρακτηριστικά της βροχής, χρησιμοποιήθηκε ένας μεγάλος αριθμός πρωτογενών υδρολογικών δεδομένων, κυρίως σε ωριαία και ημερήσια χρονική κλίμακα. Τα πρωτογενή δεδομένα αντλήθηκαν από τα αρχεία των υπηρεσιών, ενώ ειδικά για τα ωριαία δεδομένα έγινε αποκωδικοποίηση των ταινιών βροχογράφων. Η αποθήκευση, διαχείριση, επεξεργασία και παρουσίαση των πρωτογενών και επεξεργασμένων δεδομένων (βροχομετρικών, παροχομετρικών, εκδήλωσης τύπων καιρού), απαιτεί τη χρήση εφαρμογών σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Οι εφαρμογές αυτές κατασκευάστηκαν, προσαρμόστηκαν ή χρησιμοποιήθηκαν έτοιμες, κάτω από τα λειτουργικά συστήματα DOS, MS-WINDOWS και UNIX. Οι εφαρμογές που

αναπτύχθηκαν ή χρησιμοποιήθηκαν κατά το χρονικό διάστημα εκπόνησης της παρούσας εργασίας, ανήκουν σε διαδοχικές γενιές λογισμικού, δεδομένου ότι αξιοποιήθηκε η μεγάλη εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων και του αντίστοιχου λογισμικού. Έτσι αρχικά αναπτύχθηκαν εφαρμογές σε γλώσσες τρίτης γενιάς (PASCAL) για την υλοποίηση βάσης δεδομένων καθώς και για την επεξεργασία και γραφική παρουσίαση των επεισοδίων βροχής. Στη συνέχεια η χρήση των φύλλων εργασίας (LOTUS, EXCEL) και άλλων έτοιμων εφαρμογών στο περιβάλλον WINDOWS, έδωσε τη δυνατότητα για την άμεση πραγματοποίηση ενός μεγάλου αριθμού στατιστικών και γραφικών επεξεργασιών. Τέλος η ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια του περιβάλλοντος X-WINDOWS κάτω από το λειτουργικό σύστημα UNIX σε σταθμούς εργασίας (workstations) και η μεγάλη υπολογιστική ισχύς των συστημάτων αυτών, επέτρεψε την κατασκευή σε παραθυρικό περιβάλλον, μεγάλων προγραμμάτων όπως οι βάσεις δεδομένων και τα Συστήματα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ). Τα προγράμματα αυτά μπορούν να διαχειριστούν μεγάλο αριθμό δεδομένων, αλλά και να προσαρμοστούν στις ανάγκες του χρήστη με την κατασκευή προκαθορισμένων φορμών μέσω των οποίων γίνονται συγκεκριμένα ερωτήματα ή επεξεργασίες. Στην παρούσα εργασία η αποθήκευση των ημερήσιων βροχομετρικών δεδομένων έγινε στη βάση δεδομένων (INGRES). Η διαχείριση των δεδομένων γίνεται με τη με τη χρήση της γλώσσας τέταρτης γενιάς INGRES-SQL. Ακόμη τα γεωγραφικά δεδομένα που σχετίζονται με τη βροχομετρική πληροφορία (βροχομετρικοί σταθμοί μέτρησης, λεκάνες απορροής) εισήχθησαν στο ΣΓΠ ARC-INFO. Οι πίνακες των δύο συστημάτων συνδέθηκαν με στόχο τη γεωγραφική παρουσίαση αλλά και την επεξεργασία των ημερήσιων δεδομένων βροχής με τη χρήση των λειτουργιών του ΣΓΠ. Για πολλές από τις εξειδικευμένες επεξεργασίες που δεν υποστηρίζονται άμεσα, αναπτύχθηκαν προγράμματα στην εσωτερική γλώσσα του συστήματος (Advanced Macro Language), ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις γράφτηκαν υποπρογράμματα σε γλώσσα C.

Η ανάπτυξη και χρησιμοποίηση των παραπάνω εφαρμογών στα διάφορα υπολογιστικά συστήματα συνέβαλε στην ανάπτυξη εμπειρίας σχετικής με τη διαχείριση των ψηφιακών υδρολογικών δεδομένων (υλοποίηση βάσης δεδομένων, διαχείριση πινάκων, σύνδεση υπολογιστικών συστημάτων), αλλά και στην ανάπτυξη νέων τεχνικών επεξεργασίας και παρουσίασης τους. Οι περισσότερες από τις τεχνικές αυτές αναπτύχθηκαν σε ΣΓΠ που αποτελεί ένα σύγχρονο και δυναμικό εργαλείο διαχείρισης και επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων. Τα ΣΓΠ διαθέτουν ένα μεγάλο

πλήθος έτοιμων λειτουργιών, οι οποίες είναι κατάλληλες για τη διαχείριση και επεξεργασία των υδρολογικών δεδομένων αλλά ακόμη μπορούν να προσαρμοστούν κατάλληλα έτσι ώστε να είναι δυνατή η υλοποίηση εξειδικευμένων υδρολογικών εφαρμογών [Meijerink et al., 1995].

### 1.3.3 Πρωτότυπα σημεία

Στην εργασία περιλαμβάνονται μια σειρά από αναλύσεις, επεξεργασίες αλλά και τεχνικές οι οποίες είναι πρωτότυπες ή έχουν σημαντικό βαθμό πρωτοτυπίας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από αυτές μαζί με μια σύντομη αναφορά στο βαθμό έρευνας που έχει γίνει στο κάθε αντικείμενο.

- Η μελέτη των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής (πιθανότητα εκδήλωσης, διάρκεια, συνολικό - ωριαίο ύψος βροχής) κατά τύπο καιρού είναι πρωτότυπη. Η ανυπαρξία ανάλογων αναλύσεων στη διεθνή βιβλιογραφία έχει επισημανθεί από τους Mamassis and Koutsoyiannis [1996]. Η στατιστική ανάλυση των χαρακτηριστικών κατά τύπο καιρού (περιέχεται στο Κεφάλαιο 6), έχει πρώτα παρουσιαστεί από τους Mamassis and Koutsoyiannis [1993a].
- Η μεθοδολογία κατάρτισης των στατιστικών επιφανειών βροχής (περιγράφεται στο Κεφάλαιο 4) με την οποία συμπυκνώνεται η πληροφορία των ημερήσιων επιφανειών βροχής, δεν έχει παρουσιαστεί βιβλιογραφικά και εισάγεται πρώτα από τους Mamassis and Koutsoyiannis [1995].
- Η διάκριση των κατατάξεων καιρού σε κατηγορίες έγινε λαμβάνοντας υπόψη τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε, τις συνοπτικές καταστάσεις και μετεωρολογικές μεταβλητές που θεωρήθηκαν, και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάταξη. Η διάκριση (αναπτύσσεται διεξοδικά στο Κεφάλαιο 2), είναι πρωτότυπη βιβλιογραφικά, και έχει παρουσιαστεί συνοπτικά στην εργασία των Mamassis and Koutsoyiannis [1996].
- Στην Ελλάδα ανάλυση της βροχής κατά τύπο καιρού έχει γίνει από το Μαχαίρα σε σταθμούς της Μακεδονίας, ενώ έχει μελετηθεί και η ξηρασία στο σύνολο του Ελληνικού χώρου. Δεδομένου ότι η επίδραση των τύπων καιρού διαφέρει στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές, τα περισσότερα από τα συμπεράσματα που εξάγονται (Κεφάλαια 4 και 6) για τα χαρακτηριστικά της βροχής στη Στερεά Ελλάδα είναι πρωτότυπα ενώ συνδέονται και με τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά των τύπων καιρού.
- Η μελέτη των χαρακτηριστικών των πλημμυρών κατά τύπο καιρού (παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 6) είναι η πρώτη που γίνεται στον

Ελληνικό χώρο. Η ανάλυση αυτή έχει πρώτα παρουσιαστεί από τους Mamassis et al. [1993a].

- Η βιβλιογραφική επισκόπηση (Κεφάλαιο 3) στις αναλύσεις της βροχής κατά τύπο καιρού συνοψίζει αρκετές εργασίες στον τομέα αυτό, οι οποίες δεν περιλαμβάνονται σε άλλες πρόσφατες επισκοπήσεις μοντελοποίησης της βροχής [Foufoula-Georgiou and Krajewski, 1995].



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ  
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ**

**ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥΣ  
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ**

**ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ  
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ**

**ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ**

**ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΑΗΕΡΑΣ [1979]**

## 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατατάξεις “ομοίων” καταστάσεων καιρού μπορούν να θεωρηθούν ως μία προσπάθεια συστηματοποίησης της μετεωρολογικής εμπειρίας σε μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή, με κύριους στόχους τη μελέτη του κλίματος αλλά και την ακριβέστερη πρόγνωση των τιμών των μετεωρολογικών μεταβλητών. Οι διάφορες καταστάσεις καιρού προκαλούνται από τη δράση των μεγάλων ατμοσφαιρικών σχηματισμών (π.χ. κυκλώνες, αντικυκλώνες) ή συγκεκριμένων μετεωρολογικών καταστάσεων (π.χ. ατμοσφαιρική αστάθεια). Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της επικρατούσας συνοπτικής κατάστασης, συνδυάζονται με τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά κάθε συγκεκριμένης περιοχής (ανάγλυφο, κατανομή ξηράς - θάλασσας), και διαμορφώνουν την τελική κατάσταση του καιρού. Η συστηματική κατάταξη της καιρικής κατάστασης μίας γεωγραφικής περιοχής σε τύπους καιρού, για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα, μπορεί να αξιοποιηθεί για να διερευνηθούν: (α) η συχνότητα εκδήλωσης των διαφόρων τύπων καιρού, η κατανομή τους στις εποχές και η εξέλιξη της κατανομής αυτής στο χρόνο, με στόχο την ανίχνευση των κλιματικών μεταβολών και (β) η επίδραση των τύπων καιρού στα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών μεταβλητών, με στόχο την καλύτερη πρόγνωση της χωροχρονικής εξέλιξής τους.

Ο όρος “τύπος καιρού” με την στενή έννοια, αποδίδει την κατάσταση της ατμόσφαιρας στην οποία ζεί ο άνθρωπος και προκύπτει από το συνδυασμό των τιμών διαφόρων μετεωρολογικών μεταβλητών. Όμως στη Ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία έχει επικρατήσει με τον όρο αυτό να αποδίδονται και οι τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Οι τύποι αυτοί προσδιορίζονται με βάση τη συνοπτική κατάσταση και ειδικότερα εξετάζονται τα στατικά (μορφή, θέση, ένταση των κέντρων δράσης) και τα δυναμικά (τροχιές υφέσεων, μετώπων) συνοπτικά στοιχεία [Maheras, 1979].

Η αναγνώριση συγκεκριμένων καιρικών καταστάσεων και των τύπων κυκλοφορίας που τις προξενούν, έχει ξεκινήσει από τον περασμένο αιώνα. Σύμφωνα με τον Teisserenc de Bort [1882], η πρώτη αναφορά για διαταραχή της θέσης μεγάλων μετεωρολογικών σχηματισμών (υποτροπικοί αντικυκλώνες, αντικυκλώνας Αζορών) με επίδραση και στην

συνηθισμένη γενική κυκλοφορία του αέρα (δυτικοί άνεμοι<sup>1</sup>, αληγείς άνεμοι<sup>2</sup>), έχει γίνει από το L. P. Kaemtz για το διάστημα 1825-1833. Η αναφορά αυτή σχετίζεται με τη μετακίνηση του αντικυκλώνα των Αζορών για ορισμένα χρονικά διαστήματα, που είχε αποτέλεσμα την εξασθένιση των αληγών ανέμων. Ακόμη ο Teisserenc de Bort [1881], έκανε μία κατάταξη των διαφόρων τύπων των ισοβαρών καμπυλών στον Ατλαντικό και στην Ευρώπη. Η κατάταξη αυτή περιλάμβανε τις μετακινήσεις των κέντρων δράσης, που προκαλούν άσχημο καιρό σε συγκεκριμένες περιοχές. Τέλος υφέσεις που ακολουθούν παρόμοιες τροχιές και επηρεάζουν τον καιρό σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, έχουν μελετηθεί και καταταχθεί επίσης στα τέλη του περασμένου αιώνα, από τους Van Bebber [1882] και Abercrobby [1887].

Οι διάφορες κατατάξεις των τύπων καιρού που έχουν μέχρι τώρα παρουσιαστεί διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ τους, δεδομένου ότι έχουν πραγματοποιηθεί με διαφορετικές μεθοδολογίες και αναφέρονται σε περιοχές με διαφορετικά κλιματικά και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά.

Στην παρούσα εργασία ενδιαφέρουν ιδιαίτερα και παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι κατατάξεις εκείνες που έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη και μοντελοποίηση της βροχόπτωσης. Έτσι ανάλογα με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε, τις μετεωρολογικές καταστάσεις και μεταβλητές που θεωρήθηκαν, και τους χάρτες καιρού που χρησιμοποιήθηκαν, οι κατατάξεις των τύπων καιρού μπορούν να διακριθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες.

Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι κατατάξεις οι οποίες βασίζονται στις παρατηρημένες τιμές τοπικών μετεωρολογικών μεταβλητών, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η ηλιοφάνεια. Οι κατατάξεις αυτές δεν απαιτούν τη χρήση συνοπτικών χαρτών και συνήθως οι τύποι καιρού προκύπτουν υπολογιστικά από το συνδυασμό των παρατηρημένων τιμών των μεταβλητών σε ένα ή περισσότερα σημεία του χώρου. Έτσι οι περισσότερες από τις κατατάξεις αυτές έχουν γίνει από ερευνητές που σκοπό είχαν να μελετήσουν τη βροχόπτωση (και όχι

---

<sup>1</sup> Άνεμοι που πνέουν από τις ζώνες των υψηλών πιέσεων (γύρω στις 30° γεωγραφικό πλάτος) προς αυτές των χαμηλών (γύρω στις 60° γεωγραφικό πλάτος) με απόκλιση προς τα δυτικά εξ αιτίας της περιστροφής της γης (Westerlies). Οι άνεμοι αυτοί είναι ΝΔ στο βόρειο και ΒΔ στο νότιο ημισφαίριο [Ahrens, 1993]

<sup>2</sup> Άνεμοι που πνέουν από τις ζώνες των υψηλών πιέσεων (γύρω στις 30° γεωγραφικό πλάτος) προς τον Ισημερινό με απόκλιση προς τα δυτικά εξ αιτίας της περιστροφής της

από μετεωρολόγους) και πρακτικά εκφράζουν τη συσχέτιση ανάμεσα στην βροχή και τις άλλες μετεωρολογικές μεταβλητές.

Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν οι κατατάξεις οι οποίες θεωρούν την παρουσία συγκεκριμένων μετεωρολογικών σχηματισμών, όπως τα μέτωπα και οι αέριες μάζες. Οι κατατάξεις αυτές απαιτούν τη χρήση μετεωρολογικών χαρτών, αλλά η απαιτούμενη πληροφορία εξάγεται σχετικά εύκολα, και γενικά δεν απαιτεί ιδιαίτερη εμπειρία στην αναγνώριση και κατανόηση των μετεωρολογικών καταστάσεων.

Τέλος στην τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι κατατάξεις οι οποίες συνδέονται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή μελέτης. Οι κατατάξεις αυτές απαιτούν τη χρήση χαρτών καιρού, συνήθως σε διαφορετικές στάθμες της ατμόσφαιρας, με σκοπό την τυποποίηση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Η ιδιαιτερότητα της κάθε συνοπτικής κατάστασης καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη την κατάταξή της σε κάποιο τύπο, και για το λόγο αυτό απαιτεί αρκετά μεγάλη εμπειρία στην χρήση των μετεωρολογικών χαρτών. Οι περισσότερες από τις κατατάξεις αυτές έχουν γίνει από μετεωρολόγους και είναι οι περισσότερο σημαντικές δεδομένου ότι έχουν μια συνολική θεώρηση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης.

Η κατάρτιση ημερολογίου τύπων καιρού για μεγάλα χρονικά διαστήματα είναι απαραίτητη για την αξιοποίηση της τυποποιημένης συνοπτικής πληροφορίας. Για ορισμένες από τις κατατάξεις τύπων καιρού έχει συνταχθεί ημερολόγιο, όπου κάθε ημέρα αποδίδεται σε ένα συγκεκριμένο τύπο. Είναι προφανές ότι μόνο οι κατατάξεις αυτές είναι αξιοποιήσιμες για τη μελέτη του κλίματος και της εξέλιξης των μετεωρολογικών μεταβλητών. Ακόμη σε ορισμένες περιπτώσεις οι ερευνητές δε συνέταξαν ημερολόγιο τύπων καιρού, αλλά κατέταξαν μόνο τις ημέρες που είχε παρατηρηθεί βροχόπτωση.

Στο παρόν Κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή των κατατάξεων και των τριών κατηγοριών, ενώ ιδιαίτερα παρουσιάζονται εκείνες που χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς για τη μελέτη της βροχής και της απορροής. Στη συνέχεια περιγράφονται οι κατατάξεις που έχουν γίνει για τον Ελληνικό χώρο, από Έλληνες μετεωρολόγους, ενώ ιδιαίτερα

---

γης (Trade winds). Οι άνεμοι αυτοί είναι ΒΑ στο βόρειο και ΝΑ στο νότιο ημισφαίριο και ήταν αυτοί που πήγαν τον Κολόμβο στην Αμερική [Μακρής, 1990]

παρουσιάζεται η κατάταξη Μαχαίρα, η οποία και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

## **2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ**

### **2.2.1 Γενικά**

Οι κατατάξεις της κατηγορίας αυτής στηρίζονται στον διαχωρισμό του πεδίου τιμών των επιλεγμένων μετεωρολογικών μεταβλητών σε συγκεκριμένα διαστήματα, και το συνδυασμό των διαστημάτων αυτών. Οι μετεωρολογικές μεταβλητές που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι η θερμοκρασία, η διεύθυνση ανέμου και η ατμοσφαιρική πίεση σε διάφορες στάθμες της ατμόσφαιρας. Ακόμη τις περισσότερες φορές για την κατάταξη χρησιμοποιούνται οι τιμές των μεταβλητών σε περισσότερα από ένα σημεία του χώρου, ή στα σημεία ενός κανάβου προσδιορισμένου στη γήινη επιφάνεια. Στις περιπτώσεις αυτές ενώ δεν απαιτείται εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης για την κατάταξη, είναι απαραίτητη η διαχείριση και αυτόματη επεξεργασία των σημειακών μετρήσεων των μεταβλητών. Με τα δεδομένα αυτά εφαρμόζονται υπολογιστικές μέθοδοι που επιτυγχάνουν την ομαδοποίηση των παρατηρημένων πεδίων των μεταβλητών και την κατάταξη τους σε τύπους καιρού. Έτσι για την εκπόνηση των κατατάξεων αυτών δεν απαιτείται εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης και εργασία σε μετεωρολογικούς χάρτες αλλά επεξεργασία πακέτων μετεωρολογικών δεδομένων τα οποία διατίθενται από μετεωρολογικές υπηρεσίες και οργανισμούς. Οι κατατάξεις αυτές στηρίζονται σε σχέσεις που έχουν εμπειρικά διαπιστωθεί μεταξύ της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και ορισμένων μετεωρολογικών μεταβλητών, χωρίς όμως τη θεώρηση των μεγάλων κέντρων δράσης.

### **2.2.2 Κατάταξη McCabe [1989]**

Η μεθοδολογία που εφάρμοσε ο McCabe [1989] αποδίδει τις ημέρες σε κάποιο τύπο καιρού με βάση τις τιμές της διεύθυνσης ανέμου και της νεφοκάλυψης, οι οποίες βέβαια συνδέονται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία της περιοχής. Το πεδίο ορισμού της μέσης ημερήσιας

διεύθυνσης ανέμου χωρίστηκε σε τρία διαστήματα, της μέσης ημερήσιας νεφοκάλυψης σε δύο και από το συνδυασμό των διαστημάτων αυτών προέκυψαν έξι τύποι καιρού. Η κατάταξη του καιρού έγινε για την περιοχή Φιλαδέλφεια της Πενσυλβανίας των Η.Π.Α., για την περίοδο 1954-83, και συντάχθηκε ημερήσιο ημερολόγιο των τύπων καιρού. Ο συγγραφέας έχει συνδέσει τις τιμές των δύο μεταβλητών με τα κέντρα δράσης (υφέσεις, αντικυκλώνες) που διέρχονται από την περιοχή μελέτης και την παρουσία συγκεκριμένων μετεωρολογικών σχηματισμών (μέτωπα, θερμός τομέας).

Με βάση τη παραπάνω μεθοδολογία ορίστηκαν τρεις αντικυκλωνικοί τύποι που συνδέονται με την περιορισμένη νεφοκάλυψη και την καλοκαιρία, και τρεις υφεσιακοί τύποι που συνδέονται με την εκτεταμένη νεφοκάλυψη και τις καταιγίδες. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται για κάθε τύπο καιρού, η ονομασία και συντομογραφία του, μία σύντομη εξήγηση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης με την οποία έχει συνδεθεί από το συγγραφέα, και τα διαστήματα του πεδίου τιμών των δύο μετεωρολογικών μεταβλητών, με βάση τα οποία έχει οριστεί.

**Πίνακας 2.1 Τύποι καιρού κατά Mc Cabe [1989]**

Τύπος καιρού - Συντομογραφία	Σύντομη εξήγηση	Διαστήματα τιμών διεύθυνσης ανέμου (μοίρες)	Διαστήματα τιμών νεφοκάλυψης (δέκατα)
Warm frontal overrunning - WFOR	Παρουσία υφέσης. Συνθήκες μπροστά από θερμό μέτωπο	45 - 134	5/10 - 10/10
Frontal maritime tropical return - FMTR	Παρουσία υφέσης. Συνθήκες μπροστά από ψυχρό μέτωπο, στο θερμό τομέα μίας υφέσης	135 - 269	5/10 - 10/10
Cold frontal overrunning- CFOR	Παρουσία υφέσης. Συνθήκες πίσω από ένα ψυχρό μέτωπο	270 - 44	5/10 - 10/10
Coastal return - CR	Παρουσία αντικυκλώνα. Άνεμος με ανατολική προέλευση (από τη θάλασσα)	45 - 134	0/10 - 5/10
Maritime tropical return - MTR	Παρουσία αντικυκλώνα. Άνεμος με νότια προέλευση.	135 - 269	0/10 - 5/10
High pressure - HP	Παρουσία αντικυκλώνα. Άνεμος με βόρεια προέλευση.	270 - 44	0/10 - 5/10

## 2.3 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ

### 2.3.1 Γενικά

Οι κατατάξεις της κατηγορίας αυτής βασίζονται στον εντοπισμό των μετεωρολογικών σχηματισμών ή καταστάσεων που προκάλεσαν βροχόπτωση, όπως η παρουσία μετώπων, υφέσεων ή ατμοσφαιρικής αστάθειας. Η παρουσία των σχηματισμών αυτών επηρεάζει ουσιαστικά τη χωροχρονική εξέλιξη των μετεωρολογικών μεταβλητών και κυρίως της

βροχόπτωσης, ενώ υπάρχει φυσική σύνδεση μεταξύ των μετεωρολογικών φαινομένων και των αντίστοιχων μεταβλητών. Σε ορισμένες περιπτώσεις η θεώρηση των μετεωρολογικών σχηματισμών μπορεί να γίνει προσθετικά σε άλλη κατάταξη τύπων καιρού με στόχο τη βελτίωση και ολοκλήρωση της αρχικής κατάταξης.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται ορισμένες από τις προσεγγίσεις αυτού του είδους, οι οποίες έγιναν από υδρολόγους με σκοπό τη μελέτη και μοντελοποίηση της βροχόπτωσης.

### **2.3.2 Κατάταξη Shaw [1962]**

Η κατάταξη της Shaw [1962] που έγινε για τη Βόρεια Αγγλία για την περίοδο 1956-1960, περιλαμβάνει εννέα κατηγορίες καιρού που προκαλούν βροχόπτωση: Θερμό, ψυχρό και συνεσφιγμένο μέτωπο, θερμός τομέας, θαλάσσια αρκτική, αρκτική ηπειρωτική και αρκτική αέρια μάζα, αρκτικό χαμηλό και καταιγίδα. Οι τέσσερις πρώτες κατηγορίες σχετίζονται με τη μετωπική δράση στην περιοχή μελέτης. Ειδικότερα οι τρεις πρώτες σχετίζονται με τη διέλευση του αντίστοιχου μετώπου από την περιοχή μελέτης, ενώ η τέταρτη αφορά στην παρουσία του θερμού τομέα που σχηματίζεται μεταξύ δύο διαδοχικών μετώπων (ψυχρού και θερμού). Οι κατηγορίες θαλάσσια αρκτική, αρκτική ηπειρωτική και αρκτική αέρια μάζα, σχετίζονται με την προέλευση μίας αέριας μάζας στην περιοχή μελέτης. Η κατηγορία του αρκτικού χαμηλού περιλαμβάνει υφέσεις που σχηματίζονται σε ομογενείς πολικές αέριες μάζες. Ακόμη στην κατηγορία αυτή περιελήφθησαν οι καιρικές καταστάσεις στις οποίες οι αέριες μάζες σε μία ύφεση έχουν χάσει τις ξεχωριστές ιδιότητές τους και δεν έχει αναπτυχθεί μετωπική δράση. Τέλος η κατηγορία που περιγράφεται ως καταιγίδα περιλαμβάνει όλες εκείνες τις καιρικές καταστάσεις που σχετίζονται με την αστάθεια της ατμόσφαιρας και την παρουσία θαλασσιών τροπικών μαζών στην περιοχή, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου.

Η κατάταξη πραγματοποιήθηκε με αποκλειστικό σκοπό τη μελέτη της χρονικής εξέλιξης της βροχής σε μικρή χρονική κλίμακα, και για το λόγο αυτό δε συντάχθηκε ημερήσιο ημερολόγιο των τύπων καιρού αλλά κάθε επεισόδιο βροχής αποδόθηκε σε έναν ή και σε περισσότερους από τους προηγούμενους τύπους. Έτσι αν ένα επεισόδιο βροχής εκδηλώθηκε κατά τη διέλευση των μετώπων μίας ύφεσης, τότε τμήματα του



επεισοδίου αυτού αποδόθηκαν στο θερμό μέτωπο που περνάει πρώτα, στον θερμό τομέα που ακολουθεί και τέλος στο ψυχρό μέτωπο που διέρχεται τελευταίο. Για την εργασία αυτή η οποία είναι αρκετά επίπονη απαιτείται η χρήση χαρτών καιρού η συνεχής καταγραφή αρκετών μετεωρολογικών μεταβλητών, αλλά και ιδιαίτερη εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης. Για την κατάταξη χρησιμοποιήθηκε η ημερήσια αναφορά του καιρού (Daily Weather Report) που εκδίδεται στην Αγγλία, και τα δεδομένα αυτογραφικών οργάνων όπως βροχογράφων, θερμογράφων, υδρογράφων και ανεμογράφων. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι παρατηρημένες ιδιότητες των μετεωρολογικών μεταβλητών, σε συγκεκριμένες καιρικές καταστάσεις, αξιοποιήθηκαν ουσιαστικά για να πραγματοποιηθεί η κατάταξη αυτή. Για παράδειγμα ο ακριβής χρόνος διέλευσης ενός μετώπου προσδιοριζόταν εκτός των άλλων δεδομένων και με βάση τη χρονική εξέλιξη της έντασης βροχής. Έτσι η βροχή με μικρή ένταση συνηγορούσε στην παρουσία θερμού μετώπου, ενώ η μεγάλη ένταση βροχής στην διέλευση ψυχρού μετώπου.

### **2.3.3 Κατάταξη Huff [1969]**

Η κατάταξη του Huff [1969] που έγινε για το Ιλινόις των Η.Π.Α., και για την περίοδο 1955 έως το 1966, περιλαμβάνει τα διάφορα είδη μετώπων (θερμό, ψυχρό, συνεσφιγμένο), τη διέλευση ύφεσης, τη θερμική αστάθεια και τις γραμμές λαίλαπας (squall lines). Για την κατάταξη χρησιμοποιήθηκαν χάρτες καιρού επιφανείας, αρχειοθετημένες παρατηρήσεις καιρού από μετεωρολόγους και μετεωρολογικά δεδομένα. Και αυτή η κατάταξη πραγματοποιήθηκε με αποκλειστικό σκοπό τη μελέτη της χρονικής εξέλιξης της βροχής σε κλίμακα επεισοδίου βροχής, και για το λόγο αυτό δε συντάχθηκε ημερήσιο ημερολόγιο των τύπων καιρού αλλά κάθε επεισόδιο αποδόθηκε σε έναν ή και σε περισσότερους από τους τύπους που περιγράφηκαν.

### **2.3.4 Κατάταξη Barnsley et al. [1995]**

Οι Barnsley et al. [1995] θεώρησαν ότι η μεταβλητότητα της βροχόπτωσης που εκδηλώνεται σε ένα συγκεκριμένο τύπο καιρού, οφείλεται και σε παράγοντες που διαφοροποιούν τις καιρικές καταστάσεις που έχουν καταταγεί στον ίδιο τύπο. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι η ένταση της ανάπτυξης των σχηματισμών, οι ακριβείς τροχιές των υφέσεων και η

μετωπική δράση. Έτσι οι συγγραφείς συνδύασαν το είδος του διερχόμενου μετώπου με την κατάταξη του Lamb [1972] η οποία συνδέεται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στη Βρετανία (ανήκει στην τρίτη κατηγορία και παρουσιάζεται στην επόμενη παράγραφο). Η προσθετική αυτή κατάταξη έγινε για τη Βρετανία και για την περίοδο 1970-1990. Οι συγγραφείς κατέγραψαν τον αριθμό και το είδος των μετώπων (θερμό, ψυχρό, συνεσφιγμένο) τα οποία πραγματοποιούνται σε κάθε ημέρα η οποία έχει καταταχθεί σύμφωνα με την κατάταξη του Lamb [1972]. Για τον εντοπισμό και κατάταξη των μετώπων χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες καιρού επιφανείας της Βρετανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και τη Γερμανική έκδοση του European Meteorological Bulletin. Η όλη επεξεργασία έγινε έτσι ώστε η πρόσθετη κατάταξη να είναι συμβατή με αυτήν του Lamb [1972] και ως προς το χρονικό βήμα (ημερήσιο) αλλά και ως προς την περιοχή μελέτης (ορίζεται από τα γεωγραφικά πλάτη 50° έως 60° βόρειο και από τα μήκη 10° δυτικό έως 02° ανατολικό).

## **2.4 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ**

### **2.4.1 Εισαγωγή**

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει το μεγαλύτερο αριθμό κατατάξεων, και συγκεκριμένα εκείνες που συνδέονται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή μελέτης. Οι κατατάξεις αυτές στηρίζονται στη θεώρηση μεγάλης κλίμακας σχηματισμών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, όπως οι θέσεις των αντικυκλώνων, οι τροχιές των κυκλώνων ή κάποιες ιδιαίτερες κατανομές της ατμοσφαιρικής πίεσης σε διάφορα ύψη της ατμόσφαιρας. Ο ορισμός των τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και η κατάταξη των συνοπτικών καταστάσεων σε ημερήσια ή άλλη χρονική βάση, προϋποθέτει τη χρήση χαρτών καιρού σε διάφορες στάθμες της ατμόσφαιρας, μετεωρολογικών δεδομένων, και μεγάλη εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης. Έτσι, το σύνολο των κατατάξεων αυτών έχει γίνει από έμπειρους μετεωρολόγους, ενώ αρκετές φορές υποστηρίζονται και από κρατικούς μετεωρολογικούς οργανισμούς.

Οι κατατάξεις της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας ξεκίνησαν από τον 19°, και συνεχίστηκαν τον 20° αιώνα, σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.

Οι στόχοι ήταν η καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και η πρόγνωση του καιρού. Η συνολική θεώρηση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης και η σχεδόν προσδιοριστική σχέση που συνδέει την ατμοσφαιρική κυκλοφορία με τις τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών κάνει τις κατατάξεις αυτές περισσότερο ενδιαφέρουσες και αξιόπιστες.

Στην επόμενη παράγραφο γίνεται μία ιστορική αναδρομή των σημαντικότερων κατατάξεων της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Στη συνέχεια περισσότερο διεξοδικά παρουσιάζονται ορισμένες από τις κατατάξεις που σχετίζονται με αυτή την εργασία. Έτσι σε ξεχωριστές παραγράφους παρουσιάζονται οι κατατάξεις των Baur et al. [1944], Lamb [1950] και [1972], Scuerp [1968], Conte and Colacino [1995]. Για τις τρεις πρώτες έχει καταρτιστεί ημερολόγιο τύπων για μεγάλα χρονικά διαστήματα και έχουν χρησιμοποιηθεί από πολλούς ερευνητές σε εργασίες (παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 3) σχετικές με τη μελέτη και μοντελοποίηση των βροχοπτώσεων και απορροών στην Ευρώπη. Ακόμη σε ανάλογες αρχές και παραδοχές με αυτές του Lamb [1950] και [1972], στηρίζεται και η κατάταξη Maheras [1979], η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Τέλος η κατάταξη των Conte and Colacino [1995], αν και δε συνοδεύεται από ημερολόγιο και δεν έχει αξιολογηθεί παρουσιάζεται ξεχωριστά γιατί αφορά την ίδια περιοχή με αυτήν του Μαχαίρα (λεκάνη της Μεσογείου) και είναι αρκετά πρόσφατη. Τέλος παρουσιάζονται ορισμένες κατατάξεις οι οποίες προσπαθούν να περιγράψουν και να κατατάξουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή μελέτης με βάση την τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε διάφορα σημεία του χώρου.

#### **2.4.2 Αναδρομή στις κατατάξεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.**

Ο Van Bebbber [1882] κατέγραψε τις συχνότερες τροχιές των υφέσεων πάνω από την Ευρώπη και αργότερα οι Van Bebbber and Kuppen [1895] όρισαν 20 τύπους κατανομής της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια για μία περιοχή από την Αμερική έως τη Σιβηρία. Η κατάταξη στηρίζεται το γεγονός ότι οι αντικυκλωνικές περιοχές αντιπροσωπεύουν τα σταθερά στοιχεία σε μία μεγάλης κλίμακας συνοπτική κατάσταση, και εξετάζει τις τροχιές των υφέσεων στην περιφέρεια των αντικυκλωνικών περιοχών που υπάρχουν σε κάθε τύπο.

Ο Gold [1920] όρισε 28 κύριους και δευτερεύοντες τύπους της κατανομής της ατμοσφαιρικής πίεσης στην περιοχή της Βρετανίας και της δυτικής Ευρώπης, και έκανε ημερήσια κατάταξη του καιρού για το χρονικό διάστημα 1905-1918. Οι τύποι ορίστηκαν με βάση τις κοντινότερες περιοχές στις οποίες επικρατούν κέντρα υψηλών και χαμηλών πιέσεων (π.χ. υψηλό στο Βισκαϊκό σε συνδυασμό με χαμηλό στην Σκανδιναβία). Οι δευτερεύοντες τύποι αφορούν στην μορφή των αυλώνων και των αυχένων, ή εισάγουν μικρές διαφοροποιήσεις των κυρίων τύπων. Ακόμη επτά τύποι αφορούν αποκλειστικά στην παρουσία ύφεσης ή αντικυκλώνα πάνω ακριβώς από τη Βρετανία.

Ο Newnham [1925] εισήγαγε μία κατάταξη που εξέταζε αν επικρατούσαν υψηλές ή χαμηλές πιέσεις σε 10 συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές. Ο τομέας που μελετήθηκε ορίζεται από τα γεωγραφικά πλάτη  $30^{\circ}$  έως  $80^{\circ}$  βόρειο και από τα μήκη  $70^{\circ}$  δυτικό έως  $30^{\circ}$  ανατολικό. Με βάση τους τύπους αυτούς κατατάχθηκαν όλες οι ημέρες του διαστήματος 1896-1910. Εκτός από ορισμό των 10 περιοχών στις οποίες χωρίζεται ο τομέας, η κατάταξη αυτή είναι η καθαρά αντικειμενική, αλλά μειονεκτεί στο γεγονός ότι υπάρχουν εκατομμύρια πιθανοί συνδυασμοί ( $2^{10}$ ) των υψηλών και χαμηλών πιέσεων στις 10 περιοχές.

Αρκετά απλοποιητική είναι η εργασία του Evenj [1943], και κατατάσσει τη συνοπτική κατάσταση σε τρεις μόνο τύπους: αντικυκλωνικός, κυκλωνικός, ουδέτερος. Η κατάταξη έγινε σε ημερήσια βάση για τα χρονικά διαστήματα 1868-1885 και 1922-1939 για την περιοχή της Σκανδιναβίας ( $55^{\circ}$ - $65^{\circ}$  βόρειο,  $5^{\circ}$ - $25^{\circ}$  ανατολικό).

Κατάταξη της συνοπτικής κατάστασης στη στάθμη των 500 hPa, σε έξι τύπους έχει γίνει από το Asakura [1968] για την περιοχή της Ανατολικής Ασίας.

Ο Vangengejm [Bolotinskaja and Ryzakion, 1964] χρησιμοποίησε τον όρο *στοιχειώδεις συνοπτικές διεργασίες* (elementary synoptic processes) για να περιγράψει την εξέλιξη της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε διάστημα μερικών ημερών. Η κατάταξη που εισήγαγε περιλαμβάνει 26 τέτοιες *στοιχειώδεις συνοπτικές διεργασίες* που συμβαίνουν στην περιοχή του Ατλαντικού και της Ευρώπης. Οι τύποι αυτοί είναι ουσιαστικά παραλλαγές τριών μοντέλων (τύπων) της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στο σύνολο του βορείου ημισφαιρίου. Για το χρονικό διάστημα 1891-1962 έγινε κατάταξη από τον Girs [1963] κάθε ημέρας, στους 26 τύπους καιρού και

στα τρία μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Τα μοντέλα αυτά περιγράφονται συνοπτικά στη συνέχεια:

- Μοντέλο δυτικής κυκλοφορίας. Χαρακτηρίζεται από έντονη κυκλοφορία στην τροπόσφαιρα από τα δυτικά στα ανατολικά.
- Μοντέλο ανατολικής κυκλοφορίας. Στάσιμοι αντικυκλώνες εμποδίζουν την κυκλοφορία από τα δυτικά στα ανατολικά, ιδιαίτερα πάνω από τις ηπείρους.
- Μοντέλο μεσημβρινής κυκλοφορίας. Παρουσία ενός αυχένα ή αντικυκλώνα πάνω από τον ανατολικό Ατλαντικό και τη δυτική Ευρώπη.

Ο Girs [1963] θεώρησε ότι οι τρεις κύριες κατηγορίες του Vangengejm αφορούν την περιοχή Ατλαντικού - Ευρώπης, ενώ για τις υπόλοιπες περιοχές του βορείου ημισφαιρίου όρισε τρεις ακόμη τύπους, ένα ζωνικό και δύο μεσημβρινούς. Με βάση το συνδυασμό των τύπων στις δύο αντίθετες πλευρές του ημισφαιρίου, ορίζονται εννέα τύποι κυκλοφορίας, ενώ η μετάβαση από τον ένα τύπο στον άλλο απαιτεί 1 - 16 ημέρες.

Η κατάταξη που προτάθηκε από τους Dzerdzevskii et al. [1946] περιλαμβάνει 13 κύριους και 51 δευτερεύοντες τύπους του βασικού μηχανισμού της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στο βόρειο ημισφαίριο. Με βάση την κατάταξη αυτή συντάχθηκε ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού για τα έτη 1899-1969 από τον Dzerdzevskii [1970]. Οι τέσσερις κύριες κατηγορίες της κατάταξης μπορούν να περιγραφούν γενικά ως: (α) ζωνικοί τύποι (β) ζωνικοί τύποι διαταραγμένοι σε κάποιο τομέα (γ) μεσημβρινοί τύποι (δ) μικτοί τύποι με τα χαρακτηριστικά και των δύο κατηγοριών σε κάποια περιοχή.

Η κατάταξη της Davidova [1967] αφορά στους τύπους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας του νοτίου ημισφαιρίου. Η συγγραφέας όρισε έξι τύπους για την περιοχή του Ατλαντικού (πλάτη 30°-60° νότιο), πέντε τύπους για την περιοχή του Ινδικού (πλάτη 30°-60° νότιο) και επτά τύπους για την περιοχή του Ειρηνικού (πλάτη 30°-70° νότιο).

### 2.4.3 Κατάταξη Baur et al. [1944]

Οι Baur et al. [1944] όρισαν ως τύπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μία συγκεκριμένη κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε μία περιοχή που περιλαμβάνει ολόκληρη την Ευρώπη και την ανατολική μεριά του Βόρειου Ατλαντικού ωκεανού. Σύμφωνα με τους συγγραφείς κάθε τύπος κυκλοφορίας παραμένει για αρκετές ημέρες (τουλάχιστον τρεις), και σε αυτή την περίοδο τα κύρια χαρακτηριστικά του καιρού παραμένουν σχεδόν σταθερά. Κατόπιν πραγματοποιείται μετάβαση σε άλλον τύπο κυκλοφορίας. Στην κατάταξη λαμβάνονται υπόψη η κατάσταση της γενικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας ολόκληρου του Βορείου ημισφαιρίου, και οι μεγάλοι μετεωρολογικοί σχηματισμοί όπως:

- Η θέση των σχεδόν μόνιμων κέντρων ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια (αντικυκλώνας των Αζορών, ύφεση της Ισλανδίας)
- Η θέση και οι τροχιές των διαφόρων μετώπων
- Η παρουσία και εξέλιξη των κυκλώνων και αντικυκλώνων στην περιοχή της Ευρώπης

Η κατάταξη των Baur et al. [1944] είναι πολύ σημαντική ιδιαίτερα για την Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη, και έχει μελετηθεί και αξιοποιηθεί από πολλούς ερευνητές (στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες εργασίες που αφορούν στην μελέτη και μοντελοποίηση της βροχόπτωσης). Χρησιμοποιώντας την κατάταξη αυτή οι Hess and Brezowsky [1969] κατάρτισαν ένα ημερήσιο ημερολόγιο των τύπων καιρού στην Ευρώπη για το διάστημα 1881-1966. Ακόμη, από το 1948 οι τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην Ευρώπη κατατάσσονται και περιλαμβάνονται σε μηνιαία έκδοση που γίνεται από τη Γερμανική Ομοσπονδιακή Μετεωρολογική Υπηρεσία. Στον Πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι τρεις κατηγορίες τύπων καιρού και οι 10 κύριοι τύποι που περιλαμβάνουν, όπως αυτοί κατατάχθηκαν από τους Baur et al. [1944]. Οι Hess and Brezowsky [1969] διαίρεσαν τους 10 κύριους τύπους σε 29 δευτερεύοντες (Πίνακας 2.2), με κύρια επιδίωξη το διαχωρισμό των υφιστάμενων από τους αντικυκλωνικούς τύπους. Ακόμη, έχει οριστεί και ένας ακόμη τύπος ο οποίος περιλαμβάνει όλες τις συνοπτικές κατατάξεις που είναι πολύ ιδιαίτερες και δεν κατατάσσονται σε κάποιον από τους προηγούμενους τύπους

**Πίνακας 2.2** Τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά Hess and Brezowsky [1969]

Κατηγορία τύπων	Κύριοι τύποι	Δευτερεύοντες τύποι	
Ζωνικής κυκλοφορίας	Δυτικός	Δυτικός αντικυκλωνικός	
		Δυτικός υφεσιακός	
		Νοτιοδυτικός	
		Δυτικός υπό γωνία	
Ημι-μεσημβρινής κυκλοφορίας	Νοτιοδυτικός	Νοτιοδυτικός αντικυκλωνικός	
		Νοτιοδυτικός υφεσιακός	
	Βορειοδυτικός	Βορειοδυτικός αντικυκλωνικός	
		Βορειοδυτικός υφεσιακός	
	Αντικυκλώνας κεντρικής Ευρώπης	Αντικυκλώνας κεντρικής Ευρώπης	
		Αυχένας κεντρικής Ευρώπης	
	Κυκλώνας κεντρικής Ευρώπης	Κυκλώνας κεντρικής Ευρώπης	
	Μεσημβρινής κυκλοφορίας	Βόρειος	Βόρειος αντικυκλωνικός
Βόρειος υφεσιακός			
Υψηλό Βόρειας Ιρλανδίας, αντικυκλωνικός			
Υψηλό Βόρειας Ιρλανδίας, αντικυκλωνικός			
Υψηλό Βρετανικών νησιών			
Αυλώνας Κεντρικής Ευρώπης			
Βορειανατολικός		Βορειανατολικός αντικυκλωνικός	
		Βορειανατολικός υφεσιακός	
		Σκανδιναβικό υψηλό, αντικυκλωνικός	
		Σκανδιναβικό υψηλό, υφεσιακός	
		Νορβηγική θάλασσα Σκανδιναβικό υψηλό, αντικυκλωνικός	
		Νορβηγική θάλασσα Σκανδιναβικό υψηλό, υφεσιακός	
Νοτιανατολικός		Νοτιοανατολικός αντικυκλωνικός	
		Νοτιοανατολικός υφεσιακός	
Νότιος		Νότιος	Νότιος αντικυκλωνικός
			Νότιος υφεσιακός
			Χαμηλό Βρετανικών νησιών
			Αυλώνας Δυτικής Ευρώπης

#### 2.4.4 Κατάταξη Lamb [1972]

Ο Lamb [1950], [1972] κατέταξε σε επτά τύπους καιρού, την ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τα Βρετανικά νησιά, και συγκεκριμένα στην περιοχή που ορίζεται από τα γεωγραφικά πλάτη 50° έως 60° βόρειο και από τα μήκη 10° δυτικό έως 2° ανατολικό. Η κατάταξη βασίζεται στην αναγνώριση από τους χάρτες καιρού συγκεκριμένων χωρικών κατανομών της ατμοσφαιρικής πίεσης, στη θέση των κέντρων των αντικυκλώνων, στην έκταση που καταλαμβάνουν, στις τροχιές των υφέσεων, και στη γενική διεύθυνση των ανέμων πάνω από τα Βρετανικά νησιά. Ακόμη δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα στο να προσδιοριστεί η εξέλιξη των ατμοσφαιρικών συστημάτων σε διαδοχικές ημέρες αλλά και σε περιόδους μερικών ημερών.

Για την κατάταξη χρησιμοποιήθηκαν κυρίως οι χάρτες καιρού που εκδίδονται από το Βρετανικό Μετεωρολογικό γραφείο, αλλά και χάρτες από μετεωρολογικές υπηρεσίες άλλων χωρών (Δανία, Γερμανία, Η.Π.Α.). Με βάση τα χαρακτηριστικά που αναφέρθηκαν και την επεξεργασία των χαρτών (ήταν διαθέσιμοι ένας έως τέσσερις χάρτες την ημέρα), έγινε ημερήσια κατάταξη των τύπων κυκλοφορίας για το διάστημα 1861-1971 και συντάχθηκε ημερήσιο ημερολόγιο. Σε αρκετές περιπτώσεις η ημερήσια ατμοσφαιρική κυκλοφορία είναι δύσκολο να καταταχθεί εξ αιτίας πολύπλοκων μετεωρολογικών συστημάτων, συστημάτων μικρής κλίμακας ή γρήγορης αλλαγής της συνοπτικής κατάστασης πάνω από τα Βρετανικά νησιά (μικρότερη από μία ημέρα). Σε όσες από τις παραπάνω ημέρες τα χαρακτηριστικά της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας ικανοποιούσαν τους ορισμούς δύο ή περισσότερων τύπων, η ημέρα αποδόθηκε σε όλους, ενώ οι υπόλοιπες ημέρες δεν κατετάγησαν σε κανένα τύπο. Το ποσοστό των ημερών αυτών ήταν περίπου 4% σε όλο το χρονικό διάστημα, ενώ κυμαινόταν από 2 - 7% για κάθε έτος ξεχωριστά.

Η κατάταξη αυτή έχει χρησιμοποιηθεί από διάφορους ερευνητές με στόχο τη μελέτη και μοντελοποίηση των βροχοπτώσεων και απορροών στην Ευρώπη, όπως αναλυτικότερα παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3. Ακόμη σε ανάλογες αρχές και παραδοχές στηρίζεται και η κατάταξη Maheras [1979], η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία [Maheras, 1979; Maheras, 1989].



Οι επτά τύποι καιρού που ορίστηκαν παρουσιάζονται στη συνέχεια μαζί με μία σύντομη περιγραφή της συνοπτικής κατάστασης και του καιρού που επικρατεί.

- 1. Αντικυκλωνικός τύπος (A).** Ένας αντικυκλώνας έχει το κέντρο του ή εκτείνεται πάνω από τα Βρετανικά νησιά. Ακόμη μπορεί ένας αυχένας να βρίσκεται πάνω από τη χώρα, μεταξύ δύο αντικυκλώνων. Ο καιρός είναι ξηρός με ασθενείς ανέμους, συνήθως θερμός το καλοκαίρι και κρύος ή πολύ κρύος το χειμώνα. Το καλοκαίρι μπορεί να προκληθούν καταιγίδες εφόσον υπάρχει αυχένας. Μεγάλη σχετική υγρασία και ομίχλη παρατηρούνται συχνά κατά το φθινόπωρο.
- 2. Κυκλωνικός τύπος (C).** Χαρακτηρίζεται από παρουσία ύφεσης που είναι στάσιμη ή περνάει πάνω από τα Βρετανικά νησιά. Το κριτήριο που χρησιμοποιείται είναι η κεντρική ισοβαρής (σε ισοδιάσταση 5 mb) να εκτείνεται πάνω από τη Βρετανία ή την Ιρλανδία κάποια στιγμή της ημέρας. Ο καιρός είναι υγρός και ταραγμένος, με ανέμους που δεν έχουν σταθερή ένταση και διεύθυνση, ήπιος το φθινόπωρο, κρύος την άνοιξη και το καλοκαίρι. Συνήθως εκδηλώνονται καταιγίδες.
- 3. Δυτικός τύπος (W).** Παρουσιάζονται υψηλές πιέσεις στα νότια (νοτιοδυτικά ή νοτιοανατολικά) και χαμηλές πιέσεις στα βόρεια των Βρετανικών νησιών. Διαδοχή από υφέσεις και αυλώνες κατευθύνεται ανατολικά διασχίζοντας τον Ατλαντικό. Ο καιρός είναι ασταθής, με βροχές στα βόρεια και δυτικά διαμερίσματα της χώρας, δροσερός το καλοκαίρι, ήπιος το χειμώνα. Συνήθως εκδηλώνονται πολλές καταιγίδες.
- 4. Βορειοδυτικός τύπος (NW).** Ο αντικυκλώνας των Αζορών μετατοπίζεται βορειοανατολικά προς τη Βρετανία, ή προς τα βόρεια. Οι υφέσεις συχνά σχηματίζονται πάνω από την Ιρλανδία, κατευθύνονται προς τη Βόρεια θάλασσα και αποκτούν τη μεγαλύτερη ένταση στη Σκανδιναβία ή τη Βαλτική. Ο καιρός είναι άστατος ειδικά στα βόρεια και ανατολικά της χώρας. Γενικά ο καιρός είναι ψυχρότερος από αυτόν του Δυτικού τύπου και ηπιότερος από αυτόν του Βόρειου τύπου.
- 5. Βόρειος τύπος (N).** Παρουσιάζονται υψηλές πιέσεις στα δυτικά και βορειοδυτικά της Βρετανίας, ιδιαίτερα πάνω από τη Γροιλανδία, ενώ μερικές φορές εκτείνονται σαν ζώνη νότια πάνω από τον Ατλαντικό προς τις Αζόρες. Εμφανίζονται χαμηλές πιέσεις συνήθως πάνω από τη

Βαλτική, τη Σκανδιναβία και τη Βόρεια θάλασσα. Οι υφέσεις κινούνται από τη Νορβηγική θάλασσα νότια ή νοτιανατολικά. Ο καιρός είναι ψυχρός όλες τις εποχές, ενώ πραγματοποιούνται συχνά χιονοπτώσεις το χειμώνα, και παγετοί την άνοιξη και το φθινόπωρο. Ακόμη, ο τύπος αυτός συχνά συνοδεύεται από πολύ ισχυρούς ανέμους.

**6. Ανατολικός τύπος (E).** Ένας αντικυκλώνας εκτείνεται πάνω από την Σκανδιναβία και προς την Ισλανδία. Υφέσεις κυκλοφορούν πάνω από το δυτικό Ατλαντικό και στην περιοχή των Αζορών, της Ισπανίας και του Βискаϊκού κόλπου. Ο καιρός είναι θερμός το καλοκαίρι και ψυχρός τις υπόλοιπες εποχές. Μερικές φορές μάλιστα είναι έντονα ψυχρός, ιδιαίτερα στα νότια και στα ανατολικά, όπου σημειώνονται και χιονοπτώσεις. Ο καιρός είναι καλός και ξηρός στα δυτικά και στα βόρεια τμήματα της χώρας.

**7. Νότιος τύπος (S).** Υψηλές πιέσεις καλύπτουν την κεντρική και Βόρεια Ευρώπη. Οι υφέσεις του Ατλαντικού είτε εμποδίζονται δυτικά από τα Βρετανικά νησιά είτε κινούνται βόρεια - βορειανατολικά κοντά στις δυτικές ακτές της Βρετανίας. Ο καιρός είναι θερμός και με καταιγίδες την άνοιξη και το καλοκαίρι, και ήπιος το φθινόπωρο. Το χειμώνα ο καιρός είναι ήπιος αν η αέρια μάζα που μεταφέρθηκε πάνω από τα Βρετανικά νησιά προέρχεται από τον ωκεανό, και ψυχρός αν έχει ηπειρωτική προέλευση.

#### **2.4.5 Κατάταξη Scuepp [1968]**

Ο Scuepp [1968] κατέταξε την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή των Άλπεων με βάση την περιοχή προέλευσης των αερίων μαζών, τη διακύμανση της θερμοκρασία και την παρουσία ύφεσης. Από την εργασία αυτή προέκυψαν 36 τύποι καιρού, εκ των οποίων 24 σχετίζονται με την οριζόντια μεταφορά συγκεκριμένων αερίων μαζών, 9 με την τροχιά των υφέσεων και 3 οι οποίοι παρουσιάζουν ασθενή βαροβαθμίδα. Για την κατάταξη απαιτήθηκε η χρήση χαρτών καιρού στην επιφάνεια και στην στάθμη των 500 hPa και τελικά συντάχθηκε ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού για το διάστημα 1955-67.

Για την ευκολότερη χρήση και κατάταξη των περισσότερο πρόσφατων συνοπτικών κατατάξεων ο Van de Gried [1981], συνέπτυξε τους παραπάνω τύπους καιρού σε οκτώ κύριες κλάσεις οι οποίες επηρεάζουν διαφορετικά τις υδρολογικές διεργασίες. Οι κλάσεις αυτές

προκύπτουν ως συνδυασμός της προέλευσης των αερίων μαζών, της παρουσίας αντικυκλώνων και των υφέσεων, και παρουσιάζονται στη συνέχεια:

1. Οριζόντια μεταφορά ηπειρωτικής πολικής αέριας μάζας με προέλευση από βορειοδυτικά μέχρι βορειοανατολικά, συνδυασμένη με την παρουσία ύφεσης.
2. Οριζόντια μεταφορά ηπειρωτικής πολικής αέριας μάζας με προέλευση από βορειοδυτικά μέχρι βορειοανατολικά, συνδυασμένη με την ύπαρξη ασθενούς βαροβαθμίδας.
3. Οριζόντια μεταφορά ηπειρωτικής πολικής αέριας μάζας με προέλευση από βορειοδυτικά μέχρι ανατολικά, συνδυασμένη με την παρουσία αντικυκλώνα.
4. Οριζόντια μεταφορά θαλάσσιας πολικής αέριας μάζας με δυτική ή βορειοδυτική προέλευση, συνδυασμένη με την παρουσία ύφεσης.
5. Οριζόντια μεταφορά θαλάσσιας πολικής αέριας με δυτική ή βορειοδυτική προέλευση, συνδυασμένη με την ύπαρξη ασθενούς βαροβαθμίδας.
6. Οριζόντια μεταφορά τροπικής αέριας μάζας με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά, συνδυασμένη με την παρουσία ύφεσης.
7. Οριζόντια μεταφορά τροπικής αέριας μάζας με προέλευση από νοτιοδυτικά μέχρι νοτιοανατολικά, συνδυασμένη με την ύπαρξη ασθενούς βαροβαθμίδας.
8. Οριζόντια μεταφορά τροπικής αέριας μάζας με προέλευση από νοτιοδυτικά μέχρι νοτιοανατολικά, συνδυασμένη με την παρουσία αντικυκλώνα.

#### **2.4.6 Κατάταξη Conte και Colacino [1995]**

Οι Conte and Colacino [1995] μελέτησαν το κλίμα της λεκάνης της Μεσογείου και προσδιόρισαν τους πιο σημαντικούς τύπους της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για την περιοχή αυτή. Οι συγγραφείς δεν κατάρτισαν ημερολόγιο των τύπων αυτών για κάποιο χρονικό διάστημα, αλλά έκαναν σημαντικές παρατηρήσεις για την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στη Μεσόγειο. Σύμφωνα με τους συγγραφείς η κυκλοφορία στην περιοχή επηρεάζεται κυρίως από τον αντικυκλώνα των Αζορών, ο οποίος την ψυχρή περίοδο περιορίζεται στον Ατλαντικό, επιτρέποντας την

κυκλοφορία των διαταραχών με προέλευση από τον Ατλαντικό ωκεανό. Αντίθετα τη θερμή περίοδο ο αντικυκλώνας εκτείνεται, προστατεύοντας τη λεκάνη από τις διαταραχές με δυτική προέλευση. Ακόμη σημαντικά για το κλίμα είναι και τα κυκλωνικά συστήματα που αναπτύσσονται μέσα στη Μεσόγειο. Η περιοχή με τη μεγαλύτερη παρατηρούμενη κυκλωνογένεση είναι ο κόλπος της Γένουας (βόρεια Ιταλία), ενώ ακολουθούν ο κόλπος της Λυόν (Γαλλία), το Αιγαίο πέλαγος και η θαλάσσια περιοχή της Κύπρου.

Οι συγγραφείς με βάση τη συνοπτική κατάσταση στην επιφάνεια και στην στάθμη των 500 hPa, όρισαν 10 τύπους καιρού, οι οποίοι παρουσιάζονται στη συνέχεια:

- 1. Δυτικός τύπος.** Ο τύπος αυτός ονομάζεται και ζωνικός δεδομένου ότι οι ισοβαρείς είναι παράλληλες με τον ισημερινό. Η ατμοσφαιρική ροή γίνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά, προερχόμενη απευθείας από τον Ατλαντικό ωκεανό. Οι διαταραχές μπορεί να περνούν είτε από τη Μεσόγειο (χαμηλός δυτικός τύπος) είτε από τη βορειοδυτική περιοχή της λεκάνης (υψηλός δυτικός τύπος).
- 2. Βόρειος τύπος.** Η ατμοσφαιρική ροή έρχεται από τη βόρεια Ευρώπη, ενώ πολλά ψυχρά μέτωπα φτάνουν στη Μεσόγειο προκαλώντας εκτεταμένες ψυχρές εισβολές.
- 3. Βορειανατολικός - ανατολικός τύπος.** Η ατμοσφαιρική ροή φτάνει στη Μεσόγειο προερχόμενη από τη βορειανατολική Ευρώπη, δημιουργώντας ψυχρές εισβολές από ηπειρωτικό, εξαιρετικά ψυχρό αέρα. Όταν η αέρια μάζα εγκατασταθεί στην ανατολική Μεσόγειο μία μεγάλη ύφεση αναπτύσσεται νότια της Τουρκίας γνωστή και ως "χαμηλό της Κύπρου".
- 4. Νότιος τύπος**

Μία βάθια ύφεση στην επιφάνεια και στην ανώτερη ατμόσφαιρα, αναπτύσσεται στην περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου. Στα ανατολικά, πνέουν ισχυροί νότιοι άνεμοι, οι οποίοι προέρχονται από τη βόρεια Αφρική.
- 5. Νοτιοδυτικός τύπος**

Αρχικά αναπτύσσονται χαμηλές πιέσεις στην ανώτερη ατμόσφαιρα, πάνω από τα Βρετανικά νησιά. Στη νοτιοανατολική μεριά αναπτύσσεται στην επιφάνεια μία ύφεση η οποία προκαλεί νοτιοδυτικούς ανέμους πάνω από τη Μεσόγειο.

## **6. Βορειοδυτικός τύπος**

Μία ύφεση αναπτύσσεται μεταξύ Σκοτίας και Νορβηγίας ενώ πολλές φορές παρατηρείται και κυκλωνογένεση κάτω από τις Άλπεις, συνήθως στον κόλπο της Γένουας.

## **7. Τύπος με ύφεση στα μεσαία πλάτη**

Μία βάθια και καλά οργανωμένη ύφεση, κινείται αργά στα μεσαία πλάτη (40°-60°) πάνω από την Ευρώπη, με ανατολική κατεύθυνση, και επηρεάζει τον καιρό στις περισσότερες περιοχές της Ευρωπαϊκής ηπείρου.

## **8. Τύπος με ύφεση ερήμου**

Ένα έντονο βαρομετρικό χαμηλό στην επιφάνεια γεννιέται κάτω από το βουνό Άτλας, κάπου ανάμεσα στην Αλγερία, την Τυνησία, το Μαρόκο και τη δυτική Λιβύη. Η ύφεση αυτή έχει την τάση να κινείται βορειοανατολικά διασχίζοντας τη Μεσόγειο, ενώ προκαλεί ισχυρούς νότιους ανέμους.

## **9. Τύπος με υψηλές πιέσεις**

Ένα σύστημα υψηλών πιέσεων αναπτύσσεται στην επιφάνεια και την ανώτερη ατμόσφαιρα, πάνω από την Κεντρική Ευρώπη. Ο τύπος αυτός είναι συνδεδεμένος με την ατμοσφαιρική ευστάθεια, και έτσι ο καιρός είναι καλός σε όλη τη περιοχή.

## **10. Τύπος με επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών**

Η επέκταση του αντικυκλώνα των Αζορών, προκαλεί υψηλές πιέσεις στην επιφάνεια και την ανώτερη ατμόσφαιρα, στην περιοχή της δυτικής Μεσογείου. Ο τύπος αυτός είναι συνδεδεμένος με την καλοκαιρία είναι εμφανίζεται συχνά τους καλοκαιρινούς μήνες.

### **2.4.7 Κατάταξη Brandley [1982]**

Η κατάταξη αυτή στηρίζεται στις μετρημένες τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια, στα σημεία ενός κανάβου ο οποίος έχει οριστεί στις δυτικές ΗΠΑ. Με βάση τις τιμές αυτές και χρησιμοποιώντας μία τεχνική που βασίζεται στη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, οι Brandley et al. [1982] καθόρισαν 31 κατηγορίες του ημερήσιου πεδίου της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια, όπου κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται από μία συγκεκριμένη ημερήσια κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης. Με βάση αυτές τις κατηγορίες κατάρτισαν ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού για το διάστημα 1898-1980.

Σημειώνεται ότι περίπου το 10% των ημερών δεν έγινε εφικτό να καταταγούν σε κάποιο από τους 31 τύπους.

#### **2.4.8 Κατάταξη Wilson et al. [1991]**

Το Εθνικό Μετεωρολογικό Κέντρο (NMC) των ΗΠΑ έχει εγκαθιδρύσει ένα κανάβο που περιλαμβάνει 1977 (47 X 51) σημεία και καλύπτει όλο το Βόρειο ημισφαίριο. Στα σημεία του κανάβου εκτιμώνται οι τιμές ορισμένων μετεωρολογικών μεταβλητών, με βάση μετρήσεις πίεσης, θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου στην επιφάνεια και στις στάθμες των 850 και 500 hPa. Οι Wilson et al. [1991] κατέταξαν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία σε κλάσεις χρησιμοποιώντας τα δεδομένα σε 24 από τα σημεία του κανάβου, στην περιοχή που ορίζεται από τα γεωγραφικά πλάτη 30° έως 60° βόρειο και από τα μήκη 115° έως 175° δυτικό. Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει σχεδόν όλο το Βόρειο Ειρηνικό. Για την κατάταξη χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια και της θερμοκρασίας στη στάθμη των 850 hPa, οι οποίες ήταν διαθέσιμες σε ημερήσια βάση. Οι συγγραφείς επέλεξαν να χρησιμοποιήσουν τις τιμές των μεταβλητών αυτών, διότι επιδρούν σημαντικά στις μετεωρολογικές συνθήκες στην επιφάνεια. Για την κατάταξη των ημερών σε κλιματικές κλάσεις καιρού χρησιμοποιήθηκε επαναληπτικός αλγόριθμος. Σύμφωνα με αυτόν κάθε ημέρα κατατάσσεται με κριτήριο την ελαχιστοποίηση των διαφορών μεταξύ του διανύσματος των τιμών των μετεωρολογικών μεταβλητών της ημέρας και των μέσων τιμών των μεταβλητών της κλάσης. Στο διάνυσμα που εξετάζεται περιλαμβάνονται οι τιμές των δύο μεταβλητών σε όλα τα σημεία του κανάβου. Με την αποδοχή της ημέρας σε μία κλιματική κλάση ξαναυπολογίζονται οι μέσες τιμές των μεταβλητών της κλάσης και επαναλαμβάνονται οι συγκρίσεις. Η διαδικασία σταματάει όταν οι ημέρες δεν αλλάζουν πλέον κλιματικές κλάσεις. Δεδομένου ότι οι καιρικές καταστάσεις διαφοροποιούνται στην διάρκεια του έτους, εφαρμόστηκε η διαδικασία κατάταξης ξεχωριστά για κάθε μήνα, ενώ ο αριθμός των κλιματικών κλάσεων που ορίστηκαν κυμαίνεται μεταξύ 3 και 6.

#### **2.4.9 Κατάταξη McCabe [1994]**

Ο McCabe [1994] χρησιμοποίησε τις αποκλίσεις στο ύψος (σε μέτρα) της επιφάνειας της ατμοσφαιρικής πίεσης των 700 hPa, για να κατατάξει την

ατμοσφαιρική κυκλοφορία στις Δυτικές Η.Π.Α. και το Βόρειο Ειρηνικό. Η επιφάνεια αυτή είναι αρκετά ψηλά (περίπου 3000 μέτρα πάνω από τη θάλασσα) με αποτέλεσμα να αποφεύγεται η επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου. Ακόμη προσφέρει σημαντική πληροφορία για την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην μέση της τροπόσφαιρας, η οποία συνδέεται με τις εποχιακές καιρικές διακυμάνσεις. Για την κατάταξη χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα ατμοσφαιρικής πίεσης που εκδίδονται από το Κέντρο Ανάλυσης Κλίματος (CAC, Maryland, USA) στα σημεία ενός συγκεκριμένου κανάβου. Ο συγγραφέας χρησιμοποίησε 105 σημεία του κανάβου αυτού τα οποία ορίζονται από τα γεωγραφικά πλάτη 20° έως 70° βόρειο και από τα μήκη 90° έως 180° δυτικό. Με βάση τις μέσες τιμές τις ατμοσφαιρικής πίεσης στην στάθμη των 700 hPa όπως αυτές προέκυψαν από την περίοδο 1950-1979 για κάθε ημέρα του χρόνου και σημείο κανάβου, υπολογίστηκαν οι αποκλίσεις στο ύψος για την περίοδο 1947-1987. Για κάθε ημέρα καταρτίστηκε ένα μητρώο το οποίο περιέχει τις αποκλίσεις αυτές στα συγκεκριμένα σημεία του κανάβου και με βάση το μητρώο αυτό έγινε η κατάταξη των καταστάσεων καιρού.

#### **2.4.10 Κατάταξη Hughes και Guttorp [1994]**

Οι Hughes and Guttorp [1994] χρησιμοποίησαν την ατμοσφαιρική πίεση στη στάθμη της θάλασσας για την κατάταξη καταστάσεων καιρού στην πολιτεία της Ουάσιγκτων. Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τις μετρήσεις του κανάβου της NMC που περιγράφηκε στην κατάταξη των Wilson et al. [1991]. Με την παρεμβολή των δεδομένων αυτών υπολόγισαν την πίεση στην στάθμη της θάλασσας σε 20 σημεία ενός κανάβου που εγκαθίδρυσαν στην περιοχή που ορίζεται από τα γεωγραφικά πλάτη 43° έως 54° βόρειο και από τα μήκη 114° έως 129° δυτικό. Με βάση τα δεδομένα της περιόδου 1964-1987 διερεύνησαν τη σχέση μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης και της βροχής και τη χρησιμοποίησαν για τον προσδιορισμό διαφόρων καταστάσεων καιρού (weather states), καθώς και τη σχέση διαδοχής μεταξύ των καταστάσεων αυτών.

## 2.5 ΚΑΤΑΤΑΞΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

### 2.5.1 Εισαγωγή

Οι πρώτες κατατάξεις των συνοπτικών καταστάσεων στον Ελληνικό χώρο έγιναν στη δεκαετία του 1950 από Έλληνες μετεωρολόγους. Σημαντικές είναι οι εργασίες του Carariperis [1953], [1954], [1956a], [1956b], [1957] που αφορούν στην μελέτη, αναγνώριση και σύνταξη αντιπροσωπευτικών χαρτών καιρού για τις επικρατούσες συνοπτικές καταστάσεις, όταν αυτές προκαλούν συγκεκριμένα μετεωρολογικά φαινόμενα. Τα φαινόμενα που μελετήθηκαν από το συγγραφέα ήταν:

- οι περίοδοι ψύχους στην ανατολική Μεσόγειο [Carariperis, 1953]
- οι ετησίες (μελέτμια) στην περιοχή των Αθηνών [Carariperis, 1954]
- οι περίοδοι ψύχους στην Ελλάδα κατά την άνοιξη [Carariperis, 1956a]
- οι απότομες πτώσεις της θερμοκρασίας στην Αθήνα [Carariperis, 1956b]
- οι αλκυονίδες ημέρες [Carariperis, 1957]

Ο Λιβαδάς [1955], ομαδοποίησε σε τέσσερις κατηγορίες τις ομάδες ημερών ελαχίστων θερμοκρασιών, ανάλογα με τη διαδοχή των βαρομετρικών συστημάτων, και ο Λιβαδάς [1962] εισήγαγε κατάταξη τύπων καιρού με βάση τους χάρτες επιφανείας. Η κατάταξη ορίστηκε μόνο για τη χειμερινή περίοδο και είχε σκοπό τη μελέτη της πάχνης στην Ελλάδα.

Στη κατηγορία των κατατάξεων τύπων καιρού υπάγεται και η μελέτη του Paragianakis [1956], όπου μελέτησε τις καιρικές καταστάσεις στην Ελλάδα, και κατέταξε σε κατηγορίες τις καιρικές καταστάσεις στη Βαλκανική, για το χειμώνα του 1940-41.

Οι περισσότερες πρόσφατες κατατάξεις [Καραλής, 1969; Λαλιώτης, 1977; Καραπιπέρης, 1974], παρουσιάζονται συνοπτικά στις επόμενες παραγράφους, ενώ η κατάταξη Maheras [1979], παρουσιάζεται περισσότερο αναλυτικά στο υποκεφάλαιο 2.6.

Το σύνολο των προηγούμενων κατατάξεων έχει γίνει αποκλειστικά από μετεωρολόγους με τη χρήση χαρτών καιρού και μεθοδολογικά συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία κατατάξεων με βάση την ατμοσφαιρική κυκλοφορία (υποκεφάλαιο 2.4). Από τις προηγούμενες κατατάξεις, οι οποίες έχουν γίνει για τον Ελληνικό χώρο, πληρέστερη



θεωρείται αυτή του Maheras [1979], δεδομένου ότι είναι περισσότερο πρόσφατη, και έχει λάβει υπόψη και την κυκλοφορία στη στάθμη των 500 hPa (την έχει λάβει υπόψη και η κατάταξη Λαλιώτη). Ακόμη οι υπόλοιπες κατατάξεις αφορούν στις συνοπτικές καταστάσεις συγκεκριμένων ημερών ή μεγαλύτερων χρονικών διαστημάτων, κατά τις οποίες έχουν πραγματοποιηθεί συγκεκριμένες καιρικές καταστάσεις. Αντίθετα η κατάταξη Maheras [1979], έχει γίνει για το σύνολο των ημερήσιων συνοπτικών καταστάσεων, και για το χρονικό διάστημα 1950-1990. Ακόμη έχει καταρτιστεί από το συγγραφέα ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού όπου το σύνολο των ημερών του διαστήματος 1950-1990 έχει αποδοθεί σε κάποιον τύπο καιρού.

### **2.5.2 Κατάταξη Καραλή [1969]**

Ο Καραλής [1969] κατέταξε τις συνοπτικές καταστάσεις στον Ελληνικό χώρο, σε ημερήσια βάση. Για την κατάταξη χρησιμοποιήθηκαν χάρτες καιρού επιφανείας που εκδίδονται από την Weather Bureau of Washington ημερησίως (12.30 GMT) και οι χάρτες της E.M.Y οι οποίοι εκδίδονται κάθε έξι ώρες. Οι πρώτοι καλύπτουν όλο το Βόρειο ημισφαίριο ενώ οι δεύτεροι καλύπτουν πολύ μικρότερη περιοχή που ορίζεται από τη Βόρεια Αφρική, τη Βόρεια Ευρώπη, τις Αζόρες και τα Ουράλια όρη.

Οι τύποι καιρού καθορίστηκαν με βάση τα κέντρα δράσης των υφέσεων και αντικυκλώνων, της έκτασης τους, την παρουσία μετώπων, τη βαροβαθμίδα, και τα είδη των αέριων μαζών. Οι συνοπτικές καταστάσεις καθορίζονται κυρίως από τις αέριες μάζες και την κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης. Ο συγγραφέας για τη μελέτη και κατάταξη των διαφόρων τύπων καιρού στην Ελλάδα θεωρεί ότι είναι απαραίτητο να εξεταστούν: (α) η γεωγραφική θέση και μορφολογία της Ελλάδας (β) τα κέντρα ατμοσφαιρικής δραστηριότητας που επηρεάζουν τον καιρό στη χώρα και (γ) οι αέριες μάζες που εισβάλλουν στην Ελλάδα.

Οι τύποι καιρού ορίστηκαν ξεχωριστά για την ψυχρή (Οκτώβριος - Απρίλιος) και τη θερμή περίοδο (Μάιος - Σεπτέμβριος). Η ψυχρή περίοδος περιλαμβάνει τρεις υφεσιακούς και τέσσερις αντικυκλωνικούς τύπους. Αντίστοιχα η θερμή περιλαμβάνει τρεις υφεσιακούς, δύο αντικυκλωνικούς και πέντε τύπους ετησίων. Οι τελευταίοι περιλαμβάνουν τους τύπους καιρού που είναι υπεύθυνοι για την ανάπτυξη των ετησίων, δηλαδή των βορείων ανέμων που επικρατούν στο Αιγαίο τη θερμή περίοδο και είναι

γνωστοί και ως μελτέμια. Στη συνέχεια δίνεται μία συνοπτική περιγραφή για κάθε τύπο καιρού της ψυχρής και θερμής περιόδου.

## **A. ΤΥΠΟΙ ΨΥΧΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ.**

### **A.1 Υφεσιακοί τύποι**

- **Τύπος Υβ.** Διέλευση ύφεσης βόρεια της Ελλάδας ή και διαμέσου της βόρειας Ελλάδας
- **Τύπος Υε.** Διέλευση ύφεσης διαμέσου της κεντρικής Ελλάδας. Στην κύρια φάση της η ύφεση καλύπτει ολόκληρο τον Ελληνικό χώρο.
- **Τύπος Υν.** Διέλευση ύφεσης νότια της Ελλάδας ή και διαμέσου της νότιας Ελλάδας.

### **A.2 Αντικυκλωνικοί τύποι καιρού**

- **Τύπος ΑΕ.** Η ανατολική και νοτιανατολική Ευρώπη και η Βαλκανική καλύπτονται από αντικυκλώνα, ενώ στην ανατολική και κεντρική Μεσόγειο επικρατούν χαμηλές πιέσεις.
- **Τύπος ΑΒ.** Αντικυκλώνας με κέντρο τη βορειανατολική Ευρώπη ή τη Σιβηρία καλύπτει την ανατολική Ευρώπη, τον Εύξεινο Πόντο και τα Βαλκάνια. Ακόμη, χαμηλές πιέσεις επικρατούν στην ανατολική και κεντρική Μεσόγειο.
- **Τύπος Μ.** Οι υψηλές πιέσεις καλύπτουν την ανατολική και κεντρική Μεσόγειο και τα νότια Βαλκάνια. Αυτό οφείλεται είτε στις επεκτάσεις του αντικυκλώνα των Αζορών ή σε κινητούς αντικυκλώνες που προέρχονται από τον Ατλαντικό.
- **Τύπος Α.** Ένα πεδίο υψηλών πιέσεων καλύπτει την ανατολική και κεντρική Μεσόγειο, και προέρχεται από την επέκταση του αντικυκλώνα της βόρειας Αφρικής.

## **B. ΤΥΠΟΙ ΘΕΡΜΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ**

### **B.1 Υφεσιακοί τύποι**

- **Τύπος Υβ.** Διέλευση ύφεσης βόρεια της Ελλάδας η οποία προέρχεται από τη βόρεια Αδριατική
- **Τύπος Υε.** Διέλευση ύφεσης διαμέσου της κεντρικής Ελλάδας, η οποία προέρχεται από τη Βόρεια Αδριατική και που τελικά καλύπτει ολόκληρο τον Ελληνικό χώρο.

- **Τύπος Υν.** Διέλευση ύφεσης νότια της Ελλάδας η οποία προέρχεται από τον κόλπο της Σύρτης

## **B.2 Αντικυκλωνικοί τύποι καιρού**

- **Τύπος ΑΕ.** Η ανατολική και νοτιανατολική Ευρώπη καλύπτονται από αντικυκλώνα, ενώ στην ανατολική και κεντρική Μεσόγειο επικρατεί ένα πεδίο χαμηλών πιέσεων.
- **Τύπος Α.** Ένα πεδίο υψηλών πιέσεων καλύπτει την ανατολική και κεντρική Μεσόγειο, και προέρχεται από επέκταση του αντικυκλώνα της βόρειας Αφρικής.

## **B.3 Τύποι καιρού ετησίων**

- **Τύπος Εα.** Ο αντικυκλώνας του Ατλαντικού καλύπτει την Ευρώπη και τα Βαλκάνια, ενώ η ανατολική Μεσόγειος και η Μικρά Ασία καλύπτονται από τις επεκτάσεις του χαμηλού των Ινδιών.
- **Τύπος Εε.** Υψηλές πιέσεις καλύπτουν την Ευρώπη οι οποίες οφείλονται στην δημιουργία δευτερεύοντος μεγίστου του αντικυκλώνα των Αζορών, και πολλές φορές ενισχύονται από υψηλές πιέσεις της Σκανδιναβικής χερσονήσου. Το κέντρο των υψηλών πιέσεων καλύπτει τη βόρεια Ιταλία ή τα βορειοδυτικά Βαλκάνια, ενώ το χαμηλό των Ινδιών καλύπτει τη Μικρά Ασία και την Ανατολική Μεσόγειο.
- **Τύπος Ερ.** Ένας αντικυκλώνας καλύπτει τη Ρωσία και οι επεκτάσεις προκαλούν υψηλές πιέσεις στην βόρεια Βαλκανική και την κεντρική Μεσόγειο. Το χαμηλό των Ινδιών, όπως και στους δύο προηγούμενους τύπους, καλύπτει την ανατολική Μεσόγειο και τη Μικρά Ασία.
- **Τύπος Εσ.** Ένας εκτεταμένος αντικυκλώνας με κέντρο τη Βόρεια ή τη Βορειοδυτική Ευρώπη, εκτείνεται μέχρι τη δυτική και κεντρική Μεσόγειο. Το χαμηλό των Ινδιών καλύπτει την ίδια περιοχή, όπως και στους προηγούμενους τύπους.
- **Τύπος Εο.** Ομοιόμορφες πιέσεις που συνήθως δεν υπερβαίνουν τα 1015 hPa, καλύπτουν την Ευρώπη, την κεντρική Μεσόγειο και τα Βαλκάνια. Οι επεκτάσεις του χαμηλού των Ινδιών φθάνουν μέχρι τη Ρόδο.

### 2.5.3 Κατάταξη Λαλιώτη [1977]

Η κατάταξη που εισήγαγε ο Λαλιώτης [1977] είχε ως στόχο τη μελέτη των χαρακτηριστικών των γενικών βροχοπτώσεων στην Ελλάδα, δηλαδή εξέτασε τη συνοπτική κατάσταση κατά τις ημέρες όπου είχε σημειωθεί κατακρήμνιση στους 28 από ένα σύνολο 30 βροχομετρικών σταθμών. Οι σταθμοί είχαν επιλεγεί από το μετρητικό δίκτυο της ΕΜΥ έτσι ώστε να είναι διασκορπισμένοι στο σύνολο της Ελληνικής επικράτειας.

Ο συγγραφέας εξήγαγε 107 περιπτώσεις κατά το χρονικό διάστημα 1960-1970 στις οποίες είχε πραγματοποιηθεί γενική βροχόπτωση στην Ελλάδα, και κατόπιν μελέτησε και κατέταξε τις αντίστοιχες συνοπτικές καταστάσεις. Για την κατάταξη κάθε επεισοδίου χρησιμοποιήθηκαν πέντε χάρτες καιρού στην επιφάνεια και στη στάθμη των 500 hPa με περίοδο διαδοχής 12 ώρες. Ο χρονικά κεντρικός χάρτης των 500 hPa αντιστοιχεί στο μέσο του 12ωρου όπου παρατηρήθηκε υετός στη σχετική πλειοψηφία των βροχομετρικών σταθμών. Δεδομένου ότι στο σύνολο των επεισοδίων που εξετάστηκαν η συνοπτική κατάσταση χαρακτηριζόταν από την παρουσία μίας ύφεσης, το κύριο κριτήριο για την κατάταξη των επεισοδίων ήταν η τροχιά του κέντρου δράσης της ύφεσης αυτής. Τα συνοπτικά συστήματα κατετάγησαν στις παρακάτω κατηγορίες

1. **Ομάδα συστημάτων NW (North West).** Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα συστήματα που η τροχιά τους δε διέρχεται πάνω από τις θάλασσες της Μεσογείου οι οποίες βρίσκονται δυτικά από την Ιταλική χερσόνησο
2. **Ομάδα συστημάτων W (West).** Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα συστήματα που η τροχιά τους διέρχεται πάνω από τις θάλασσες της Μεσογείου αλλά όχι πάνω από την Αφρικανική περιοχή που βρίσκεται νότια του 35<sup>ου</sup> παραλλήλου και δυτικά του 10<sup>ου</sup> μεσημβρινού
3. **Ομάδα συστημάτων SW (South West).** Στην ομάδα αυτή περιλαμβάνονται τα συστήματα που η τροχιά τους διέρχεται από την Αφρικανική περιοχή που ορίστηκε στον προηγούμενο τύπο

Η κάθε μία από τις παραπάνω κατηγορίες διακρίνεται σε τρεις υποκατηγορίες, ανάλογα με την τροχιά της ύφεσης όταν αυτή περνάει πάνω από τον ελληνικό χώρο. Οι υποκατηγορίες αυτές είναι:

- **N (North)**, αν η τροχιά του συστήματος διέρχεται από τη Βόρεια Ελλάδα και ειδικότερα βόρεια από τον 40° παράλληλο
- **C (Central)**, αν η τροχιά του συστήματος διέρχεται από το Αιγαίο και συγκεκριμένα διέρχεται μεταξύ 37<sup>ου</sup> και 40<sup>ου</sup> παραλλήλου
- **S (South)**, αν η τροχιά του συστήματος διέρχεται από τον Ελληνικό χώρο, νότια του 37<sup>ου</sup> παραλλήλου.

Η τελική ανάλυση που κάνει ο συγγραφέας, περιλαμβάνει μία μόνο υποκατηγορία για τον NW και SW δεδομένου ότι ο NWN και SWS περνάνε μακριά από τον ελληνικό χώρο και δεν προκαλούν γενικές βροχοπτώσεις

#### **2.5.4 Ανάλυση συνοπτικών καταστάσεων Καραπιπέρη [1974]**

Η εργασία του Καραπιπέρη [1974] δεν εισάγει κατάταξη τύπων καιρού αλλά μέσα από τη μεγάλη εμπειρία συνοπτικής ανάλυσης του συγγραφέα έχουν προσδιοριστεί οι δυναμικοί παράγοντες οι οποίοι σε συνδυασμό με τους φυσιογραφικούς, δημιουργούν τις διάφορες καιρικές καταστάσεις στην Ελλάδα. Η εργασία αυτή έχει αξία διότι καταγράφει τις σημαντικότερες συνοπτικές καταστάσεις οι οποίες και έχουν καταταχθεί σε τύπους από άλλους ερευνητές.

Για την ψυχρή περίοδο (Οκτώβριος - Μάρτιος) οι δυναμικοί παράγοντες που επηρεάζουν τον καιρό είναι:

- Οι υφέσεις που προέρχονται από τον Ατλαντικό και αυτές που δημιουργούνται μέσα στη Μεσόγειο (κόλπος Λέοντος, βόρειος Αδριατική, κόλπος Σύρτης, Κύπρος)
- Ο Σιβηρικός αντικυκλώνας που καταλαμβάνει σχεδόν όλη την Ασία, και οι αντικυκλώνες της δυτικής Ρωσίας
- Ο μόνιμος αντικυκλώνας των Αζορών, ο οποίος μετατοπιζόμενος προς νότο καταλαμβάνει και τη βόρειο Αφρική
- Οι μη μόνιμοι και κινητοί αντικυκλώνες που προέρχονται από τη βόρεια Ευρώπη και τη Σκανδιναβία και μεταφέρουν ψυχρές αέριες μάζες στη Μεσόγειο

Κατά τη θερμή περίοδο (Απρίλιος - Σεπτέμβριος) οι υφέσεις της Μεσογείου είναι ελάχιστοι, ο Σιβηρικός αντικυκλώνας διαλύεται, ενώ οι αντικυκλώνες της βόρειας Ευρώπης απουσιάζουν. Δύο είναι οι κύριοι

δυναμικοί παράγοντες που διαμορφώνουν κυρίως τον καιρό την εποχή αυτή:

- Ο αντικυκλώνας των Αζορών ο οποίος μετατοπίζεται βόρεια και εκτείνει γλώσσες υψηλών πιέσεων στη νότια Ευρώπη και Βαλκανική
- Το χαμηλό των Ινδιών το οποίο εκτείνει γλώσσες χαμηλών πιέσεων μέχρι τις ακτές τη Μεσογείου.

Ακόμη από το συγγραφέα προσδιορίζονται και οι φυσιογραφικοί παράγοντες που συνδυαζόμενοι με τους ατμοσφαιρικούς, επηρεάζουν τον καιρό στην Ελλάδα όπως η πολυμορφία του ανάγλυφου, οι μεγάλες οροσειρές, τα πολυάριθμα νησιά και η γειτνίαση με μεγάλες ερημικές περιοχές της Αφρικής και της Ασίας.

## **2.6 ΚΑΤΑΤΑΞΗ MAHERAS [1979]**

### **2.6.1 Εισαγωγή**

Ο Maheras [1979], εισήγαγε μία κατάταξη τύπων καιρού, η οποία βασίζεται στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου. Για την κατάταξη θεωρήθηκαν οι θέσεις των αντικυκλώνων, οι κύριες τροχιές των υφέσεων και ορισμένες ιδιαίτερες συνοπτικές καταστάσεις στην επιφάνεια και την στάθμη των 500 hPa. Σύμφωνα με αυτό το σχήμα η ατμοσφαιρική κυκλοφορία κατατάχθηκε σε 5 αντικυκλωνικούς (A1, A2, A3, A4, A5), 6 υφεσιακούς (W1, W2, NW1, NW2, SW1, SW2), δύο μικτούς (MT1, MT2) και τρεις χαρακτηριστικούς (DSEC, MB, DOR) τύπους. Οι τύποι αυτοί ορίστηκαν ξεχωριστά για την υγρή (Οκτώβριος - Απρίλιος) και την ξηρή (Μάιος - Σεπτέμβριος) περίοδο, δεδομένης της διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών τους στις διάφορες εποχές. Με τη χρήση μετεωρολογικών δεδομένων και χαρτών καιρού στην επιφάνεια και την στάθμη των 500 hPa, συντάχθηκε από το συγγραφέα ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού για το χρονικό διάστημα 1950-1990.

Η κατάταξη Μαχαίρα χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για τη μελέτη της βροχόπτωσης κατά τύπο καιρού. Τα κύρια πλεονεκτήματα της κατάταξης αυτής σε σχέση με άλλες που έχουν εκπονηθεί από

άλλους ερευνητές είναι: (α) η γεωγραφική περιοχή που εξετάζεται (Ανατολική Μεσόγειος) έχει ως κέντρο και σημείο αναφοράς τον Ελλαδικό χώρο, (β) συνεκτιμάται και η καθ' ύψος κατάσταση της ατμόσφαιρας με τη χρήση χαρτών καιρού στη στάθμη των 500 hPa και (γ) έχει συνταχθεί από το συγγραφέα ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά οι 16 τύποι κυκλοφορίας και τα κυριότερα χαρακτηριστικά του καιρού και στις δύο περιόδους, όπως περιγράφονται από τους Maheras [1979] και Maheras [1989]. Οι παρατηρήσεις σχετικά με τον καιρό αφορούν κυρίως στη περιοχή της Θεσσαλονίκης αλλά πολλές φορές αφορούν και σε ευρύτερες περιοχές της χώρας.

### 2.6.2 Αντικυκλωνικοί τύποι

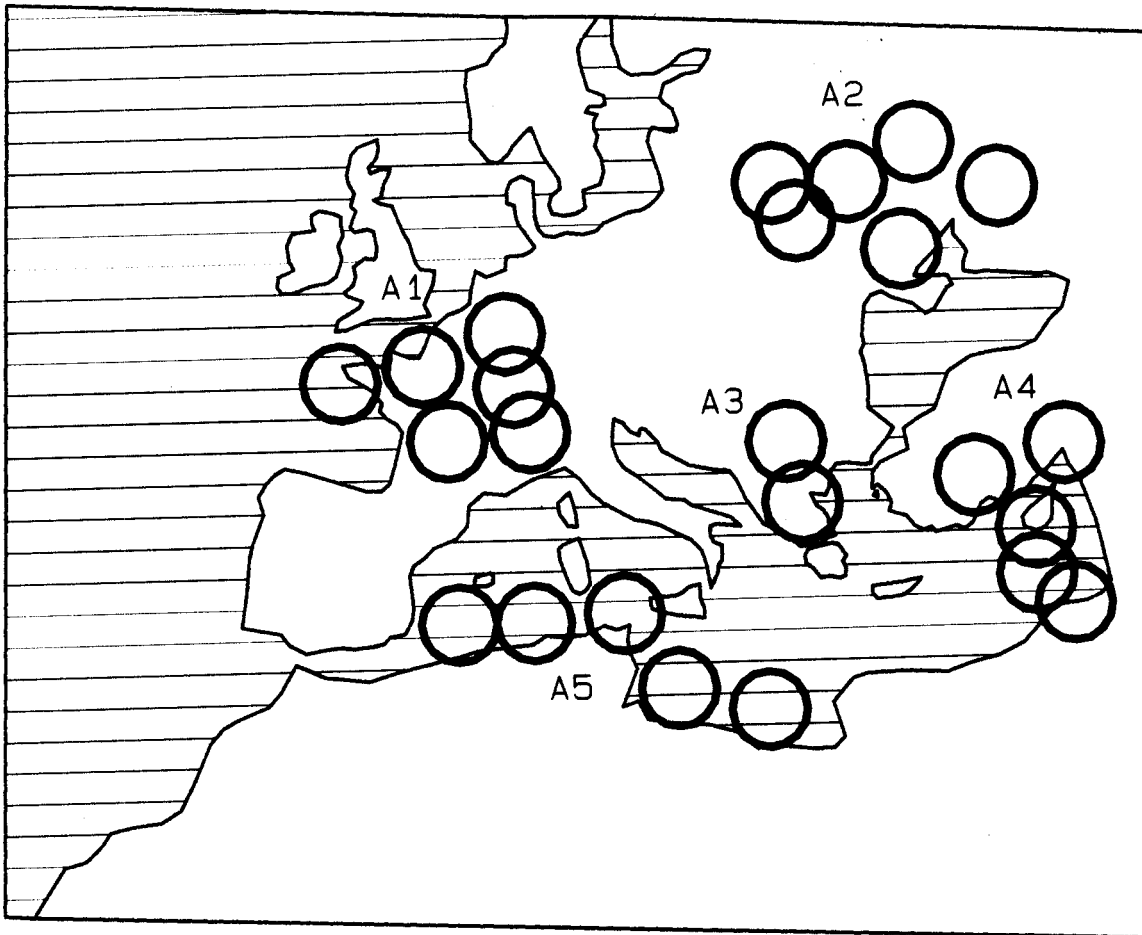
Η κατάταξη των αντικυκλωνικών τύπων έγινε με βάση τη προέλευση του κέντρου δράσης, τη παρούσα θέση του τη φύση των αερίων μαζών, τη κατάσταση καθ' ύψος και την καθ' ύψος ισορροπία της ατμόσφαιρας. Οι τύποι αυτοί διακρίνονται σε αλλογενείς ηπειρωτικούς (A1, A2) αν το κέντρο δράσης βρίσκεται στην Ευρασιατική ήπειρο, σε ενδογενείς ηπειρωτικούς (A3) αν βρίσκεται στα Βαλκάνια ή τον Ελληνικό χώρο, και σε θαλάσσιους αντικυκλώνες (A4, A5) αν το κέντρο βρίσκεται στη Μεσόγειο. Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι περισσότερο συνηθισμένες θέσεις των κέντρων δράσης των τύπων αυτών.

Το κύριο χαρακτηριστικό των αντικυκλωνικών τύπων κυκλοφορίας είναι η ξηρασία και ο καλός καιρός που οφείλεται στην ευστάθεια της ατμόσφαιρας. Βέβαια σε πολλές περιπτώσεις, ανάλογα με προέλευση, εξέλιξη και βαθμό ευστάθειας των αερίων μαζών, οι αντικυκλωνικοί τύποι μπορούν να προκαλέσουν νεφελώδη ή νεφοσκεπή τύπο καιρού.

- **A1 - Ηπειρωτικός αντικυκλωνικός τύπος της δυτικής - κεντρικής Ευρώπης και βορείου Ατλαντικού.** Ο τύπος αυτός είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί από τρεις περιπτώσεις κυκλοφορίας των αερίων μαζών: (α) θαλάσσιες πολικές αέριες μάζες που προέρχονται από τις ψυχρές εισβολές πίσω από μία ύφεση με έντονη κυκλοφορία, που στη συνέχεια γίνονται ευσταθείς πάνω από τον Ατλαντικό εξελίσσονται

περισσότερο κατά τη διέλευση τους πάνω από την Ευρώπη, (β) πολικές αέριες μάζες που κινούνται μεταξύ δύο υφέσεων και (γ) τροπικές θαλάσσιες, μεσογειακές ή θαλάσσιες πολικές αέριες μάζες που θερμάνθηκαν και έγιναν ευσταθείς πάνω από τη δυτική και κεντρική Ευρώπη, ή τη Μεσόγειο.

Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο χαρακτηρίζεται από απουσία βροχής, μεγάλη ηλιοφάνεια και χαμηλή σχετική υγρασία, αποτέλεσμα της ξηρότητας των αερίων μαζών. Τα ίδια σχεδόν χαρακτηριστικά έχει και ο καιρός της θερμής περιόδου, ενώ πολύ ασθενείς βροχοπτώσεις μπορεί να οφείλονται στα καθ' ύψος υπολείμματα αστάθειας ή στο πέρασμα ψυχρών μετώπων από τη Βαλκανική.



**Σχήμα 2.1** Κυριότερες θέσεις κέντρων δράσης αντικυκλωνικών τύπων (Ανατύπωση από Maheras [1979])



- **A2 - Ηπειρωτικός αντικυκλωνικός τύπος της Σκανδιναβίας, της Ρωσίας και της Σιβηρίας.** Η προέλευση του A2 τύπου σχετίζεται με τις περιπτώσεις κυκλοφορίας των αερίων μαζών που περιγράφηκαν για τον τύπο A1 και εκτός από αυτές με **(α)** τις θαλάσσιες πολικές αέριες μάζες που προέρχονται από ψυχρές εισβολές ανατολικά της Σκανδιναβίας, και στη συνέχεια γίνονται ηπειρωτικές και **(β)** από τις ηπειρωτικές ψυχρές αέριες μάζες που σχηματίζουν καθαρά ηπειρωτικό αντικυκλώνα. Οι αντικυκλώνες της δεύτερης κατηγορίας παραμένουν στάσιμοι, ενώ ο αντικυκλώνας αυτού του είδους με τη μεγαλύτερη εμμονή, είναι ο Σιβηρικός. Ο τελευταίος είναι δυνατόν να διασπαστεί σε πολλά κέντρα, ενώ προεκτεινόμενος είναι δυνατόν να καλύψει είτε την κεντρική Ευρώπη και τη Βαλκανική, είτε την ανατολική Μεσόγειο.

Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο χαρακτηρίζεται από ελάχιστες βροχοπτώσεις, κανονική σχετική υγρασία και ηλιοφάνεια μικρότερη σχετικά με τους άλλους αντικυκλωνικούς τύπους, ενώ πολλές φορές ο καιρός είναι εντελώς νεφοσκεπής. Κατά τη θερμή περίοδο υπάρχει απουσία βροχής, ενώ η ηλιοφάνεια είναι στα ίδια επίπεδα με αυτή των άλλων αντικυκλωνικών τύπων.

- **A3 - Ενδογενής ηπειρωτικός αντικυκλωνικός τύπος κυκλοφορίας.** Η δημιουργία του αντικυκλώνα αυτού γίνεται στην περιοχή της Βαλκανικής και σε σπάνιες περιπτώσεις στον Ελληνικό χώρο. Δύο είναι οι τρόποι γένεσης του A3 τύπου: **(α)** ο Βαλκανικός αντικυκλώνας σχηματίζεται από μία ζώνη υψηλών πιέσεων που μπορεί να καταλαμβάνει είτε τη δυτική Ευρώπη, είτε τη δυτική Μεσόγειο, είτε την κεντρική και ανατολική Ευρώπη, και με μία προέκταση καλύπτει τα Βαλκάνια, και **(β)** η ανάπτυξη υψηλών πιέσεων στη Βαλκανική μετά το πέρασμα ενός ψυχρού μετώπου.

Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο χαρακτηρίζεται από απουσία βροχής, υψηλή σχετική υγρασία ενώ η ηλιοφάνεια είναι αρκετά υψηλή. Κατά τη θερμή περίοδο υπάρχει απουσία βροχής, ενώ η ηλιοφάνεια είναι στα ίδια επίπεδα με αυτή των άλλων αντικυκλωνικών τύπων. Τα ίδια χαρακτηριστικά έχει ο καιρός και κατά τη θερμή περίοδο.

- **A4 - Θαλάσσιος αντικυκλωνικός τύπος της ανατολικής Μεσογείου και της Τουρκίας.** Οι αντικυκλώνες αυτοί προέρχονται από πολικές θαλάσσιες ή τροπικές θαλάσσιες αέριες μάζες και εμφανίζονται σχεδόν αποκλειστικά στην ψυχρή περίοδο. Τα κέντρα δράσης των αντικυκλώνων αυτών είναι στη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Μικράς Ασίας.

Ο καιρός την ψυχρή περίοδο χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες, πολύ υψηλή σχετική υγρασία και μικρή ηλιοφάνεια, η οποία οφείλεται στην παρουσία υψηλών νεφών και στην μεγάλη πιθανότητα ομίχλης. Ακόμη χαρακτηριστική είναι η απουσία ανέμου και βροχής. Πρέπει να αναφερθεί ότι όταν επικρατεί ο τύπος αυτός δημιουργούνται οι απαραίτητες συνθήκες για τη δημιουργία νέφους στο λεκανοπέδιο της Αττικής.

- **A5 - Θαλάσσιος αντικυκλωνικός τύπος της δυτικής Μεσογείου και της βόρειας Αφρικής.** Η δημιουργία του αντικυκλώνα αυτού γίνεται στη περιοχή της δυτικής Μεσογείου, ενώ διακρίνεται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ο αντικυκλώνας βρίσκεται δυτικά ή νοτιοδυτικά της Ελλάδας (κόλπος Σύρτης) και εκτείνεται καταλαμβάνοντας και τη χώρα μας. Οι αέριες μάζες είναι τροπικές θαλάσσιες, πολικές θαλάσσιες ή τροπικές ηπειρωτικές που έχουν εξελιχθεί σε Μεσογειακές αέριες μάζες. Στην δεύτερη κατηγορία ο αντικυκλώνας κατεβαίνει από τον Αρκτικό ωκεανό στην δυτική Μεσόγειο, όπου έγιναν ευσταθείς οι πολικές αέριες μάζες.

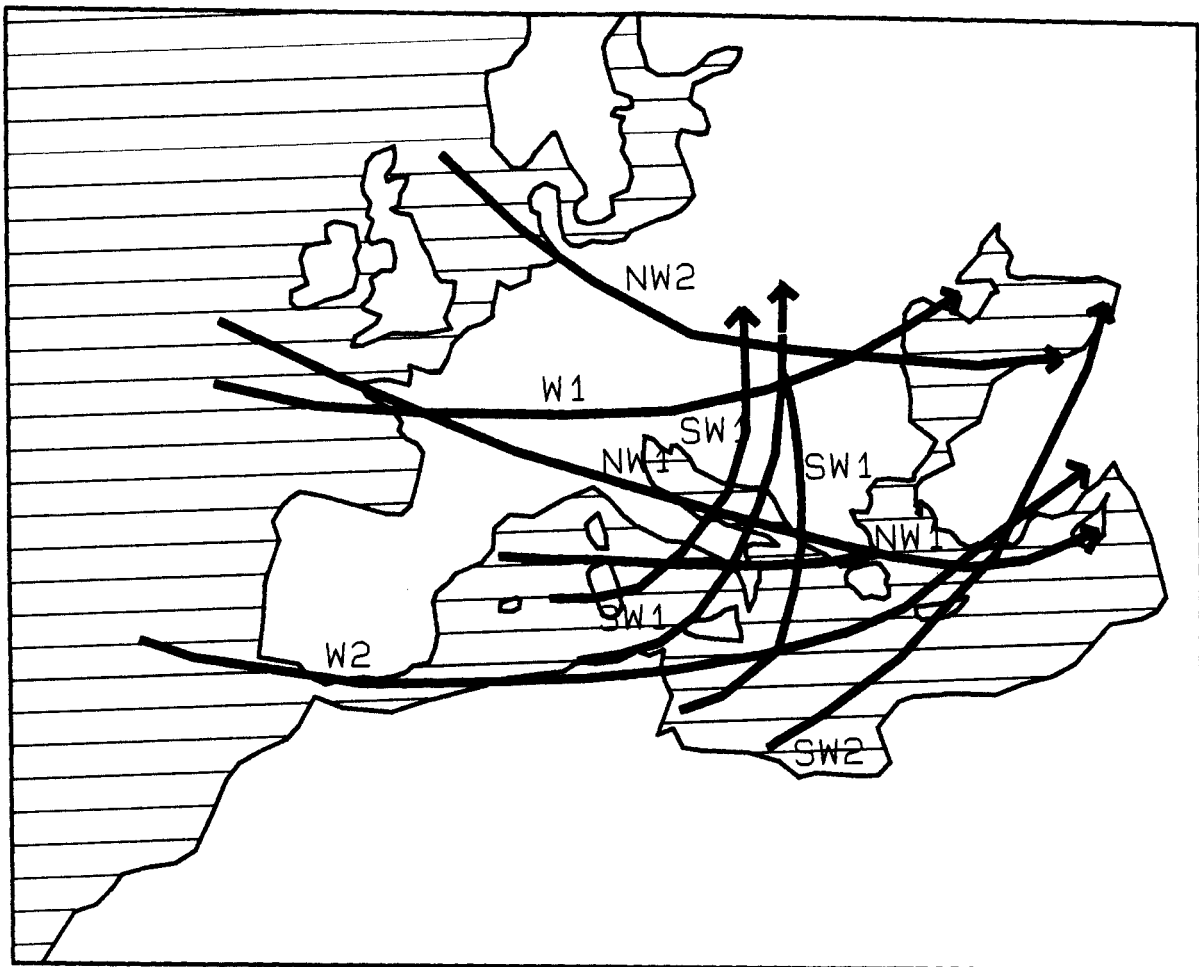
Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο είναι γενικά καλός και θερμός, ενώ η ηλιοφάνεια είναι αρκετά υψηλή. Στην περίπτωση που ο αντικυκλώνας ανήκει στη δεύτερη κατηγορία ο καιρός ο καιρός μπορεί να είναι αρκετά ψυχρός, ξηρός, με υψηλή ηλιοφάνεια και ορατότητα.

### **3.6.3 Υφεσιακοί τύποι**

Η κατάταξη των υφεσιακών τύπων έγινε με βάση τη τροχιά της ύφεσης και τη θέση του κέντρου δράσης, ενώ εξετάστηκαν η ροή των ανέμων στη στάθμη των 500 hPa και η παρουσία μετώπων στην περιοχή. Οι υφέσεις διακρίνονται σε αυτές που έχουν ζωνική (W1, W2), και μεσημβρινή (NW1, NW2, SW1, SW2) τροχιά. Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζονται οι κύριες τροχιές

των έξι υφεσιακών τύπων.

Το κύριο χαρακτηριστικό των υφεσιακών τύπων κυκλοφορίας είναι ο άσχημος καιρός και η εναλλαγή κυμάτων θερμού και ψυχρού αέρα και γενικά η ατμοσφαιρική αστάθεια. Βέβαια η κατάσταση του καιρού σε κάθε περίπτωση εξαρτάται από παράγοντες όπως το είδος των αερίων μαζών που συμμετέχουν, η τροχιά του ρεύματος διαταραχής και τα ιδιαίτερα γεωγραφικά χαρακτηριστικά μίας περιοχής.



**Σχήμα 2.2** Κύριες τροχιές κυκλωνικών τύπων (Ανατύπωση από Maheras, [1979])

- **W1** - Δυτικός υφεσιακός τύπος με βόρεια τροχιά. Η ύφεση προέρχεται από τον Ατλαντικό ή από τη δυτική Μεσόγειο και η τροχιά της διέρχεται από τη Βαλκανική και πάνω από το γεωγραφικό πλάτος 45. Στη περίπτωση που η ύφεση προέρχεται από τον Ατλαντικό το

ρεύμα διαταραχής που περνάει από την περιοχή μας αποτελείται μόνο από συνεσφιγμένα μέτωπα ή από καλά οργανωμένες υφέσεις με θερμό τομέα πολύ ανοικτό. Οι υφέσεις αυτές έχουν μεγαλύτερη συχνότητα κατά την ψυχρή περίοδο. Όταν η ύφεση σχηματίζεται στη Μεσόγειο αυτό συμβαίνει από μία ψυχρή εισβολή, ενώ συνήθως το ρεύμα διαταραχής τροφοδοτείται από ψυχρές αέριες μάζες. Το ρεύμα διαταραχής ακολουθεί τη ζωνική τροχιά προς τη Μαύρη Θάλασσα, ενώ οι ισοβαρείς παρουσιάζουν μία μεσημβρινή διάταξη που ευνοεί τον καναλισμό των αερίων μαζών κατά μήκος της λεκάνης του Αξιού ποταμού. Οι υφέσεις αυτές παρατηρούνται συχνότερα κατά τη θερμή περίοδο.

Ο καιρός την ψυχρή περίοδο είναι σχετικά θερμός με βροχοπτώσεις μικρής έντασης και διάρκειας, και με σχετικά μεγάλη ηλιοφάνεια για υφesiακό τύπο. Κατά τη θερμή περίοδο ο καιρός χαρακτηρίζεται από ισχυρούς βόρειους ανέμους, υψηλή ηλιοφάνεια και ελάχιστη βροχή.

- **W2 - Δυτικός υφesiακός τύπος με νότια τροχιά.** Η ύφεση προέρχεται από τον Ατλαντικό ή από τη δυτική Μεσόγειο και η τροχιά της διέρχεται διαμέσου της Ελλάδας και κάτω από το γεωγραφικό πλάτος 45. Όταν η ύφεση προέρχεται από τον Ατλαντικό φτάνει στη Μεσόγειο διαμέσου της Ισπανίας ή του Γιβραλτάρ και συνήθως έχει χάσει την ένταση της κατά τη μεγάλη διαδρομή που έχει διαγράψει.

Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο χαρακτηρίζεται από χαμηλές θερμοκρασίες με μεγάλες διάρκειες, μικρή ηλιοφάνεια και μεγάλη σχετική υγρασία. Ακόμη όταν επικρατεί ο τύπος αυτός εκδηλώνονται οι υψηλότερες βροχοπτώσεις και οι μεγαλύτερες διάρκειες βροχής σε σχέση με τους υπόλοιπους τύπους. Τα χαρακτηριστικά του καιρού κατά τη θερμή περίοδο είναι περίπου τα ίδια με αυτά της ψυχρής περιόδου.

- **NW1 - Βορειοδυτικός υφesiακός τύπος με δυτική τροχιά.** Η ύφεση προέρχεται από τον Ατλαντικό ή από τη Μεσόγειο, κινείται με τροχιά από τα ΒΔ προς τα ΝΑ, και διέρχεται διαμέσου της Ελλάδας. Όταν η ύφεση προέρχεται από τον Ατλαντικό τότε σπάνια αποτελείται από καλά οργανωμένα μετωπικά συστήματα, ενώ είναι συνήθης η παρουσία ενός συνεσφιγμένου μετώπου που κινείται νοτιοανατολικά. Στη

περίπτωση που η ύφεση προέρχεται από τη Μεσόγειο τότε αποτελείται από καλά οργανωμένα μετωπικά συστήματα τα οποία προκαλούν πλημμύρες σε αρκετές περιοχές της Ελλάδας, ιδιαίτερα στις περιοχές με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο.

Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο χαρακτηρίζεται από χαμηλή θερμοκρασία, υψηλή σχετική υγρασία και μικρή ηλιοφάνεια. Ακόμη εκδηλώνονται σημαντικά υψηλές βροχοπτώσεις, ενώ η συχνότητα των χιονοπτώσεων είναι η μεγαλύτερη μεταξύ όλων των τύπων. Η παρουσία των τύπων αυτών κατά τη θερμή περίοδο είναι σπάνια, ενώ ο καιρός έχει περίπου ανάλογα χαρακτηριστικά με αυτόν της υγρής περιόδου.

- **NW2 - Βορειοδυτικός υφειακός τύπος με ανατολική τροχιά.** Στον τύπο αυτό η ύφεση κινείται από την Σκανδιναβία προς τη Μαύρη θάλασσα (βορειανατολικά της Ελλάδας) και η χώρα μας επηρεάζεται μόνο από τα νότια κράσπεδα του ρεύματος διαταραχής. Όταν οι υφέσεις είναι καλά οργανωμένες οι ουρές των ψυχρών μετώπων μπορούν να επιδεινώσουν τον καιρό ενώ η διέλευση του θερμού τομέα από την περιοχή μπορεί να προξενήσει νότιους ανέμους.

Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο παρουσιάζει χαμηλή θερμοκρασία και σχετική υγρασία, ελάχιστη βροχή και σχετικά ψηλή ηλιοφάνεια. Τη θερμή περίοδο η βροχόπτωση είναι μέτρια ενώ συχνά εκδηλώνονται καταιγίδες, οι οποίες οφείλονται στη διέλευση των μετώπων.

- **SW1 - Νοτιοδυτικός υφειακός τύπος με δυτική τροχιά.** Η ύφεση έχει υπομεσημβρινή τροχιά, κινείται από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειανατολικά και στα δυτικά της γραμμής Μάλτα - Δυτική Μακεδονία - Ουκρανία. Παρά το γεγονός ότι τα συνοπτικά χαρακτηριστικά ποικίλουν, δύο είναι τα κυριότερα στοιχεία της συνοπτικής κατάστασης: (α) η ζώνη χαμηλών πιέσεων στην περιοχή από την Αλγερία στην ανατολική Ευρώπη, και (β) η παρουσία αντικυκλώνα στην ανατολική μεριά του Ατλαντικού.

Ο καιρός την ψυχρή περίοδο είναι σχετικά θερμός, με υψηλή σχετική υγρασία, χαμηλή ηλιοφάνεια και μέτρια βροχόπτωση. Ο τύπος αυτός είναι έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα και για αυτό το λόγο έχει μεγάλη συμβολή στο συνολικό ετήσιο ύψος βροχής. Κατά τη θερμή

περίοδο η ηλιοφάνεια είναι η μεγαλύτερη από τους υφεσιακούς τύπους, ενώ η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία είναι κανονικές σε σχέση με την εποχή.

- **SW2 - Νοτιοδυτικός υφεσιακός τύπος με ανατολική τροχιά.** Στον τύπο αυτό η ύφεση έχει Σαχαριανή προέλευση, κινείται από τα νοτιοδυτικά προς τα βορειανατολικά και στα ανατολικά της γραμμής Μάλτα - Δυτική Μακεδονία - Ουκρανία. Οι υφέσεις αυτές τις περισσότερες φορές διέρχονται μέσα από το Αιγαίο. Όπως και στη περίπτωση του SW1 τα δύο κυριότερα στοιχεία της συνοπτικής κατάστασης είναι η ζώνη χαμηλών πιέσεων στην περιοχή της Ελλάδας, και η παρουσία αντικυκλώνα στην ανατολική μεριά του Ατλαντικού.

Την ψυχρή εποχή ο καιρός χαρακτηρίζεται από κανονικές θερμοκρασίες, χαμηλή ηλιοφάνεια και υψηλές βροχοπτώσεις. Τα χαρακτηριστικά του καιρού είναι περίπου τα ίδια και κατά τη θερμή περίοδο.

#### **2.6.4 Μικτοί τύποι**

Η συνοπτική κατάσταση των τύπων αυτών χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός αντικυκλώνα και μίας ύφεσης. Στην Ελληνική περιοχή επικρατούν υψηλές πιέσεις στην επιφάνεια, ενώ οι χαμηλές βρίσκονται στα κράσπεδα του αντικυκλώνα. Στην στάθμη των 500 hPa η κατάσταση είναι συνήθως αντίστροφη, δηλαδή ένας αυλώνας ή μία ψυχρή λίμνη καλύπτουν την περιοχή μας, ενώ οι υψηλές πιέσεις βρίσκονται στα κράσπεδα των χαμηλών. Η κατάταξη γίνεται με βάση τη θέση των κέντρων δράσης και τη διεύθυνση των ισοβαρών καμπυλών, και περιλαμβάνει δύο τύπους (MT1 και MT2). Ο καιρός στους μικτούς τύπους δεν έχει σταθερά χαρακτηριστικά και εξαρτάται από τη μορφή της κάθε συνοπτικής κατάστασης.

- **MT1 - Πρώτος μικτός τύπος κυκλοφορίας.** Ο τύπος αυτός είναι μία ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ ενός αντικυκλωνικού και ενός W1 ή NW2 τύπου, και για το λόγο αυτό έχει πολύ περιορισμένη διάρκεια. Ένας αντικυκλώνας καλύπτει τη δυτική και κεντρική Ευρώπη, τη Σκανδιναβία τη δυτική Μεσόγειο και μέρος της Βαλκανικής. Η ύφεση βρίσκεται στην

ανατολική μεριά του αντικυκλώνα καλύπτει τη Μαύρη θάλασσα και την κεντρική Τουρκία και οι ισοβαρείς στην επιφάνεια έχουν μεσημβρινή διάταξη στην Ελληνική περιοχή.

Την ψυχρή περίοδο επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες που εντείνονται από τους ισχυρούς βορείους ανέμους, ενώ η ηλιοφάνεια είναι μεγάλη και η βροχόπτωση ελάχιστη. Ο τύπος αυτός έχει μεγαλύτερη διάρκεια τη θερμή περίοδο και τα χαρακτηριστικά του καιρού που επικρατεί είναι τα ίδια με αυτά της ψυχρής περιόδου.

- **MT2 - Δεύτερος μικτός τύπος κυκλοφορίας.** Ένας αντικυκλώνας με μεγάλη ένταση καλύπτει την κεντρική Ευρώπη, ενώ οι υψηλές πιέσεις καλύπτουν την περιοχή από το Μαρόκο μέχρι τη Ρωσία. Οι υφέσεις οι οποίες φτάνουν από τα δυτικά εξασθενούν στη δυτική μεριά του αντικυκλώνα. Στα νότια ή νοτιοανατολικά μία ύφεση εκτεταμένη και με μεγάλο βάθος καλύπτει την ανατολική Μεσόγειο (ενίοτε και την κεντρική). Οι ισοβαρείς στην περιοχή έχουν μία διάταξη παράλληλη προς τον Ισημερινό.

Την ψυχρή περίοδο ο τύπος αυτός προξενεί δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Ο καιρός πάνω από το Αιγαίο χαρακτηρίζεται από θυελλώδεις βορείους ανέμους, χαμηλή νέφωση, χαμηλές θερμοκρασίες, συνεχή βροχόπτωση καθώς και χιονόπτωση στα ηπειρωτικά. Η βροχόπτωση αυξάνει προς τα νότια ενώ στους σταθμούς που υφίστανται την επίδραση του ανάγλυφου, σημειώνονται υψηλά ύψη βροχής. Αν και ο τύπος αυτός έχει πολύ μικρή συχνότητα κατά τη θερμή περίοδο, όταν εμφανίζεται προκαλεί έναν καιρό σχετικά δυσμενή για την εποχή.

#### **2.6.5 Χαρακτηριστικοί τύποι**

Οι τύποι αυτοί χαρακτηρίζουν τη θερμή περίοδο δεδομένου ότι πραγματοποιούνται περίπου στο ένα τρίτο των ημερών, ενώ σπάνια παρατηρούνται κατά την ψυχρή περίοδο.

- **DSEC - Ξηροί υφεσιακοί τύποι κυκλοφορίας.** Η συνοπτική κατάσταση χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό χαμηλών πιέσεων στην Νοτιοανατολική Μικρά Ασία, και μίας μίας ασθενούς αντικυκλωνικής

ράχης η οποία καλύπτει τη Βαλκανική. Η ράχη είτε αποτελεί προέκταση του αντικυκλώνα του Ατλαντικού, είτε είναι ένα πεδίο ομοιόμορφων πιέσεων με μηδενική βαροβαθμίδα.

Ο τύπος αυτός παρουσιάζεται μόνο στη θερμή περίοδο και ο καιρός που προκαλεί είναι αρκετά καλός με υψηλή θερμοκρασία και ηλιοφάνεια, και με ελάχιστη βροχόπτωση. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτή η συνοπτική κατάσταση δημιουργεί τα μελέμια πάνω από την περιοχή του Αιγαίου.

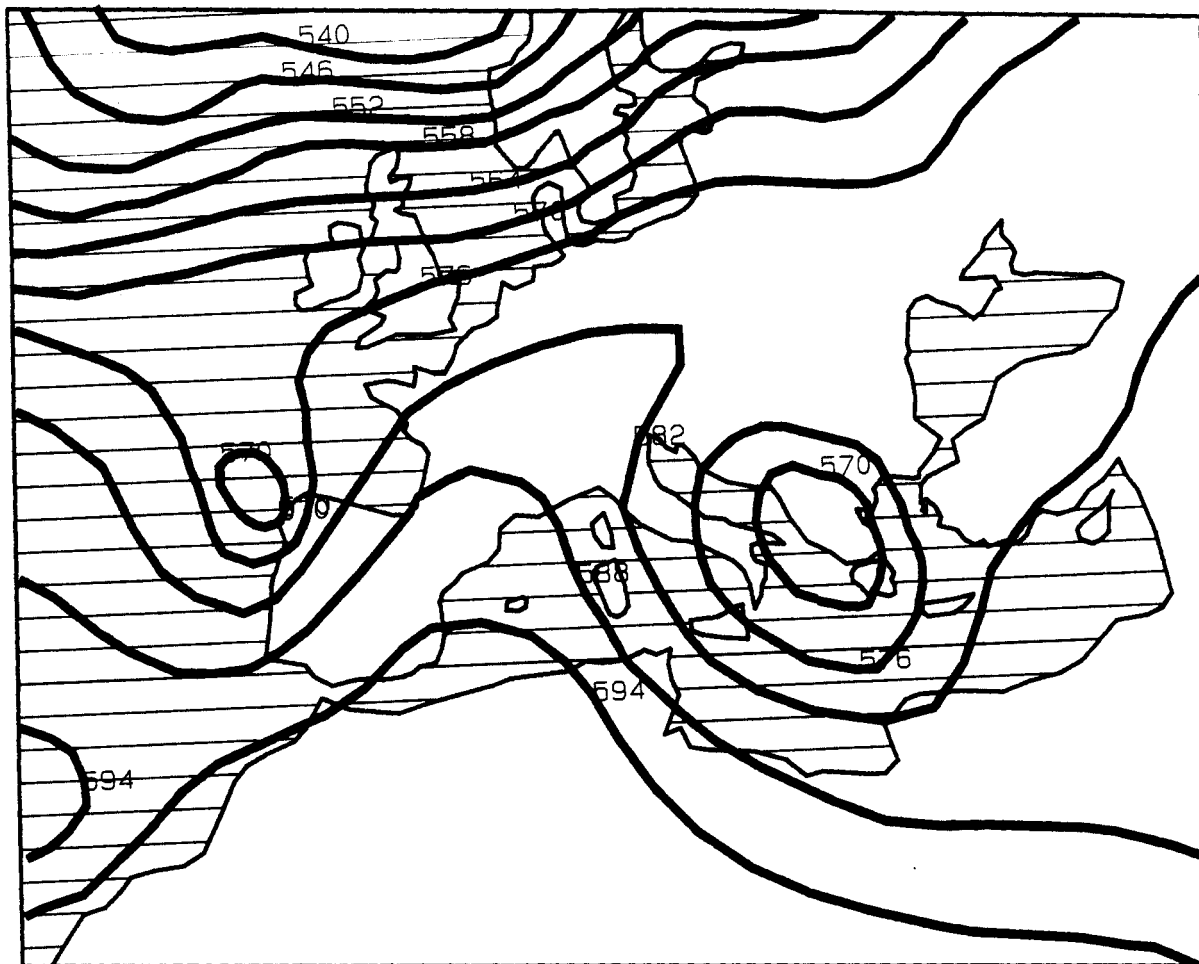
- **MB - Τύποι κυκλοφορίας με ασθενή βαροβαθμίδα.** Στον τύπο αυτό η συνοπτική κατάσταση χαρακτηρίζεται από την απουσία κέντρων δράσης υφειακών ή αντικυκλωνικών τα οποία να επηρεάζουν την περιοχή μας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να υπάρχει ασθενής βαροβαθμίδα, πάνω από τον Ελληνικό χώρο.

Ο καιρός κατά την ψυχρή περίοδο χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμοκρασία και ηλιοφάνεια, καθώς και από απουσία βροχής και ανέμου. Κατά τη θερμή περίοδο παρουσιάζονται πάλι υψηλή θερμοκρασία και ηλιοφάνεια, ασθενείς άνεμοι και ελάχιστη βροχόπτωση.

- **DOR - Τύπος κυκλοφορίας της ψυχρής λίμνης.** Ο τύπος αυτός χαρακτηρίζεται από την παρουσία μίας ψυχρής αέριας μάζας καθ ύψος, με στάσιμο χαρακτήρα, η οποία καλύπτει την Ελληνική περιοχή και προκαλεί ατμοσφαιρική αστάθεια. Η γενική κατάσταση στην επιφάνεια συνήθως μοιάζει με αυτές των δύο προηγούμενων χαρακτηριστικών τύπων. Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται ο χάρτης καιρού στη στάθμη 500 hPa της 7/7/1970 όπου φαίνεται η ψυχρή λίμνη σε αυτή τη στάθμη. Η επικράτηση του τύπου αυτού προκαλεί αστάθεια στην ατμόσφαιρα και κατά συνέπεια ισχυρές καταιγίδες.

Κατά την ψυχρή περίοδο ο καιρός είναι ψυχρός, η ηλιοφάνεια περιορισμένη, και η βροχή αρκετά υψηλή. Τη θερμή περίοδο η θερμοκρασία είναι σε κανονικά επίπεδα, η ηλιοφάνεια περιορισμένη, ενώ η βροχή έχει σημαντική ένταση.





**Σχήμα 2.3** Χάρτης της στάθμης των 500 hPa (σε δεκάδες μέτρων), της 7/7/1970 όπου φαίνεται η ψυχρή λίμνη (Ανατύπωση από Maherias [1979])

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΣΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ**

**ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ**

**ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ**

**ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ**

**ΕΝΑ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΡΟΧΗΣ**

**ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ**

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντάται ένας πραγματικά μεγάλος αριθμός εργασιών, οι οποίες σχετίζονται με το φαινόμενο της βροχής σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές του πλανήτη. Στις εργασίες αυτές υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία θεωρητικών προσεγγίσεων για την περιγραφή της βροχής, καθώς και μεγάλος αριθμός από εμπειρικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα σχετικά με τη χωροχρονική εξέλιξη του φαινομένου. Το σύνολο σχεδόν των παραπάνω εργασιών συμβάλλουν σε έναν από τους παρακάτω τρεις κύριους στόχους: **(α)** την ποσοτική εκτίμηση της βροχής σε επιφανειακή βάση με τη χρήση μετρήσεων που προέρχονται από δίκτυα βροχογράφων, radar και δορυφόρους **(β)** τη μελέτη και μοντελοποίηση του φαινομένου, αξιοποιώντας κάποιες φυσικές ή στατιστικές ιδιότητες και **(γ)** την ποσοτική πρόγνωση της χωροχρονικής εξέλιξης του φαινομένου ή των ακραίων καταστάσεων. Η έντονη μεταβλητότητα της βροχής στο χώρο και το χρόνο, καθιστά δύσκολη την επίτευξη όλων των παραπάνω στόχων, ιδιαίτερα της ποσοτικής πρόγνωσης ο οποίος είναι και ο σημαντικότερος από τεχνικής πλευράς. Δεδομένου ότι η ποσοτική εκτίμηση της βροχής είναι απαραίτητη για τη βαθμονόμηση των μοντέλων, ενώ η μοντελοποίηση είναι απαραίτητη για την προσομοίωση και πρόγνωση, οι περισσότερες εργασίες στοχεύουν σε περισσότερο από έναν στόχους, ενώ σχεδόν πάντα υπάρχει η κλιμάκωση εκτίμηση - μοντελοποίηση - πρόγνωση. Τα σημεία εκείνα που χαρακτηρίζουν μία εργασία σχετική με τη βροχή, είναι η θεωρητική βάση που χρησιμοποιήθηκε για την περιγραφή του φαινομένου και η χωρική και χρονική κλίμακα στην οποία εξετάστηκε. Η θεωρητική βάση των μοντέλων που συναντώνται στην βιβλιογραφία συνήθως κατατάσσεται σε μία από τις τρεις κύριες προσεγγίσεις (στοχαστική, προσδιοριστική, εμπειρική), που περιγράφονται συνοπτικά στο επόμενο υποκεφάλαιο, ενώ πολλές φορές αποτελεί συνδυασμό των παραπάνω προσεγγίσεων. Ακόμη το φαινόμενο έχει εξεταστεί σε όλες τις χωρικές και χρονικές κλίμακες, από τη σημειακή μέχρι την παγκόσμια και από την στιγμιαία μέχρι την υπερετήσια.

Στο παρόν Κεφάλαιο γίνεται μία συνοπτική επισκόπηση των σημαντικότερων εργασιών που παρουσιάστηκαν τα τελευταία χρόνια και είχαν ως κύριους στόχους τη μελέτη, μοντελοποίηση, προσομοίωση και

πρόγνωση της βροχής. Η πραγματικά πολύ εκτεταμένη βιβλιογραφία που υπάρχει σε σχέση με τη βροχή, δεν επιτρέπει την παρουσίαση, αλλά ούτε και την απλή αναφορά πολλών αξιόλογων εργασιών. Η επισκόπηση που γίνεται είναι προσανατολισμένη στη παρουσίαση των εργασιών εκείνων που σχετίζονται κατά κάποιο τρόπο με το αντικείμενο της παρούσας εργασίας, δηλαδή τη μελέτη της βροχόπτωσης σε μικρές χωροχρονικές κλίμακες, με τη χρήση εμπειρικών προσεγγίσεων. Για μία οργανωμένη παρουσίαση ενός μεγάλου αριθμού εργασιών σχετικών με τη βροχόπτωση ο αναγνώστης παραπέμπεται στις εργασίες των Waymire and Gupta [1981a], [1981b], [1981c], Georgakakos and Kavas [1987] και Foufoula - Georgiou and Krajewski [1995].

Στο υποκεφάλαιο 3.2 παρουσιάζονται ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά της μοντελοποίησης της βροχής όπως είναι η θεωρητική βάση και η χωροχρονική κλίμακα θεώρησης. Στα υποκεφάλαια 3.3, 3.4, 3.5 γίνεται μία συνοπτική παρουσίαση των βασικότερων χαρακτηριστικών των τριών κύριων θεωρητικών βάσεων μοντελοποίησης της βροχής (στοχαστικές, προσδιοριστικές και εμπειρικές). Σε κάθε μία από αυτές επιλέχτηκε να παρουσιαστούν ορισμένες εργασίες που ίσως να μην αρκετά αντιπροσωπευτικές της κατηγορίας τους, αλλά είτε είναι πρωτότυπες είτε συμβάλλουν στην κατανόηση ορισμένων ιδιαίτερων στατιστικών ή φυσικών χαρακτηριστικών της διεργασίας. Στη συνέχεια στο υποκεφάλαιο 3.6 παρουσιάζεται ως παράδειγμα μία ιδιαίτερη προσέγγιση μοντελοποίησης της βροχής που δεν μπορεί να καταταχτεί αυστηρά σε κάποια από τις παραπάνω κατηγορίες. Η εργασία αυτή θεωρήθηκε αρκετά σημαντική από τις διάφορες ερευνητικές ομάδες έτσι ώστε να βασιστεί σε αυτήν ένας μεγάλος αριθμός άλλων εργασιών. Στο υποκεφάλαιο 3.7 παρουσιάζονται όλα τα εκείνα τα μοντέλα βροχής που στηρίζονται σε κάποια από τις κατατάξεις τύπων καιρού (η περιγραφή των οποίων έγινε στο Κεφάλαιο 2).

## 3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

### 3.2.1 Θεωρητική βάση

Η μελέτη και μοντελοποίηση της βροχής τα τελευταία τριάντα χρόνια έχει γίνει με τη χρήση μιας σειράς από μεθοδολογίες, καθεμιά από τις οποίες επιχειρεί να "εκμεταλλευτεί" ορισμένες από τις στατιστικές ή μετεωρολογικές ιδιότητες του φυσικού φαινομένου. Η μετεωρολογία, η κλιματολογία, η φυσική της ατμόσφαιρας, και η στατιστική είναι ορισμένες από τις επιστήμες (και κατ' επέκταση θεωρητικές προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση της βροχής) που είναι απαραίτητες στην κατανόηση του μηχανισμού γέννησης του φαινομένου, και της εξέλιξης του στο χώρο και το χρόνο. Με τις επιστήμες αυτές επιτυγχάνεται η κατανόηση των φυσικών και στατιστικών ιδιοτήτων πολλών χαρακτηριστικών της βροχής, που είναι η βάση για τη μελέτη και μοντελοποίηση του φαινομένου. Ακόμη η ανάπτυξη των σύγχρονων τεχνολογιών της χρήσης radar και εικόνων δορυφόρου επιτρέπει την ακριβέστερη παρακολούθηση και κατανόηση των διεργασιών που εξελίσσονται κατά τη διάρκεια της βροχής

Όσον αφορά στη θεωρητική βάση το σύνολο των προηγούμενων προσεγγίσεων μπορεί να καταταχθεί σε τρεις πολύ γενικές κατηγορίες (Waymire and Gupta, [1981a]), τις στοχαστικές (stochastic), τις προσδιοριστικές (deterministic) και τις εμπειρικές (empirical). Οι πρώτες στηρίζονται στη θεωρία των πιθανοτήτων και ειδικότερα στις στατιστικές ιδιότητες που παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά της βροχής. Οι δεύτερες θεμελιώνονται στη μηχανική των ρευστών τη θερμοδυναμική και τη φυσική των νεφών, προσπαθώντας να περιγράψουν το μηχανισμό γέννησης και εξέλιξης της βροχής, με μαθηματικές σχέσεις. Οι τρίτες στηρίζονται στην εμπειρική διαπίστωση ορισμένων χαρακτηριστικών στη χωρική και χρονική εξέλιξη της βροχής, όταν επικρατούν συγκεκριμένες μετεωρολογικές συνθήκες. Η επίδραση της χωρικής και χρονικής κλίμακας θεώρησης της βροχής στην επιλογή της θεωρητικής προσέγγισης είναι καθοριστική και περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο 3.2.2.

Η πολυπλοκότητα του φυσικού μηχανισμού γέννησης και εξέλιξης της βροχής, και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ήταν παράγοντες που έστρεψαν το μεγάλο μέρος των υδρολόγων στην ανάπτυξη μοντέλων με στατιστική (στοχαστική) βάση, ανεξάρτητα με τη χωροχρονική κλίμακα. Έτσι σημαντικά προβλήματα του υδρολόγου

μηχανικού όπως η κατασκευή και λειτουργία υδατικών συστημάτων αντιμετωπίζονταν με τη χρήση της στοχαστικής προσομοίωσης σε μεγάλες χρονικές κλίμακες, ενώ ο σχεδιασμός έργων αντιμετώπισης πλημμυρών (αντιπλημμυρικά έργα, υπερχειλιστές), στηρίζονταν σε κάποιο βαθμό στην προσαρμογή μίας κατάλληλης κατανομής στο δείγμα μεγίστων εντάσεων βροχής. Από την άλλη μεριά η ανάγκη για πρόγνωση σε πραγματικό χρόνο των ισχυρών βροχοπτώσεων και κατά συνέπεια των πλημμυρών, απαιτεί τη μελέτη της βροχής σε μικρές χρονικές κλίμακες, αλλά και τη μελέτη των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής (διάρκεια, συνολικό ύψος, πιθανότητα εκδήλωσης). Η ισχυρή διασπορά του ύψους βροχής σε αυτές τις κλίμακες, αλλά και η συσχέτισή του με συγκεκριμένες μετεωρολογικές καταστάσεις και παραμέτρους, είχε αποτέλεσμα την ανάπτυξη προσδιοριστικών μοντέλων βροχής. Σε αυτά περιλαμβάνονται μοντέλα που προσομοιώνουν τη γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία, μοντέλα που στηρίζονται στη φυσική των νεφών και της ατμόσφαιρας, ή μοντέλα που χρησιμοποιούν τις εικόνες μετεωρολογικών radar και δορυφόρων για την πρόβλεψη της πορείας των καιρικών συστημάτων. Τέλος η δυσκολία των προσδιοριστικών μοντέλων για ακριβή περιγραφή της σχέσης μεταξύ των μηχανισμών γέννησης της βροχής και της χωροχρονικής της εξέλιξης είχε αποτέλεσμα την ανάπτυξη εμπειρικών προσεγγίσεων. Οι εμπειρικές προσεγγίσεις αφορούν μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και ενσωματώνουν τα ιδιαίτερα γεωγραφικά, κλιματικά και συνοπτικά χαρακτηριστικά καθώς και τη σχέση τους με την εκδήλωση και εξέλιξη της βροχής. Ακόμη οι προσεγγίσεις αυτές μπορούν να είναι αρκετά χρήσιμες στην πρόγνωση της βροχής, δεδομένου ότι ποσοτικοποιούν τη μετεωρολογική εμπειρία. Επισημαίνεται ότι στις εμπειρικές προσεγγίσεις κατατάσσονται και τα μοντέλα βροχής κατά τύπο καιρού.

### **3.2.2 Χωροχρονικές κλίμακες**

Η χρονική και χωρική κλίμακα στην οποία εξετάζεται η βροχή είναι καθοριστική στην αποτελεσματικότητα κάθε μίας από τις παραπάνω θεωρητικές προσεγγίσεις στο να κατανοήσει, μοντελοποιήσει και τελικά προβλέψει την εξέλιξη του φαινομένου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες στις οποίες εξετάζεται η βροχή, και για κάθε κλίμακα οι θεωρήσεις που συνήθως χρησιμοποιούνται.

Στις μεγάλες χρονικές κλίμακες (ετήσια, μηνιαία) η βροχή δεν εξετάζεται στη φυσική της διάσταση αλλά περιγράφεται αποκλειστικά από το άθροισμα των συνολικών υψών περισσοτέρων του ενός επεισοδίων. Στις κλίμακες αυτές η στατιστική θεώρηση είναι η μόνη δυνατή για την περιγραφή του φαινομένου στο χρόνο δεδομένου ότι υπάρχει ανεξαρτησία μεταξύ του μηχανισμού γέννησης της βροχής και του ύψους. Ακόμη η κατανομή της βροχής στους μήνες (ένα σημαντικό ποσοστό της οποίας εξηγείται από κλιματικούς και γεωγραφικούς παράγοντες), προσεγγίζεται και μέσα από τις κλιματολογικές προσεγγίσεις. Σε εβδομαδιαία και ημερήσια κλίμακα οι μετεωρολογικές προσεγγίσεις έχουν μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην μελέτη της βροχής δεδομένου ότι παρακολουθούν τη δημιουργία και εξέλιξη των μετεωρολογικών σχηματισμών (μέτωπα, υφέσεις) που την προκάλεσαν. Σε αυτές τις χρονικές κλίμακες η διαλείπουσα φύση του φαινομένου της βροχής έχει αποτέλεσμα την εισαγωγή της έννοιας επεισόδιο βροχής. Με τον όρο αυτό ορίζεται η χρονική περίοδος στην οποία πραγματοποιείται βροχόπτωση και διαχωρίζεται από την προηγούμενη και επόμενη από μία επαρκή περίοδο μηδενικής βροχόπτωσης (χρόνος διαχωρισμού). Κάθε επεισόδιο βροχής πρέπει να είναι μετεωρολογικά και στοχαστικά ανεξάρτητο από τα προηγούμενα και επόμενα επεισόδια. Η μελέτη των χαρακτηριστικών των επεισοδίων βροχής (πιθανότητα εκδήλωσης, συνολικό ύψος και διάρκεια, μέση ένταση), γίνεται κυρίως με στοχαστικές μεθόδους, ενώ πολλές φορές γίνεται χρήση εμπειρικών προσεγγίσεων. Σε ακόμη λεπτομερέστερη κλίμακα (ωριαία, λεπτού), η φυσική των νεφών και της ατμόσφαιρας βοηθούν σημαντικά στη μελέτη της βροχής. Η εξέλιξη του φαινομένου σε τόσο μικρές χρονικές κλίμακες εξαρτάται κυρίως από το είδος των νεφών και την εξέλιξη των άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, πίεση, άνεμος, υγρασία) σε διάφορα επίπεδα της ατμόσφαιρας. Βέβαια η ατελής πρόγνωση των χαρακτηριστικών της βροχής με προσδιοριστικά μοντέλα σε τόσο μικρές χρονικές κλίμακες, έχει οδηγήσει και στην εναλλακτική χρήση στοχαστικών μοντέλων για την πρόβλεψη της εξέλιξης του φαινομένου.

Σε μεγάλες χωρικές κλίμακες (γήινης σφαίρας, ημισφαιρίου) η βροχή μελετάται με τη χρήση μοντέλων τα οποία στηρίζονται στην φυσική της ατμόσφαιρας. Με την τροφοδοσία τους από σημαντικό αριθμό μετεωρολογικών δεδομένων, τα μοντέλα αυτά προσομοιώνουν τον καιρό

σε όλη τη γη, και “προβλέπουν” την εξέλιξη ορισμένων μετεωρολογικών παραμέτρων στα σημεία ενός κανάβου. Ο κανάβος έχει συνήθως διάσταση 50 - 100 km, ενώ η πρόβλεψη γίνεται συνήθως κάθε έξι ώρες. Η πολυπλοκότητα των ατμοσφαιρικών μηχανισμών που είναι υπεύθυνοι για την εξέλιξη του καιρού, οι κλιματικές και οι γεωγραφικές ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής, είναι παράγοντες που επιδρούν αρνητικά στις προβλέψεις των μοντέλων αυτών. Έτσι, οι προβλέψεις αυτές σε γενικές γραμμές δίνουν μία εικόνα της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης μεγάλων περιοχών, αλλά σε μικρές χωρικές κλίμακες αποτυγχάνουν στον προσδιορισμό της γεωγραφικής κατανομής και των μεγίστων υψών. Σε χωρικές κλίμακες ηπείρου ή και κράτους ( $10^4 - 10^6 \text{ km}^2$ ), οι μετεωρολογικές προσεγγίσεις που στηρίζονται στη μορφή και τα χαρακτηριστικά της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, είναι ικανοποιητικές στην περιγραφή και πρόγνωση του φαινομένου. Ακόμη η χρήση εμπειρικών προσεγγίσεων με τη μελέτη και κατάταξη των συνοπτικών καταστάσεων από χάρτες καιρού, μπορεί να συμβάλλει στην πρόβλεψη της γενικής εξέλιξης και χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης. Σε πολύ μικρές χωρικές κλίμακες η εξέλιξη μετεωρολογικών μεταβλητών όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση, είναι πολύ σημαντική στην πρόγνωση της βροχής. Βέβαια η προσέγγιση αυτή θα πρέπει να συνδυαστεί και με τα μετεωρολογικά φαινόμενα που εξελίσσονται σε μεγαλύτερη χωρική κλίμακα. Η περιγραφή και μοντελοποίηση της βροχόπτωσης σε επιφανειακή βάση ενδιαφέρει σημαντικά, ιδιαίτερα στις μικρές χρονικές κλίμακες όπου συνδέεται με την πρόγνωση των πλημμυρών σε κατανεμημένα μοντέλα βροχής - απορροής.

### **3.3 ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ**

#### **3.3.1 Γενικά**

Οι πρώτες μέθοδοι που εφαρμόστηκαν στη μοντελοποίηση της βροχόπτωσης αφορούσαν στην προσαρμογή ορισμένων στατιστικών κατανομών σε ετήσια και μηνιαία ύψη βροχής. Οι μέθοδοι αυτές είναι ανεφάρμοστες σε μικρότερες χρονικές κλίμακες όπου το φαινόμενο είναι διαλείπον και στο μεγαλύτερο ποσοστό των χρονικών βημάτων δεν



πραγματοποιείται βροχόπτωση. Έτσι για τη μοντελοποίηση σε ημερήσια βάση αναπτύχθηκαν τεχνικές που εξέταζαν την αλληλοδιαδοχή των βροχερών και ξηρών ημερών (αλυσίδες Μαρκόφ) καθώς και τα χρονικά μήκη των υγρών και ξηρών περιόδων [Schaake et al., 1972; Haan et al., 1976; Mimikou, 1983; Shaw, 1983; Mimikou, 1984]. Ανάλογες μεθοδολογίες αναπτύχθηκαν και για τη μελέτη της βροχής σε ωριαία βάση οι περισσότερες από τις οποίες στηρίζονταν στην ισχυρή στοχαστική εξάρτηση που παρουσιάζουν τα διαδοχικά ύψη βροχής στις μικρές χρονικές κλίμακες.

Η εισαγωγή της έννοιας επεισόδιο βροχής απλοποίησε τη μαθηματική περιγραφή της βροχόπτωσης δεδομένου ότι οι χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται δεν περιέχουν το μεγάλο αριθμό στοιχείων με μηδενική τιμή. Στη διεθνή βιβλιογραφία των τριών τελευταίων δεκαετιών συναντώνται πολλοί ορισμοί για το επεισόδιο βροχής, οι περισσότεροι από τους οποίους βασίζονται στη στοχαστική ανάλυση του χρόνου διαχωρισμού [Grace and Eagleson, 1966; Restrepo-Posada and Eagleson 1982; Shaw 1983]. Η θεώρηση που βρίσκεται σε μεγαλύτερη συμφωνία με τη φυσική διαδικασία της βροχής περιλαμβάνει τα παρακάτω σημεία: **(α)** μια συγκεκριμένη βροχερή περίοδος αντιστοιχεί σε ένα επεισόδιο βροχής, **(β)** το επεισόδιο μπορεί να περιέχει χρονικά διαστήματα με μηδενική βροχόπτωση **(γ)** δύο επεισόδια χωρίζονται από μια σημαντική χρονική περίοδο μη μηδενικής βροχόπτωσης (χρόνος διαχωρισμού) **(δ)** τα διαδοχικά επεισόδια βροχής είναι στοχαστικά ανεξάρτητα. Τα παραπάνω σημεία που μορφώνουν τον ορισμό του επεισοδίου βροχής σχετίζονται άμεσα με τη φυσική εξέλιξη του φαινομένου, ενώ το τελευταίο σημείο υποδηλώνει και τη φυσική ανεξαρτησία των επεισοδίων βροχής. Έτσι το κάθε επεισόδιο πραγματοποιείται από την επίδραση συγκεκριμένου μετεωρολογικού σχηματισμού ή συνοπτικής κατάστασης γενικότερα. Τα χαρακτηριστικά εκείνα του επεισοδίου τα οποία έχουν κυρίως μελετηθεί είναι η πιθανότητα εκδήλωσης, το συνολικό ύψος και διάρκεια καθώς και η στοχαστική δομή των ωριαίων υψών βροχής, και ο χρόνος διαχωρισμού μεταξύ δύο επεισοδίων. Οι εργασίες οι οποίες εξετάζουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά της βροχής ανέρχονται σε πολλές εκατοντάδες. Σημαντική από πλευράς μεθοδολογίας αλλά και βιβλιογραφικής επισκόπησης, είναι η εργασία του Κουτσογιάννη [1988]. Σε αυτήν εκτός των άλλων εξετάζεται διεξοδικά η στοχαστική δομή του χρόνου

διαχωρισμού και αναπτύσσεται κριτήριο διαχωρισμού των επεισοδίων βροχής. Ακόμη εξετάζεται η κατανομή των συνολικών υψών, η εσωτερική δομή του επεισοδίου βροχής και η επίδραση της διάρκειας στα άλλα χαρακτηριστικά.

Μία άλλη καθαρά στοχαστική μεθοδολογία για την προσομοίωση της βροχής είναι η τεχνική του επιμερισμού (dissagregation), η οποία παρουσιάστηκε από τους Valencia and Schaake [1972]. Η τεχνική αυτή στηρίζεται στην πύκνωση των αρχικά παραγόμενων χρονοσειρών σε μικρότερες χρονικές κλίμακες. Οι συνθετικές χρονοσειρές των μικρότερων χρονικών βημάτων αθροιζόμενες επαληθεύουν την αρχική χρονοσειρά, ενώ διατηρούν και τη στοχαστική τους δομή η οποία προκύπτει από τα ιστορικά δεδομένα. Το μοντέλο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή συνθετικής βροχής σε μηνιαία κλίμακα, αδυνατώντας να προσομοιώσει την έντονα ασύμμετρη συνάρτηση κατανομής της βροχής, στις μικρότερες χρονικές κλίμακες. Αντίθετα το μοντέλο επιμερισμού που ανέπτυξε ο Κουτσογιάννης [1988], έχει τη δυνατότητα να επιμερίσει τις αρχικές χρονοσειρές βροχής μέχρι την ωριαία κλίμακα. Μία βελτιωμένη έκδοση του μοντέλου αυτού παρουσιάστηκε από τον Koutsoyiannis [1992].

Κατά τις δεκαετίες του 1970 και του 1980 η θεωρητική βάση των περισσότερων στοχαστικών μοντέλων βασίζονταν στην έννοια της σημειακής ανέλιξης (point process), με την οποία μπορεί να περιγράψει μαθηματικά η χρονική εξέλιξη χαρακτηριστικών της βροχής (ύψος και ένταση, χρόνος πραγματοποίησης των επεισοδίων, χρόνος διαχωρισμού) σε ένα σημείο του χώρου. Εκτενής παρουσίαση της θεωρίας των σημειακών ανελιξεων γίνεται από τους Waymire and Gupta [1981b]. Πολλές από τις προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν χρησιμοποιούν περισσότερες από μία ανελίξεις για να περιγράψουν και μοντελοποιήσουν το φαινόμενο της βροχής. Έτσι για παράδειγμα μία στοχαστική ανέλιξη με συγκεκριμένη μαθηματική δομή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τους χρόνους εκδήλωσης των επεισοδίων, ενώ μία άλλη ανέλιξη για την περιγραφή του ωριαίου ύψους. Είναι ευνόητο ότι η στοχαστική εξάρτηση μεταξύ των ανελιξεων έχει μελετηθεί και ενσωματωθεί μέσα στο μοντέλο. Οι περισσότερο διαδεδομένες στη βιβλιογραφία σημειακές στοχαστικές ανελίξεις για την περιγραφή της

βροχής, είναι η ανέλιξη Poisson, Neyman - Scott και Cox [Waymire and Gupta, 1981c].

Τα στοχαστικά μοντέλα βροχής που αναπτύχθηκαν σε επιφανειακή βάση, μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες από πλευράς μαθηματικής δομής: **(α)** τα πολυμεταβλητά (multivariate) που περιγράφουν τη χρονική εξέλιξη της βροχής σε ένα σύνολο από μεμονωμένα σημεία του χώρου και **(β)** τα πολυδιάστατα (multidimensional) που περιγράφουν τη βροχόπτωση στο σύνολο των σημείων της περιοχής μελέτης και βασίζονται στην θεωρία των τυχαίων πεδίων (random fields).

Η δυσκολία στον υπολογισμό των παραμέτρων των μοντέλων σημειακών ανερίξεων και η αδυναμία να περιγράψουν τη στατιστική δομή της βροχόπτωσης σε ένα εύρος χρονικών και χωρικών κλιμάκων, είχε σαν αποτέλεσμα τη μεταστροφή της έρευνας τα τελευταία χρόνια στην ανάπτυξη των μοντέλων κλιμάκωσης που περιγράφονται συνοπτικά στην επόμενη παράγραφο.

### **3.3.2 Μοντέλα κλιμάκωσης**

Η θεωρητική βάση των μοντέλων κλιμάκωσης (scaling models) στηρίζεται στο αναλλοίωτο διαφόρων χαρακτηριστικών της βροχής σε διαφορετικές κλίμακες (scale invariance). Ορισμένες στατιστικές ιδιότητες των χαρακτηριστικών της βροχής στις μικρές και τις μεγάλες κλίμακες συνδέονται μεταξύ τους, με ένα συντελεστή αλλαγής κλίμακας. Τα μοντέλα κλιμάκωσης πλεονεκτούν διότι με ένα μικρό αριθμό παραμέτρων περιγράφουν τη βροχόπτωση σε ένα μεγάλο εύρος κλιμάκων. Ακόμη έχει εμπειρικά επιβεβαιωθεί ότι η βροχόπτωση χαρακτηρίζεται από μία συμμετρία στα χαρακτηριστικά στις διάφορες κλίμακες. Τέλος τα μοντέλα αυτά έχουν συνδυαστεί με πολλούς κλάδους της κλασματικής γεωμετρίας (fractal geometry) για τα πεδία βροχής (βλέπε συνοπτική παρουσίαση των προσεγγίσεων αυτών στους Tessier et al. [1993]).

Σύμφωνα με ορισμένα μοντέλα κλιμάκωσης, οι καταγιγίδες αναμένεται να παρουσιάζουν ομοιότητες στην εσωτερική τους δομή ανεξάρτητα τη διάρκεια και το συνολικό ύψος, ενώ τα στατιστικά χαρακτηριστικά του τμηματικού και συνολικού ύψους βροχής εξαρτώνται από τη διάρκεια του επεισοδίου. Οι παρατηρήσεις αυτές έχουν εκφραστεί από πολύ νωρίς από το Huff [1967]) με την εισαγωγή των αδιάστατων αθροιστικών καμπυλών του χρόνου και του ύψους βροχής. Αυτές

προκύπτουν από τη σχεδίαση του αδιάστατου αθροιστικού ύψους βροχής του επεισοδίου σε σχέση με τον αδιάστατο αθροιστικό χρόνο από την έναρξη του επεισοδίου. Η ομοιότητα των καταιγίδων διαπιστώνεται σε αυτή την εμπειρική μέθοδο, με την κατάταξη τους σε “τεταρτημόρια”, ανάλογα σε πιο “τεταρτημόριο” της διάρκειας του επεισοδίου πραγματοποιήθηκε το μεγαλύτερο ύψος βροχής.

Τα τελευταία χρόνια οι παρατηρήσεις σε σχέση με την ομοιότητα των καταιγίδων έχουν αξιοποιηθεί για την ανάπτυξη μοντέλων κλιμάκωσης του επεισοδίου βροχής. Σημαντικές εργασίες στον τομέα αυτό είναι αυτές των Garcia - Guzman and Aranda - Oliver [1993] και των Koutsoyiannis and Foufoula - Georgiou [1993]. Από στατιστικής πλευράς η έννοια της κλιμάκωσης συνεπάγεται ομοιότητα των συναρτήσεων κατανομής των τμηματικών και συνολικών υψών βροχής των επεισοδίων διαφορετικών διαρκειών. Σαν συνέπεια θα πρέπει να υπάρχει εξάρτηση των στατιστικών χαρακτηριστικών του τμηματικού και συνολικού ύψους βροχής από τη διάρκεια του επεισοδίου. Η εξάρτηση αυτή έχει διαπιστωθεί από πολλούς ερευνητές [Grace and Eagleson, 1966; Hershenhorn and Woolhiser, 1977; Koutsoyiannis and Foufoula, 1991].

Ακόμη τα τελευταία χρόνια έχει διερευνηθεί σημαντικά η συμπεριφορά φυσικών συστημάτων τα οποία παρουσιάζουν ευαίσθητη εξάρτηση στις αρχικές συνθήκες και έτσι μεγενθύνουν με το χρόνο τις αρχικές αβεβαιότητες (ιδιότητα που χαρακτηρίζει τα μη γραμμικά συστήματα). Έτσι τα μετεωρολογικά συστήματα χαρακτηρίζονται ως προσδιοριστικά μη γραμμικά συστήματα, δεδομένου ότι διέπονται από προσδιοριστικούς νόμους, είναι πολύ ευαίσθητα στις αρχικές συνθήκες και το τελικό αποτέλεσμα χαρακτηρίζεται από την τυχαιότητα μιας οποιασδήποτε στοχαστικής διαδικασίας. Σημαντική έρευνα στην χρονική κατανομή της βροχής (σε κλίμακα επεισοδίου), με στόχο την ανακάλυψη οργανωμένων δομών κρυμμένων στη χαοτική συμπεριφορά του φαινομένου, έχει γίνει από τους Rodriguez - Iturbe et al. [1989] και Rodriguez - Iturbe [1991].

## 3.4 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

### 3.4.1 Γενικά

Παρά τη δυσκολία που παρουσιάζει η διατύπωση μίας προσδιοριστικής προσέγγισης για την προσομοίωση της βροχής, ο αριθμός των σχετικών εργασιών στην βιβλιογραφία δεν είναι μικρός. Οι περισσότερες από αυτές αφορούν στη περιγραφή και προσομοίωση της γενικής ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ενώ ορισμένες στηρίζονται στη φυσική των νεφών και της ατμόσφαιρας.

Τα περισσότερο διαδεδομένα και δοκιμασμένα προσδιοριστικά μοντέλα είναι αυτά που χρησιμοποιούν επιχειρησιακά σήμερα οι μεγάλοι μετεωρολογικοί οργανισμοί για την πρόγνωση και εξέλιξη των μετεωρολογικών μεταβλητών σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές (δυναμικά αριθμητικά μοντέλα). Ακόμη η μεγάλη διαθεσιμότητα εικόνων από μετεωρολογικά radar και δορυφόρους τα τελευταία χρόνια, είχε σαν αποτέλεσμα να αναπτυχθούν πολλές προσεγγίσεις που αξιοποιούν τη διαθέσιμη πληροφορία, με στόχους τη μέτρηση και πρόγνωση της βροχής

Στις επόμενες παραγράφους επιλέχτηκε να παρουσιαστούν δύο από τις προσδιοριστικές προσεγγίσεις που συναντώνται στην βιβλιογραφία. Η επιλογή έγινε με βάση τη διάδοση αλλά και την πρωτοτυπία των προσεγγίσεων. Έτσι η προσέγγιση που παρουσιάζεται πρώτη αφορά στα δυναμικά ατμοσφαιρικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται ευρέως από μεγάλους μετεωρολογικούς οργανισμούς, ενώ η προσέγγιση που παρουσιάζεται δεύτερη αφορά σε ένα ιδιαίτερο προσδιοριστικό μοντέλο, με θεωρητική βάση που στηρίζεται στην φυσική της ατμόσφαιρας.

### 3.4.2 Δυναμικά ατμοσφαιρικά μοντέλα

Τα περισσότερο εφαρμοσμένα προσδιοριστικά μοντέλα είναι τα δυναμικά αριθμητικά μοντέλα (dynamic numerical methods) τα οποία περιγράφουν τη διατήρηση της μάζας, της ορμής και της ενέργειας του αέρα στην ατμόσφαιρα, με τη χρήση συστημάτων διαφορικών εξισώσεων. Οι εξισώσεις αυτές επιλύονται αριθμητικά κάθε χρονικό βήμα, και στα σημεία ενός κανάβου ο οποίος έχει εγκαθιδρυθεί έτσι ώστε να καλύπτει μία συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Σε αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (General Circulation Models - GCM)

τα οποία χρησιμοποιούνται από μεγάλους μετεωρολογικούς οργανισμούς με στόχο την πρόγνωση της εξέλιξης των μετεωρολογικών μεταβλητών (και της βροχόπτωσης) σε περιοχές της κλίμακας ηπείρου ή και ημισφαιρίου. Η χρονική διακριτότητα των μοντέλων αυτών συνήθως κυμαίνεται από 15 λεπτά (οι προγνώσεις που δημοσιεύονται έχουν διακριτότητα από 6 έως 12 ώρες), η χωρική διακριτότητα από 50 έως 200 km, ενώ ο χρόνος πρόγνωσης (lead time) δεν ξεπερνάει τις δύο ημέρες. Η χρήση των μοντέλων αυτών επεκτάθηκε ιδιαίτερα την προηγούμενη δεκαετία. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά ορισμένων επιχειρησιακών αριθμητικών μοντέλων που χρησιμοποιούσε το Εθνικό Μετεωρολογικό Κέντρο (National Meteorological Center) την εποχή εκείνη [Georgakakos and Kanvas, 1987]. Σκοπός των μοντέλων αυτών ήταν η ποσοτική πρόγνωση της βροχόπτωσης.

**Πίνακας 3.1** Χαρακτηριστικά αριθμητικών μοντέλων (Georgakakos and Kanvas, 1987)

Όνομα	Περιοχή πρόγνωσης	Χωρική κλίμακα (km)	Συχνότητα πρόγνωσης	Διακρ/τητ α πρόγνωσης (hr)	Χρόνος πρόγνωσης (hr)
LFM-11	Βόρειος Αμερική	127	0000 και 1200 GMT	6 και 12	48
MFM	Αμερική	60	Περιστασιακά	6	48
SMG3C	Γη	100	0000 και 1200 GMT	12	48
MOS	Αμερική	190	0000 και 1200 GMT	6 και 12	36

Τα τελευταία χρόνια τα δυναμικά μοντέλα χρησιμοποιούνται ευρύτατα για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση της βροχής, παρά την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει τις ποσοτικές προγνώσεις τους. Ενδεικτικά αναφέρονται το μοντέλο RAMS του πανεπιστημίου του Κολοράντο, το MM5 του Εθνικού Κέντρου Έρευνας της Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ και το μοντέλο του Ευρωπαϊκού Κέντρου. Ακόμη πολλά δυναμικά μοντέλα χρησιμοποιούνται και για τη μελέτη της ευαισθησίας της βροχόπτωσης στην σταδιακή μεταβολή φυσιογραφικών και οικολογικών παραγόντων [Foufoula - Georgiou and Krajewski, 1995].

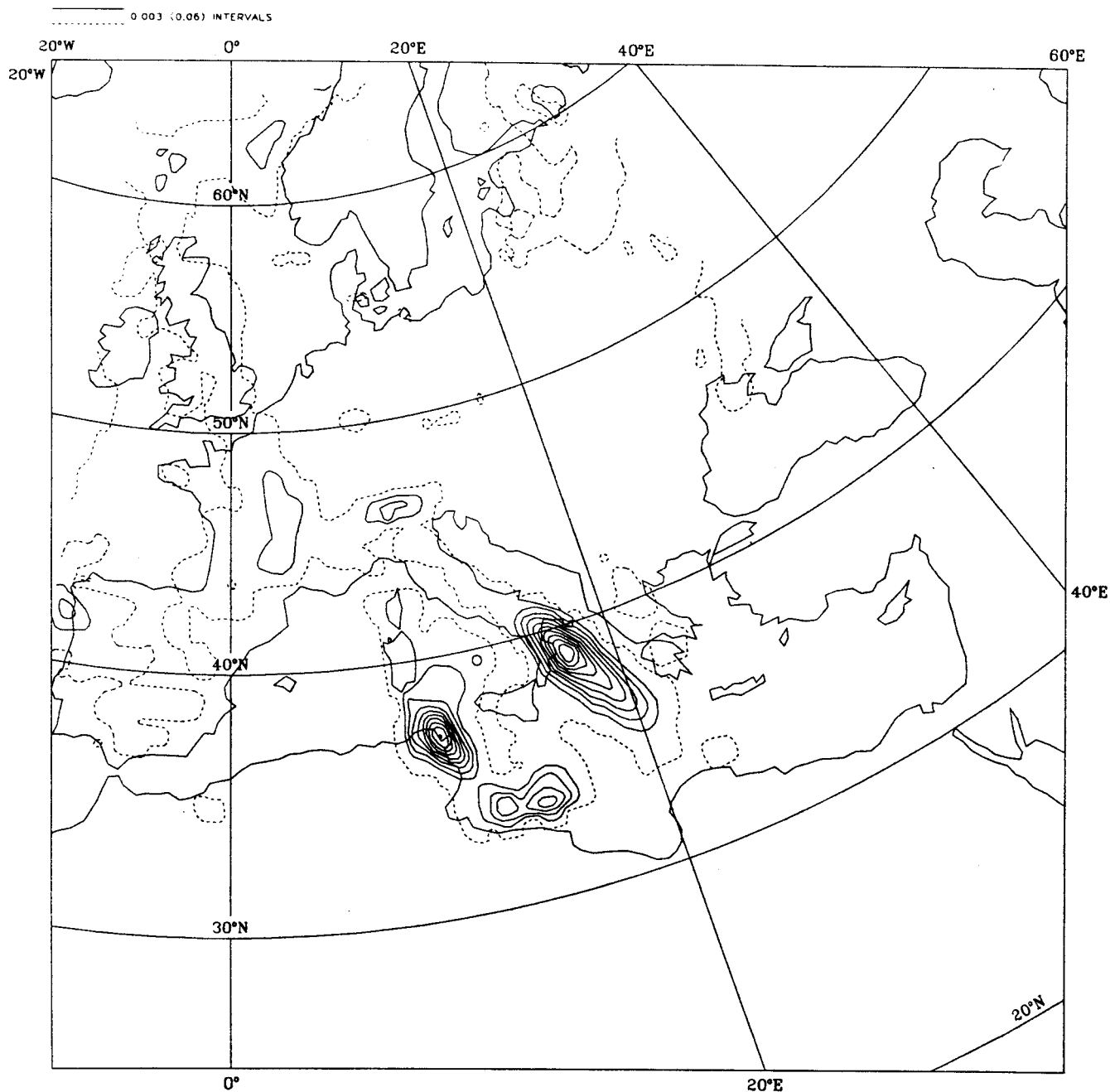
Η επιχειρησιακή πρακτική έχει δείξει ότι η πρόγνωση της βροχής σε χρονικές κλίμακες 12 έως 36 ωρών επιτυγχάνεται ικανοποιητικά από δυναμικά μοντέλα περιορισμένης χωρικής κλίμακας (Limited Area Models). Τα LAMs είναι συνήθως τροποποιήσεις των μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση της βροχής σε παγκόσμια κλίμακα, έχουν την ίδια χρονική διακριτότητα με αυτά, αλλά ολοκληρώνονται σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές της γης. Ουσιαστικά δηλαδή αποτελούν εκδόσεις υπό κλίμακα των μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την παγκόσμια πρόγνωση της βροχής, χρησιμοποιώντας τις ίδιες θεμελιώδεις εξισώσεις, με κατάλληλη παραμετροποίηση ορισμένων φυσικών διαδικασιών.

Στην Ευρώπη το πιο ολοκληρωμένο και επιχειρησιακό δυναμικό μοντέλο, είναι αυτό του Ευρωπαϊκού Κέντρου στην Αγγλία, οι προγνώσεις του οποίου αξιοποιούνται από τις μετεωρολογικές υπηρεσίες των περισσότερων Ευρωπαϊκών χωρών. Το μοντέλο μέσω ενός δικτύου τηλεπικοινωνιών που λειτουργεί αποκλειστικά για το σκοπό αυτό, τροφοδοτείται με τα δεδομένα των μετεωρολογικών υπηρεσιών των χωρών-μελών του Κέντρου. Τα δεδομένα αυτά προέρχονται από μετεωρολογικούς σταθμούς (επίγειους και θαλάσσιους), ραδιοβολίσεις, πλοία, αεροπλάνα και δορυφόρους. Στο μοντέλο ενσωματώνονται και ποικίλα δεδομένα που αφορούν εκτός των άλλων και στην ορογραφία, στη φυτοκάλυψη, στην εδαφική υγρασία, στη νέφωση, στην συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών αερίων (διοξείδιο του άνθρακα, όζον), στην ανακλαστικότητα του εδάφους (albedo) και στο χιόνι. Οι υπολογισμοί εκτελούνται κάθε 15 λεπτά σε πάνω από τέσσερα εκατομμύρια σημεία κανάβου σε ολόκληρη τη γη. Το Ευρωπαϊκό Κέντρο εκδίδει προβλέψεις τέσσερις φορές την ημέρα για 30 χρονικούς ορίζοντες πρόγνωσης (από 6 έως 240 ώρες), και χωρική διακριτότητα 0.5X0.5 μοίρες. Η πρόβλεψη αφορά σε μετεωρολογικές παραμέτρους στην επιφάνεια, σε 31 στάθμες της ατμόσφαιρας που χρησιμοποιεί στους υπολογισμούς το μοντέλο και σε 15 στάθμες μεταξύ των 1000 και των 30 hPa. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που εκτιμώνται στην ατμόσφαιρα περιλαμβάνουν τον άνεμο, τη θερμοκρασία τη σχετική και απόλυτη υγρασία και τη νεφοκάλυψη, ενώ στην επιφάνεια περιλαμβάνουν τη βροχόπτωση, τη χιονόπτωση, την πίεση στην μέση στάθμη θάλασσας, τη θερμοκρασία, τον άνεμο και το σημείο δρόσου.

Για την καλύτερη κατανόηση της ακρίβειας πρόβλεψης των δυναμικών μοντέλων σήμερα παρουσιάζονται στα Σχήματα 3.1 και 3.2 δύο από τους χάρτες που εκδίδονται ανά εξάωρο από το Ευρωπαϊκό Κέντρο και περιέχουν την αθροιστική πρόγνωση του ύψους βροχής. Οι χάρτες αυτοί στέλνονται με τη μορφή ψηφιακών αρχείων στην Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) η οποία και μας τους διέθεσε. Η πρόγνωση της γεωγραφικής κατανομής της βροχής στον Ευρωπαϊκό χώρο δίδεται με τη μορφή ισοϋετιών καμπυλών εξάωρου ύψους βροχής, με ισοδιάσταση 3 mm. Οι προγνωστικοί χάρτες που παρουσιάζονται έγιναν στις 8/9/1994 12:00 GMT για τις 9/9/1994 06:00 και 12:00 GMT (χρόνος πρόγνωσης 18 και 24 ώρες), ενώ την ίδια χρονική στιγμή εκδόθηκαν χάρτες με χρόνο πρόγνωσης μέχρι και 48 ώρες.



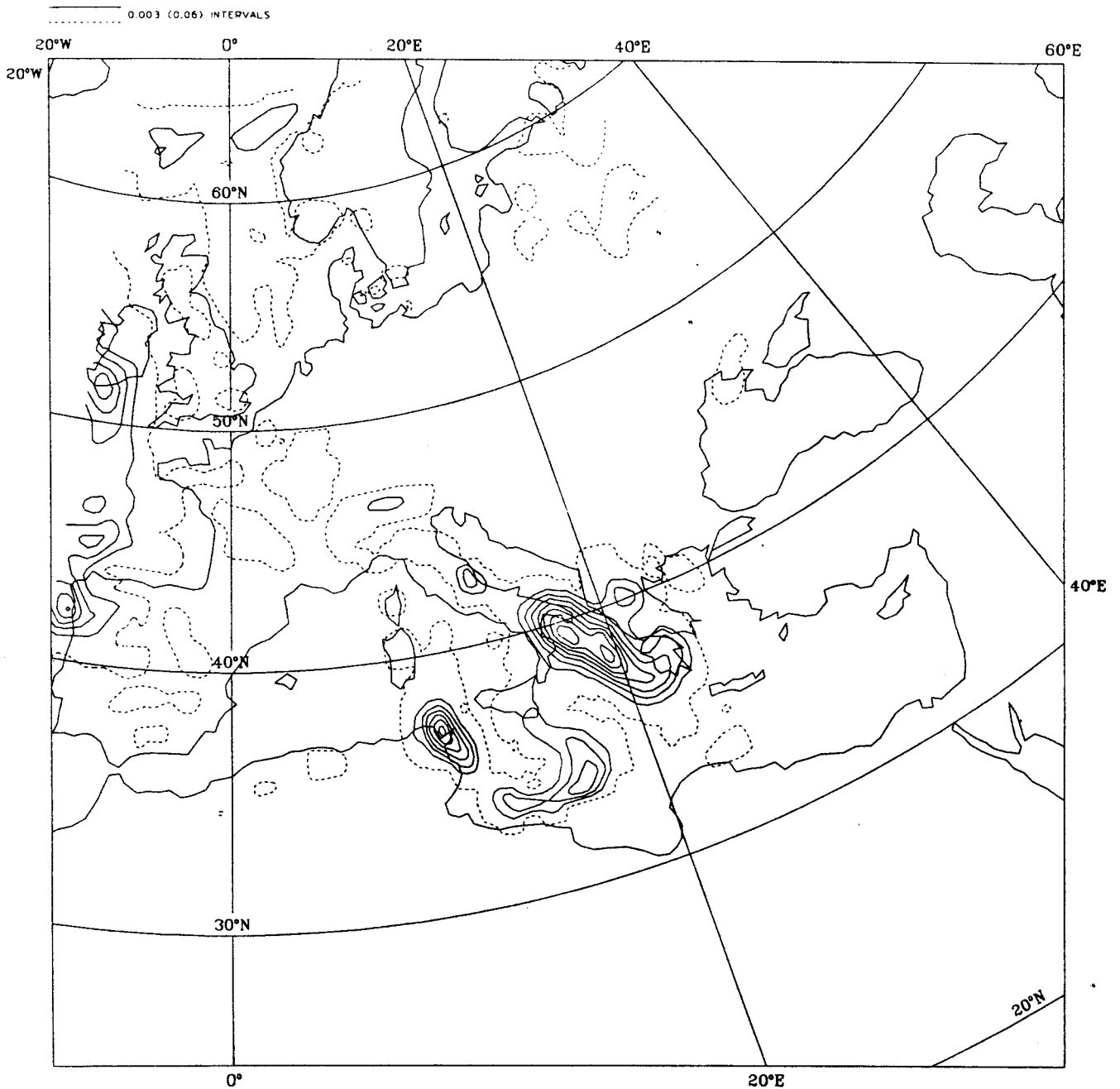
Saturday 8 January 1994 12z ECMWF Forecast t+ 18 VT: Sunday 9 January 1994 06z  
SURFACE: total precipitation



MAGICS 4.1a SGI - alex 17 February 1994 10:38:12 - NOWCASTING PRODUCT

**Σχήμα 3.1** Πρόβλεψη Ευρωπαϊκού κέντρου για τη βροχόπτωση στις  
9/1/1994 00:00 - 06:00 GMT

Saturday 8 January 1994 12z ECMWF Forecast t+ 24 VT: Sunday 9 January 1994 12z  
SURFACE: total precipitation



MAGICS 4.1a SGI - alex 17 February 1994 10:38:58 - NOWCASTING PRODUCT

**Σχήμα 3.2** Πρόβλεψη Ευρωπαϊκού κέντρου για τη βροχόπτωση στις 9/1/1994 06:00 - 12:00 GMT

Με στόχο την εκτίμηση της ακρίβειας των προβλέψεων αυτών έγινε επαλήθευση του μοντέλου με τη χρήση των σημειακών δεδομένων βροχής

σε δύο σημεία της Στερεάς Ελλάδας. Στον Πίνακα 3.2 παρουσιάζονται οι αθροιστικές προβλέψεις του Ευρωπαϊκού Κέντρου και οι αντίστοιχες παρατηρημένες βροχοπτώσεις στο σταθμό Κρίκελλο της λεκάνης του Ευήνου και στο Αεροδρόμιο Ελληνικού. Το πρώτο επεισόδιο συνέβη στις 9/1/1994 ενώ το δεύτερο στις 29/1/1994. Οι προβλεφθείσες τιμές του μοντέλου αποκωδικοποιήθηκαν γραφικά από τους χάρτες πρόγνωσης.

**Πίνακας 3.2 Παρατηρημένα και προβλεφθέντα εξάωρα ύψη βροχής (mm)**

Εξάωρο	Κρίκελλο (9/1/1994)		Ελληνικό (29/1/1994)	
	Παρατηρημένα	Προβλεφθέντα	Παρατηρημένα	Προβλεφθέντα
1	5	3	3	0
2	28	6	4	6
3	8	13	7	4
4	0	13	10	23
5	10	6		
6	9	6		
<b>Σύνολο</b>	<b>62</b>	<b>47</b>	<b>24</b>	<b>33</b>

Από τα δεδομένα του Πίνακα 3.2 μπορούμε να εξαγάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Η πρόβλεψη του συνολικού ύψους του επεισοδίου είναι υποεκτιμημένη στο πρώτο επεισόδιο κατά 25% και υπερεκτιμημένη στο δεύτερο περίπου 35%
- Το μοντέλο δεν εκτιμά ικανοποιητικά τα τμηματικά (εξάωρα) ύψη βροχής, δεδομένου ότι παρατηρούνται στα εξάωρα έντονης βροχόπτωσης μεγάλες αποκλίσεις (πάνω από 400% και 200% στα δύο επεισόδια αντίστοιχα)
- Σε ορισμένες περιπτώσεις δεν εκτιμά καλά την παρουσία ή όχι βροχόπτωσης. Έτσι στο πρώτο επεισόδιο το μοντέλο δεν προβλέπει βροχόπτωση εξάωρου εκεί που έχουμε αιχμή, ενώ στο δεύτερο επεισόδιο προβλέπει βροχή η οποία δεν πραγματοποιήθηκε.
- Το μοντέλο φαίνεται ότι ομογενοποιεί τη χωρική και χρονική κατανομή της βροχής με αποτέλεσμα να μην μπορεί να αναπαραστήσει τις χωροχρονικές εξάρσεις του φαινομένου. Για το σκοπό αυτό οι προβλέψεις του μοντέλου αποτελούν απλώς ένα βασικό συμβουλευτικό εργαλείο στα χέρια των μετεωρολόγων.

### 3.4.3 Ένα προσδιοριστικό μοντέλο με φυσική θεωρητική βάση

Η ανάγκη για την πρόγνωση της βροχής σε πραγματικό χρόνο και σε μικρή χωρική κλίμακα οδήγησε τους Georgakakos και Brass [1984a] στη διατύπωση ενός από τα ελάχιστα προσδιοριστικά μοντέλα βροχόπτωσης αυτού του είδους, τα οποία συναντώνται στη βιβλιογραφία. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν και επαλήθευσαν ένα δυναμικό μοντέλο βροχής, η θεωρητική βάση του οποίου στηρίζεται σε θεωρίες σχετικές με τη συμπύκνωση των υδρατμών, του μηχανισμού παραγωγής βροχής, και την εξάτμιση των κατακρημνιζομένων υδρομετεώρων. Το μοντέλο περιγράφει την αδιαβατική άνοδο των αερίων μαζών, την κατανομή της διαμέτρου των σωματιδίων στα σύννεφα και τη σχέση της διαμέτρου με την τελική ταχύτητα κατακρήμνισης. Ακόμη μοντελοποιήθηκε η εξάτμιση των υδρομετεώρων στο ακόρεστο στρώμα κάτω από τα σύννεφα. Με την επεξεργασία ενός συνόλου πολύ καλών μετεωρολογικών δεδομένων οι θεωρίες αυτές επιβεβαιώθηκαν και στη συνέχεια έγινε ο υπολογισμός των φυσικών παραμέτρων των μοντέλου. Οι σημαντικότερες φυσικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στη διατύπωση του μοντέλου ήταν η ατμοσφαιρική πίεση στην κορυφή των νεφών, η κατακόρυφη ταχύτητα και η μέση διάμετρος των υδρομετεώρων σε κάθε στάθμη της ατμόσφαιρας.

Δεδομένου ότι το μοντέλο έχει κατασκευαστεί για την πρόγνωση της βροχής σε πραγματικό χρόνο, έχει δοθεί έμφαση στην ευκολία ρύθμισής του. Για το λόγο αυτό ως είσοδο απαιτούνται δεδομένα μετεωρολογικών μεταβλητών που μετριοούνται ευρέως, και συγκεκριμένα μετρήσεις θερμοκρασίας, ατμοσφαιρικής πίεσης και σημείου δρόσου στην επιφάνεια του εδάφους. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε από τους Georgakakos και Bras [1984b] στην πρόγνωση της ωριαίας βροχόπτωσης και χιονόπτωσης σε περιοχές των ΗΠΑ και της Βενεζουέλας. Στην αρχική (καθαρά προσδιοριστική) μορφή του, το μοντέλο μπορούσε να προβλέψει με ικανοποιητική ακρίβεια την αρχή και το τέλος της βροχής, τις ώρες με μηδενική βροχόπτωση, αλλά όχι και τις ώρες με την ιδιαίτερα έντονη βροχόπτωση. Οι προγνώσεις του μοντέλου βελτιώθηκαν σημαντικά όταν οι συγγραφείς το συνδύασαν με άλλες περισσότερο στοχαστικές μεθοδολογίες (π.χ. χρήση του συντελεστή αυτοσυσχέτισης, φίλτρα Kalman).

## 3.5 ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ

### 3.5.1 Γενικά

Η διατύπωση μοντέλων βασισμένων σε εμπειρικές θεωρήσεις, αξιοποιεί τη συσχέτιση ορισμένων χαρακτηριστικών της βροχής, με τις συνοπτικές συνθήκες ή με μετεωρολογικά, γεωγραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά. Η συσχέτιση αυτή εντοπίζεται εμπειρικά, ποσοτικοποιείται και αξιοποιείται, χωρίς να είναι απαραίτητη η ακριβής περιγραφή και εξήγηση της, όπως συμβαίνει στα προσδιοριστικά μοντέλα. Οι εμπειρικές προσεγγίσεις μπορούν να συμβάλουν στην πρόγνωση της βροχής, σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους αφού ποσοτικοποιούν τη μετεωρολογική εμπειρία σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Η μεγάλη πλειονότητα των εμπειρικών προσεγγίσεων σχετίζονται με τους τύπους καιρού και η θεωρητική τους βάση στηρίζεται στην εμπειρική συσχέτιση των χαρακτηριστικών της βροχής με συγκεκριμένες συνοπτικές καταστάσεις ή μετεωρολογικές συνθήκες. Στο υποκεφάλαιο 3.6 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από τις προσεγγίσεις αυτές.

Η εμπειρική συσχέτιση των χαρακτηριστικών της βροχής με άλλα κλιματικά και συνοπτικά χαρακτηριστικά, έχει γίνει σε συγκεκριμένες περιοχές. Ως καθαρά εμπειρικές προσεγγίσεις επιλέχθηκε να παρουσιαστούν δύο πολύ πρόσφατες εργασίες οι οποίες συνδέουν την εξέλιξη των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών μίας περιοχής με ένα κλιματικό φαινόμενο το οποίο εξελίσσεται εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά. Αν και η χρονική βάση θεώρησης είναι η ετήσια οι εργασίες αυτές είναι αξιοσημείωτες (και παρουσιάζονται στην παρούσα επισκόπηση), δεδομένου ότι συνδέουν εμπειρικά δύο διεργασίες που αρχικά φαίνεται ότι η γεωγραφική απόσταση τις έχει καταστήσει ανεξάρτητες. Το κλιματικό φαινόμενο που μελετάται στις δύο εργασίες είναι το “El Nino<sup>1</sup>/Southern

---

<sup>1</sup>Με την ονομασία “El Nino” είναι γνωστό το φαινόμενο της υπερβολικής θέρμανσης των θαλασσιών υδάτων των βορειοδυτικών ακτών της Νότιας Αμερικής από ένα θερμό ωκεάνιο ρεύμα. Το φαινόμενο παρατηρείται κάθε ορισμένα χρόνια (όχι περιοδικά), γύρω στα Χριστούγεννα και για το λόγο αυτό οι κάτοικοι το ονόμασαν “El Nino” που στα Ισπανικά σημαίνει το μικρό αγόρι συνδέοντάς το με το μικρό Χριστό. Η μετεωρολογική κατάσταση που ευνοεί το “El Nino” περιγράφεται συνοπτικά στη συνέχεια. Στη γενική του κατάσταση, ο καιρός στον τροπικό Ειρηνικό ωκεανό επηρεάζεται από τις σχεδόν μόνιμες υψηλές πιέσεις πάνω από τον ανατολικό Ειρηνικό και τις χαμηλές πιέσεις πάνω από την Ινδονησία. Η διάταξη αυτή προξενεί ανατολικούς ανέμους, ένα ψυχρό θαλάσσιο ρεύμα που κατευθύνεται από νότια προς ανατολικά στις ακτές της Νότιας Αμερικής, και ένα θερμό θαλάσσιο ρεύμα που κατευθύνεται δυτικά και πάνω στον Ισημερινό. Κάθε μερικά χρόνια η διάταξη αυτή των πιέσεων αντιστρέφεται, αλλάζοντας τη διεύθυνση των ανέμων και των

Oscillation (ENSO)” το οποίο επηρεάζει κυρίως τις ακτές του Περού. Ακόμη παρουσιάζονται δύο εμπειρικές προσεγγίσεις οι οποίες στηρίζονται στην συνεχή μέτρηση και παρακολούθηση των καιρικών διαταραχών. Η πρώτη είναι αρκετά διαδεδομένη και αφορά στα μοντέλα που στηρίζονται στη τεχνολογία radar και δορυφόρων, ενώ η δεύτερη είναι πρωτότυπη και αφορά στην κίνηση της βροχής η οποία μελετήθηκε σε μια σειρά εργασιών Σουηδών επιστημόνων και αξιοποιήθηκε στην πρόγνωση πλημμυρών.

### **3.5.2 Δύο πρόσφατες εμπειρικές προσεγγίσεις**

Η εργασία των Piechota and Dracup [1996] μελετά τη σχέση ανάμεσα στην εξέλιξη των υδροκλιματικών μεταβλητών στις Η.Π.Α., και των πραγματοποιήσεων του ENSO. Οι συγγραφείς με βάση τα δεδομένα 344 κλιματικών περιοχών των Η.Π.Α., για 94 χρόνια, ποσοτικοποίησαν την επίδραση των πραγματοποιημένων ENSO σε όλη τη χώρα και προσδιόρισαν τις περιοχές εκείνες στις οποίες το υδροκλιματικό καθεστώς επηρεάζεται σημαντικά από την εκδήλωση τους. Το σημαντικότερο συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι το ENSO γενικά συνδέεται με την ξηρασία, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από παλαιότερες εργασίες που το συσχετίζουν με μικρές τιμές των βροχοπτώσεων και απορροών στις Η.Π.Α.

Η εργασία του Eltahir [1996] συνδέει το ENSO με τις τιμές των παροχών του Νείλου, έχοντας σαν στόχο τη μείωση της φυσικής μεταβλητότητας της χρονοσειράς των παροχών. Ο συγγραφέας χρησιμοποίησε τα δεδομένα ετήσιας παροχής στη θέση φράγματος Aswan, και ένα δείκτη του ENSO ο οποίος προκύπτει από τη μέση απόκλιση της θερμοκρασία στο επίπεδο της θάλασσας, μιας συγκεκριμένης περιοχής του Ειρηνικού (αυτής που συμβαίνει το φαινόμενο). Οι δύο σειρές δεδομένων ήταν διαθέσιμες για την περίοδο 1872 - 1972 και η ανάλυση έδειξε ότι το ENSO συνδέεται με τις χαμηλές παροχές του ποταμού, ενώ εξηγεί και το 25% της φυσικής

---

ρευμάτων, και κατευθύνοντας το θερμό ρεύμα προς τις ακτές του Περού. Στην περίπτωση αυτή έχουμε ένα επεισόδιο το οποίο συνήθως διαρκεί μερικές εβδομάδες, αλλά εφόσον κρατήσει για μεγαλύτερο διάστημα, προκαλεί τη θέρμανση του ωκεανού με καταστροφικές συνέπειες στο θαλάσσιο οικοσύστημα, αλλά και στην οικονομία που σχετίζεται με την αλιεία. Η αντιστροφή των πιέσεων στα δύο άκρα του Ειρηνικού ωκεανού είναι γνωστή ως νότια ταλάντωση (Southern Oscillation), και δεδομένου ότι είναι σχεδόν ταυτόχρονη με τη θέρμανση του ανατολικού Ειρηνικού, οι επιστήμονες αποκαλούν το όλο φαινόμενο ENSO (El Nino/Southern Oscillation)

μεταβλητότητας της χρονοσειράς των ετησίων παροχών. Η εξήγηση που δίνουν οι συγγραφείς για τη σχέση που συνδέει τις δύο χρονοσειρές παρά τη μεγάλη απόσταση που χωρίζει τις δύο περιοχές, στηρίζεται σε εμπειρικά παρατηρημένες συσχετίσεις ανάμεσα στα πεδία πιέσεων σε διαφορετικά σημεία της υδρογείου. Συγκεκριμένα έχει διαπιστωθεί εμπειρικά ότι υπάρχει θετική συσχέτιση ανάμεσα στο πεδίο πιέσεων στο Αιθιοπικό οροπέδιο από το οποίο πηγάζει ο Νείλος και στο Darwin της βόρειας Αυστραλίας. Έτσι η ανάπτυξη υψηλών πιέσεων στο Darwin, η οποία είναι δείκτης πραγματοποίησης ενός γεγονότος ENSO, συνδέεται με την επικράτηση υψηλών πιέσεων στο Αιθιοπικό οροπέδιο. Το τελευταίο γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της βροχόπτωσης στην στο Αιθιοπικό οροπέδιο όπου πηγάζει ο ποταμός και κατά συνέπεια την απορροή του.

### **3.5.3 Μοντέλα radar**

Τις τελευταίες δεκαετίες η εξέλιξη της τεχνολογίας έφερε την εφαρμογή των τεχνικών radar αλλά και των δορυφόρων στην υπηρεσία της Υδρομετεωρολογίας. Η ανάλυση της πληροφορίας που προέρχεται από τις εικόνες των μετεωρολογικών radar και δορυφόρων έχει συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση της χωροχρονικής εξέλιξης του πεδίου βροχής και των δομών που αναπτύσσονται. Οι εφαρμογές που αναπτύχθηκαν για την επεξεργασία των μετρήσεων αλλά και των εικόνων radar και δορυφόρων αφορούσαν στην μέτρηση της βροχής, την αναγνώριση των χαρακτηριστικών των νεφών, τον εντοπισμό συγκεκριμένων φαινομένων καιρού (π.χ. χαλάζι), και τη βραχυχρόνια πρόγνωση καταιγίδων. Ακόμη οι παρατηρήσεις που έχουν γίνει στη δομή και τα χαρακτηριστικά του πεδίου βροχής έχουν επηρεάσει τη θεωρητική βάση των περισσότερων προσδιοριστικών μοντέλων.

Το μεγαλύτερο μέρος από τα μοντέλα radar, έχουν αναπτυχθεί με στόχο την ακριβέστερη εκτίμηση της επιφανειακής βροχής, ενώ για τη βαθμονόμησή τους είναι απαραίτητη και η ταυτόχρονη λειτουργία βροχογράφων [Mimikou and Baltas, 1996]. Σε επιχειρησιακές υδρολογικές εφαρμογές οι παρατηρήσεις που προέρχονται από radar είναι πολύ χρήσιμες, δεδομένης της υψηλής χρονικής και χωρικής ανάλυσης της πληροφορίας. Τα μοντέλα radar που έχουν αναπτυχθεί με στόχο την πρόγνωση, βασίζονται στην διαθεσιμότητα στοιχείων (εικόνων) με μεγάλη

χρονική και χωρική ανάλυση με την οποία επιτυγχάνεται η ακριβής γνώση των τρεχουσών καιρικών συνθηκών, και η βραχυχρόνια πρόγνωση τους. Η ποσοτική πρόγνωση επιτυγχάνεται με την ανάλυση της κατανομής και της κίνησης του πεδίου βροχής, και στη συνέχεια της χωροχρονικής επέκτασης του. Η ακρίβεια και η ποιότητα των προγνώσεων που γίνονται με τη μέθοδο αυτή (επέκταση πεδίου βροχής) εξαρτάται από το χρονικό βήμα πρόγνωσης και το τύπο καιρού. Πρόσφατη είναι η εργασία του Μπαλτά [1996], στην οποία καταγράφονται οι σύγχρονες εξελίξεις στον τομέα αυτό, και γίνεται μέτρηση, επεξεργασία, εκτίμηση, και πρόγνωση των καταιγίδων με τη χρήση μετεωρολογικού radar στον Ελληνικό χώρο.

#### **3.5.4 Κίνηση βροχής (rainfall movement)**

Η καθαρά προσδιοριστική προσέγγιση χαρακτήριζε μία σειρά από εργασίες οι οποίες ασχολήθηκαν με τη μελέτη της διεύθυνσης και ταχύτητας κίνησης της βροχής [Niemczynowicz, 1984; Diskin, 1987; κ.α.] σε μικρές χωρικές και χρονικές κλίμακες. Περισσότερο ολοκληρωμένη και αντιπροσωπευτική των προσεγγίσεων αυτών είναι η εργασία του Niemczynowicz [1988], ο οποίος μελέτησε την κίνηση των κυττάρων βροχής (raincells), με στόχο την ακριβέστερη εκτίμηση της επιφάνειας βροχής η οποία εισάγεται σε κατανεμημένο μοντέλο βροχής - απορροής. Ο συγγραφέας θεωρώντας ότι οι στοχαστικές προσεγγίσεις δεν ήταν πρακτικά εφαρμόσιμες για την προσομοίωση της βροχής σε αστικές λεκάνες και σε κλίμακα επεισοδίου, εισήγαγε ένα προσδιοριστικό μοντέλο με παραμέτρους σχετικές με την κίνηση των κυττάρων βροχής. Η θεωρητική βάση του μοντέλου στηρίζεται στο γεγονός ότι η χρονική κατανομή της βροχόπτωσης που παρατηρείται σε ένα σημείο του χώρου είναι αποτέλεσμα των χαρακτηριστικών διαφόρων διαδικασιών που εξελίσσονται μέσα στο πεδίο βροχής. Τέτοιες διαδικασίες είναι η χωρική κατανομή των κυττάρων βροχής, οι αποστάσεις μεταξύ τους, η ταχύτητα τους και η διεύθυνση που κινούνται. Για τη ρύθμιση των παραμέτρων κίνησης του μοντέλου απαιτείται ένα πυκνό δίκτυο βροχογράφων, με μεγάλη ποσοτική και χρονική ακρίβεια, δεδομένα radar και ανεμολογικές παρατηρήσεις στη στάθμη των 700 Hpa. Η ρύθμιση του μοντέλου έγινε με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα ενός δικτύου 12 βροχογράφων, οι οποίοι κάλυπταν τα 20 km<sup>2</sup> της αστικής λεκάνης της πόλης Lund της Σουηδίας. Οι βροχογράφοι είχαν διακριτότητα λεπτού, ήταν πολύ καλά συγχρονισμένοι



μεταξύ τους, ενώ σε πέντε σημεία της λεκάνης υπήρχε συνεχής μέτρηση της απορροής. Από τα δεδομένα τριών ετών, εξήχθησαν 550 επεισόδια βροχής, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τη ρύθμιση του μοντέλου. Η επαλήθευση έγινε με τη χρήση δεδομένων βροχής και απορροής για 100 επεισόδια και έδειξε σημαντική βελτίωση των προγνώσεων με την εισαγωγή της έννοιας της κίνησης της βροχής.

### **3.6 ΕΝΑ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΒΡΟΧΗΣ**

Η μεγάλη δυσκολία στη ακριβή χωροχρονική περιγραφή και μοντελοποίηση της βροχόπτωσης, έχει οδηγήσει στη διατύπωση μοντέλων τα οποία συνδυάζουν περισσότερες από μία θεωρήσεις. Ο κύριος στόχος είναι η συμβολή κάθε θεώρησης στη μείωση της αβεβαιότητας ορισμένων χαρακτηριστικών της βροχής (ύψος, διάρκεια, χωρική κατανομή). Η επισκόπηση της πραγματικά εκτεταμένης βιβλιογραφίας σχετικά με τη μοντελοποίηση της βροχής, αποκαλύπτει ότι οι συγγραφείς αξιοποιούν οποιαδήποτε ιδιότητα του φαινομένου, ενσωματώνοντάς την στην προσέγγιση τους. Τα μοντέλα που τελικά αναπτύσσονται δεν μπορούν να καταταχθούν αυστηρά σε κάποιες από τις προηγούμενες κατηγορίες, όσον αφορά στη θεωρητική τους βάση. Τα μοντέλα αυτά έχουν συμπεριλάβει στη διατύπωσή τους οποιεσδήποτε από τις φυσικές, στοχαστικές ή εμπειρικές ιδιότητες που έχουν παρατηρηθεί ή διατυπωθεί, και σχετίζονται με τη χωρική και χρονική εξέλιξη του φαινομένου.

Μια από τις σημαντικότερες προσεγγίσεις της περασμένης δεκαετίας στη μοντελοποίηση της επιφανειακής βροχόπτωσης, η οποία συνδύαζε τη γνώση της φυσικής εξέλιξης του φαινομένου και των στοχαστικών του ιδιοτήτων, ήταν αυτή των Waymire et al. [1984]. Οι συγγραφείς ανέπτυξαν ένα πολυδιάστατο - στοχαστικό - φυσικό - εμπειρικό μοντέλο, βασισμένοι στις εμπειρικές διαπιστώσεις των Austin and Houze [1972] σχετικά με τους κυκλώνες των μεσαίων πλατών (extratropical cyclones). Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε για την στοχαστική προσομοίωση της βροχής στο χώρο και το χρόνο, διατηρώντας όμως τα φυσικά χαρακτηριστικά της δομής της

βροχόπτωσης σε ένα κυκλώνα. Η δομή αυτή αντλήθηκε από την κλασσική εργασία των Austin and Houze [1972] η οποία εξετάζει τη δομή της βροχής στη Βρετανία στις διάφορες χωρικές κλίμακες, χρησιμοποιώντας δεδομένα από radar και πυκνό δίκτυο βροχογράφων. Σύμφωνα με τους συγγραφείς οι οποίοι εξέτασαν διαταραχές που προέκυψαν από διάφορες συνοπτικές και εποχιακές καταστάσεις, η βροχόπτωση οργανώνεται σε μία ιεραρχία τεσσάρων χωρικών κλιμάκων στις οποίες η ένταση της βροχής αυξάνει όσο η χωρική κλίμακα μειώνεται. Οι χωρικές κλίμακες των περιοχών βροχής οι οποίες προσδιορίστηκαν και περιγράφηκαν από τους συγγραφείς είναι: **(α)** Οι συνοπτικές περιοχές (synoptic areas) με έκταση μεγαλύτερη των  $10^4$  km<sup>2</sup> και χρόνο ζωής από μία μέχρι μερικές ημέρες **(β)** οι μεγάλες περιοχές μέσης κλίμακας (Large MesoScale Areas - LMSA) με έκταση μεταξύ των  $10^2$  -  $10^4$  km<sup>2</sup> και χρόνο ζωής από μερικές ώρες **(γ)** οι μικρές περιοχές μέσης κλίμακας (Small MesoScale Areas - SMSA) με έκταση 100 - 400 km<sup>2</sup> και χρόνο ζωής μία ώρα και **(δ)** τα κύτταρα βροχής (raincells) με έκταση περίπου 10 km<sup>2</sup> και χρόνο ζωής από μερικά λεπτά μέχρι μισή ώρα. Η δομή της βροχής σε κάθε κλίμακα είναι δυναμική και αλλάζει συνεχώς δεδομένου ότι συνεχώς αναπτύσσονται, μετακινούνται και διαλύονται περιοχές βροχής της αμέσως προηγούμενης χωρικής κλίμακας. Έτσι η κίνηση μίας LMSA θα είναι η συνισταμένη των κινήσεων των SMSA και κυττάρων βροχής (raincells), από τα οποία αποτελείται.

Στον Πίνακα 3.3 παρουσιάζονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά της δομής της βροχόπτωσης στις τέσσερις χωρικές κλίμακες, όπως αυτά παρουσιάζονται στην αρκετά μεταγενέστερη εργασία των Waymire et al. [1984]. Οι ερευνητές για την περιγραφή και μοντελοποίηση των χωρικών κλιμάκων πραγματοποίησαν βροχής χρησιμοποίησαν τη θεωρία των σημειακών ανελιξων (για την άφιξη των LMSA, για τη χωρική κατανομή των SMSA) και των τυχαίων μεταβλητών (αριθμός κυττάρων βροχής).

**Πίνακας 3.3** Παρατηρημένη δομή βροχόπτωσης σε τυπικό κυκλώνα μεσαίων πλατών (από Waymire et al. [1984])

Χαρακτηριστικά δομής καταιγίδας	Κυκλώνας	LMSA	SMSA	Κύτταρα βροχής
Χωρική κλίμακα (km <sup>2</sup> )	>10 <sup>4</sup>	10 <sup>3</sup> - 10 <sup>4</sup>	10 - 10 <sup>3</sup>	10 - 50
Χρονική κλίμακα (hr)	>12	1.5 - 4	0.5 - 4	0.7
Κινήσεις αέρα	Οριζόντιες	Οριζόντιες	Κατα/φες	Κατα/φες
Ένταση βροχής (mm/hr)	0.5	4	8	10 - 100

Οι Waymire et al. [1984] για την περιγραφή και μοντελοποίηση των χωρικών κλιμάκων πραγματοποίησης βροχής χρησιμοποίησαν τη θεωρία των σημειακών ανελιξεων (για την άφιξη των LMSA, για τη χωρική κατανομή των SMSA) και των τυχαίων μεταβλητών (αριθμός κυττάρων βροχής).

Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980, πολλές ήταν οι εργασίες που στηρίχτηκαν στη συγκεκριμένη φυσική θεώρηση της δομής των κυκλώνων των μεσαίων πλατών και ως περισσότερο σημαντικές αναφέρονται αυτές των Ignacio Rodriguez - Iturbe and Eagleson [1987] και των Sivapalan and Wood [1987].

### 3.7 ΒΡΟΧΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ

#### 3.7.1 Γενικά

Η μελέτη της βροχής και η κατάταξη των επεισοδίων, με τη θεώρηση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης (η οποία και προκάλεσε το φαινόμενο) έχει γίνει σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, με στόχο τη μοντελοποίηση της εξέλιξης της βροχόπτωσης στο χώρο και στο χρόνο. Όπως έχει αναφερθεί και στην εισαγωγή οι προσεγγίσεις τύπων καιρού κατατάσσονται στις εμπειρικές, δεδομένου ότι τα χαρακτηριστικά της βροχής συνδέονται εμπειρικά με τον τύπο της συνοπτικής κατάστασης. Στις περισσότερες δημοσιευμένες εργασίες γίνεται συνδυασμός των εμπειρικών προσεγγίσεων τύπων καιρού, με στοχαστικά μοντέλα. Ο κύριος στόχος είναι η βελτίωση της στατιστικής εκτίμησης των παραμέτρων εκείνων οι οποίες συνδέονται με φυσικά χαρακτηριστικά της

βροχόπτωσης. Έτσι οι διαφορές που εμπειρικά διαπιστώνονται στα χαρακτηριστικά της βροχής μεταξύ των διαφορετικών τύπων καιρού, αξιοποιούνται για να μειώσουν την τυχαιότητα των στοχαστικών προσεγγίσεων. Βέβαια εκείνο που εύκολα διαπιστώνεται από όλες τις εργασίες είναι ότι όσο μικραίνει η χρονική κλίμακα θεώρησης της βροχής τόσο μικραίνουν οι διαφορές στα χαρακτηριστικά της βροχής μεταξύ των διαφόρων τύπων. Ακόμη πολλές από τις εργασίες επισημαίνουν την προφανή διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών της βροχής μεταξύ αντικυκλωνικών και υφεσιακών τύπων. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται οι προσεγγίσεις εκείνες που αφορούν στην μελέτη και μοντελοποίηση της βροχής, κατά τύπο καιρού. Η κατάταξη στην οποία στηρίζεται κάθε προσέγγιση ανήκει σε κάποια από τις τρεις κατηγορίες κατατάξεων τύπων καιρού που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 2. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι η μοντελοποίηση της βροχής με βάση τον τύπο καιρού που επικρατεί έχει αναπτυχθεί μόλις τα τελευταία χρόνια. Ακόμη στο τέλος του υποκεφαλαίου παρουσιάζονται και οι ορισμένες εργασίες που αφορούν στη σχέση των τύπων καιρού απευθείας με την απορροή, χωρίς την ενδιάμεση μοντελοποίηση της βροχής

### **3.7.2 Μοντέλα βροχής κατά τύπο καιρού**

Η Shaw [1962] πραγματοποίησε την κατάταξη της (παράγραφος 2.3.2) με αποκλειστικό σκοπό τη μελέτη της βροχής στη Βόρεια Αγγλία. Με βάση τα δεδομένα επτά βροχογράφων για την περίοδο 1956-1960, η συγγραφέας ανέπτυξε σημαντικές παρατηρήσεις για την επίδραση των τύπων καιρού στην χρονική εξέλιξη των επεισοδίων βροχής. Ακόμη προσδιόρισε τη συμβολή κάθε τύπου στο ετήσιο και εποχιακό ύψος βροχής κάθε σταθμού, και τη συσχέτισε με τη γεωγραφική θέση του σταθμού αυτού. Η ανάλυση έδειξε ότι παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στα προηγούμενα χαρακτηριστικά μεταξύ των διαφόρων τύπων καιρού.

Οι εργασίες των Huff [1969], και των Huff and Shipp [1969] πραγματοποιήθηκαν με σκοπό τη μελέτη της χωρικής και χρονικής εξέλιξης της βροχής σε κλίμακα επεισοδίου. Οι εργασίες έγιναν για το Ιλινόις των Η.Π.Α. και χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα 49 βροχογράφων οι οποίοι κάλυπταν μία έκταση 1000 km<sup>2</sup>, για την περίοδο 1955-66. Συγκεκριμένα εξετάστηκε η επίδραση της διάρκειας και έντασης της

βροχής, του τύπου καιρού αλλά και της εποχής, στα χωρική κατανομή της βροχόπτωσης. Ιδιαίτερα στη δεύτερη εργασία μελετήθηκε η επίδραση των προηγούμενων παραγόντων στη κατανομή της συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων των βροχογράφων, με στόχο τη βελτίωση των μεθόδων συμπλήρωσης ελλειπουσών τιμών. Η κατάταξη τύπων καιρού που χρησιμοποιήθηκε στις δύο εργασίες παρουσιάστηκε συνοπτικά στην παράγραφο 2.3.3. Τα συμπεράσματα των δύο εργασιών είναι αρκετά ενδιαφέροντα, αλλά η εισαγωγή των τύπων καιρού δε φαίνεται να επιδρά σημαντικά στα χωρική και χρονική κατανομή της βροχόπτωσης.

Ο Maher [1979] μελέτησε, περιέγραψε και ερμήνευσε το κλίμα της περιοχής του Αιγαίου. Σε μια άλλη εργασία ο συγγραφέας (Μαχαίρας [1982]), μελέτησε τις τιμές των μετεωρολογικών μεταβλητών (και της βροχής) κατά τύπο καιρού για την περιοχή της Θεσσαλονίκης. Ο συγγραφέας για την ανάλυση χρησιμοποίησε τα ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα ενός σταθμού για την περίοδο 1966-75. Η ανάλυση έγινε ξεχωριστά για την υγρή (Οκτώβριος-Απρίλιος) και ξηρή (Μάιος-Σεπτέμβριος) περίοδο, και έδειξε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά όλων των μεταβλητών αλλά και στο ημερήσιο ύψος και στην διάρκεια της βροχόπτωσης, μεταξύ των τύπων καιρού. Οι διαφορές αυτές γίνονται μεγαλύτερες μεταξύ των αντικυκλωνικών και υφρεσιακών τύπων.

Οι Maher and Flocas [1985] μελέτησαν τη γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης στην Ελλάδα κατά την ξηρή περίοδο (Μάιος-Σεπτέμβριος) σε σχέση με την κατάταξη Maher [1979] (υποκεφάλαιο 2.6). Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα 13 σταθμών, κυρίως της βόρειας Ελλάδας, για τη χρονική περίοδο 1966-76). Η ανάλυση έδειξε ότι τα χαρακτηριστικά της ημερήσιας βροχόπτωσης, εξαρτώνται από τη φυσιογραφικά χαρακτηριστικά του σταθμού (πλάτος, υψόμετρο, τοπογραφία, απόσταση από τη θάλασσα) και την επικρατούσα συνοπτική κατάσταση. Πάντως το 60% των επεισοδίων που εξετάστηκαν ανήκαν στον ίδιο τύπο καιρού (DOR).

Οι Bardossy and Plate [1991] χρησιμοποίησαν την κατάταξη τύπων καιρού που γίνεται από τη Γερμανική Ομοσπονδιακή Μετεωρολογική Υπηρεσία (παράγραφος 2.4.3), και ανέπτυξαν ένα μοντέλο της ημερήσιας βροχόπτωσης στη Γερμανία. Το μοντέλο ρυθμίστηκε με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα ενός σταθμού για την περίοδο 1952-87, και

χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιας βροχής, μήκους όσου και του ιστορικού δείγματος (34 έτη). Η επεξεργασία έδειξε ότι το μοντέλο διατηρεί τα σημαντικότερα από τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ημερήσιας βροχόπτωσης (π.χ. συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, κατανομή της διάρκειας των υγρών και ξηρών περιόδων).

Οι Hay et al. [1991] χρησιμοποίησαν τους τύπους καιρού του McCabe [1989] (παράγραφος 2.2.2) για τη μελέτη, μοντελοποίηση και προσομοίωση της ημερήσιας βροχόπτωσης σε λεκάνη απορροής της Πενσυλβανία των Η.Π.Α. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια δεδομένα 11 βροχομετρικών σταθμών για την περίοδο 1954-83. Οι ερευνητές ανέπτυξαν ένα μοντέλο που ενσωμάτωνε τα στοχαστικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών εκδήλωσης των διαφόρων τύπων καιρού και των χαρακτηριστικών της βροχής κάθε τύπου. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για τη παραγωγή 50 συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιας βροχόπτωσης μήκους 30 ετών (όσων και το αρχικό δείγμα). Η πιθανότητα εκδήλωσης, η μέση μηνιαία βροχόπτωση, και η μέγιστη ημερήσια βροχόπτωση για κάθε τύπο καιρού και για κάθε μήνα ήταν ορισμένα από τα από τα χαρακτηριστικά που μελετήθηκαν από τους συγγραφείς. Η ανάλυση έδειξε ότι υπήρχε πολύ μεγάλη συμφωνία μεταξύ του παρατηρημένου και του συνθετικού δείγματος όσον αφορά στα χαρακτηριστικά της βροχής κατά τύπο καιρού.

Οι Wilson et al. [1991] ανέπτυξαν την κατάταξη που περιγράφεται στην παράγραφο 2.4.8 με στόχο τη μοντελοποίηση και προσομοίωση της ημερήσιας βροχόπτωσης στην περιοχή του Βορείου Ειρηνικού. Για το σκοπό αυτό ένα ημι-Μαρκοβιανό (semi-Markov) μοντέλο συνδυάστηκε με την κατάταξη τύπων καιρού και ρυθμίστηκε με βάση τα δεδομένα ενός σταθμού στην πολιτεία της Ουάσιγκτων για την περίοδο 1975 - 84. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σχετίζονταν με τα μήκη των υγρών και ξηρών περιόδων, τις πιθανότητες μετάβασης από τη μία περίοδο στην άλλη, και τα ύψη βροχής. Ο κύριος στόχος ήταν η προσομοίωση της αλληλουχίας των υγρών και ξηρών ημερών βροχής. Το ρυθμισμένο μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή δέκα ετών ημερήσιας βροχόπτωσης, με σχετικά ικανοποιητικά αποτελέσματα στην διατήρηση των περισσοτέρων χαρακτηριστικών του ιστορικού δείγματος.

Οι Bardossy and Plate [1992] ανέπτυξαν ένα στοχαστικό μοντέλο για τη χωρική και χρονική κατανομή της βροχής στη Γερμανία, το οποίο στηριζόταν και πάλι στην κατάταξη τύπων καιρού της Γερμανικής Ομοσπονδιακής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (παράγραφος 2.4.3). Το μοντέλο ρυθμίστηκε με βάση τα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα 44 σταθμών για μια χρονική περίοδο 14 ετών. Το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών ημερήσιας βροχής, μήκους όσο και του ιστορικού δείγματος (14 έτη) και στους 44 σταθμούς. Η ανάλυση έδειξε ότι το μοντέλο διατηρεί τα σημειακά και επιφανειακά στατιστικά χαρακτηριστικά της βροχής, όπως τις συναρτήσεις κατανομής των υψών βροχής και τις συναρτήσεις αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης μεταξύ των σταθμών.

Οι Μαχαίρας κ.ά. [1993], μελέτησαν την ξηρασία κατά τύπο καιρού για τη χρονική περίοδο 1950-87, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα 21 σταθμών κατανεμημένων στο σύνολο του Ελληνικού χώρου.

Οι Hughes and Guttorp [1994] ανέπτυξαν την κατάταξη που περιγράφεται στην παράγραφο 2.4.10 με στόχο τη μελέτη και μοντελοποίηση της ημερήσιας βροχόπτωσης κατά τύπο καιρού. Οι ερευνητές ανέπτυξαν ένα πολυμεταβλητό μοντέλο βροχής που θεωρούσε την επικρατούσα συνοπτική κατάσταση. Η ρύθμιση και η επαλήθευση του μοντέλου έγινε με βάση τα ημερήσια δεδομένα τεσσάρων βροχομετρικών σταθμών στην πολιτεία της Ουάσινγκτον των ΗΠΑ για την περίοδο 1964 - 87. Η ανάλυση έδειξε ότι το μοντέλο διατηρεί ικανοποιητικά τις πιθανότητες εκδήλωσης κάθε καιρικής κατάστασης, τις ετεροσυσχετίσεις των ημερησίων υψών βροχής μεταξύ των σταθμών, και τις συναρτήσεις κατανομής των διαρκειών των επεισοδίων βροχής.

Ο McCabe [1994] με βάση την κατάταξή του (παράγραφος 2.4.9) μελέτησε τη χιονόπτωση στην περιοχή των δυτικών Η.Π.Α. Η επεξεργασία των δεδομένων 21 σταθμών για την περίοδο 1947 - 87, έδειξε ότι ένα μεγάλο ποσοστό της διασποράς του συνολικού χειμερινού ύψους χιονιού, μπορεί να εξηγηθεί από τη μέση κατάσταση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας κατά το χρονικό διάστημα του χειμώνα.

Ο Wilby [1994] ανέπτυξε ένα στοχαστικό μοντέλο για την προσομοίωση των τύπων καιρού και της ημερήσιας βροχόπτωσης στη Βρετανία. Αρχικά παρήχθησαν συνθετικές ημερήσιες χρονοσειρές των τύπων καιρού χρησιμοποιώντας τις πιθανότητες μετάβασης από τον ένα τύπο στον άλλο, όπως αυτές προκύπτουν από την ιστορική χρονοσειρά της κατάταξης του Lamb [1972] (παράγραφος 2.4.4). Στη συνέχεια γίνεται

η προσομοίωση της ημερήσιας βροχόπτωσης, διατηρώντας τις στοχαστικές εξαρτήσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών της βροχής (πιθανότητα υγρής ημέρας, μέσο ύψος) και κάθε τύπου καιρού. Το μοντέλο ρυθμίστηκε με βάση τα δεδομένα δύο βροχομετρικών σταθμών για την περίοδο 1871-1992. Η επαλήθευση που έγινε έδειξε ότι το μοντέλο διατηρεί ικανοποιητικά τα ιστορικά χαρακτηριστικά του βροχομετρικού καθεστώτος (ετήσιες, μέσες μηνιαίες βροχοπτώσεις, κατανομές της διάρκειας των υγρών και ξηρών περιόδων).

Οι Wilby et al. [1994] χρησιμοποίησαν ακριβώς τη μεθοδολογία της προηγούμενης παραγράφου για την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών βροχόπτωσης, οι οποίες εισήχθησαν σε ημικαταναμημένο μοντέλο βροχής απορροής με τελικό στόχο την παραγωγή συνθετικών ημερησίων παροχών. Η όλη μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε οκτώ λεκάνες απορροής της Βρετανίας, με διαφορετικά φυσιογραφικά και κλιματικά χαρακτηριστικά. Η επαλήθευση που έγινε με τα ιστορικά δεδομένα των οκτώ λεκανών (βροχομετρικά, υδρομετρικά) έδειξε ότι το μοντέλο διατηρεί τα γενικά χαρακτηριστικά της βροχής και της απορροής.

Ο Wilby [1995] με στόχο τη μελέτη και μοντελοποίηση της ημερήσιας βροχόπτωσης βελτίωσε τη μεθοδολογία των δύο προηγούμενων εργασιών, χρησιμοποιώντας την κατάταξη των Barnsley et al. [1995] (παράγραφος 2.3.4), η οποία συνδυάζει την κατάταξη του Lamb [1972] με την παρουσία μετώπου. Η ρύθμιση του μοντέλου έγινε με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα δύο σταθμών της Βρετανίας για τη χρονική περίοδο 1970 - 90. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επαλήθευση του μοντέλου δε διαφέρει σε τίποτα από αυτές των δύο προηγούμενων εργασιών.

Η μελέτη της απορροής κατά τύπο καιρού, χωρίς την ενδιάμεση μελέτη της βροχής και τη χρήση μοντέλου βροχής απορροής έχει πραγματοποιηθεί πολύ περιορισμένα σε σχέση με τη βροχή. Χαρακτηριστικές αυτού του τύπου είναι οι εργασίες των Van de Gried and Seyhan [1984] και των Duckstein et al. [1993]. Οι πρώτοι μοντελοποίησαν την ημερήσια απορροή σε λεκάνη της Βόρειας Ιταλίας, στηριζόμενοι στην κατάταξη του Schuerp [1968] (παράγραφος 2.4.5). Οι δεύτεροι χρησιμοποίησαν την κατάταξη των Brandley et al. [1982] (παράγραφος 2.4.7), για να μελετήσουν τη σχέση της πραγματοποίησης πλημμυρών και των τύπων καιρού, σε πέντε λεκάνες απορροής της Αριζόνα.



# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΥΠΟ ΚΑΙΡΟΥ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

**ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΧΩΡΟ**

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη της γεωγραφικής κατανομής των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών και ιδιαίτερα της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας και της εξάτμισης, συμβάλλει καθοριστικά στην εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων μιας συγκεκριμένης περιοχής. Ιδιαίτερα σημαντική, είναι η γνώση της γεωγραφικής κατανομής των μεταβλητών αυτών, σε μεγάλες περιοχές που ενώ διαχειριστικά αποτελούν ενιαίο σύστημα περιλαμβάνουν πολλούς μεγάλους ποταμούς με σημαντικές κλιματικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων λεκανών απορροής. Ειδικότερα η εκτίμηση και παρουσίαση της γεωγραφικής κατανομής της βροχόπτωσης, σε μια συγκεκριμένη περιοχή για διάφορες χρονικές κλίμακες, είναι χρήσιμη σε πολλές εφαρμογές. Έτσι η χωρική μελέτη της μηνιαίας ή ετήσιας βροχόπτωσης μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού πραγματοποίησης του φυσικού φαινομένου, στον εντοπισμό των κλιματικών ιδιαιτεροτήτων της περιοχής μελέτης, στην εκτίμηση της κατανομής του υδατικού δυναμικού και στην μελέτη των ξηρασιών. Σε μικρότερες χρονικές κλίμακες (ωριαία ή ημερήσια) η μελέτη της βροχής στο χώρο, μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αξιολόγηση των πρωτογενών βροχομετρικών δεδομένων, αλλά και στην διερεύνηση της επίδρασης ορισμένων συγκεκριμένων καιρικών καταστάσεων στη χωρική κατανομή. Το τελευταίο πραγματοποιείται με τη σύγκριση των διαφορετικών ημερήσιων ή ωριαίων χωρικών κατανομών της βροχής για συγκεκριμένα χρονικά βήματα.

Στο παρόν Κεφάλαιο εξετάζεται η επίδραση της επικρατούσας καιρικής κατάστασης στη γεωγραφική κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης στη περιοχή μελέτης, με κύριο σκοπό τη βελτίωση της πρόγνωσης των χαρακτηριστικών της βροχής, στο συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο. Οι στόχοι της ανάλυσης είναι να ανιχνεύσει σημαντικές διαφορές στην ημερήσια βροχόπτωση μεταξύ των διαφόρων υποπεριοχών της περιοχής μελέτης, δεδομένης της επικράτησης ενός τύπου καιρού, ή στην ημερήσια βροχόπτωση μιας συγκεκριμένης υποπεριοχής, μεταξύ των διαφόρων τύπων. Η ανάλυση γίνεται με τη χρήση στατιστικών μεθόδων και δοκιμών που σκοπό έχουν να ποσοτικοποιήσουν τις διαφορές αυτές, έτσι ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί η επιχειρησιακή χρησιμότητα της όλης μεθοδολογίας.

Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, η διαχείριση και η επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (Σ.Γ.Π). Στη συνέχεια γίνεται μια συνοπτική επισκόπηση των διαφόρων μεθόδων υπολογισμού επιφανειακής βροχόπτωσης από σημειακές μετρήσεις, ενώ αναλυτικότερα παρουσιάζονται οι συγκεκριμένες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή. Ακόμη περιγράφονται αναλυτικά η διαδικασία κατάρτισης και παρουσίασης των επιφανειών βροχής, οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική ανάλυση των επιφανειών αυτών κατά τύπο καιρού, και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διάφορες επεξεργασίες.

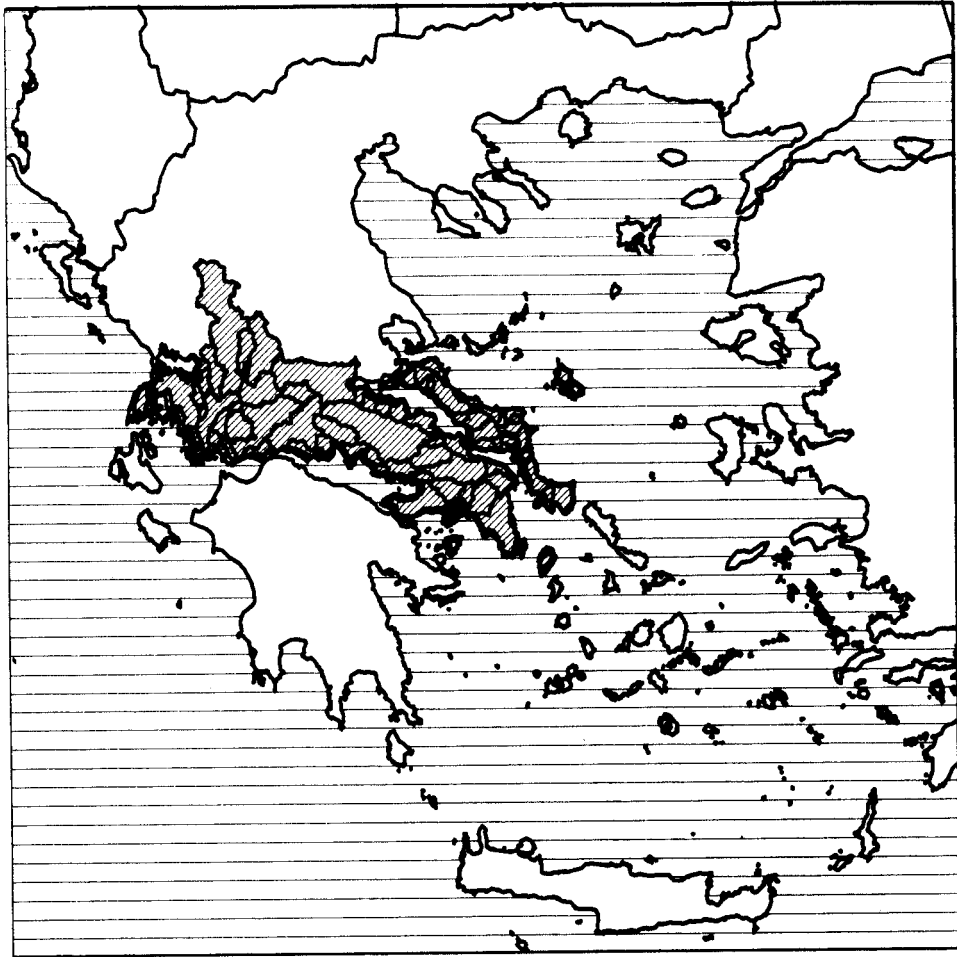
## **4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

### **4.2.1 Περιοχή μελέτης**

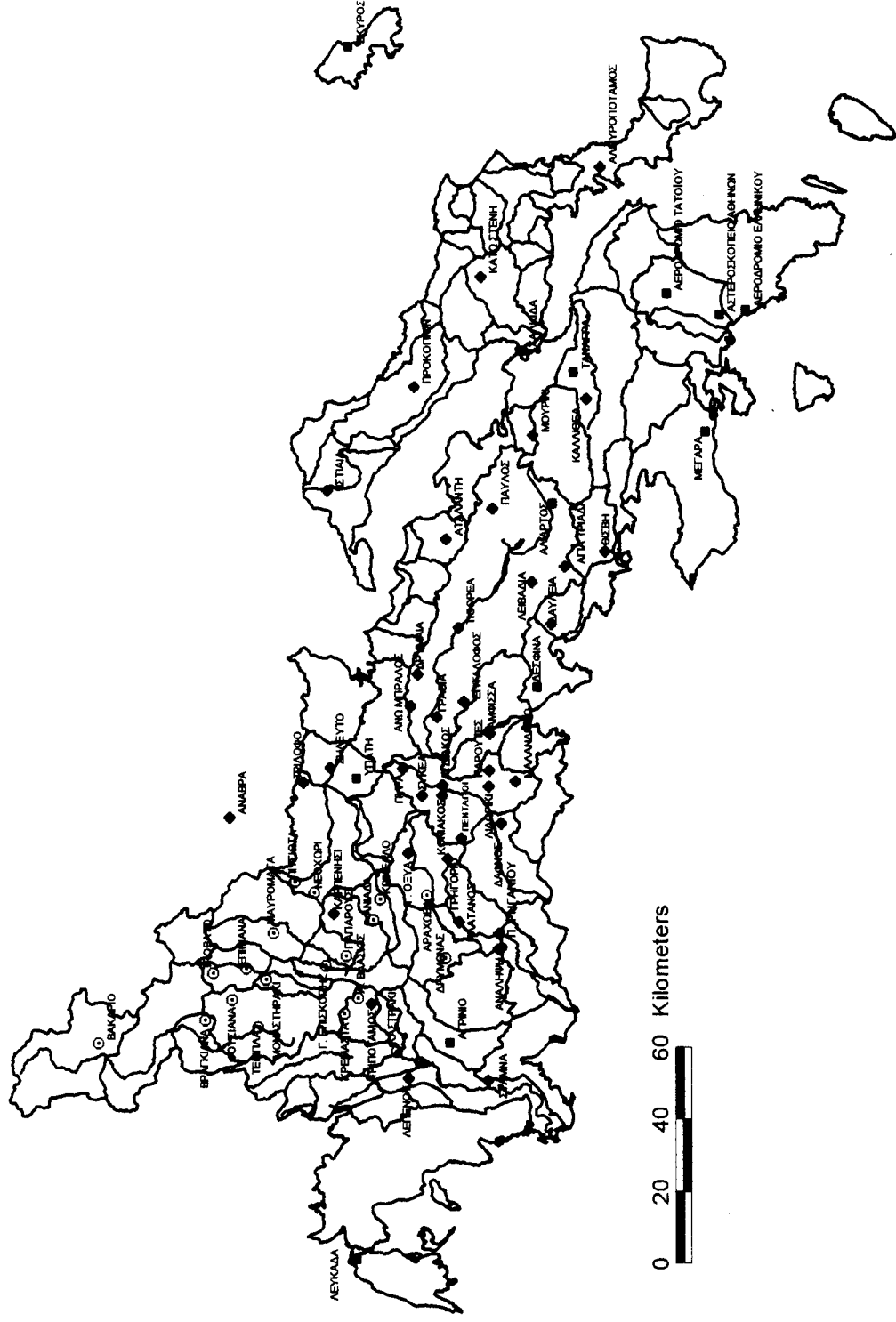
Η επίδραση του τύπου καιρού στην γεωγραφική κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης μελετήθηκε στην περιοχή της Στερεάς Ελλάδας. Η περιοχή μελέτης αποτελείται από τρία υδατικά διαμερίσματα (Αττικής, ανατολικής και δυτικής Στερεάς Ελλάδας), και έχει συνολική έκταση 25.600 km<sup>2</sup>. Στην περιοχή συμπεριλαμβάνονται και τα νησιά Σκύρος, Αίγινα, Σαλαμίνα και Κέα. Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η γενική θέση της περιοχής μελέτης στον Ελληνικό χώρο.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει πέντε ποταμούς με σημαντικό υδατικό δυναμικό (Αχελώο, Εύηνο, Μόρνο, Βοιωτικό Κηφισό, Σπερχειό), καθώς και πολλούς μικρότερους. Οι τρεις από αυτούς (Εύηνος, Μόρνος, Βοιωτικός Κηφισός) τροφοδοτούν το υδροδοτικό σύστημα της Αθήνας, ενώ οι άλλοι δύο έχουν πολλές φορές εξεταστεί σαν λύση ενίσχυσης του συστήματος. Επίσης ο ποταμός Αχελώος είναι ο μεγαλύτερος ποταμός σε παροχή στην Ελλάδα (125 m<sup>3</sup>/s μέση ετήσια παροχή στη θέση Καστράκι), και το υδατικό δυναμικό του χρησιμοποιείται για άρδευση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζονται το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης οι σημαντικότερες λεκάνες απορροής και οι βροχομετρικοί σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

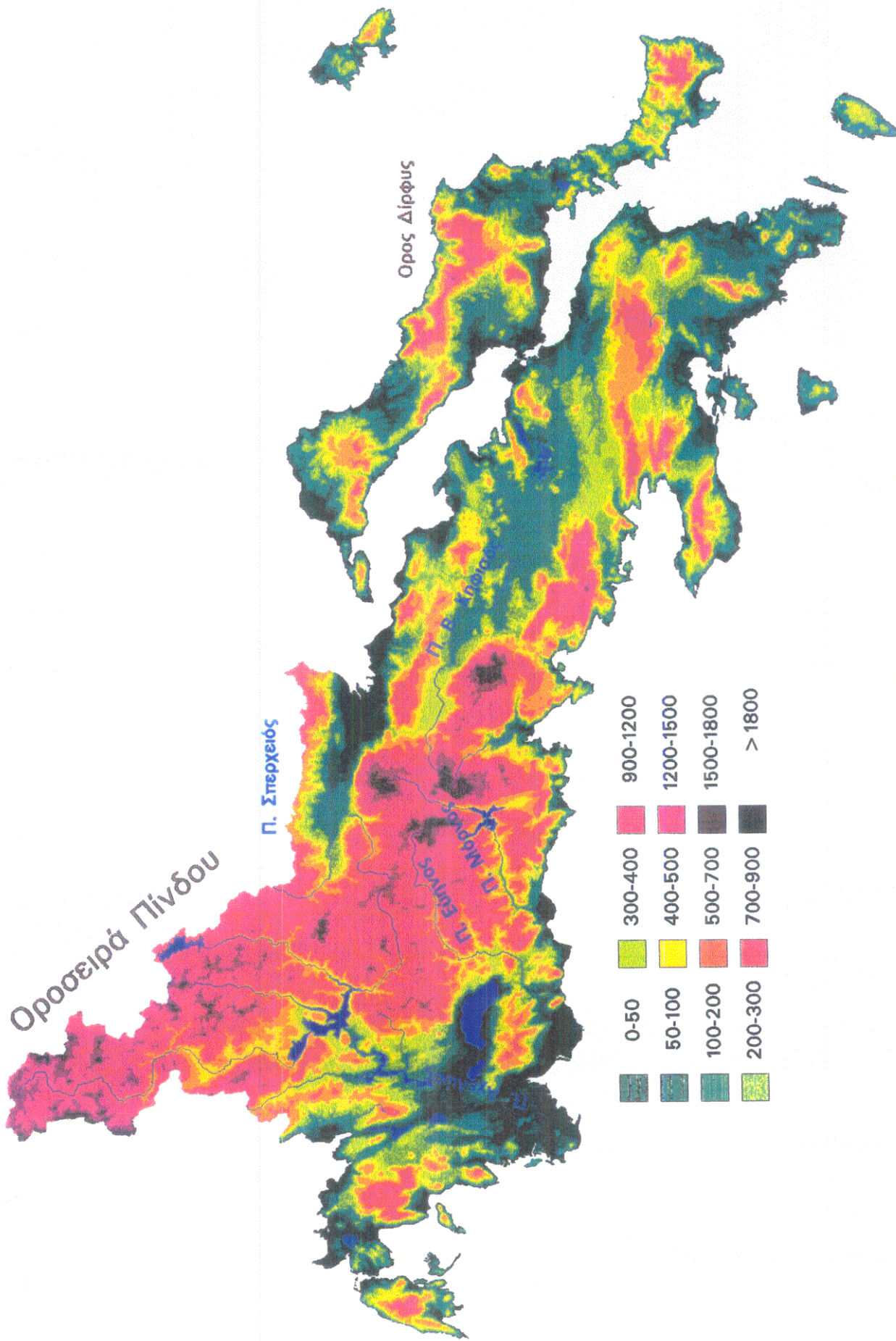
Στην περιοχή υπάρχουν μεγάλες διαφορές στο κλίμα μεταξύ των διαφόρων λεκανών απορροής, με συνέπεια τη διαφοροποίηση στο χώρο των τιμών των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών, και ιδιαίτερα της βροχόπτωσης που ενδιαφέρει άμεσα. Στο Σχήμα 4.3 παρουσιάζεται το ανάγλυφο της περιοχής μελέτης, όπου στα δυτικά επικρατεί η οροσειρά της Πίνδου (υψόμετρο 2421 μέτρα). Το κλίμα στην περιοχή αυτή (λεκάνη Άνω Αχελώου) είναι ορεινό με μέση ετήσια θερμοκρασία στα Κρεμαστά 15.5 °C (υψόμετρο 390 μέτρα, περίοδος 1980 - 1990). Αντίθετα η Αττική έχει χερσαίο μεσογειακό κλίμα με μέση ετήσια θερμοκρασία στο Αστεροσκοπείο Αθηνών 17.7 °C (υψόμετρο 107 μέτρα, περίοδος 1932 - 1992). Ακόμη στην υπόλοιπη περιοχή μελέτης συναντώνται και άλλα κλίματα όπως το θαλάσσιο μεσογειακό (Ανατολική Εύβοια, Σκύρος) και το εύκρατο ηπειρωτικό (εσωτερικά ηπειρωτικά τμήματα). Ο προσανατολισμός και η γειτνίαση με τη θάλασσα της οροσειράς της Πίνδου, έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση σημαντικών ορογραφικών βροχοπτώσεων στην περιοχή αυτή. Έτσι η μέση ετήσια βροχόπτωση στη λεκάνη του Άνω Αχελώου είναι της τάξης των 2000 mm, ενώ στο λεκανοπέδιο της Αθήνας κυμαίνεται γύρω στα 400 mm. Ακόμη σημαντικές ορογραφικές βροχοπτώσεις προκαλούνται και στη περιοχή του όρους Δίρφυς (υψόμετρο 1743 μέτρα) της Βόρειας Εύβοιας, κυρίως όταν επικρατούν συγκεκριμένες συνοπτικές καταστάσεις, όπως θα αναλυθεί στη συνέχεια. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην περιοχή αυτή είναι της τάξης των 1000 mm. Στο Σχήμα 4.4 παρουσιάζεται μία εικόνα της γεωγραφικής κατανομής της μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης. Η αντιστοιχία των χρωμάτων με τα διαστήματα τιμών της ετήσιας βροχόπτωσης σε mm, παρουσιάζεται στη χρωματική κλίμακα που συνοδεύει το σχήμα. Η επιφάνεια βροχής που παρουσιάζεται, έχει κατασκευαστεί με τη μεθοδολογία περιγράφεται στην παράγραφο 4.3.2. Η επιφάνεια έχει υπολογιστεί από τον Τζούλη [1996], με βάση τα υπερετήσια ύψη βροχής 71 βροχομετρικών σταθμών, και εφαρμόζοντας τη μέθοδο παρεμβολής των σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων. Το μέσο επιφανειακό ετήσιο ύψος βροχής που προκύπτει στην περιοχή μελέτης με βάση την κατασκευασμένη επιφάνεια βροχής, είναι 940 mm.



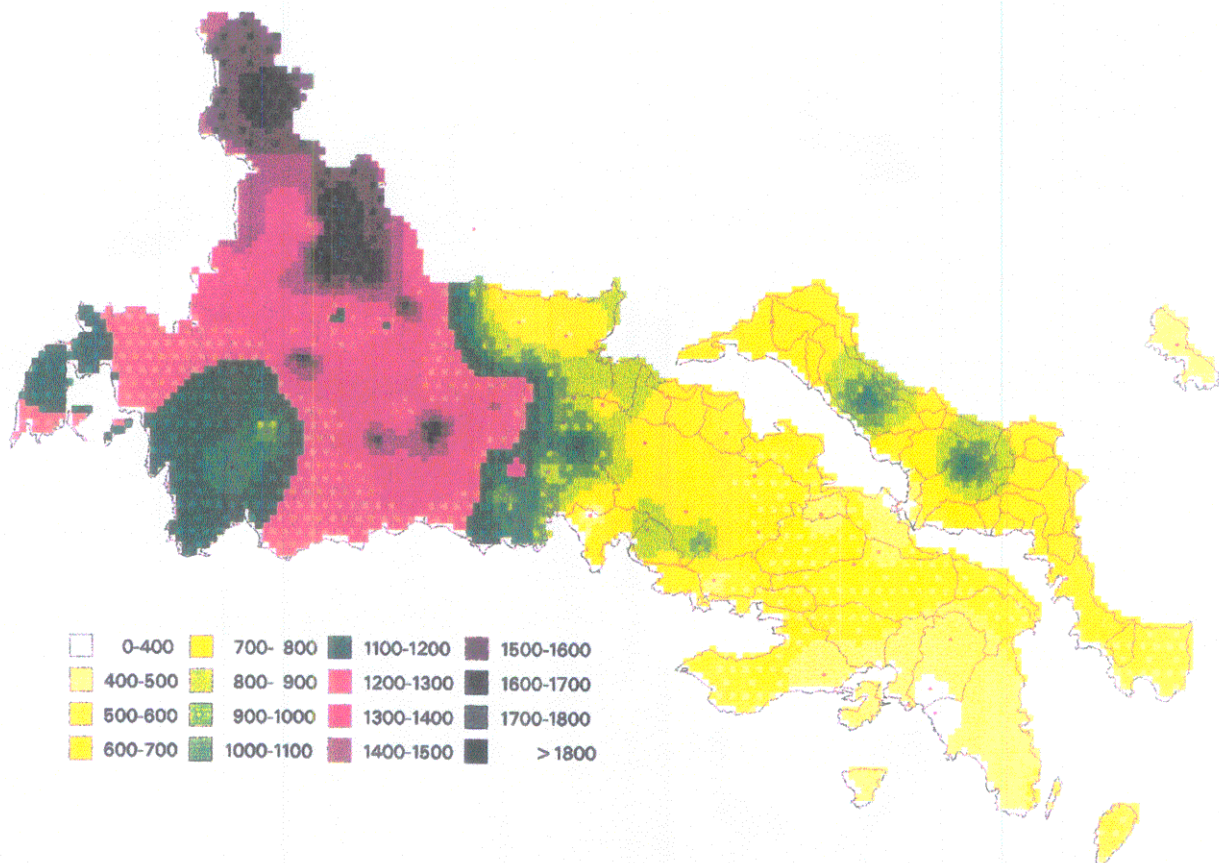
**Σχήμα 4.1** Γεωγραφική θέση περιοχής μελέτης



**Σχήμα 4.2** Υδρογραφικό δίκτυο, λεκάνες απορροής και βροχομετρικοί σταθμοί (με κύκλο οι σταθμοί της ΔΕΗ, με τετράγωνο της ΕΜΥ, και με ρόμβο του ΥΠΕΧΩΔΕ)



Σχήμα 4.3 Ανάγλυφο περιοχής μελέτη



**Σχήμα 4.4** Γεωγραφική κατανομή μέσης υπερετήσιας βροχόπτωσης

#### 4.2.2 Βροχομετρικά δεδομένα

Η εφαρμογή πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των ημερησίων δεδομένων 71 βροχομετρικών σταθμών, για είκοσι υδρολογικά έτη (1970-71 έως 1989-90). Τα δεδομένα έχουν συλλεγεί, ελεγχθεί και αποθηκευτεί σε πίνακες σχεσιακής βάσης δεδομένων από τους Αλεξοπούλου κ.ά. [1992] ενώ η πληρότητα και η αξιοπιστία τους έχουν κριθεί ικανοποιητικές. Ακόμη σε πίνακες της βάσης έχουν εισαχθεί και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των βροχομετρικών σταθμών, όπως το όνομα, η υπηρεσία, το υψόμετρο, και το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Η γεωγραφική θέση των βροχομέτρων συμβολίζεται με σημεία στο Σχήμα 4.2 ενώ με ξεχωριστό σύμβολο συμβολίζονται οι βροχογράφοι, οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των καταιγίδων, που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 6. Η πυκνότητα των σταθμών που είναι απαραίτητη για τον αξιόπιστο υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης, έχει προσδιοριστεί σε 1 σταθμός ανά 600-900 km<sup>2</sup> για τις πεδινές και σε 1 σταθμός ανά 100-250 km<sup>2</sup> για τις ορεινές



[W.M.O., 1965]. Ακόμη το Βρετανικό Μετεωρολογικό γραφείο προσδιορίζει την πυκνότητα των απαραίτητων σταθμών σε 1 σταθμό ανά 320 km<sup>2</sup> για μεγάλες περιοχές [Shaw, 1983]. Στην παρούσα εργασία αντιστοιχεί ένας σταθμός για 350 km<sup>2</sup> πυκνότητα που είναι συμβατή με τις προηγούμενες προδιαγραφές και κρίνεται ικανοποιητική για την ανάλυση.

Οι ημέρες ισχυρής βροχόπτωσης εξήχθησαν από τα σημειακά ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα με κριτήριο την υπέρβαση της ημερήσιας βροχόπτωσης σε οποιονδήποτε από τους 71 σταθμούς μιας τιμής “κατωφλιού”, η οποία τέθηκε 80 mm. Με βάση την τιμή αυτή, για τα είκοσι υδρολογικά έτη, προέκυψαν 347 ημέρες ισχυρής βροχόπτωσης. Από αυτές 316 ανήκουν στην υγρή (Οκτώβριος - Απρίλιος) και 31 στην ξηρή περίοδο (Μάϊος - Σεπτέμβριος). Η συνοπτική κατάσταση και τα χαρακτηριστικά κάθε τύπου καιρού, έχουν μελετηθεί για κάθε περίοδο ξεχωριστά.

Η επεξεργασία για την εξαγωγή των ημερών ισχυρής βροχόπτωσης έγινε στο περιβάλλον σχεσιακής βάσης δεδομένων, με τη χρήση εντολών γλώσσας διαχείρισης και αναζήτησης των δεδομένων (Structured Query Language). Οι ημέρες ισχυρής βροχόπτωσης κατατάχθηκαν σε τύπους με βάση το ημερήσιο ημερολόγιο των τύπων καιρού [Μαχαίρας, 1993].

#### **4.2.3 Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας**

Η επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων έγινε με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ). Στο ΣΓΠ έχουν εισαχθεί ως επίπεδα γεωγραφικής πληροφορίας (coverages) οι βροχομετρικοί σταθμοί μέτρησης και οι λεκάνες απορροής. Τα επίπεδα αυτά αποτελούνται από ένα ψηφιακό χάρτη γεωγραφικών χαρακτηριστικών (σημεία, γραμμές, πολύγωνα) και από έναν ή περισσότερους πίνακες δεδομένων στους οποίους αποθηκεύονται οι ιδιότητες κάθε χαρακτηριστικού [Managing Tabular Data, ARC-INFO, 1992]. Έτσι το επίπεδο των βροχομετρικών σταθμών μέτρησης αποτελείται από τον ψηφιακό χάρτη με τα σημεία που αντιστοιχούν στη γεωγραφική θέση των σταθμών, και από ένα πίνακα που συνδέει κάθε σημείο με μια σειρά άλλες λειτουργικές πληροφορίες όπως το όνομα, το υψόμετρο ή την υπηρεσία. Αντίστοιχα το επίπεδο των λεκανών απορροής αποτελείται από τον ψηφιακό χάρτη με τα πολύγωνα που αναπαριστούν τις λεκάνες απορροής

και από τον πίνακα που συνδέει κάθε λεκάνη με σχετικές πληροφορίες όπως το όνομα, το εμβαδόν ή το μήκος της περιμέτρου της.

Το ΣΓΠ συνδέθηκε με τη σχεσιακή βάση δεδομένων στην οποία είναι αποθηκευμένα τα σημειακά ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα. Η σύνδεση πραγματοποιείται είτε με την εισαγωγή (προσωρινή ή μόνιμη) των υδρολογικών δεδομένων των πινάκων της βάσης στους πίνακες του γεωγραφικού συστήματος, είτε με την απευθείας επικοινωνία των πινάκων των δύο συστημάτων. Η σύνδεση ολοκληρώνεται σε δύο φάσεις, εκ των οποίων η πρώτη αφορά στην εισαγωγή στο ΣΓΠ των λειτουργικών πληροφοριών των σταθμών μέτρησης (όνομα, υπηρεσία, υψόμετρο), και η δεύτερη στη συνεργασία με τους πίνακες της σχεσιακής βάσης, στους οποίους είναι αποθηκευμένα τα σημειακά ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα. Από τους πίνακες αυτούς είναι δυνατή η ανάσυρση των σημειακών μετρήσεων βροχής οποιασδήποτε ημέρας. Με την επεξεργασία των μετρήσεων μιάς συγκεκριμένης ημέρας, γίνεται ο υπολογισμός και η παρουσίαση της χωρικής κατανομής της βροχόπτωσης για την ημέρα αυτή. Για την πραγματοποίηση της επεξεργασίας αυτής εφαρμόζονται μιά σειρά από μεθοδολογίες οι οποίες παρουσιάζονται συνοπτικά, και αξιολογούνται στο επόμενο υποκεφάλαιο 4.3.

## **4.3 ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ**

### **4.3.1 Μέθοδοι εκτίμησης επιφανειακής βροχόπτωσης και παρεμβολής επιφανειών**

Στις περισσότερες υδρολογικές εφαρμογές ενδιαφέρει η χωρική κατανομή της βροχόπτωσης, καθώς και η επιφανειακή και χρονική ολοκλήρωση της, για ένα συγκεκριμένο χρονικό βήμα και μια συγκεκριμένη περιοχή. Δεδομένου ότι η βροχόπτωση είναι φαινόμενο που εξελίσσεται επιφανειακά αλλά συνήθως μετριέται σημειακά<sup>1</sup>, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές μέθοδοι για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης από σημειακές μετρήσεις. Σύμφωνα με τον Ξανθόπουλο [1994], η εκτίμηση της επιφανειακής βροχής αλλά και άλλων επιφανειακών υδρολογικών

---

<sup>1</sup> Τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της βροχής μετεωρολογικά radar, οι μετρήσεις των οποίων όμως απαιτούν ρύθμιση με βάση τα δεδομένα επίγειων σημειακών μετρήσεων. Τέτοια radar δεν υπάρχουν στην περιοχή μελέτης

μεταβλητών σε οποιοδήποτε χρονικό βήμα, γίνεται με τη χρήση των παρακάτω δύο υπολογιστικών διαδικασιών:

1. Ο υπολογισμός της σταθμισμένης μέσης τιμής των σημειακών μετρήσεων, γίνεται με τη χρήση συντελεστών βάρους. Η εφαρμογή αυτής της διαδικασίας δίνει τη γνωστή μέθοδο Thiessen.
2. Η χάραξη καμπυλών ίσων τιμών της μεταβλητής (ισοϋέτιες, ισόθερμες) και ο υπολογισμός της μέσης τιμής με βάση το εμβαδόν των ζωνών που έχουν δημιουργηθεί. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και για την παρουσίαση της κατανομής των μεταβλητών στο χώρο.

Ο Dingman [1994] χωρίζει σε δύο κύριες κατηγορίες τις μεθόδους υπολογισμού επιφανειακής βροχόπτωσης.

Η **πρώτη κατηγορία** περιλαμβάνει τις μεθόδους που υπολογίζουν τη μέση επιφανειακή τιμή σαν σταθμισμένο μέσο όρο των σημειακών μετρήσεων, και είναι ταυτόσημη με την αντίστοιχη του Ξανθόπουλου [1994]. Στις μεθόδους αυτές περιλαμβάνονται οι μέθοδοι του αριθμητικού μέσου όρου, των πολυγώνων Thiessen καθώς και η μέθοδος των δύο αξόνων η οποία προτάθηκε από το Bethlahmy [1976]. Σύμφωνα με τη τελευταία η εκτίμηση των βαρών των σημειακών μετρήσεων βασίζεται στην θέση των βροχομέτρων ως προς το γεωγραφικό κέντρο της περιοχής μελέτης (το οποίο ορίζεται γεωμετρικά). Η μέθοδος αυτή δίνει μεγαλύτερα βάρη στους σταθμούς οι οποίοι είναι πλησιέστεροι προς αυτό το γεωγραφικό κέντρο της περιοχής μελέτης. Η μέθοδος των δύο αξόνων είναι απλή στη χρήση και πιο ευέλικτη από αυτή των πολυγώνων Thiessen, δεδομένου ότι είναι εύκολοι οι επαναληπτικοί υπολογισμοί των βαρών στην περίπτωση που θα προστεθεί ή θα αφαιρεθεί μία σημειακή μέτρηση.

Η **δεύτερη κατηγορία** περιλαμβάνει τις μεθόδους προσαρμογής επιφανειών. Αυτές χρησιμοποιούν τις μετρημένες σημειακές τιμές για να υπολογίσουν την τιμή της μεταβλητής σε ορισμένα σημεία της περιοχής και στη συνέχεια με διάφορα υπολογιστικά σχήματα εκτιμάται η μέση επιφανειακή βροχόπτωση. Πιο συγκεκριμένα οι μέθοδοι αυτές εφαρμόζονται σε τρεις φάσεις που παρουσιάζονται παρακάτω:

**A Φάση.** Εγκαθίσταται ένας κάναβος ο οποίος καλύπτει την περιοχή μελέτης, με διάσταση η οποία εξαρτάται από τον αναλυτή, αλλά συνήθως

λαμβάνεται περίπου ένα δέκατο της μέσης απόστασης μεταξύ των σημείων μέτρησης.

**Β Φάση.** Οι τιμές της βροχόπτωσης σε κάθε σημείο του κανάβου υπολογίζονται από τις μετρημένες τιμές με βάση τη σχέση:

$$\hat{\beta}_n = \sum_{k=1}^K a_{nk} \beta_k \quad (4.1)$$

όπου:

$\hat{\beta}_n$  η υπολογισμένη βροχόπτωση στο  $n$  σημείο του κανάβου

$\beta_k$  η μετρημένη βροχόπτωση στο σημείο  $k$ ,

$a_{nk}$  το βάρος του σταθμού  $k$  για τον υπολογισμό του σημείου  $n$  και

$K$  ο συνολικός αριθμός των σημείων μέτρησης

Οι περισσότερες μεθοδολογίες που εφαρμόζονται θέτουν το άθροισμα των βαρών ως προς  $K$  για κάθε σημείο να είναι ίσο με τη μονάδα, με σκοπό την αμερόληπτη εκτίμηση της τιμής της βροχής των σημείων του κανάβου.

**Γ Φάση.** Με βάση τις εκτιμημένες τιμές στα σημεία του κανάβου χαράσσονται οι ισοϋέτιες καμπύλες, και η μέση επιφανειακή βροχόπτωση εκτιμάται με βάση το εμβαδόν των ζωνών που έχουν δημιουργηθεί. Εφόσον η όλη διαδικασία έχει γίνει με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού (όπως ενσωματωμένων προγραμμάτων στα ΣΓΠ) τότε είναι δυνατός ο υπολογισμός της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης από τις υπολογισμένες τιμές του κανάβου  $\hat{\beta}_n$  με τη χρήση της σχέσης:

$$\hat{B} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \hat{\beta}_n \quad (4.2)$$

όπου:

$N$  ο συνολικός αριθμός των σημείων του κανάβου

Στις προηγούμενες μεθόδους προσαρμογής επιφανειών οι μετρημένες σημειακές τιμές χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστεί μία επιφάνεια η οποία να αντιπροσωπεύει τη βροχόπτωση σε όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης. Η κατασκευή της επιφάνειας της μεταβλητής με βάση τις σημειακές μετρήσεις, έχει γίνει μέχρι τώρα με τη χρήση διαφόρων μεθοδολογιών. Οι μέθοδοι στις οποίες η κατασκευασμένη επιφάνεια διατηρεί τις μετρημένες σημειακές τιμές λέγονται μέθοδοι παρεμβολής

(interpolation methods), ενώ στην αντίθετη περίπτωση λέγονται μέθοδοι εξομάλυνσης (smoothing methods). Σημειώνεται ότι οι μέθοδοι εξομάλυνσης δε θεωρούνται κατάλληλες για τον υπολογισμό επιφανειών βροχής εφόσον οι υπολογισμένες επιφάνειες δε διατηρούν τις παρατηρημένες σημειακές βροχοπτώσεις. Ακόμη υπάρχει άλλος ένας διαχωρισμός μεταξύ των στατιστικών - στοχαστικών (statistical - stochastic) και των προσδιοριστικών (deterministic) μεθόδων. Οι μέθοδοι της πρώτης κατηγορίας χαρακτηρίζονται από την αρχή να μειώνουν τα σφάλματα παρεμβολής στα σημεία της επιφάνειας που δεν υπάρχουν σημειακές μετρήσεις, ενώ οι μέθοδοι της δεύτερης κατηγορίας βασίζονται σε άλλα μαθηματικά κριτήρια για την κατασκευή των επιφανειών.

Στη βιβλιογραφία υπάρχει μία μεγάλη ποικιλία μεθόδων όλων των παραπάνω κατηγοριών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των βαρών  $a_{nk}$  της σχέσης 4.1. Έτσι έχουμε μεθόδους που είναι προσδιοριστικές και εξομάλυνσης, όπως οι μέθοδοι των ισοϋετιών, η πολυωνυμική, η υψομετρική και η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων. Ακόμη εφαρμόζονται μέθοδοι που είναι προσδιοριστικές και παρεμβολής όπως οι spline, multiquadratic και μέθοδος σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων (ΣΑΑ). Τέλος χρησιμοποιούνται στατιστικές μέθοδοι, οι οποίες είναι και μέθοδοι παρεμβολής, όπως η Kriging και η μέθοδος εμπειρικής ορθογωνικής συνάρτησης. Οι παραπάνω μέθοδοι καθώς και πολλές άλλες, παρουσιάζονται αναλυτικά στον Dingman [1994, σελ. 115-120] και στους Meijerink et al. [1995, σελ. 107-147]. Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται συνοπτικά, οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Για την εφαρμογή των περισσότερων μεθόδων προσαρμογής επιφανειών είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή και ειδικότερα συστημάτων με μεγάλη υπολογιστική ισχύ. Ακόμη για τη διαχείριση και παρουσίαση των επιφανειών απαιτείται η χρήση ειδικού λογισμικού που να διαχειρίζεται γεωγραφικά δεδομένα, όπως είναι τα ΣΓΠ.

Σύγκριση των αποτελεσμάτων των διαφόρων μεθόδων παρεμβολής της βροχόπτωσης έχει γίνει από πολλούς ερευνητές σε πολλές γεωγραφικές περιοχές και χρονικές κλίμακες. Στη συνέχεια γίνεται μία σύντομη επισκόπηση ορισμένων σημαντικών εργασιών στις οποίες εφαρμόζονται και αξιολογούνται μία σειρά από μεθόδους παρεμβολής

Οι Shaw and Lynn [1972] υπολόγισαν επιφανειακές βροχοπτώσεις σε ετήσια και μηνιαία βάση καθώς και σε χρονική κλίμακα επεισοδίου βροχής, σε τρεις λεκάνες απορροής. Χρησιμοποίησαν τις μεθόδους των πολυγώνων Thiessen, των σταθμισμένων αντιστρόφων αποστάσεων, την multiquadratic, και την πολυωνυμική. Οι διαφορές μεταξύ των τριών πρώτων μεθόδων ήταν ασήμαντες, ιδιαίτερα σε ετήσια και μηνιαία βάση, αλλά κατέληξαν ότι η μέθοδος multiquadratic είναι περισσότερο κατάλληλη για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης.

Οι Court and Bare [1984] συσχέτισαν ετήσιες επιφανειακές βροχοπτώσεις σε οκτώ λεκάνες απορροής, υπολογισμένες με τις μεθόδους των ισοϋετιών, της υψομετρικής, του αριθμητικού μέσου, των πολυγώνων Thiessen και τη μέθοδο των δύο αξόνων. Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι η πρώτη μέθοδος εκτιμούσε υψηλές βροχοπτώσεις, η δεύτερη χαμηλές ενώ η τρίτη κυμαινόταν μεταξύ υψηλών και χαμηλών εκτιμήσεων, ανάλογα με τη λεκάνη απορροής. Οι δύο τελευταίες μέθοδοι (Thiessen, δύο αξόνων) έδιναν περισσότερο κεντρικές εκτιμήσεις σε σχέση με τις πρώτες. Από τα παραπάνω οι συγγραφείς συμπέραναν ότι η μέθοδος των δύο αξόνων είναι κατάλληλη για την εκτίμηση της επιφανειακής βροχόπτωσης σε λεκάνη απορροής.

Οι Creutin and Obled [1982], χρησιμοποίησαν τα δεδομένα 99 βροχογράφων για 81 επεισόδια βροχής σε λεκάνη της Γαλλίας. Με βάση τα δεδομένα μόνο των 73 σταθμών και με τη χρήση διαφόρων μεθόδων, υπολόγισαν τη σημειακή βροχόπτωση στους υπόλοιπους 26, και τη σύγκριναν με τη μετρημένη. Οι μέθοδοι παρεμβολής που εφάρμοσαν ήταν αυτή των πολυγώνων Thiessen, του αριθμητικού μέσου, spline, καθώς και στατιστικές μεθόδους (δύο παραλλαγές της μεθόδου Kriging, εμπειρική ορθογωνική συνάρτηση). Η ανάλυση έδειξε ότι οι στατιστικές μέθοδοι, ήταν αρκετά αποτελεσματικότερες στην εκτίμηση της βροχής στα σημεία ελέγχου, σε σχέση με τις άλλες μεθόδους που εξετάστηκαν.

Ανάλογη με την προηγούμενη μεθοδολογία εφάρμοσαν και οι Tabios and Salas [1985], οι οποίοι χρησιμοποίησαν τα δεδομένα 29 βροχομέτρων και χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις των 24 από αυτά υπολόγισαν τη βροχόπτωση στα υπόλοιπα πέντε, με τη χρήση πολλών από τις παραπάνω μεθόδους (Thiessen, ελαχίστων τετραγώνων, ΣΑΑ, multiquadratic, Kriging). Η ανάλυση έδειξε ότι τις καλύτερες εκτιμήσεις βροχής στα πέντε σημεία ελέγχου τις έδινε η μέθοδος Kriging, ενώ ικανοποιητικά αποτελέσματα

έδινε και η multiquadratic. Ως αποδεκτά κρίθηκαν τα αποτελέσματα των μεθόδων των πολυγώνων Thiessen και των ΣΑΑ, ενώ αντίθετα η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων δεν παρουσίασε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Οι Lebel et al. [1987] υπολόγισαν την επιφανειακή βροχόπτωση λεκάνης απορροής της Γαλλίας σε χρονικές κλίμακες μίας έως 24 ωρών, χρησιμοποιώντας τα δεδομένα 34 βροχογράφων. Ο υπολογισμός έγινε με την εφαρμογή των μεθόδων Kriging, Thiessen και spline, ενώ εξετάστηκε και η επίδραση της πυκνότητας του δικτύου των σημειακών μετρήσεων στην επιφανειακή βροχόπτωση (έγινε υπολογισμός της με τη χρήση υποσυνόλων του δικτύου των 34 βροχογράφων). Με βάση την ανάλυση η μέθοδος Kriging θεωρήθηκε από τους συγγραφείς ως η περισσότερο ακριβής, για όλες τις χρονικές κλίμακες και πυκνότητες δικτύων βροχογράφων που εξετάστηκαν, ενώ το σφάλμα εκτίμησης της επιφανειακής βροχόπτωσης είναι μικρότερο από 10% για λεκάνες απορροής με έκταση μεγαλύτερη από 100 km<sup>2</sup>.

Σημαντική για την παρούσα εργασία είναι η ανάλυση του Τζούλη [1996], δεδομένου ότι έγινε για την ίδια περιοχή μελέτης (Στερεά Ελλάδα) και με τη χρήση των ίδιων σταθμών (71 βροχόμετρα). Με τη χρήση μέσων μηνιαίων και ετήσιων σημειακών υψών βροχής, υπολόγισε τις αντίστοιχες επιφάνειες βροχής, εφαρμόζοντας τις μεθόδους Thiessen, Kriging, και ΣΑΑ. Ακόμη εφάρμοσε και τη μέθοδο Co-Kriging η οποία αποτελεί βελτίωση της Kriging δεδομένου ότι ενσωματώνει και τη σχέση της μεταβλητής που παρεμβάλλεται με κάποια άλλη γεωγραφική ή υδρολογική μεταβλητή. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή η μέθοδος ενσωματώνει τη σχέση μεταξύ βροχής και υψομέτρου (εφόσον υπάρχει) και διορθώνει την υπολογισμένη με Kriging επιφάνεια βροχής λαμβάνοντας υπόψιν την αντίστοιχη υψομετρική επιφάνεια. Η ανάλυση έδειξε ότι οι επιφάνειες βροχής που υπολογίστηκαν με την εφαρμογή των τριών πρώτων μεθόδων, είχαν πολύ μικρές διαφορές, ενώ οι μέσες επιφανειακές βροχοπτώσεις διέφεραν από 1% έως 3% σε ετήσια βάση. Αξιοσημείωτο είναι ότι η μέθοδος Kriging εφαρμόστηκε για διάφορα θεωρητικά ημιμεταβλητογράμματα και η ανάλυση έδειξε πολύ μικρές διαφορές στις υπολογισμένες επιφάνειες. Η επιφάνεια που υπολογίστηκε με τη μέθοδο Co-Kriging, διέφερε σημαντικά από τις υπόλοιπες ενώ η μέση επιφανειακή βροχόπτωση ήταν μεγαλύτερη κατά 10%. Ακόμη στην εργασία αυτή έγινε διερεύνηση της επίδρασης της

πυκνότητας του δικτύου, και οι επιφάνειες που υπολογίστηκαν με τη χρήση του μισού δικτύου (36 σταθμοί) με τις ίδιες μεθόδους είχαν πολύ μικρές αποκλίσεις από τις αρχικές, ενώ η μέση επιφανειακή βροχόπτωση είχε διαφορές μικρότερες από 1.5% σε όλες τις περιπτώσεις.

Τα συμπεράσματα από την επισκόπηση των παραπάνω εργασιών μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω σημεία:

- Οι κλασικές μέθοδοι (Thiessen, δύο αξόνων, αριθμητικού μέσου) εκτιμούν ικανοποιητικά την τιμή της επιφανειακής βροχόπτωσης, παρά το γεγονός ότι δεν αναπαριστούν ικανοποιητικά τη γεωγραφική κατανομή του φαινομένου.
- Οι μέθοδοι προσαρμογής επιφανειών οι οποίες είναι προσδιοριστικές αλλά και παρεμβολής (multiquadratic, ΜΣΑΑ), φαίνεται ότι αναπαριστούν αρκετά ικανοποιητικά τη γεωγραφική κατανομή της βροχόπτωσης, σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις που εξετάστηκαν από τους ερευνητές.
- Η μέθοδος Kriging (και οι διάφορες παραλλαγές της) αναφέρεται από τους περισσότερους ερευνητές ως η πλέον ενδεδειγμένη μέθοδος για τον υπολογισμό της επιφανειακής βροχόπτωσης αλλά και την εκτίμηση της χωρικής κατανομής της.

#### **4.3.2 Περιγραφή των μεθόδων παρεμβολής που εφαρμόστηκαν**

Η επιλογή της μεθόδου εκτίμησης της επιφανειακής βροχόπτωσης εξαρτάται από παράγοντες όπως οι στόχοι της ανάλυσης, η φυσιογραφία και το ανάγλυφο της περιοχής, αλλά και τα διαθέσιμα υπολογιστικά συστήματα. Έτσι για παράδειγμα αν ο στόχος της ανάλυσης είναι μία εκτίμηση της τιμής της επιφανειακής βροχής τότε οι περισσότερες από τις μεθόδους της παραγράφου 4.3.1 και των δύο κατηγοριών, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν. Αντίθετα η εκτίμηση της χωρικής κατανομής σε περιοχές με μεγάλη μεταβλητότητα στο βροχομετρικό καθεστώς, περιορίζει την αποτελεσματικότητα των μεθόδων με βάρη (Thiessen, δύο αξόνων) εκτός βέβαια από την περίπτωση ύπαρξης πολύ πυκνού μετρητικού δικτύου. Συνήθως στις περιπτώσεις αυτές είναι περισσότερο κατάλληλες οι μέθοδοι κατάρτισης επιφανειών και ιδιαίτερα οι μέθοδοι παρεμβολής. Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμα υπολογιστικά συστήματα με μεγάλη ισχύ, διευκολύνεται η εφαρμογή των μεθόδων



κατάρτισης επιφανειών, η εφαρμογή των οποίων απαιτεί πολλούς υπολογισμούς. Ακόμη η χρήση ΣΓΠ επιτρέπει **(α)** την άμεση και γρήγορη εφαρμογή πολλών από τις μεθόδους αυτές, με τη δυνατότητα τροποποίησης ενός μεγάλου αριθμού παραμέτρων, και **(β)** τη βελτίωση των χρησιμοποιούμενων, αλλά και την ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνικών οι οποίες απαιτούν υπολογιστική ισχύ και περιβάλλον εύκολης και γρήγορης διαχείρισης και επεξεργασίας των δεδομένων.

Στην παρούσα εργασία ο κύριος στόχος ήταν η κατάταξη κατά τύπο καιρού των κατασκευασμένων (με την επιλεγμένη μέθοδο) επιφανειών βροχής, και η ανάλυση τους με την εφαρμογή διαφόρων στατιστικών μεθόδων. Η μέθοδος υπολογισμού επιφανειών που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στην κατηγορία μεθόδων προσαρμογής επιφανειών. Η κατηγορία αυτή επιλέχτηκε λαμβάνοντας υπόψη τους δύο παρακάτω παράγοντες: **(α)** η διαθεσιμότητα ΣΓΠ για τη διαχείριση και επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων, και **(β)** η περιοχή μελέτης έχει ανομοιογενές βροχομετρικό καθεστώς και όχι ιδιαίτερα πυκνό μετρητικό δίκτυο. Οι μέθοδοι ΣΑΑ και Kriging της κατηγορίας αυτής ήταν άμεσα διαθέσιμες στο ΣΓΠ που χρησιμοποιήθηκε, ενώ αναφέρονται ως ενδεδειγμένες από τους περισσότερους ερευνητές αλλά και από τον Τζούλη [1996] που μελέτησε τη συγκεκριμένη περιοχή. Από τις δύο αυτές μεθόδους επιλέχτηκε η πρώτη για την κατασκευή των επιφανειών βροχής δεδομένου ήταν περισσότερο εύκολη στη χρήση της σε σχέση με τη Kriging, η οποία έχει περισσότερες παραμέτρους που πρέπει να επιλεγούν. Πάντως σε αντιπροσωπευτικές για κάθε τύπο ημέρες βροχής βροχής, καταρτίστηκαν εμπειρικά ημιμεταβλητογράμματα με βάση της σημειακές μετρήσεις, τα οποία αποτελούν προεργασία για την εφαρμογή της μεθόδου Kriging. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται συνοπτικά οι μέθοδοι των αντιστρόφων αποστάσεων και Kriging, καθώς και η μεθοδολογία κατάρτισης του εμπειρικού ημιμεταβλητογράμματος.

**A. Μέθοδος αντιστρόφων αποστάσεων.** Στη μέθοδο αυτή η τιμή του κάθε τετραγωνιδίου της επιφάνειας υπολογίζεται από τις σημειακές μετρήσεις με βάση τη σχέση:

$$h = \frac{d_1^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} * h_1 + \frac{d_2^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} * h_2 \dots + \frac{d_N^{-k}}{\sum_{n=1}^N d_n^{-k}} * h_N \quad (4.3)$$

όπου :

$h$	η τιμή της μεταβλητής στη ζητούμενη θέση
$N$	ο αριθμός των σημείων που συμμετέχουν
$h_1, h_2, h_3, \dots, h_N$	οι σημειακές μετρήσεις στα σημεία 1, 2, 3, ..., N
$d_1, d_2, d_3, \dots, d_N$	οι αποστάσεις του τετραγωνιδίου από τα σημεία 1, 2, 3, ..., N
$\kappa$	συντελεστής επιρροής της απόστασης

Για την πρακτική εφαρμογή της μεθόδου είναι απαραίτητο να καθοριστούν οι παρακάτω παράμετροι:

- **Διάσταση κανάβου επιφάνειας βροχής.** Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 4.3.1 η διάσταση του κανάβου της επιφάνειας βροχής συνήθως λαμβάνεται περίπου στο ένα δέκατο της μέσης απόστασης μεταξύ των σημείων μέτρησης. Στη περιοχή μελέτης η απόσταση αυτή υπολογίστηκε σε 19 km και έτσι η διάσταση του κανάβου τέθηκε 2 km. Έτσι οι επιφάνειες ημερήσιας βροχόπτωσης αποτελούνται από 6533 τετραγωνίδια που έχουν διάσταση 2 X 2 km.
- **Συντελεστής επιρροής της απόστασης.** Η τιμή του εκθέτη  $\kappa$  της σχέσης (4.3) ρυθμίζει την επιρροή της απόστασης κάθε σημειακής μέτρησης από τη ζητούμενη θέση, στην τελική τιμή. Ο εκθέτης αυτός εκλέγεται αυθαίρετα και συνήθως λαμβάνεται 1 ή 2 [Dingman, 1994], και στην εργασία αυτή τέθηκε ίσος με 2.
- **Προσδιορισμός σημείων επιρροής κάθε τετραγωνιδίου.** Η επιλογή των σημείων που θα συμμετάσχουν στον υπολογισμό κάθε τετραγωνιδίου γίνεται με δύο μεθόδους. Στην πρώτη, στον υπολογισμό της τιμής συμμετέχουν τα σημεία που βρίσκονται μέσα σε μία προκαθορισμένη και σταθερή ακτίνα, ενώ στη δεύτερη ορίζεται ένας σταθερός αριθμός των πλησιέστερων σημείων που θα συμμετάσχουν στον υπολογισμό της τιμής. Από τα αποτελέσματα της εργασίας του Τζούλη [1986], για τη συγκεκριμένη περιοχή προκύπτει ότι οι επιφάνειες βροχής είχαν πολύ μικρές διαφορές μεταξύ τους, όταν ορίστηκαν ακτίνες μεγαλύτερες από 30 km ή αριθμός σημείων μεγαλύτερος από 20. Στην παρούσα εργασία η μέθοδος ΣΑΑ

εφαρμόστηκε καθορίζοντας σε 40 των αριθμό των πλησιέστερων σημείων που θα συμμετάσχουν στον υπολογισμό της τιμής κάθε τετραγωνιδίου της επιφάνειας βροχής.

**Β. Μέθοδος Kriging.** Η μέθοδος αυτή, όπως έχει υλοποιηθεί στο συγκεκριμένο ΣΓΠ που χρησιμοποιήθηκε, υποθέτει ότι η χωρική μεταβολή της μεταβλητής, που προκύπτει από τις παρατηρήσεις στα σημεία μέτρησης, είναι στατιστικά ομογενοποιημένη σε ολόκληρη την επιφάνεια. Στη παρατηρημένη χωρική μεταβολή της μεταβλητής προσαρμόζεται μαθηματική σχέση η οποία περιγράφει την εξέλιξη της μεταβολής συναρτήσει της απόστασης. Πιο συγκεκριμένα ορίζεται η  $\gamma(h)$  ως συνάρτηση ημιδιασποράς (semi-variance) και εκφράζει τη χωρική διασπορά της μεταβλητής συναρτήσει της απόστασης  $h$ . Με βάση τα σημειακά δεδομένα και τη μεθοδολογία που περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο, υπολογίζονται οι εμπειρικές τιμές της  $\gamma(h)$ , και στη συνέχεια σχεδιάζονται συναρτήσει της απόστασης  $h$ , στο εμπειρικό ημιμεταβλητόγραμμα. Στις εμπειρικές τιμές της  $\gamma(h)$  προσαρμόζεται μαθηματική συνάρτηση η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό κάθε σημείου της επιφάνειας, έτσι ώστε να διατηρείται η δομή της χωρικής διασποράς [McCuen and Snyder, 1986].

**Γ. Κατάρτιση ημιμεταβλητογράμματος (semivariogram).** Η ανάλυση με την κατάρτιση ημιμεταβλητογράμματος εφαρμόζεται στην περίπτωση που διατίθενται σημειακές μετρημένες τιμές βροχόπτωσης  $B(X)$ , όπου το  $X$  συμβολίζει ένα διανυσματικό σύστημα δύο διαστάσεων. Σε ένα πλήθος  $n$  σημειακών μετρήσεων στο χώρο μπορούν να υπολογιστούν  $n*(n-1)/2$  ζεύγη από τη διαφορά  $[B(X_j)-B(X'_i)]^2$  και την απόσταση  $|(X_j)-(X'_i)|$ . Η σχεδίαση της διαφοράς αυτής συναρτήσει της απόστασης, είναι το πειραματικό ημιμεταβλητόγραμμα. Για κατάρτιση του πειραματικού ημιμεταβλητογράμματος απαιτείται η κατάτμηση του άξονα των αποστάσεων σε διαδοχικά διαστήματα. Το  $k$  διάστημα είναι  $[h_{k-1}, h_k]$  και περιέχει  $N_k$  ζεύγη τιμών  $B(X_j)$  και  $B(X'_i)$  για τα οποία ισχύει  $h_{k-1} < |(X_j)-(X'_i)| < h_k$ . Για κάθε διάστημα υπολογίζουμε την παράσταση:

$$2\gamma(h_k) = \frac{1}{2N_k} \sum_{i=1}^{N_k} [B(X_i) - B(X'_i)]^2 \quad (4.4)$$

όπου το  $i$  δείχνει τον αριθμό των ζευγών που ανήκουν στο διάστημα. Το ημιμεταβλητόγραμμα σχεδιάζεται με βάση τις τιμές της (4.4) ενώ το κάθε διάστημα  $[h_{k_k}, h_{\alpha_k}]$  αντιπροσωπεύεται από την τιμή  $(h_{\alpha_k} - h_{k_k})/2$  [Kitanidis, 1993].

#### 4.3.3 Μεθοδολογία κατάρτισης επιφανειών

Η μελέτη της γεωγραφικής κατανομής της βροχόπτωσης κατά τύπο καιρού έγινε με τη κατάρτιση επιφανειών ημερήσιας βροχής από τις σημειακές παρατηρημένες τιμές, και τη στατιστική ανάλυση των επιφανειών αυτών.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε βασίζεται στην κατασκευή επιφάνειας της μεταβλητής για συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή και χρονικό βήμα. Οι επιφάνειες αυτές κατασκευάζονται στο ΣΓΠ και αποτελούνται από τετραγωνίδια συγκεκριμένης διάστασης [Surface Modelling with Grid, ARC-INFO, 1992]. Το ΣΓΠ είναι συνδεδεμένο με τη σχεσιακή βάση δεδομένων σε πίνακες της οποίας είναι αποθηκευμένες οι σημειακές ημερήσιες μετρήσεις [Managing Tabular Data, ARC-INFO, 1992]. Για κάθε ημέρας ισχυρής βροχόπτωσης οι μετρημένες τιμές της σημειακής βροχόπτωσης στους 71 σταθμούς, χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν ένα αντιπροσωπευτικό ύψος βροχής σε όλα τα τετραγωνίδια της περιοχής μελέτης. Ο υπολογισμός των υψών βροχής έγινε με τη μέθοδο των ΣΑΑ η οποία υποστηρίζεται από το ΣΓΠ ενώ οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 4.3.2. Η επιφάνεια (κάναβος) βροχής της συγκεκριμένης ημέρας αποθηκεύεται στο σύστημα. Η διαχείριση και επεξεργασία των επιφανειών αυτών γίνονται με τη χρήση εντολών του ΣΓΠ.

Οι διάφορες επεξεργασίες στην επιφάνεια βροχής όπως για παράδειγμα ο υπολογισμός της μέσης επιφανειακής τιμής της μεταβλητής σε οποιαδήποτε τμήμα της περιοχής μελέτης, γίνεται με τη χρήση εντολών στο περιβάλλον του ΣΓΠ. Οι υπολογισμοί γίνονται με βάση τις τιμές των τετραγωνιδίων που ανήκουν στην υποπεριοχή που ενδιαφέρει.

Η οπτική απεικόνιση της κάθε επιφάνειας βροχής γίνεται αντιστοιχίζοντας μια κατάλληλη χρωματική κλίμακα, με προσδιορισμένες κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής (βροχόπτωσης). Κατόπιν γίνεται η παραγωγή ενός χάρτη γεωγραφικής κατανομής της μεταβλητής,

όπου το κάθε τετραγωνίδιο έχει το χρώμα που αντιστοιχεί στη τιμή του. Προφανώς η αντιστοιχία αυτή τροποποιείται όταν παρουσιάζεται επιφάνεια άλλου χρονικού βήματος. Στο Σχήμα 4.5 παρουσιάζονται οι επιφάνειες βροχής της 23ης και 24ης Αυγούστου 1990 καθώς και η αντιστοιχία ύψους βροχής και χρώματος. Στην επόμενη παράγραφο 4.3.4 αναπτύσσονται αναλυτικότερα οι διάφορες μεθοδολογίες που εφαρμόζονται για τη χρωματική απεικόνιση των επιφανειών των μεταβλητών.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της προσέγγισης της μελέτης της γεωγραφικής κατανομής των υδρολογικών μεταβλητών (και ειδικότερα της βροχόπτωσης) με τη δημιουργία των επιφανειών, περιγράφονται στη συνέχεια:

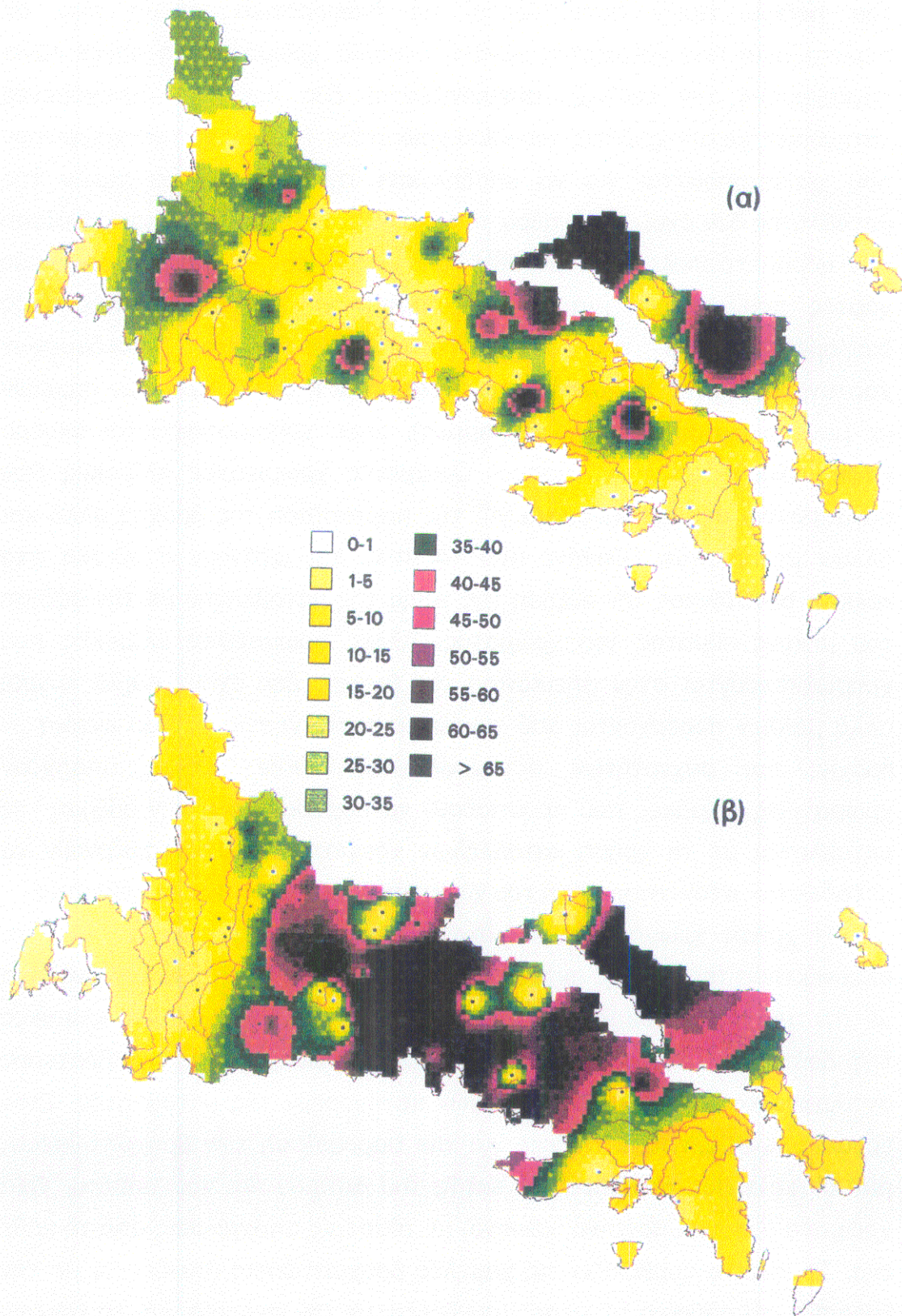
- Εύκολη δημιουργία της επιφάνειας της μεταβλητής για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ανεξάρτητα από την έλλειψη ορισμένων σημειακών μετρήσεων. Έτσι, για παράδειγμα είναι δυνατή η σύγκριση του όγκου βροχής σε δύο διαφορετικές ημέρες χωρίς απαραίτητα να λειτουργούν οι ίδιοι σταθμοί και τις δύο ημέρες. Είναι βέβαια εύλογο ότι οι ελλείψεις σημειακών μετρήσεων προκαλούν μείωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.
- Καλύτερη αντίληψη της γεωγραφικής κατανομής της μεταβλητής, με τη βοήθεια της χρωματικής απεικόνισης και δυνατότητα άμεσου εντοπισμού περιοχών με ιδιαίτερο κλιματικό καθεστώς (υγρό, θερμό, κ.λ.π.).
- Δυνατότητα στατιστικής επεξεργασίας πολλών τέτοιων κανάβων που αφορούν την ίδια μεταβλητή και χρονικό βήμα. Έτσι για παράδειγμα με βάση τις επιφάνειες ετησίων βροχοπτώσεων ορισμένων υδρολογικών ετών, υπολογίζεται η μέση επιφάνεια της οποίας κάθε τετραγωνίδιο έχει το μέσο όρο των τιμών των αντίστοιχων τετραγωνιδίων των ετησίων επιφανειών. Προφανώς η μέση επιφάνεια που προκύπτει είναι σωστότερη από αυτήν που προκύπτει από την παρεμβολή στις σημειακές μέσες ετήσιες τιμές.
- Δυνατότητα χειρισμού τέτοιων επιφανειών σε συνδυασμό με άλλες επιφάνειες της ίδιας διακριτότητας που αφορούν μορφολογικά, εδαφολογικά ή γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής με σκοπό τη

δημιουργία μοναδιαίων υδρογραφημάτων ή μοντέλων βροχής απορροής σε υδρολογικές λεκάνες.

#### **4.3.4 Παρουσίαση δεδομένων επιφανειών**

Η επιλογή της χρωματική κλίμακας που αντιστοιχίζεται με τις κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής του κανάβου είναι σημαντική στην αντίληψη της γεωγραφικής κατανομής μιας υδρολογικής μεταβλητής. Οι χρωματικές κλίμακες που έχουν μέχρι τώρα χρησιμοποιηθεί στην βιβλιογραφία για την απεικόνιση των υδρομετεωρολογικών αλλά και των γεωγραφικών χαρακτηριστικών (υψομετρικοί χάρτες, χάρτες κλίσεων) χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες.

Στη πρώτη οι κατηγορίες του πεδίου τιμών της μεταβλητής απεικονίζονται με τις διαφορετικές αποχρώσεις του ίδιου χρώματος ενώ συνήθως η απόχρωση σκουραίνει όσο οι τιμές της μεταβλητής μεγαλώνουν. Έτσι για παράδειγμα σε γεωγραφικούς ή υδρογραφικούς χάρτες το υψόμετρο κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας συμβολίζεται με αποχρώσεις του μπλε, ενώ στις σκούρες αποχρώσεις αντιστοιχούν τα μεγάλα βάθη. Στη περίπτωση που δε χρησιμοποιείται η κλίμακα του γκριζου συνήθως υπάρχει φυσική αντιστοιχία μεταξύ μεταβλητής και χρώματος. Έτσι η βροχή και η απορροή συμβολίζονται με αποχρώσεις του μπλε, το υψόμετρο με αποχρώσεις του καφέ, η θερμοκρασία του κόκκινου κ.λ.π.



**Σχήμα 4.5** Επιφάνειες ημερήσιας βροχής (α) 23 Αυγούστου 1990 (β) 24 Αυγούστου 1990

Στη δεύτερη κατηγορία χρωματικών κλιμάκων η κάθε κατηγορία του πεδίου τιμών απεικονίζεται με διαφορετικό χρώμα ενώ σε περιπτώσεις που χρειάζεται μεγάλη ποικιλία χρωμάτων (η οποία κάνει συγκεχυμένη την εικόνα), απεικονίζονται δύο έως έξι συνεχόμενες κατηγορίες με αποχρώσεις του ίδιου χρώματος. Η διαδοχή των χρωμάτων που χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την αύξηση των τιμών της μεταβλητής δεν έχει μέχρι τώρα τυποποιηθεί, ιδιαίτερα στην παρουσίαση των υδρομετεωρολογικών μεταβλητών. Ακόμη και στους γεωγραφικούς χάρτες που υπάρχει μία σχετική τυποποίηση, υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των περισσότερο έγκυρων και διαδεδομένων χαρτογραφήσεων. Ως παράδειγμα αναφέρεται η απεικόνιση των σημείων με μεγάλο υψόμετρο (κορυφογραμμές), όπου χρησιμοποιούνται σκούρο καφέ, κόκκινο αλλά και άσπρο. Ορισμένες χρωματικές κλίμακες που συναντώνται στη βιβλιογραφία για την παρουσίαση της βροχής αλλά και άλλων μεταβλητών ξεκινάνε από το μπλε και φτάνουν σταδιακά στο κόκκινο συνδέοντας την αύξηση της τιμής της μεταβλητής με την αύξηση του μήκους κύματος του χρώματος. Άλλες χρωματικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται στην απεικόνιση της βροχής δεν έχουν καμιά λογική αλλά μάλλον προέρχονται από τυχαίες αντιστοιχήσεις μεταξύ εντάσεων βροχής και συχνοτήτων μετεωρολογικών radar. Τέλος υπάρχουν χρωματικές κλίμακες που προσπαθούν να παρουσιάσουν την αύξηση της μεταβλητής με τη χρήση κατάλληλων χρωμάτων που καταφέρνουν να μεταδώσουν στον αναγνώστη του χάρτη τη διακύμανση της μεταβλητής.

Η χρήση χρωματικών κλιμάκων της πρώτης κατηγορίας έχει το πλεονέκτημα της άμεσης αντίληψης της έντασης της μεταβλητής ανάλογα με την απόχρωση του ίδιου χρώματος αλλά με τις χρωματικές κλίμακες της δεύτερης κατηγορίας υπάρχει το πλεονέκτημα της ακριβέστερης αντίληψης και εντοπισμού ορισμένων κατηγοριών της μεταβλητής. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκε για την παρουσίαση των βροχοπτώσεων, μία κλίμακα που περιλαμβάνει εκτός του άσπρου και του μαύρου, τρία χρώματα (κίτρινο, πράσινο, κόκκινο) με τέσσερις αποχρώσεις από το κάθε ένα. Το κίτρινο συμβολίζει τις χαμηλές βροχοπτώσεις (συνδέεται με την ξηρασία), το πράσινο τις μέσες (συνδέεται με την ευφορία) και το κόκκινο τις υψηλές (συνδέεται με τον κίνδυνο). Ακόμη το άσπρο υποδηλώνει τη μηδενική ενώ οι δύο αποχρώσεις του γκριζου τις ασυνήθιστα υψηλές βροχοπτώσεις (Σχήματα 4.4, 4.5). Η χρωματική κλίμακα αυτή είναι



συμβατή με το συμβολισμό των ξηρών και κανονικών ετών στη έκδοση των κλιματικών χαρτών της Ευρώπης [WMO/UNEP, 1995].

#### **4.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΧΩΡΟ**

##### **4.4.1 Εισαγωγή**

Η στατιστική επεξεργασία των χωρικών κατανομών της ημερήσιας βροχόπτωσης έχει ως στόχους: **(α)** τη συμπύκνωση της υπάρχουσας βροχομετρικής πληροφορίας που υπάρχει στο γεωγραφικό χώρο, και **(β)** τον προσδιορισμό της επιχειρησιακής αξίας της ανάλυσης, που συνδέεται με την στατιστική σημαντικότητα των οποιονδήποτε συμπερασμάτων.

Για την επίτευξη των στόχων αυτών αναπτύχθηκαν μιά σειρά μεθόδων οι οποίες εφαρμόστηκαν στις ημερήσιες χωρικές κατανομές της βροχής. Οι μέθοδοι αυτές επιδιώκουν: **(α)** να συμπυκνώσουν τη γεωγραφική κατανομή της βροχής των ημερών κάθε τύπου, **(β)** να εντοπίσουν τις γεωγραφικές περιοχές τις οποίες επηρεάζει ο κάθε τύπος, και **(γ)** να ποσοτικοποιήσουν την ομοιότητα μεταξύ διαφορετικών επιφανειών βροχής. Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν είναι αυτές των στατιστικών επιφανειών, της χωρικής ολοκλήρωσης της βροχής σε υποπεριοχές, της χωρικής συσχέτισης των επιφανειών βροχής και του εμπειρικού ημιμεταβλητογράμματος. Όλες οι παραπάνω μέθοδοι εφαρμόζονται στις ημερήσιες επιφάνειες βροχής, εκτός από την τελευταία που εφαρμόζεται στα σημειακά ημερήσια ύψη βροχής. Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικά οι παραπάνω μέθοδοι, ενώ γίνεται και η παρουσίαση της εφαρμογής τους στην περιοχή μελέτης.

##### **4.4.2 Στατιστικές επιφάνειες**

Η μέθοδος υπολογισμού των στατιστικών επιφανειών επιτυγχάνει τη συμπύκνωση της πληροφορίας των επιφανειών ημερήσιας βροχόπτωσης, με τον ίδιο τρόπο που η εξαγωγή των στατιστικών χαρακτηριστικών συμπυκνώνει την πληροφορία ενός παρατηρημένου δείγματος μιάς μεταβλητής. Με τη μεθοδολογία αυτή επιτυγχάνεται η χωρική απεικόνιση της αντίστοιχης στατιστικής παραμέτρου, ενώ η συνδυασμένη μελέτη των

στατιστικών επιφανειών μιάς περιοχής βοηθάει στην κατανόηση και μοντελοποίηση της χωρικής κατανομής της βροχής. Στα άμεσα αποτελέσματα μιας τέτοιας ανάλυσης κατά τύπο καιρού, περιλαμβάνονται ο εντοπισμός περιοχών με μεγάλη βροχή ή με μεγάλη πιθανότητα βροχής, ή ακόμη περιοχών με μεγάλη μεταβλητότητα όπου καμία εκτίμηση δεν είναι στατιστικά σημαντική, για κάθε τύπο καιρού.

Ο υπολογισμός των στατιστικών επιφανειών γίνεται με την παρακάτω μεθοδολογία:

Η υπολογισμένη επιφάνεια βροχόπτωσης την ημέρα  $i$  μπορεί να παρασταθεί από ένα δισδιάστατο μητρώο  $B_{i,x,\psi}$  που περιέχει τις τιμές των σημείων (τετραγωνιδίων) της επιφάνειας στις γεωγραφικές θέσεις  $X$  και  $\psi$ . Στις θέσεις που δεν έχει υπολογιστεί τιμή της μεταβλητής (θέσεις εκτός περιοχής μελέτης) το μητρώο περιέχει την τιμή -999 που σημαίνει έλλειψη εκτιμήσεων. Η στατιστική επιφάνεια  $\sigma$  η οποία προκύπτει από  $\nu$  το πλήθος επιφάνειες, παριστάνεται από το μητρώο  $B_{\sigma,x,\psi}$  τα στοιχεία του οποίου υπολογίζονται με στατιστικούς τύπους. Η τιμή κάθε τετραγωνιδίου της στατιστικής επιφάνειας  $\sigma$  (και στοιχείου του μητρώου  $B_{\sigma,x,\psi}$ ) που βρίσκεται στη γεωγραφική θέση  $X_i, \psi_i$ , παίρνει την τιμή της αντίστοιχης στατιστικής παραμέτρου. Η τελευταία υπολογίζεται από τις τιμές των τετραγωνιδίων όλων των επιφανειών που βρίσκονται στη συγκεκριμένη γεωγραφική θέση ( $X_i, \psi_i$ ). Έτσι για παράδειγμα για τον υπολογισμό της στατιστικής επιφάνειας της μέσης τιμής  $\mu$  υπολογίζεται η τιμή κάθε σημείου του μητρώου  $B_{\sigma,x,\psi}$  από τη σχέση:

$$B_{\mu,x,\psi} = \frac{\sum_{i=1}^{\nu} B_{i,x,\psi}}{\nu} \quad (4.5)$$

Με ανάλογο τρόπο υπολογίζεται οποιαδήποτε στατιστική επιφάνεια  $\sigma$  όπως αυτές της τυπικής απόκλισης, του συντελεστή διασποράς ή του συντελεστή ασυμμετρίας. Σε αυτές τις επιφάνειες η τιμή του κάθε σημείου που βρίσκεται σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση ( $X, \psi$ ) υπολογίζεται από τη σχέση που δίνει την αντίστοιχη στατιστική παράμετρο την οποία απεικονίζει η στατιστική επιφάνεια. Ακόμη στην ίδια κατηγορία ανήκουν και οι επιφάνειες που αντιστοιχούν σε κάποια πιθανότητα υπέρβασης. Σε αυτές τις επιφάνειες η τιμή του κάθε σημείου που βρίσκεται στη γεωγραφική θέση  $X, \psi$  υπολογίζεται από την εμπειρική ή θεωρητική κατανομή των τιμών τετραγωνιδίων όλων των επιφανειών

που βρίσκονται στη συγκεκριμένη γεωγραφική θέση, με βάση τη ζητούμενη πιθανότητα υπέρβασης

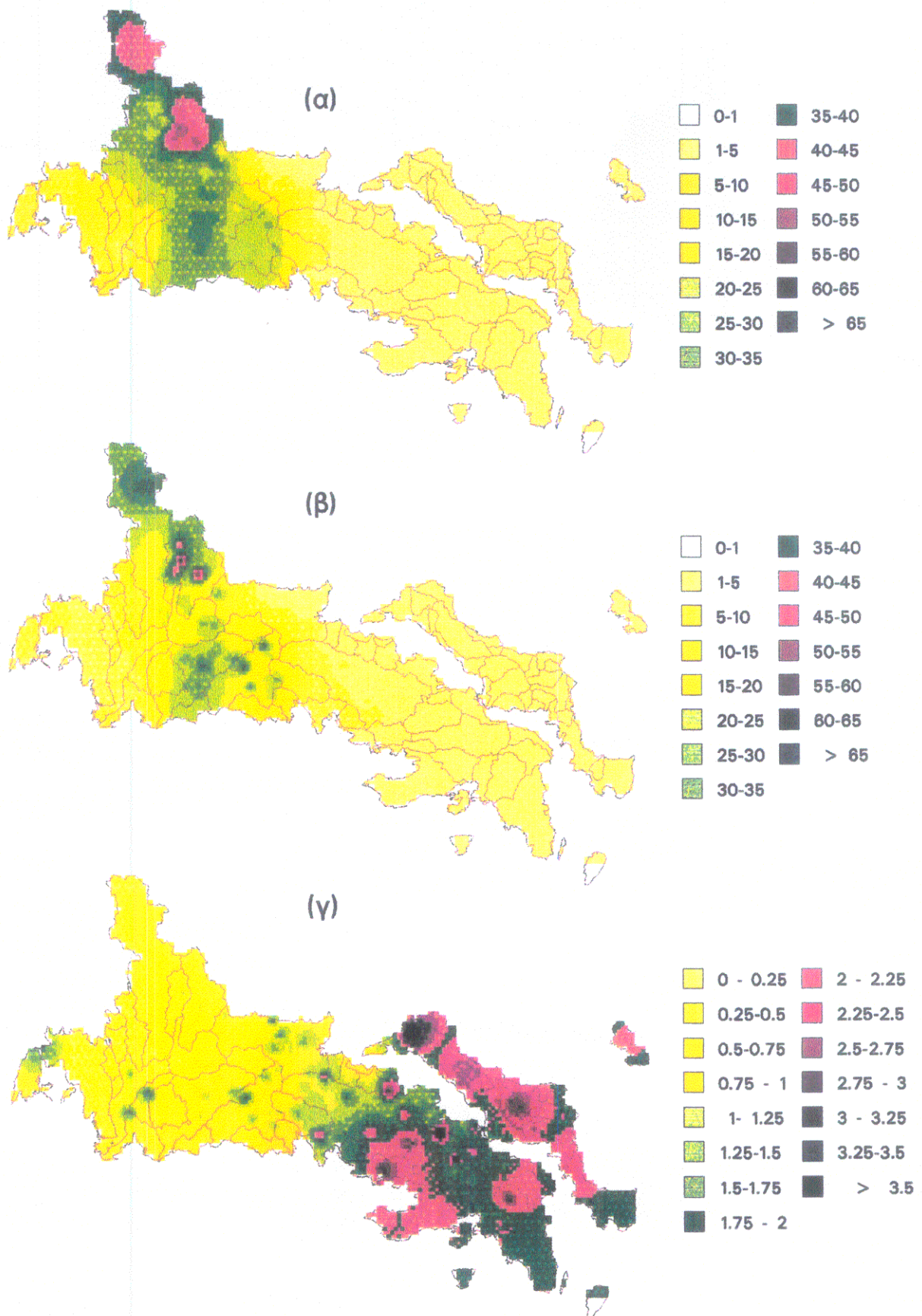
Εφαρμόζοντας την παραπάνω μεθοδολογία στην περιοχή μελέτης, υπολογίστηκαν οι στατιστικές επιφάνειες της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και του συντελεστή διασποράς για τις ημερήσιες επιφάνειες βροχής που ανήκουν σε ένα συγκεκριμένο τύπο καιρού. Εξετάστηκαν οκτώ τύποι καιρού της υγρής περιόδου, ενώ οι τύποι της ξηρής δεν είχαν ικανό αριθμό ημερησίων επιφανειών βροχής έτσι ώστε να είναι έχει πρακτική αξία ο υπολογισμός των στατιστικών παραμέτρων. Στα Σχήματα 4.6 έως 4.13 παρουσιάζονται οι τρεις στατιστικές επιφάνειες για κάθε τύπο καιρού. Για τη χωρική απεικόνιση της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης χρησιμοποιήθηκε η ίδια αντιστοιχία πεδίου τιμών και χρωματική κλίμακας, ενώ για το πεδίο τιμών του συντελεστή διασποράς (0 - 5) χρησιμοποιήθηκε άλλη αντιστοιχία με τη χρωματική κλίμακα.

Από τη θεώρηση των στατιστικών επιφανειών εύκολα προκύπτει ότι η γεωγραφική η κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης είναι άμεσα συνδεδεμένη με τον επικρατούντα τύπο καιρού. Αναλυτικότερα οι παρατηρήσεις που προκύπτουν από τα Σχήματα 4.6 Έως 4.13 μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω σημεία.

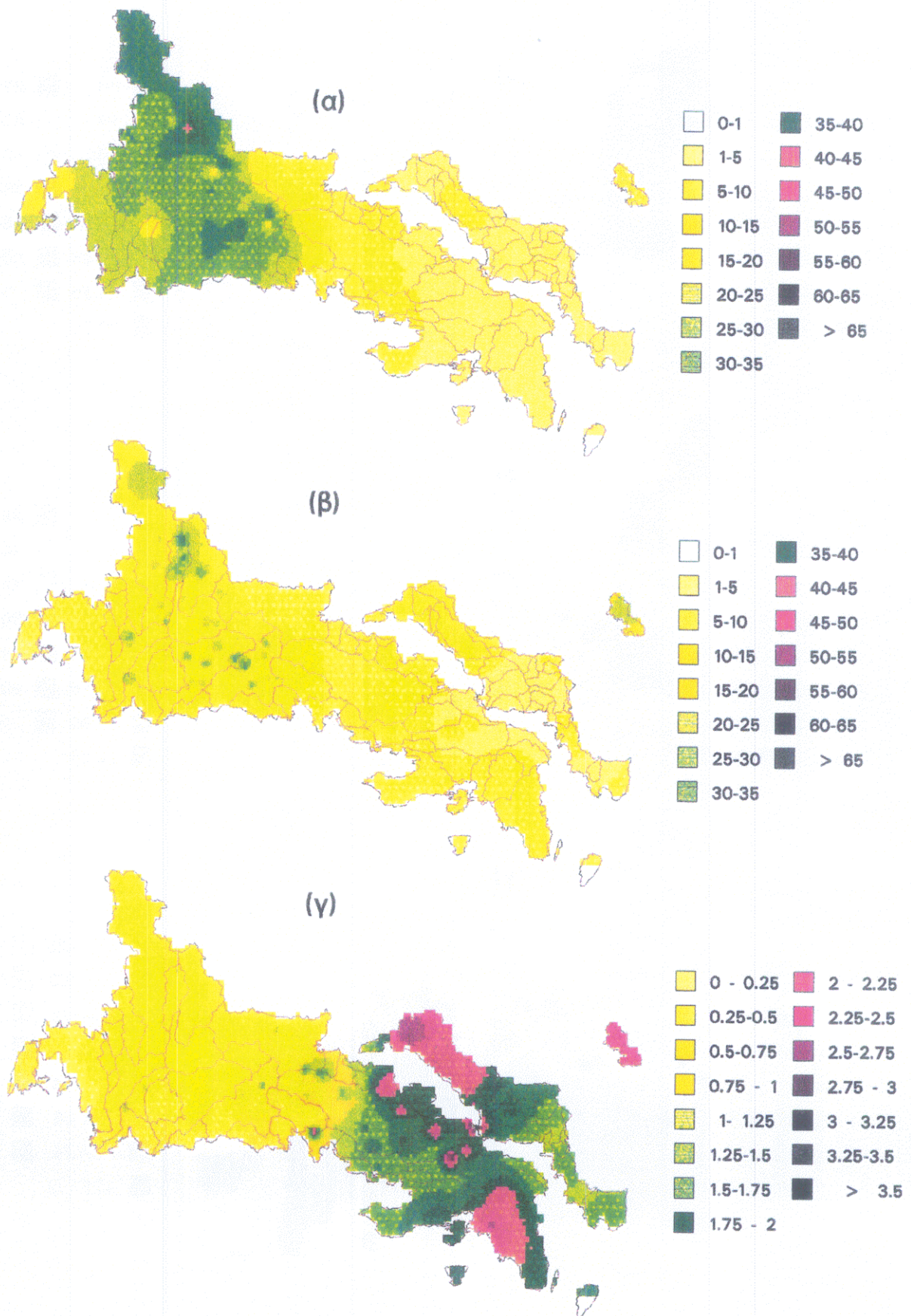
- Οι στατιστικές επιφάνειες της μέσης τιμής δείχνουν ότι οι περισσότεροι τύποι προκαλούν βροχοπτώσεις σε συγκεκριμένες ζώνες της περιοχής μελέτης. Έτσι οι τύποι W1, W2, NW1, NW2 και SW1, προκαλούν βροχοπτώσεις στις δυτικές περιοχές (Σχήματα 4.6 - 4.10), ενώ οι SW2 και MT1,2 στις ανατολικές περιοχές (Σχήματα 4.11 - 4.12).
- Οι στατιστικές επιφάνειες του συντελεστή διασποράς των τύπων W1, W2, SW1 και MT1,2 παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλές τιμές στις περιοχές επιρροής των τύπων αυτών (Σχήματα 4.7, 4.10, 4.12). Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι η χωρική κατανομή που παρατηρείται έχει πραγματοποιηθεί στο σύνολο σχεδόν των ημερών που αποτέλεσαν το δείγμα και αποτελεί σημαντική ένδειξη για την στατιστική σημαντικότητα των παρατηρήσεων αυτών.
- Στους κυκλωνικούς τύπους η χωρική κατανομή της βροχής συνδέεται με τη τροχιά της ύφεσης. Έτσι όπως φαίνεται και από τα Σχήματα 4.6, 4.7, 4.10, οι τύποι W1, W2, SW1 προκαλούν ορογραφικές βροχοπτώσεις σχεδόν αποκλειστικά στις δυτικές περιοχές όπου κυριαρχεί η οροσειρά της Πίνδου (Αχελώος, Εύηνος). Οι τύποι NW1 και NW2

προκαλούν βροχοπτώσεις στην ίδια περιοχή αλλά με μεγαλύτερη μεταβλητότητα (Σχήματα 4.8, 4.9). Αυτό συμβαίνει διότι στον NW1 κατατάσσονται υφέσεις με μεγάλη διαφοροποίηση στις τροχιές τους, ενώ στον NW2 κατατάσσονται υφέσεις με τροχιά ανατολικότερη από τη συνηθισμένη με αποτέλεσμα να προκαλούνται βροχοπτώσεις στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Μόρνος, Σπερχειός, Εύβοια). Τέλος η τροχιά της ύφεσης όταν επικρατεί ο SW2 τύπος είναι τέτοια που προκαλούνται ισχυρές βροχοπτώσεις στο ανατολικό τμήμα της περιοχής (Εύβοια, Β. Κηφισός, Αττική), όπως προκύπτει και από το Σχήμα 4.11.

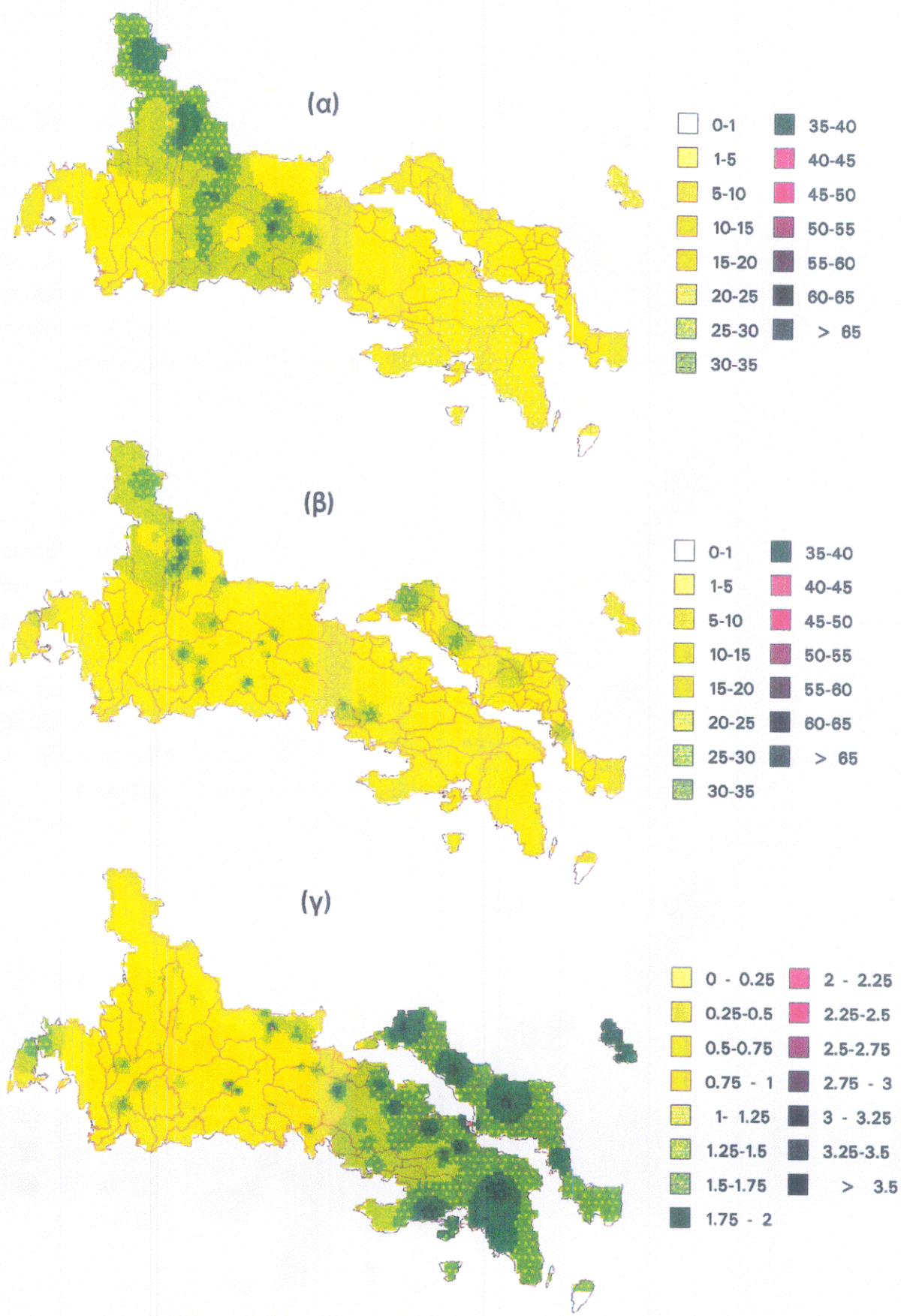
- Όταν η καιρική κατάσταση που επικρατεί κατατάσσεται στους μικτούς τύπους (MT1,2), ο συνδυασμός του αντικυκλώνα πάνω από την Ευρώπη και μιάς ύφεσης πάνω από το Αιγαίο είναι υπεύθυνος για τον κακό καιρό στη νησιωτική Ελλάδα. Ειδικότερα στην περιοχή μελέτης πραγματοποιούνται ισχυρές βροχοπτώσεις στα ανατολικά σημεία και ιδιαίτερα στη βόρεια Εύβοια (Σχήμα 4.12).
- Στους “υπόλοιπους” τύπους που περιλαμβάνονται όλοι οι αντικυκλωνικοί και ξηροί τύποι καιρού, τα λίγα επεισόδια βροχής που εκδηλώνονται συνδέονται με την τοπική αστάθεια της ατμόσφαιρας και για το λόγο αυτό δεν παρατηρείται κάποια τυποποιημένη γεωγραφική της βροχόπτωσης (Σχήμα 4.13).



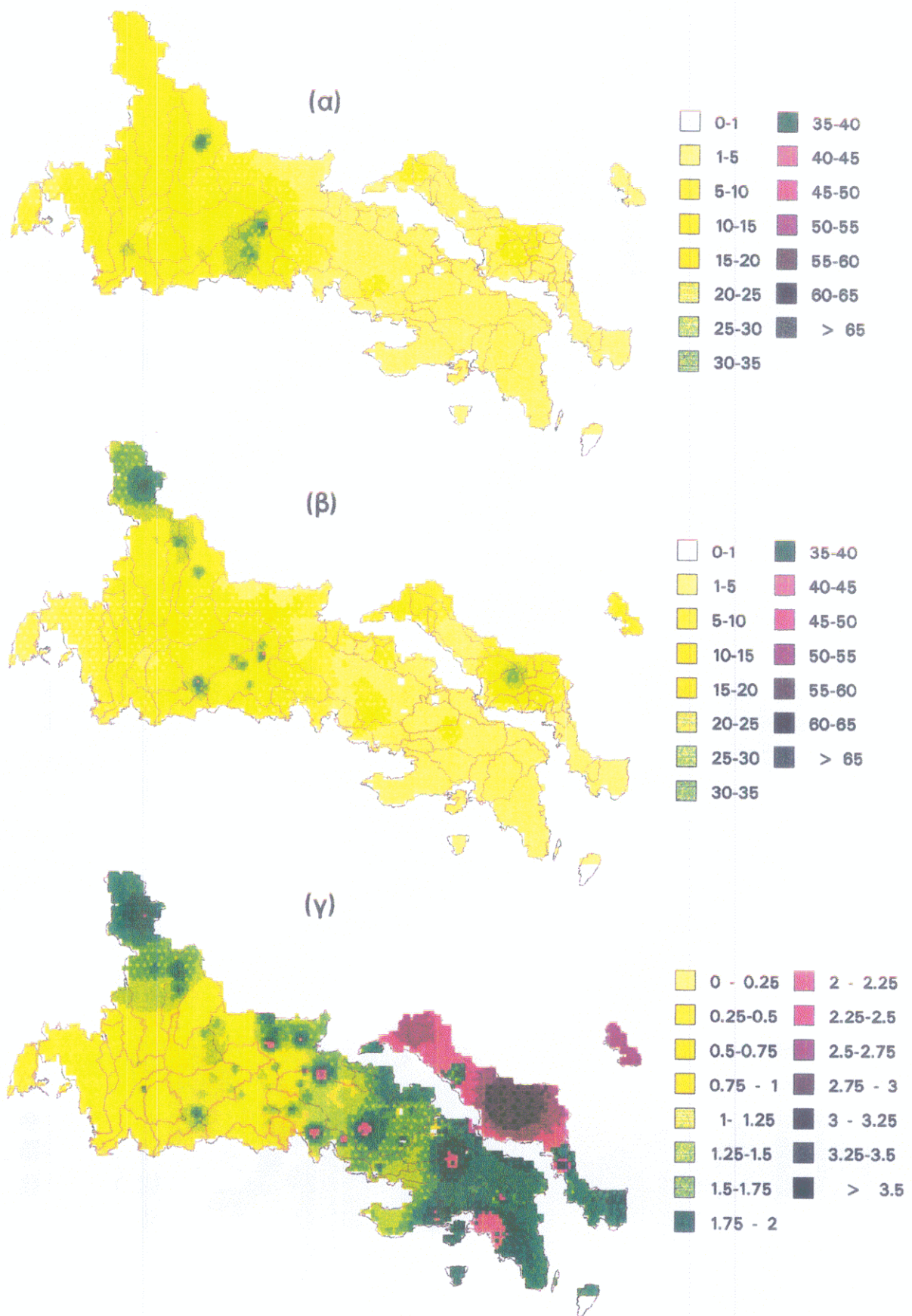
**Σχήμα 4.6** Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου W1. (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.



**Σχήμα 4.7** Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου W2 (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.

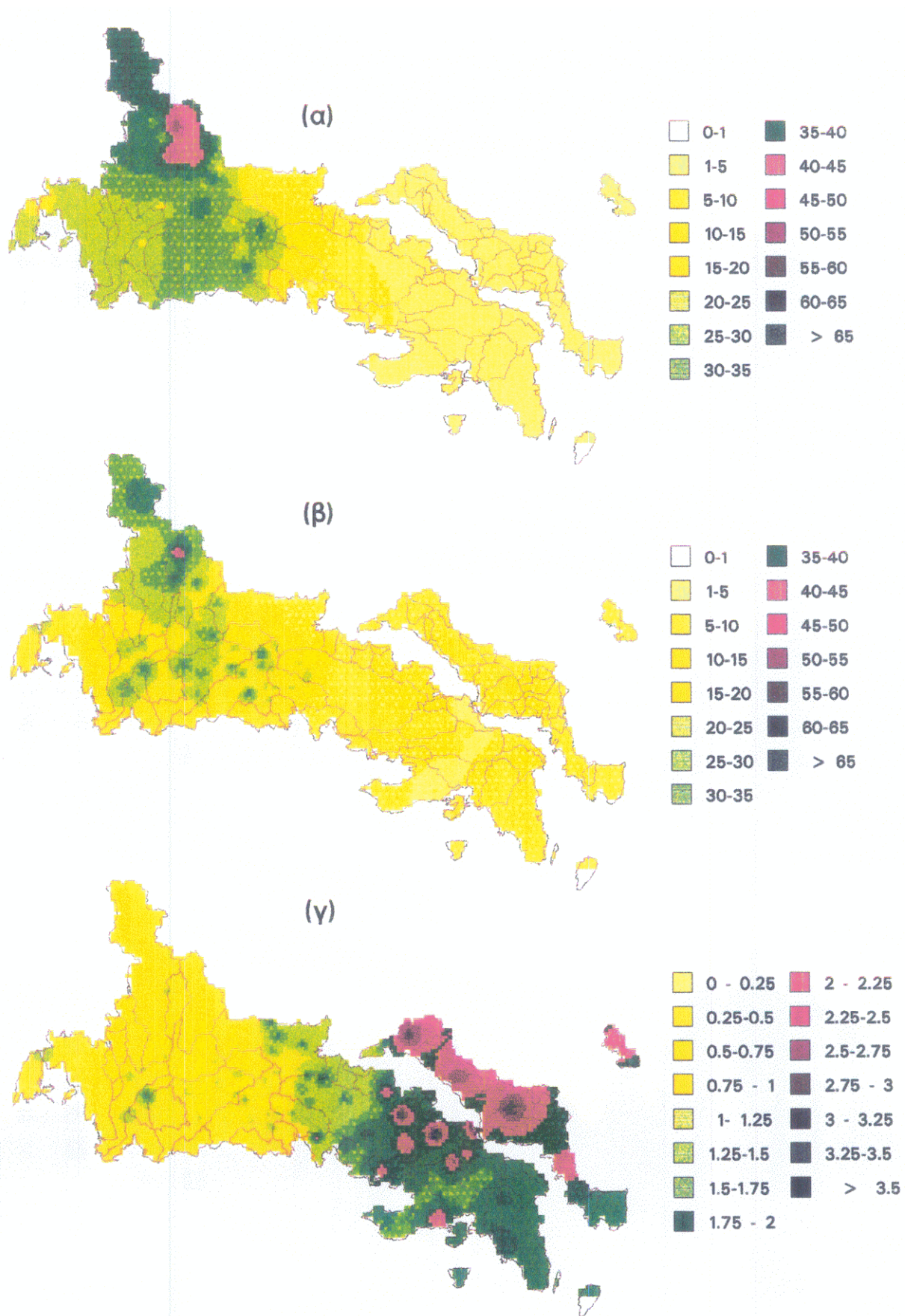


**Σχήμα 4.8** Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου NW1 (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.

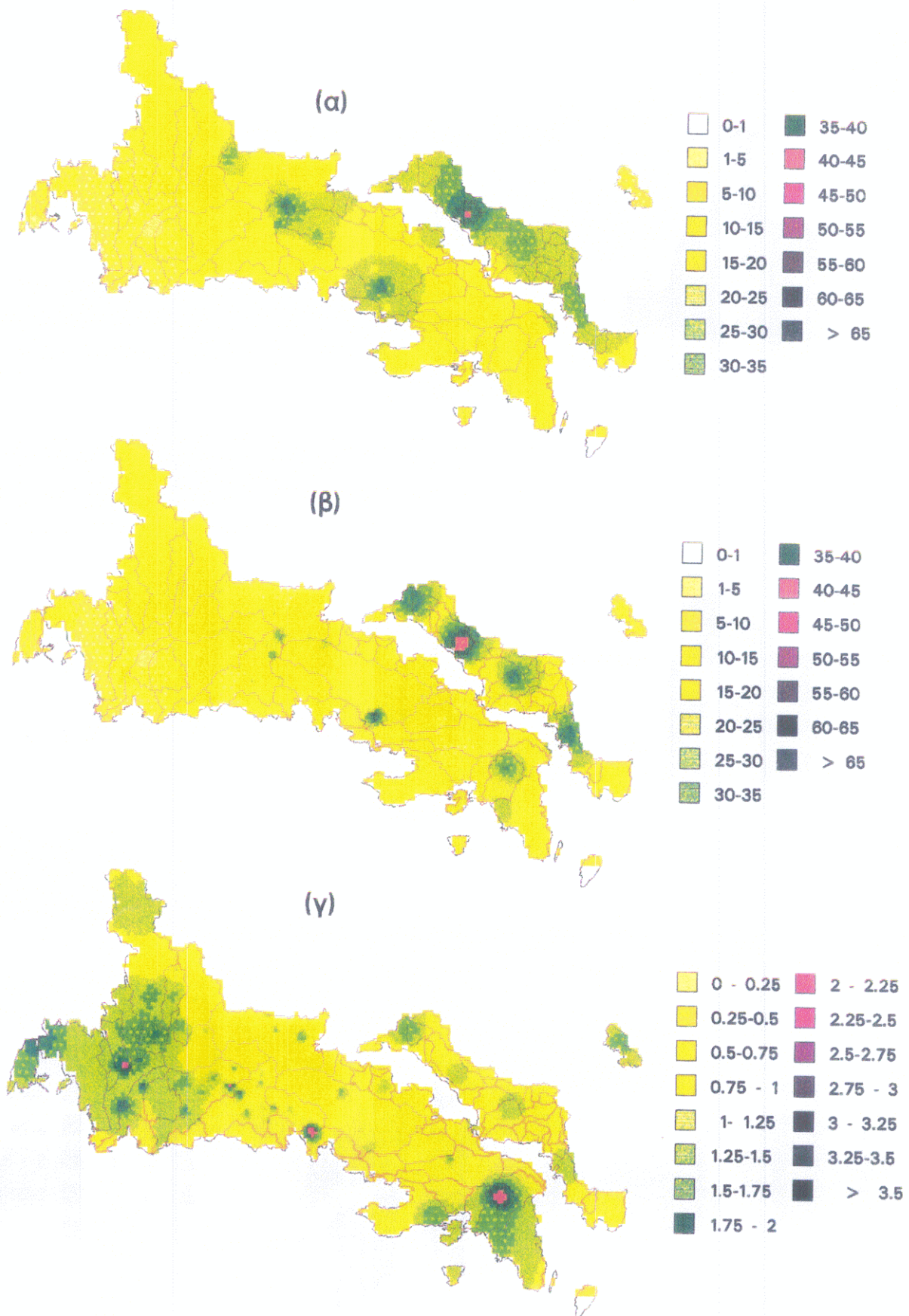


**Σχήμα 4.9** Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου NW2 (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.

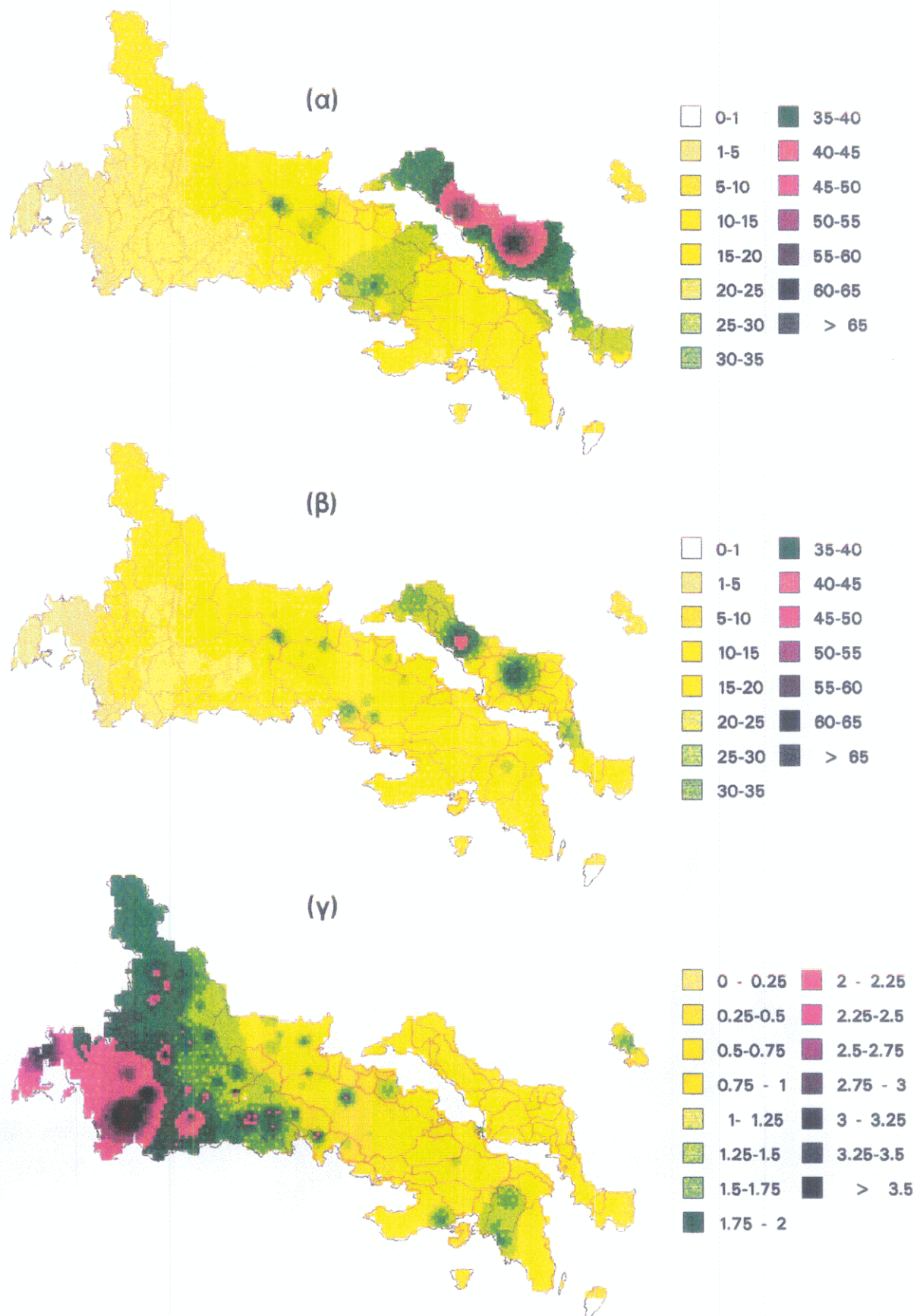




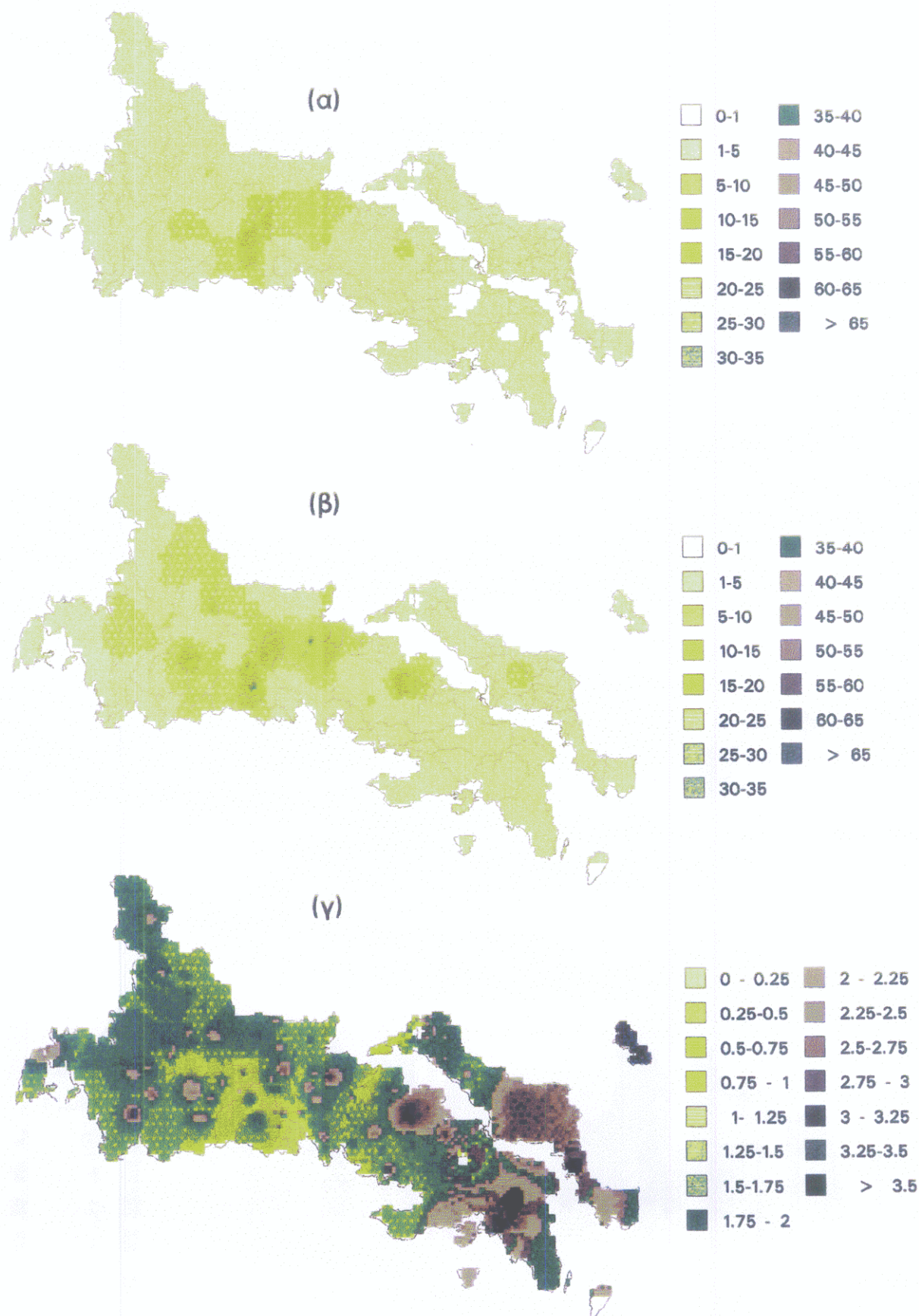
**Σχήμα 4.10** Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου SW1 (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.



Σχήμα 4.11 Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου SW2 (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.



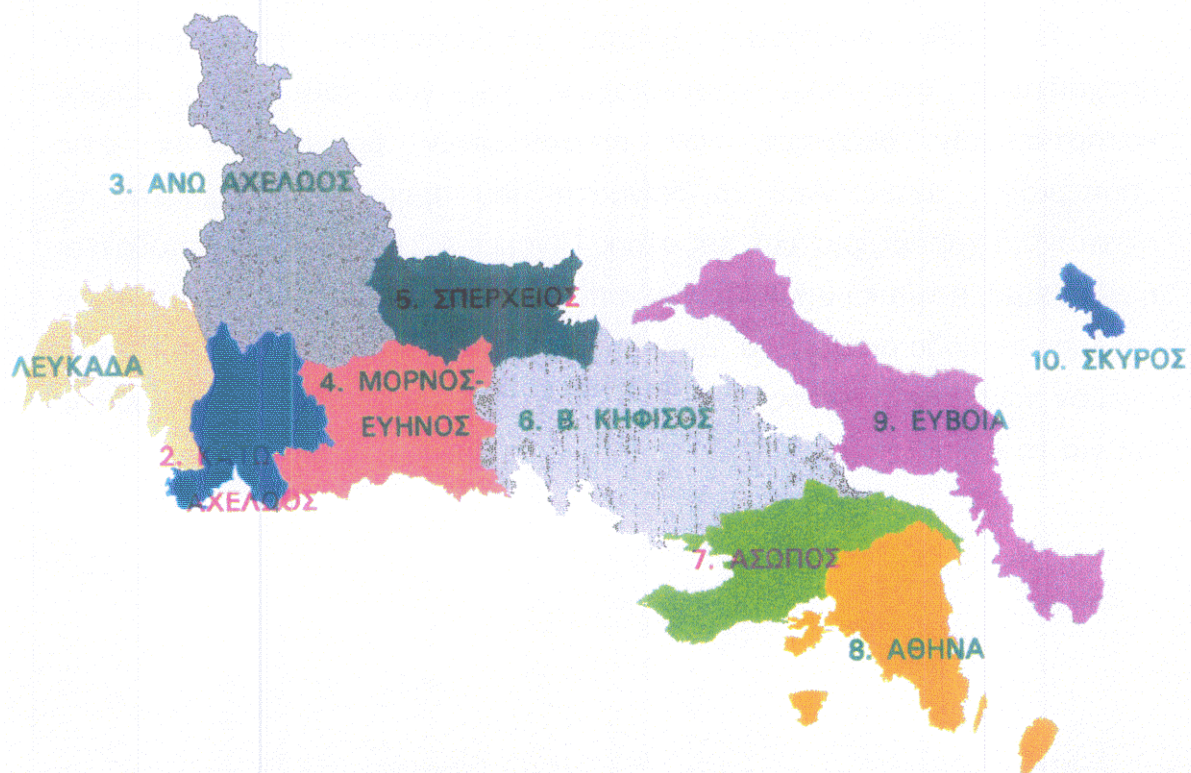
Σχήμα 4.12 Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου MT1,2 (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.



**Σχήμα 4.13** Στατιστικές επιφάνειες βροχής τύπου ΥΠΟΛ (α) μέσης τιμής (β) τυπικής απόκλισης (γ) συντελεστή διασποράς.

#### 4.4.3 Χωρική ολοκλήρωση ημερήσιας βροχής σε υποπεριοχές

Ως εναλλακτική μεθοδολογία που ποσοτικοποιεί την επίδραση των τύπων καιρού στην κατανομή της βροχής στην περιοχή μελέτης (εκτός από την ανάλυση των επιφανειών που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο), εφαρμόστηκε μία τεχνική που βασίζεται στη μελέτη της επιφανειακής βροχόπτωσης σε διάφορες υποπεριοχές. Ειδικότερα η περιοχή μελέτης χωρίστηκε σε δέκα σχετικά κλιματικά ομογενείς υποπεριοχές (με εξαίρεση την Εύβοια που λόγω του μικρού αριθμού σταθμών εξετάστηκε σαν μία περιοχή), οι οποίες συντίθενται από λεκάνες απορροής, και παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.14.



**Σχήμα 4.14** Υποπεριοχές που εξετάστηκαν

Στον Πίνακα 4.1 παρατίθενται οι εκτάσεις που καταλαμβάνουν οι δέκα υποπεριοχές και το ποσοστό τους σε σχέση με τη συνολική έκταση της περιοχής μελέτης.

**Πίνακας 4.1** Έκταση υποπεριοχών (km<sup>2</sup>)

ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km <sup>2</sup> )	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Λευκάδα	1635	6
Άνω Αχελώος	4540	18
Κάτω Αχελώος	1740	7
Μόρνος - Εύηνος	2775	11
Σπερχειός	2010	8
Βοιωτ. Κηφισός	4940	19
Ασωπός	2115	8
Αθήνα	2010	8
Εύβοια	3650	14
Σκύρος	185	1
<b>Σύνολο</b>	<b>25600</b>	<b>100</b>

Σε κάθε επιφάνεια βροχής υπολογίστηκε η επιφανειακή βροχόπτωση των δέκα υποπεριοχών, και για κάθε τύπο καιρού καταρτίστηκαν δείγματα των επιφανειακών βροχοπτώσεων στις υποπεριοχές αυτές. Από τα δείγματα που προέκυψαν εξήχθηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά, και στους Πίνακες 4.2 και 4.3 παρουσιάζονται η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και ο συντελεστής διασποράς για την υγρή και ξηρή περίοδο αντίστοιχα. Ειδικότερα στην ξηρή περίοδο για το σύνολο σχεδόν των τύπων (εκτός του DOR) υπήρχε μικρός αριθμός επεισοδίων, και για το λόγο αυτό υπολογίστηκε ενδεικτικά μόνο η μέση τιμή.

**Πίνακας 4.2** Στατιστικά χαρακτηριστικά ημερησίου ύψους βροχής υγρής περιόδου για κάθε υποπεριοχή και τύπο καιρού (mm)

ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΕΣ	W1	W2	SW1	SW2	NW1	NW2	MT1,2	ΥΠΟΛ
<b>Λευκάδα</b>								
Μέση τιμή (mm)	13.9	21.2	22.6	8.7	16.9	12.3	2.1	2.6
Τυπ. απόκλιση (mm)	9.0	10.5	15.1	10.0	14.8	8.2	4.5	3.9
Συντελ. Διασποράς	0.65	0.49	0.67	1.15	0.88	0.67	2.11	1.50
<b>Κάτω Αχελώος</b>								
Μέση τιμή (mm)	16.4	23.1	24.0	7.5	16.9	14.0	2.2	3.2
Τυπ. απόκλιση (mm)	11.1	10.7	17.6	7.6	12.8	8.5	4.6	4.3
Συντελ. Διασποράς	0.68	0.46	0.73	1.01	0.75	0.61	2.13	1.36
<b>Άνω Αχελώος</b>								
Μέση τιμή (mm)	32.8	29.8	33.7	13.4	25.9	13.8	5.3	3.2
Τυπ. απόκλιση (mm)	19.6	16.9	21.6	12.3	18.7	15.6	7.5	4.2
Συντελ. Διασποράς	0.60	0.57	0.64	0.92	0.72	1.13	1.42	1.34
<b>Μόρνος - Εύηνος</b>								
Μέση τιμή (mm)	25.1	27.6	25.5	13.7	22.8	17.6	5.4	5.9
Τυπ. απόκλιση (mm)	18.7	11.8	15.8	9.4	12.6	11.8	6.3	4.8
Συντελ. Διασποράς	0.74	0.43	0.62	0.69	0.55	0.67	1.16	0.82
<b>Σπερχειός</b>								
Μέση τιμή (mm)	12.2	15.6	15.2	19.5	19.7	6.7	14.6	4.6
Τυπ. απόκλιση (mm)	9.0	8.1	11.5	9.9	12.6	5.0	12.6	6.6
Συντελ. Διασποράς	0.74	0.52	0.76	0.51	0.64	0.75	0.86	1.45
<b>Βοιωτικός Κηφισός</b>								
Μέση τιμή (mm)	4.2	8.4	7.4	19.7	14.9	4.0	18.2	2.9
Τυπ. απόκλιση (mm)	4.5	7.6	8.1	10.7	12.9	3.7	11.6	3.2
Συντελ. Διασποράς	1.06	0.91	1.09	0.54	0.87	93	0.64	1.12
<b>Ασωπός</b>								
Μέση τιμή (mm)	0.9	4.3	3.6	15.9	9.4	2.1	13.9	0.5
Τυπ. απόκλιση (mm)	1.7	6.0	5.1	11.0	11.6	3.0	8.1	0.7
Συντελ. Διασποράς	1.92	1.39	1.43	0.69	1.24	1.41	0.59	1.41
<b>Αθήνα</b>								
Μέση τιμή (mm)	0.6	3.6	3.9	15.5	9.4	1.5	12.0	0.3
Τυπ. απόκλιση (mm)	1.2	7.0	6.3	18.1	14.0	2.7	10.2	0.7
Συντελ. Διασποράς	1.91	1.93	1.62	1.17	1.49	1.78	0.86	2.36
<b>Εύβοια</b>								
Μέση τιμή (mm)	0.7	4.1	3.7	25.0	12.4	3.3	36.5	0.9
Τυπ. απόκλιση (mm)	1.4	6.6	6.8	17.0	16.5	8.8	12.7	1.9
Συντελ. Διασποράς	2.14	1.60	1.84	0.68	1.33	2.71	0.35	2.11
<b>Σκύρος</b>								
Μέση τιμή (mm)	0.6	9.1	2.7	9.1	7.2	4.3	7.0	0.8
Τυπ. απόκλιση (mm)	1.1	21.0	5.5	10.9	13.3	12.1	7.0	2.7
Συντελ. Διασποράς	1.97	2.32	2.07	1.20	1.86	2.83	1.00	3.35
<b>Σύνολο περιοχής</b>								
Μέση τιμή (mm)	12.4	15.3	15.5	16.4	17.0	8.1	13.8	2.6
Τυπ. απόκλιση (mm)	7.7	6.5	9.3	7.0	8.1	4.9	6.3	2.3
Συντελ. Διασποράς	0.62	0.43	0.60	0.42	0.47	0.60	0.46	0.88
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ</b>	18	23	88	28	96	10	41	12

**Πίνακας 4.3** Στατιστικά χαρακτηριστικά ημερησίου ύψους βροχής Ξηρής περιόδου, για κάθε υποπεριοχή και τύπο καιρού (mm)

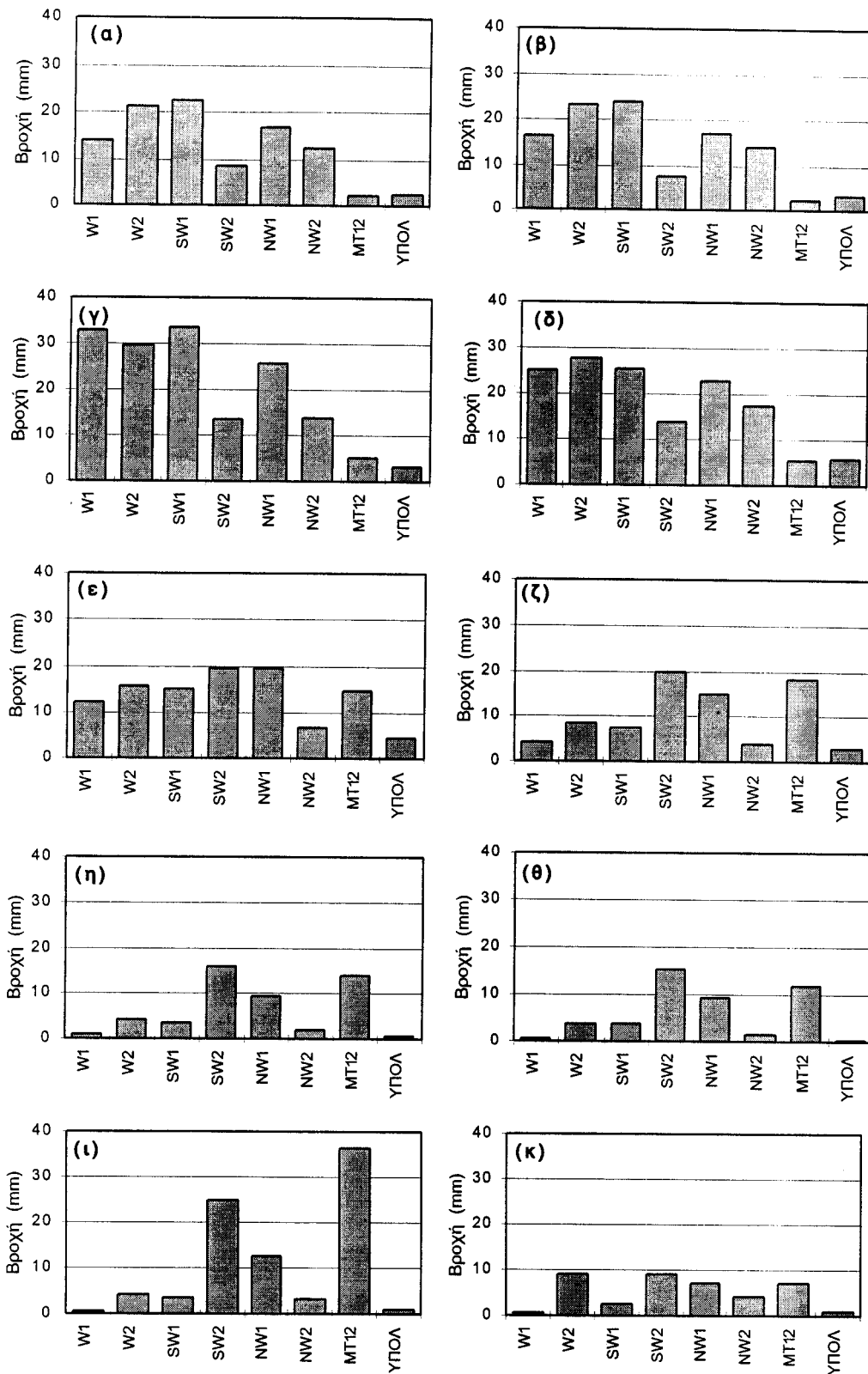
ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΕΣ	W1,2	NW1	NW2	SW1	SW2	DOR	MB, A	MT1,2
<b>Λευκάδα</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	29.7	13.5	5.1	21.7	0.0	2.1 2.8 1.35	1.5	0.6
<b>Κάτω Αχελώος</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	30.7	12.0	6.8	14.5	0.0	2.0 2.4 1.21	3.4	0.6
<b>Άνω Αχελώος</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	31.1	35.2	9.3	17.7	1.0	6.9 7.6 1.10	6.2	1.3
<b>Μόρνος - Εύηνος</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	27.2	14.7	17.2	15.1	1.5	5.5 4.2 0.76	9.2	1.0
<b>Σπερχειός</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	14.0	13.0	14.8	11.2	0.6	13.4 10.2 0.76	8.3	0.6
<b>Βοιωτ. Κηφισός</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	4.0	3.9	18.0	4.6	0.5	8.9 7.2 0.81	5.8	3.6
<b>Ασωπός</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	0.1	2.5	9.4	1.7	1.5	3.8 3.7 0.97	3.2	12.1
<b>Αθήνα</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	0.0	0.6	3.6	1.6	2.3	2.5 2.2 0.87	0.8	3.8
<b>Εύβοια</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. Απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	0.3	2.9	23.1	10.0	22.7	21.1 17.6 0.83	3.8	8.7
<b>Σκύρος</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. Απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	0.2	9.8	1.0	0.7	1.6	0.9 0.8 0.93	0.5	2.9
<b>Σύνολο περιοχής</b> Μέση τιμή (mm) Τυπ. Απόκλιση (mm) Συντελ. Διασποράς	14.3	12.0	13.2	10.6	4.0	8.4 5.1 0.63	5.1	3.8
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ</b>	2	3	5	4	1	11	4	1



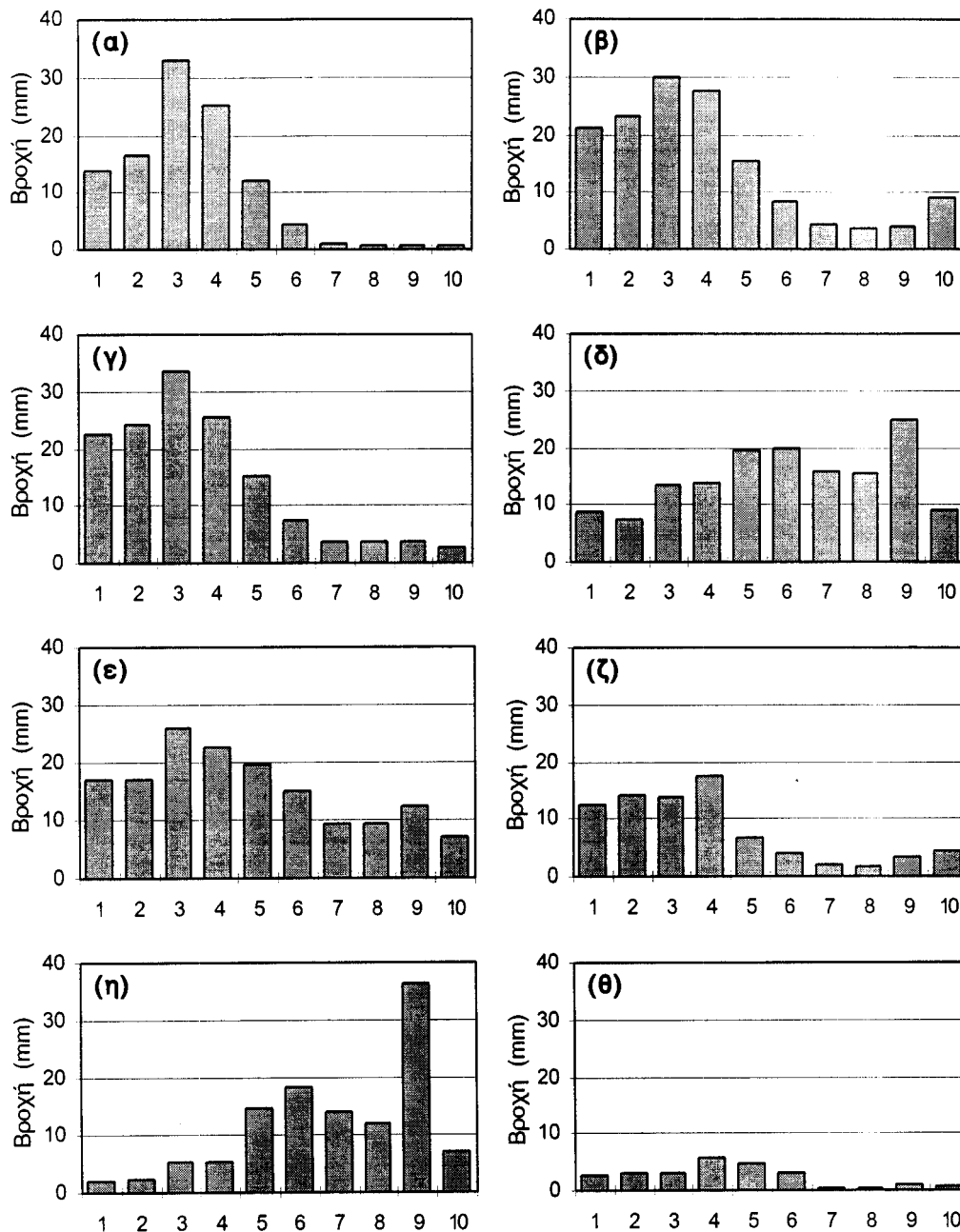
Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.2 προκύπτει (όπως και από την προηγούμενη ανάλυση), ότι οι τύποι W1, W2, SW1 και NW1 επηρεάζουν τις δυτικές ενώ οι τύποι SW2 και MT2 τις ανατολικές υποπεριοχές. Ακόμη χαρακτηριστική είναι η μικρή διασπορά των δειγμάτων ειδικά για τις περιοχές επιρροής κάθε τύπου. Στον Πίνακα 4.3 παρουσιάζονται για την ξηρή περίοδο, τα στατιστικά χαρακτηριστικά εκτός της μέσης τιμής μόνο για το δείγμα του τύπου DOR το οποίο είχε ένα συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων. Από τα δεδομένα του Πίνακα 4.3 προκύπτει ότι και τα λίγα επεισόδια της ξηρής περιόδου επιβεβαιώνουν τις παρατηρήσεις που έγιναν για την υγρή περίοδο. Συγκεκριμένα οι τύποι W1, W2, SW1 και NW1 (9 ημέρες) και εδώ επηρεάζουν τις δυτικές περιοχές, ενώ οι τύποι SW2 και MT2 (2 ημέρες) τις ανατολικές υποπεριοχές. Ακόμη οι ξηροί τύποι καιρού MB και A1 (4 ημέρες) επηρεάζουν περισσότερο τις κεντρικές ηπειρωτικές περιοχές, γεγονός που οφείλεται στην μεγαλύτερη θερμική αστάθεια που εμφανίζεται στις ηπειρωτικές περιοχές. Τέλος ο τύπος DOR παρά τη μεγάλη διασπορά που παρουσιάζουν τα δείγματα όλων των υποπεριοχών, φαίνεται να επηρεάζει ιδιαίτερα την Εύβοια.

Οι μέσες τιμές των δειγμάτων της υγρής περιόδου παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.15, όπου απεικονίζεται για κάθε τύπο το μέσο ύψος βροχής που προκαλεί στις διάφορες υποπεριοχές. Από το Σχήμα 4.15 παρατηρούμε ότι κάθε τύπος καιρού επιδρά σε έναν αριθμό από γειτονικές υποπεριοχές χωρίς να επηρεάσει τις υπόλοιπες.

Στο Σχήμα 4.16 παρουσιάζονται ξανά οι μέσες τιμές των δειγμάτων της υγρής περιόδου, με τη διαφορά ότι τώρα απεικονίζεται για κάθε μία από τις δέκα υποπεριοχές το μέσο ημερήσιο επιφανειακό ύψος βροχής που αποδίδεται στους διάφορους τύπους καιρού. Αυτό που αποκαλύπτεται από το Σχήμα 4.16 είναι ότι οι περισσότερες υποπεριοχές επηρεάζονται από συγκεκριμένους τύπους, ενώ η Εύβοια για παράδειγμα επηρεάζεται σχεδόν αποκλειστικά από τους τύπους MT2 και SW2. Εξαίρεση αποτελεί η υποπεριοχή του Σπερχειού η οποία επηρεάζεται από όλους τους τύπους καιρού.



**Σχήμα 4.15** Διακύμανση μέσου ημερησίου ύψους βροχής στους διάφορους τύπους καιρού (α) Λευκάδα (β) Κάτω Αχελώος (γ) Άνω Αχελώος (δ) Μόρνος - Εύηνος (ε) Σπερχειός (ζ) Β. Κηφισό (η) Ασωπός (θ) Αθήνα (ι) Εύβοια (κ) Σκύρος



**Σχήμα 4.16** Διακύμανση μέσου ημερησίου ύψους βροχής στις διάφορες υποπεριοχές (α) W1 (β) W2 (γ) SW1 (δ) SW2 (ε) NW1 (ζ) NW2 (η) MT1,2 (θ) ΥΠΟΛ

Για τον έλεγχο της επιχειρησιακής αξιοποίησης των παρατηρήσεων που έγιναν με βάση τα Σχήματα 4.15 και 4.16, εφαρμόστηκαν ορισμένες στατιστικές μέθοδοι οι οποίες περιγράφονται στη συνέχεια.

**Δοκιμή Kruskal-Wallis.** Για τον στατιστικό έλεγχο των προηγούμενων παρατηρήσεων εφαρμόστηκε η δοκιμή των Kruskal-Wallis [Freund and

Simon, 1991, σελ. 498-499] στα δείγματα των ημερήσιων επιφανειακών βροχοπτώσεων των 10 υποπεριοχών που έχουν καταρτιστεί για κάθε τύπο καιρού. Η δοκιμή είναι μη παραμετρική, δηλαδή η εξεταζόμενη στατιστική παράμετρος υπολογίζεται με βάση το σύνολο των στοιχείων των καταρτισμένων δειγμάτων, και όχι τις εκτιμημένες ροπές. Για κάθε υποπεριοχή διατυπώθηκε η μηδενική υπόθεση ότι τα δείγματα των ημερησίων επιφανειακών βροχοπτώσεων όλων των τύπων καιρού ανήκουν στον ίδιο στατιστικό πληθυσμό. Στον Πίνακα 4.4 παρουσιάζεται η τιμή της στατιστικής παραμέτρου, η οποία προκύπτει από την εφαρμογή της δοκιμής στις δέκα υποπεριοχές. Η τιμή που αντιστοιχεί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 5% είναι 14.07, και από τις τιμές του Πίνακα 4.4 προκύπτει ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται για όλες τις υποπεριοχές, σε όλα τα συνήθη επίπεδα εμπιστοσύνης και κάτω του 5%. Η αντίστοιχη μηδενική υπόθεση διατυπώθηκε για κάθε τύπο καιρού δηλαδή ότι τα δείγματα των ημερησίων επιφανειακών βροχοπτώσεων όλων των υποπεριοχών ανήκουν στον ίδιο στατιστικό πληθυσμό. Στον Πίνακα 4.5 παρουσιάζεται η τιμή της παραμέτρου που προκύπτει από την εφαρμογή της δοκιμής στους οκτώ τύπους καιρού. Η τιμή που αντιστοιχεί σε επίπεδο εμπιστοσύνης 5% είναι 16.9, και από τις τιμές του Πίνακα 4.5 προκύπτει ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται σε όλα τα συνήθη επίπεδα εμπιστοσύνης και κάτω του 5% για όλους τους τύπους καιρού. Από την εφαρμογή της δοκιμής προκύπτει ότι τα δείγματα των επιφανειακών βροχοπτώσεων ανά υποπεριοχή ή ανά τύπο καιρού δεν ανήκουν στον ίδιο στατιστικό πληθυσμό.

**Πίνακας 4.4** Τιμή της στατιστικής παραμέτρου της δοκιμής *Kruskal-Wallis* (εφαρμογή της δοκιμής στις υποπεριοχές)

ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ
Λευκάδα	114.5	Βοιωτ. Κηφισός	93.8
Άνω Αχελώος	108.9	Ασωπός	119.7
Κάτω Αχελώος	121.0	Αθήνα	93.7
Μόρνος - Εύηνος	99.9	Εύβοια	157.5
Σπερχειός	38.4	Σκύρος	75.4

**Πίνακας 4.5** Τιμή της στατιστικής παραμέτρου της δοκιμής *Kruskal-Wallis* (εφαρμογή της δοκιμής στους τύπους καιρού)

ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ
W1	134.2	SW1	475.2
W2	129.2	SW2	57.2
NW1	207.2	MT1,2	229.8
NW2	48.1	ΥΠΟΛ	32.3

**Ανάλυση διασποράς.** Για τον προσδιορισμό της διασποράς της ημερήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης που εξηγείται από τον τύπο καιρού ή την υποπεριοχή, εφαρμόστηκε η τεχνική της ανάλυσης διασποράς [Spiegel, 1977, σελ. 306-307]. Στον Πίνακα 4.6 παρουσιάζεται για τις δέκα υποπεριοχές το ποσοστό της διασποράς του ημερήσιου ύψους επιφανειακής βροχόπτωσης, που εξηγείται από την εισαγωγή της έννοιας “τύπος καιρού”. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.6, εξηγείται ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς του ημερήσιου ύψους βροχής για όλες τις υποπεριοχές, μεγαλύτερο από 20% σε επτά από αυτές, ενώ στην Εύβοια (που βασικά επηρεάζεται από δύο μόνο τύπους) αγγίζει το 50%.

**Πίνακας 4.6** Ποσοστό της διασποράς της επιφανειακής βροχόπτωσης ανά υποπεριοχή που εξηγείται από τους τύπους καιρού

ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)	ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
Λευκάδα	24.8	Βοιωτ. Κηφισός	21.8
Άνω Αχελώος	27.3	Ασωπός	24.9
Κάτω Αχελώος	26.5	Αθήνα	14.7
Μόρνος - Εύηνος	25.5	Εύβοια	47.4
Σπερχειός	10.2	Σκύρος	6.3

Στον Πίνακα 4.7 παρουσιάζεται για τους οκτώ τύπους το ποσοστό της διασποράς του ημερήσιου ύψους επιφανειακής βροχόπτωσης, που εξηγείται από την εισαγωγή της υποπεριοχής. Το ποσοστό αυτό είναι μία ένδειξη της τάσης ορισμένων τύπων να επηρεάζουν συγκεκριμένες μόνο περιοχές. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.7, εξηγείται ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς του ύψους βροχής σε όλους τους τύπους, μεγαλύτερο από 20% σε πέντε από αυτούς, ενώ στους W1 και MT2

ξεπερνάει το 50%.

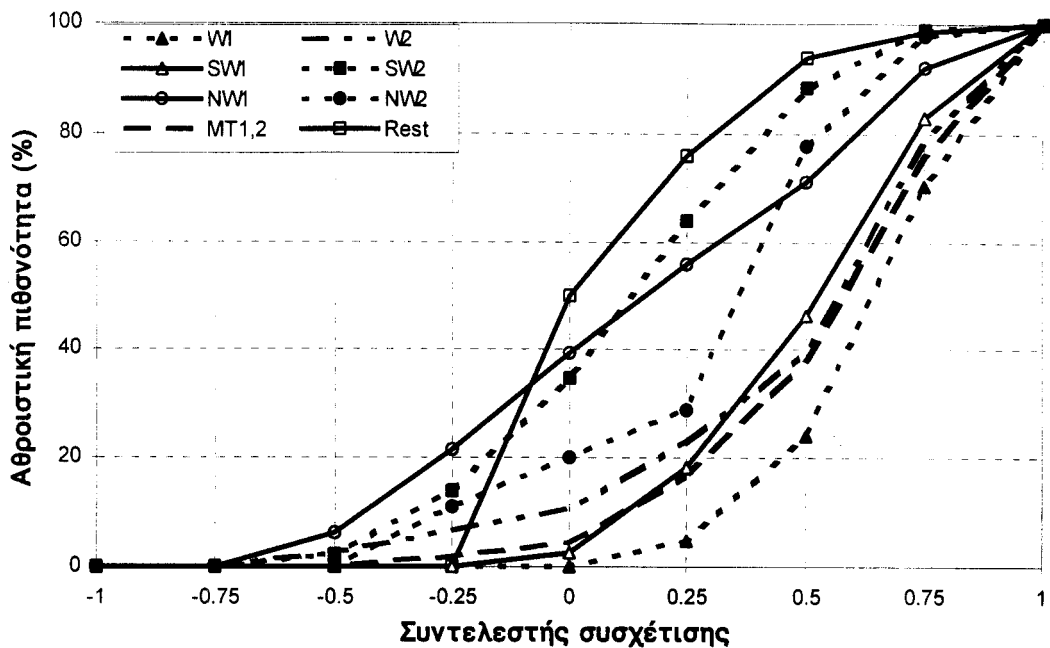
**Πίνακας 4.7** Ποσοστό της διασποράς της επιφανειακής βροχόπτωσης ανά τύπο καιρού που εξηγείται από τις υποπεριοχές

ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)	ΥΠΟΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ (%)
W1	54.5	SW1	42.9
W2	41.7	SW2	19.6
NW1	14.5	MT1,2	54.6
NW2	30.1	ΥΠΟΛ	19.3

#### 4.4.4 Χωρική συσχέτιση επιφανειών βροχής.

Ως μέτρο ομοιότητας δύο επιφανειών βροχής χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης ο οποίος υπολογίζεται με βάση τα στοιχεία δύο μονοδιάστατων μητρώων. Το μήκος των μητρώων αυτών είναι το σύνολο των τετραγωνιδίων της επιφάνειας βροχής (σταθερό για όλες τις επιφάνειες) και καταρτίζονται έτσι ώστε τα τετραγωνίδια που αντιστοιχούν στη ίδια γεωγραφική θέση, να κατέχουν και την αντίστοιχη γραμμή στα δύο μητρώα. Στις επιφάνειες που καταρτίστηκαν τα μητρώα έχουν μήκος 6533 (αριθμός τετραγωνιδίων επιφάνειας).

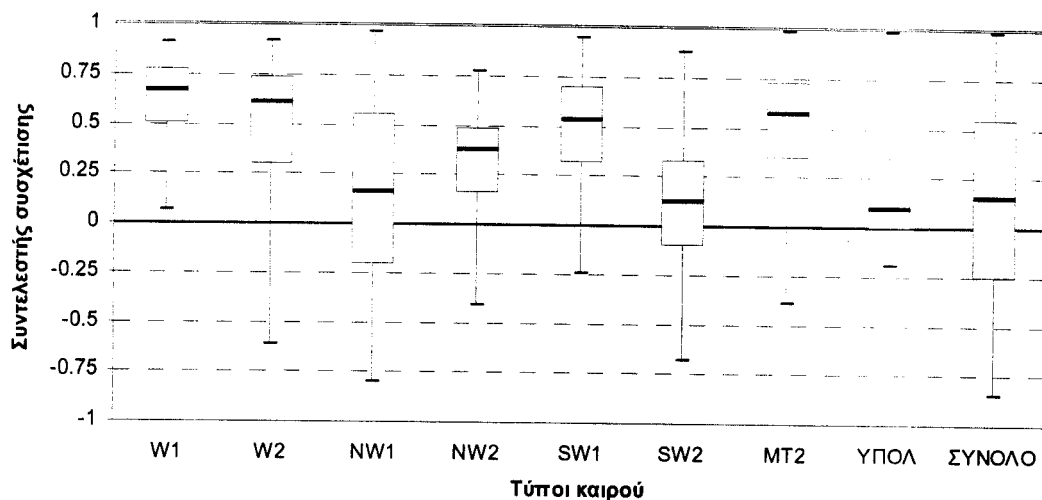
Για την ποσοτικοποίηση της ομοιότητας των επιφανειών βροχής που ανήκουν στον ίδιο τύπο καιρού, υπολογίστηκαν οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ όλων των επιφανειών βροχής του ίδιου τύπου καιρού. Ο συντελεστής συσχέτισης υπολογίζεται μεταξύ δύο επιφανειών με βάση τα δύο μητρώα που καταρτίζονται για τις επιφάνειες. Για κάθε τύπο καιρού με  $N$  αριθμό επιφανειών προκύπτει ένα δείγμα  $N(N-1)/2$  στοιχείων που περιλαμβάνει τους συντελεστές συσχέτισης κάθε επιφάνειας με όλες τις υπόλοιπες. Σε όλα αυτά τα δείγματα μελετήθηκε η εμπειρική συνάρτηση κατανομής τους η οποία παρουσιάζεται και στο Σχήμα 4.17.



**Σχήμα 4.17** Εμπειρική κατανομή των συντελεστών συσχέτισης μεταξύ των επιφανειών βροχής, για κάθε τύπο καιρού.

Ακόμη στο Σχήμα 4.18 παρουσιάζονται τα συνοπτικά χαρακτηριστικά του διατεταγμένου δείγματος των συντελεστών συσχέτισης για κάθε τύπο καιρού με τη μορφή διαγράμματος "κουτιού" (box plot). Τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται είναι η διάμεση, η μέγιστη, και η ελάχιστη τιμή, καθώς και το άνω και κάτω τεταρτημόριο του διατεταγμένου δείγματος. Όπως προκύπτει και από τα Σχήματα 4.17 και 4.18, για όλους τους τύπους η πλειονότητα των συντελεστών συσχέτισης έχει τιμή σημαντικά μεγαλύτερη του μηδενός. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι τα διαφορετικά επεισόδια βροχής του ίδιου τύπου καιρού είναι θετικά συσχετισμένα στο χώρο και άρα υπάρχει μεγάλη ομοιότητα στη χωρική κατανομή της βροχόπτωσης. Ιδιαίτερα ισχυρή συσχέτιση παρουσιάζουν οι επιφάνειες του τύπου W1 όπου όλοι οι συντελεστές είναι μεγαλύτεροι του μηδενός, και των τύπων W2, NW2, MT12 και ΥΠΟΛ, στα δείγματα των οποίων το κάτω τεταρτημόριο είναι μεγαλύτερο του μηδενός (Σχήμα 4.18). Στα δείγματα όμως των συντελεστών συσχέτισης των τύπων NW1 και SW2 το κάτω τεταρτημόριο είναι αρνητικό, και το πεδίο τιμών των συντελεστών συσχέτισης ευρύτερο, γεγονός που σημαίνει μεγαλύτερη χωρική μεταβλητότητα της βροχής στις επιφάνειες των δειγμάτων των τύπων αυτών. Όμως η διάμεσος τιμή είναι σημαντικά μεγαλύτερη του μηδενός, και ακόμη όπως παρατηρούμε από τα Σχήματα 4.8 και 4.11, η βροχόπτωση

που προκαλείται από τους δύο τύπους, συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες περιοχές της περιοχής μελέτης, εφόσον ο NW1 προκαλεί βροχοπτώσεις στη Πίνδο και SW2 στην Αττική και την Εύβοια.



**Σχήμα 4.18** Διαγράμματα "κουτιού" χαρακτηριστικών διατεταγμένων δειγμάτων συντελεστών συσχέτισης

Για την εξήγηση της αυξημένης χωρικής μεταβλητότητας της βροχής των δύο παραπάνω τύπων, έγινε λεπτομερής εξέταση του συνόλου των επιφανειών τους. Ένα μεγάλο ποσοστό από τις επιφάνειες του τύπου NW1 έχουν τη μορφή της μέσης στατιστικής επιφάνειας του τύπου αυτού, δηλαδή η ισχυρή βροχόπτωση πραγματοποιείται στην Πίνδο (Σχήμα 4.8). Όμως υπάρχουν και αρκετές επιφάνειες όπου η βροχή πραγματοποιείται ανατολικότερα, δηλαδή στην λεκάνη του Σπερχειού ή ακόμη και στη Βόρεια Εύβοια. Στις περιπτώσεις αυτές η βροχή έχει προκληθεί από διαταραχή η οποία έχει βόρεια προέλευση αλλά ανατολικότερη τροχιά από τη συνήθη. Αντίθετα το σύνολο σχεδόν (με δύο εξαιρέσεις) των επιφανειών του τύπου SW2 προκαλούν βροχόπτωση σε μία ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Στερεάς και της Αττικής, γεγονός που εξηγεί και τη μικρότερη χωρική μεταβλητότητα σε σχέση με τον τύπο NW1.

Για συγκριτικούς λόγους έχει σχεδιαστεί στο Σχήμα 4.18 (τελευταίο "κουτί"), ένα διάγραμμα των χαρακτηριστικών του δείγματος των συντελεστών συσχέτισης, το οποίο προκύπτει από τη συσχέτιση του συνολικού αριθμού των επιφανειών, ανεξάρτητα από τον επικρατούντα τύπο καιρού. Το δείγμα αυτό αποτελείται από 99.540 στοιχεία και όπως παρατηρούμε το πεδίο τιμών των συντελεστών συσχέτισης καλύπτει



σχεδόν το σύνολο του πεδίου ορισμού [-1, 1]. Η θετική διάμεσος τιμή προκύπτει από την ύπαρξη σημαντικά περισσότερων σε αριθμό επιφανειών, με βροχή στο δυτικό μέρος της περιοχής μελέτης. Το τελευταίο γεγονός αντικατοπτρίζει την ανομοιογένεια του γενικού βροχομετρικού καθεστώτος της περιοχής, με τις υψηλότερες βροχοπτώσεις στην οροσειρά της Πίνδου.

#### 4.4.5 Κατάρτιση εμπειρικών ημιμεταβλητογραμμάτων

Για τη μελέτη της επίδρασης των τύπων καιρού στη χωρική διασπορά των ημερησίων υψών βροχής, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 4.3.2. Συγκεκριμένα για κάθε τύπο καιρού επιλέχτηκε μία αντιπροσωπευτική ημερήσια επιφάνεια και υπολογίστηκε το εμπειρικό ημιμεταβλητόγραμμα των σημειακών μετρήσεων βροχής της ημέρας αυτής. Για την επιλογή της αντιπροσωπευτικής ημέρας κάθε τύπου, υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης της στατιστικής επιφάνειας της μέσης τιμής του τύπου καιρού με κάθε μία από τις ημερήσιες επιφάνειες βροχής που έχουν καταταχθεί στον τύπο αυτό. Η ημερήσια επιφάνεια με τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης θεωρήθηκε ως η περισσότερο αντιπροσωπευτική για τον τύπο καιρού, και το ημιμεταβλητόγραμμα υπολογίστηκε με βάση τις σημειακές μετρήσεις της συγκεκριμένης ημέρας. Η ανάλυση έγινε για την υγρή περίοδο και στον Πίνακα 4.8 παρουσιάζεται για κάθε τύπο καιρού η ημέρα η οποία επιλέχτηκε και ο συντελεστής συσχέτισης της επιφάνειας βροχής με την στατιστική επιφάνεια της μέσης τιμής.

**Πίνακας 4.8** Αντιπροσωπευτικές ημέρες τύπων καιρού

Τύπος καιρού	Ημέρα	Συντελεστής συσχέτισης
W1	3/12/1976	0.939
W2	14/2/1975	0.941
NW1	23/11/1988	0.902
NW2	27/11/1973	0.800
SW1	2/12/1971	0.960
SW2	24/2/1974	0.783
MT1,2	26/1/1973 (MT2)	0.945
ΥΠΟΛ.	15/12/1987 (MB)	0.613

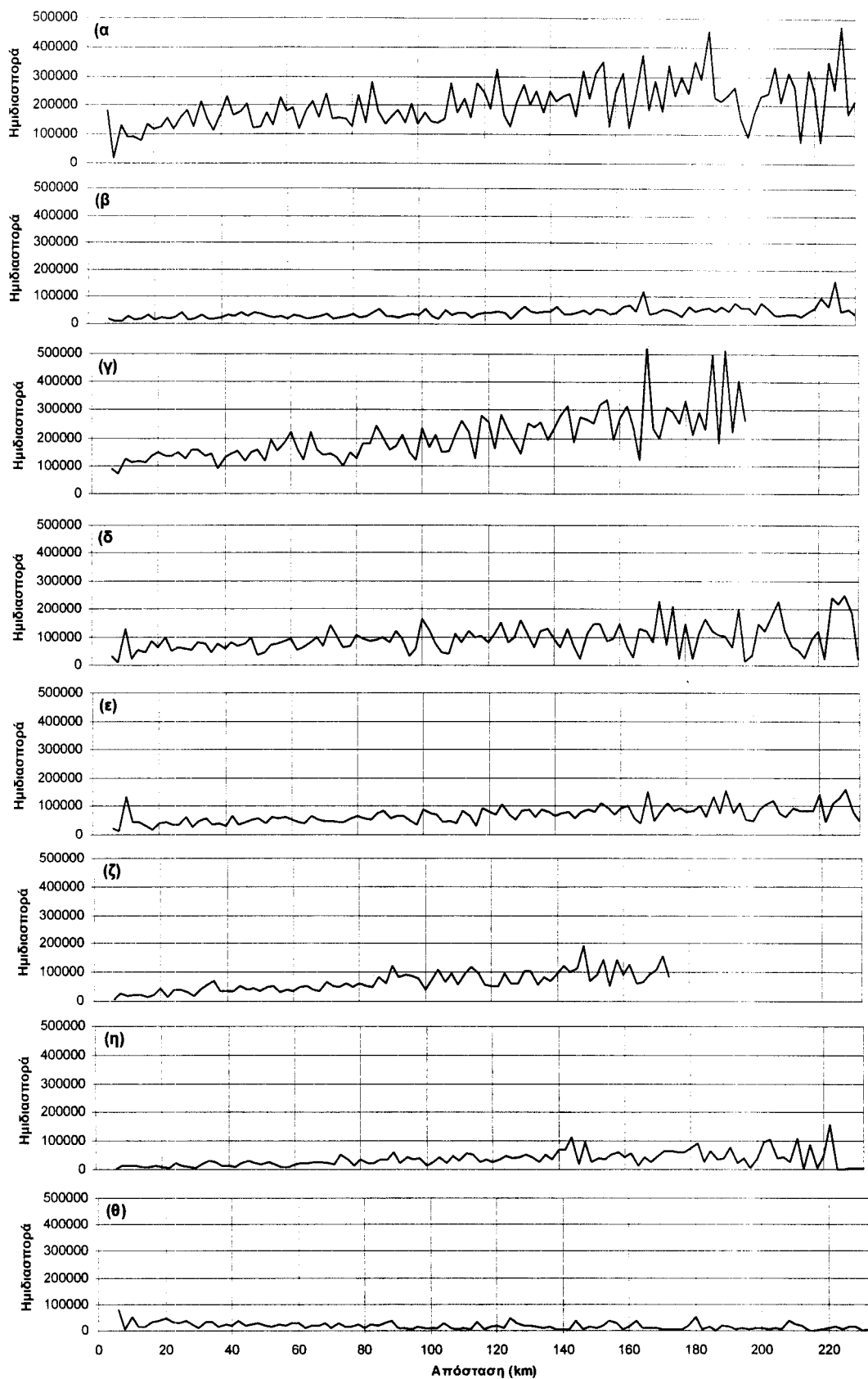
Όπως προκύπτει και από τον Πίνακα 4.9 οι συντελεστές συσχέτισης είναι πολύ υψηλοί, γεγονός που σημαίνει ότι οι επιφάνειες των

ημερών αυτών είναι σχεδόν ταυτόσημες με αυτές των μέσων επιφανειών των τύπων καιρού (Σχήματα 4.6α-4.13α), και έτσι τα συμπεράσματα της ανάλυσης με την κατάρτιση του ημιμεταβλητογράμματος αφορούν τελικά στην μέση κατανομή της βροχής κάθε τύπου καιρού.

Στο Σχήμα 4.19 παρουσιάζονται συγκριτικά τα ημιμεταβλητογράμματα των αντιπροσωπευτικών ημερών, όλων των τύπων καιρού. Όπως είναι φυσικό η κατανομή της βροχής στην αντιπροσωπευτική επιφάνεια κάθε τύπου έχει σημαντική επίδραση στην μορφή του ημιμεταβλητογράμματος των σημειακών μετρήσεων.

Από το Σχήμα 4.19 μπορούμε να εντοπίσουμε τα παρακάτω σημαντικά σημεία:

- Η ανισοκατανομή της βροχόπτωσης μεταξύ της ανατολικής και δυτικής πλευράς της περιοχής μελέτης που παρατηρείται σε όλους σχεδόν τους τύπους, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ημιδιασποράς συναρτήσει της απόστασης. Εξαιρέση αποτελεί ο τύπος ΥΠΟΛ όπου δεν παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στη βροχή μεταξύ των διαφόρων υποπεριοχών.
  - Η επιφάνεια του τύπου W1 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανισοκατανομή μεταξύ των δυτικών και των ανατολικών περιοχών, με αποτέλεσμα να προκύπτουν για όλες τις αποστάσεις μεγάλες τιμές της ημιδιασποράς.
  - Οι επιφάνειες των τύπων NW2 και SW2 που έχουν μικρότερη χωρική ανισοκατανομή, οδηγούν σε μικρές τιμές της ημιδιασποράς για όλες τις αποστάσεις.
- Οι μικρές τιμές της επιφανειακής βροχής του τύπου ΥΠΟΛ έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό πολύ μικρής ημιδιασποράς, για όλες τις αποστάσεις.



**Σχήμα 4.19** Ημεμεταβλητογράμματα αντιπροσωπευτικών ημερών για κάθε τύπο καιρού (α) W1 (β) W2 (γ) NW1 (δ) NW2 (ε) SW1 (ζ) SW2 (η) MT2 (θ) ΥΠΟΛ

## 4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη γεωγραφική ανάλυση που έγινε στα ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών της περιοχής μελέτης και τη στατιστική επεξεργασία τους με τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν και περιγράφηκαν, μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συνοπτικά συμπεράσματα:

1. Ο επικρατών τύπος καιρού επιδρά σημαντικά στη χωρική κατανομή των ισχυρών βροχοπτώσεων στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα στη δυτική περιοχή εκδηλώνονται βροχοπτώσεις όταν επικρατούν οι τύποι W1, W2, NW1, NW2 και SW1, ενώ στην ανατολική περιοχή όταν επικρατούν οι τύποι SW2 και MT2. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των διαφορετικών αναλύσεων που έγιναν, όπως από τις εμφανείς διαφορές μεταξύ των στατιστικών επιφανειών, την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των επιφανειών του ίδιου τύπου, και τις στατιστικά σημαντικές διαφορές της ημερήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης μεταξύ των διαφόρων υποπεριοχών.
2. Ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς του επιφανειακού ύψους βροχής σε ορισμένες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης, εξηγείται από τους τύπους καιρού, γεγονός που είναι αποτέλεσμα της επιρροής συγκεκριμένων τύπων καιρού στις περιοχές αυτές. Ακόμη σημαντικό είναι και το ποσοστό της διασποράς που εξηγείται από την εισαγωγή της υποπεριοχής. Το τελευταίο είναι ένδειξη της τάσης ορισμένων τύπων να επηρεάζουν συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές.
3. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που αφορούν στη χωρική κατανομή της βροχής των τύπων καιρού, είναι απόλυτα συμβατά με τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά των συνοπτικών καταστάσεων που κατατάχθηκαν στους τύπους αυτούς. Ακόμη τα αποτελέσματα είναι συμβατά και με τα κλιματικά και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.
4. Η εμπειρική μελέτη της σχέσης μεταξύ των τύπων καιρού και των χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης σε μια συγκεκριμένη περιοχή, μπορεί να είναι χρήσιμη στην μετάφραση των διαφόρων συνοπτικών καταστάσεων σε ποσοτική πληροφορία. Αν μιά τέτοια εμπειρική σχέση επιτευχθεί θα βελτιώσει την πρόγνωση της βροχής σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές, ιδιαίτερα όταν επικρατούν ορισμένοι τύποι

καιρού. Η σκέψη αυτή ενισχύεται από τα σημαντικά ποσοστά της διασποράς του ημερήσιου ύψους βροχής που εξηγεί η εισαγωγή της έννοιας των τύπων καιρού, στις περισσότερες από τις υποπεριοχές της περιοχής μελέτης.

5. Με βάση τα ενθαρρυντικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, θα πρέπει η επίδραση των τύπων καιρού στη γεωγραφική κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης να επαληθευτεί σε μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές και ειδικότερα στο σύνολο του Ελληνικού χώρου

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ**

**ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ**

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πραγματοποίηση των διαφόρων τύπων κυκλοφορίας σε μια γεωγραφική περιοχή εξαρτάται από πολλούς φυσικούς και μετεωρολογικούς παράγοντες, ενώ όπως είναι γνωστό το όλο μετεωρολογικό σύστημα διέπεται από χαοτική συμπεριφορά. Έτσι μικρές διαφορές στη αρχική κατάσταση ορισμένων παραγόντων όπως η θέση των μεγάλων κέντρων δράσης και η εκάστοτε χωρική κατανομή των αερίων μαζών, μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ διαφορετικές καταστάσεις καιρού μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα. Για παράδειγμα τυχαίες μικροδιακυμάνσεις στη θέση των μεγάλων αντικυκλώνων (Αζορών και Σιβηρίας), μπορούν να προκαλέσουν αποκλίσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων στην τροχιά μίας ύφεσης και κατά συνέπεια στον τύπο καιρού που πραγματοποιείται στις διάφορες γεωγραφικές περιοχές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η εκδήλωση των διαφόρων τύπων κυκλοφορίας να μην μπορεί να προβλεφθεί παρά μόνο σε χρονικό ορίζοντα ωρών ή μερικών ημερών. Παρά το γεγονός αυτό η μελέτη του εποχιακού καθεστώτος εκδήλωσης των διαφόρων τύπων καιρού μίας συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στα παρακάτω σημεία:

- στην καλύτερη κατανόηση του μετεωρολογικού καθεστώτος της περιοχής
- στον προσδιορισμό σχέσεων στην πιθανότητα διαδοχής κάθε τύπου από τον εαυτό του (εμμονή) και από κάθε ένα από του υπόλοιπους τύπους. Οι σχέσεις αυτές εφόσον είναι στατιστικά σημαντικές μπορούν να αξιοποιηθούν στην πρόγνωση της χρονικής εξέλιξης των μετεωρολογικών μεταβλητών
- στην ανίχνευση και επαλήθευση των ιστορικών κλιματικών μεταβολών
- στον προσδιορισμό της επίδρασης των τύπων καιρού στο βροχομετρικό καθεστώς, αλλά και στη γεωγραφική κατανομή των ξηρασιών και των υγρών περιόδων

Στο παρόν Κεφάλαιο εξετάζονται στην περιοχή μελέτης όλα τα προηγούμενα σημεία, με την εφαρμογή διαφόρων στατιστικών επεξεργασιών στις ημερήσιες και μηνιαίες χρονοσειρές εκδήλωσης των τύπων καιρού και στις μηνιαίες χρονοσειρές σημειακής βροχόπτωσης. Όλες οι επεξεργασίες έγιναν για τα υδρολογικά έτη 1970-71 έως 1989-90, για να είναι συμβατές με τις αναλύσεις της ημερήσιας και ωριαίας βροχόπτωσης

που έγιναν για την ίδια χρονική περίοδο και παρουσιάζονται στα Κεφάλαια 4 και 6. Οι χρονοσειρές εκδήλωσης των τύπων καιρού αντλήθηκαν από το ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού του Μαχαίρα, ενώ οι χρονοσειρές των σημειακών μηνιαίων βροχοπτώσεων προέκυψαν μετά από επεξεργασία των ημερήσιων βροχοπτώσεων σταθμών που παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 4.

Στο επόμενο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται για όλους τους τύπους καιρού, η ανάλυση συχνοτήτων στους μήνες, η στατιστική ανάλυση των μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης, και η μελέτη της αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης των ημερήσιων χρονοσειρών. Στο υποκεφάλαιο 5.3 παρουσιάζεται η συγκριτική ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων και των χρονοσειρών εκδήλωσης των τύπων καιρού. Η ανάλυση αυτή έχει στόχο τον προσδιορισμό της επίδρασης των τύπων καιρού στο βροχομετρικό καθεστώς μιας γεωγραφικής περιοχής, αλλά και στην γεωγραφική έκταση των υγρών και ξηρών περιόδων. Στο τελευταίο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα, που προέκυψαν από τις διάφορες επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν.

## **5.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ**

### **5.2.1 Συχνότητα εκδήλωσης τύπων καιρού**

Με στόχο την καλύτερη κατανόηση του κλιματικού καθεστώτος της περιοχής έγινε ανάλυση συχνοτήτων και εξετάστηκε η κατανομή της εκδήλωσης όλων των τύπων καιρού σε μηνιαία και ετήσια βάση, κατά το χρονικό διάστημα από τον Οκτώβριο του 1970 έως το Σεπτέμβριο του 1990. Η ανάλυση είχε στόχο να εντοπίσει τους επικρατέστερους τύπους κάθε εποχής, την αναλογία βροχερών και ξηρών τύπων, καθώς και τις εποχές συχνότερης εκδήλωσης των τύπων καιρού. Οι σημαντικότερες διαπιστώσεις παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια.

- Οι τύποι MB και SW1 παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εκδήλωσης στο σύνολο του έτους, ενώ οι A5 και W2 τη μικρότερη. Ακόμη κατά τη υγρή περίοδο τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφανίζουν οι τύποι MB και SW1, ενώ κατά τη θερμή οι τύποι MB και DOR.



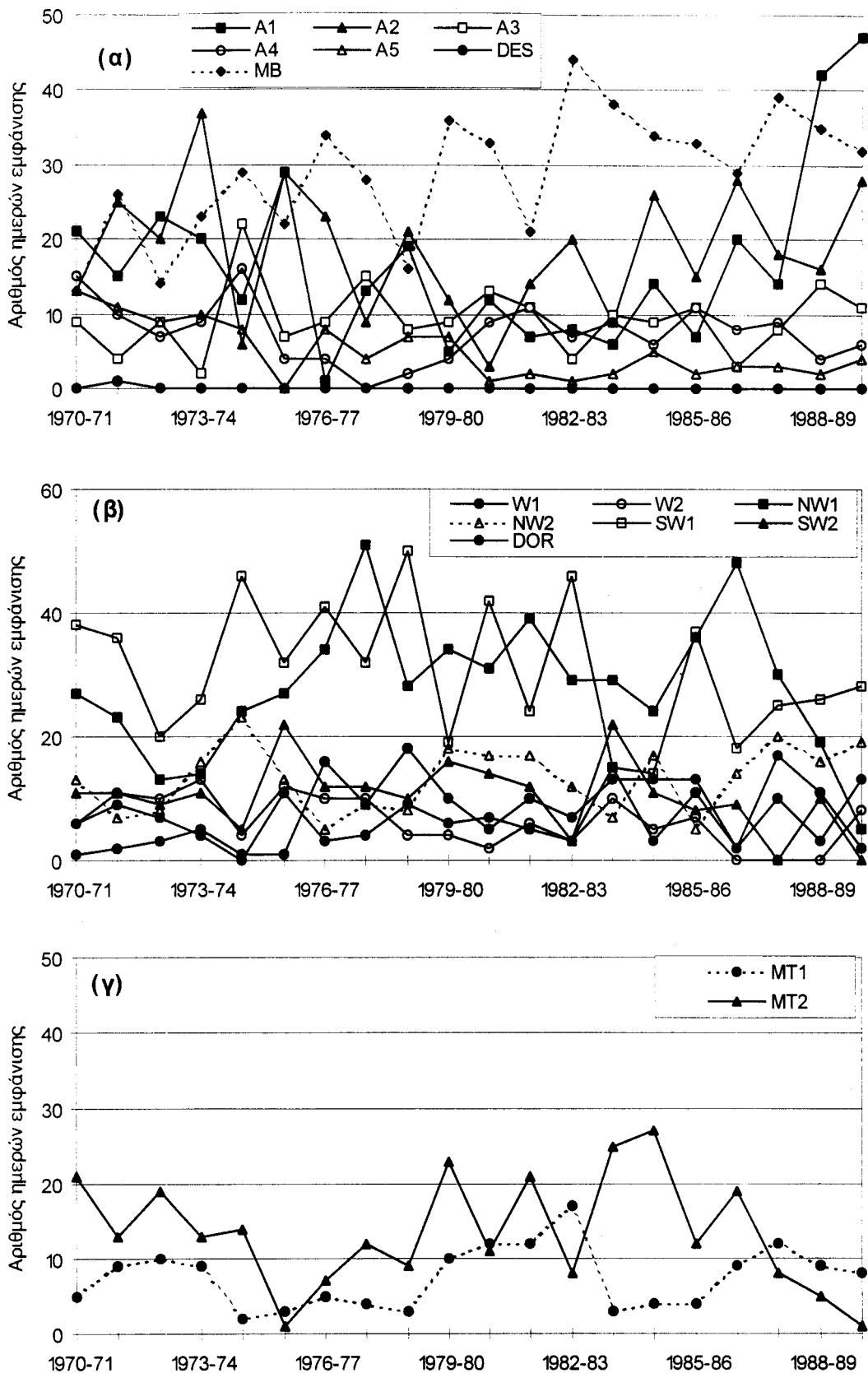
- Οι τύποι που προκαλούν καλοκαιρία (αντικυκλωνικοί, MB, DSEC) υπερτερούν σε αριθμό από αυτούς που προκαλούν κακό καιρό (υφειακοί, MT2) στο σύνολο του έτους. Κατά την υγρή περίοδο οι υφειακοί τύποι είναι λίγο περισσότεροι από τους αντικυκλωνικούς.
- Οι μήνες της υγρής περιόδου (Οκτώβριος-Απρίλιος) χαρακτηρίζονται από την παρουσία των τύπων NW1 και SW1, ενώ οι μήνες της ξηρής (Μάιος-Σεπτέμβριος) από τον τύπο MB. Ιδιαίτερα κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο πάνω από μία στις τρεις ημέρες κατατάσσεται στον τύπο αυτό.
- Ο τύπος SW2 εκδηλώνεται ιδιαίτερα συχνά τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο, ενώ ο τύπος DSEC σχεδόν αποκλειστικά κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο.
- Οι ασταθείς τύποι εκδηλώνονται κατά τους μήνες της υγρής, ενώ οι σταθεροί κατά τους μήνες της ξηρής περιόδου.

Η ανάλυση συχνοτήτων, έχει γίνει και στην εργασία του Μαχαίρα [1989] για το χρονικό διάστημα 1950-75 και οι περισσότερες από τις παραπάνω διαπιστώσεις είχαν επισημανθεί σε αυτή την εργασία.

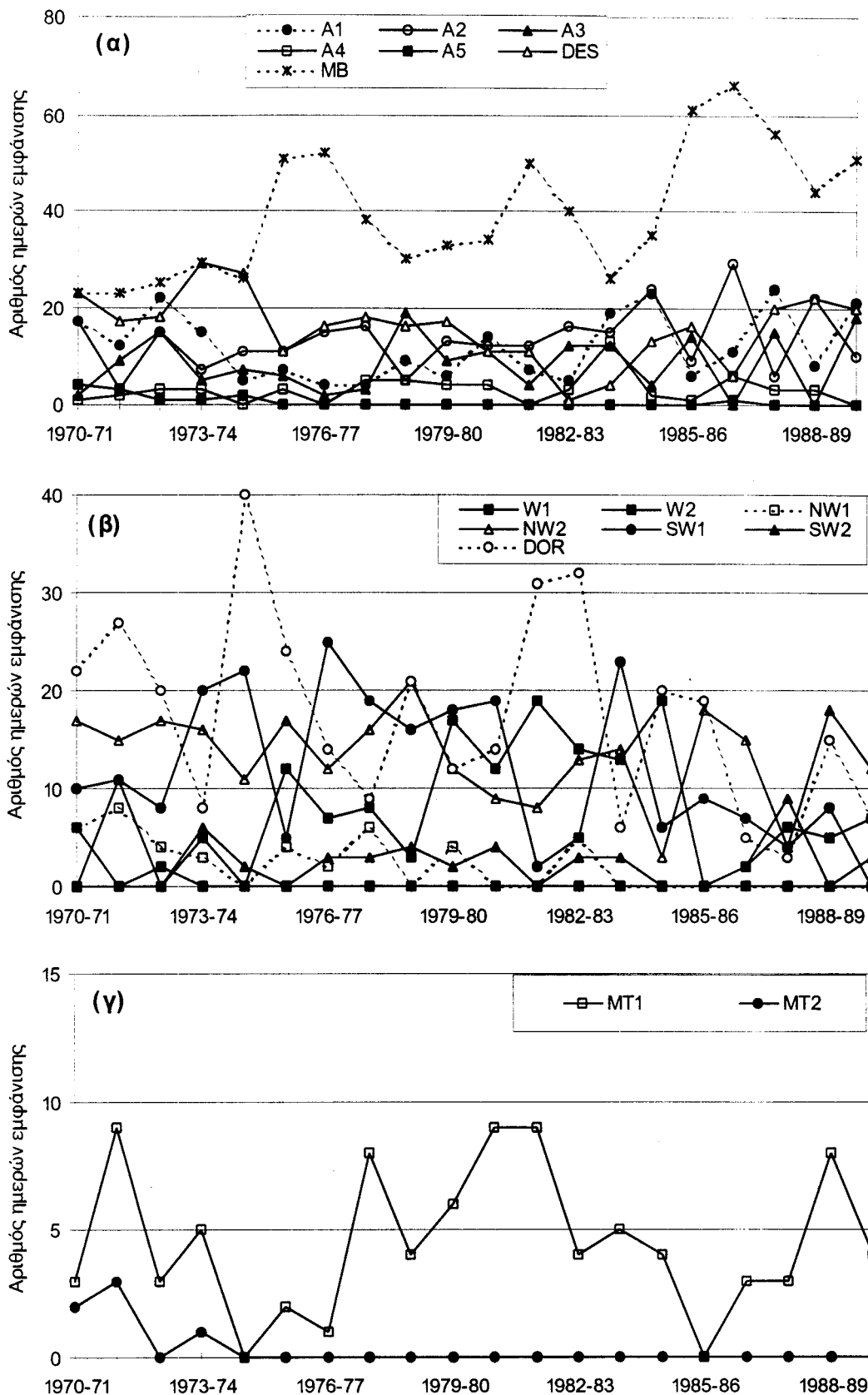
### **5.2.2 Ανάλυση μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης τύπων καιρού**

Με την ανάλυση αυτή μελετάται η εξέλιξη της εκδήλωσης των τύπων καιρού στα διαδοχικά έτη και έχει στόχο την ανίχνευση κλιματικών διακυμάνσεων και τον εντοπισμό περιόδων που η κατανομή ορισμένων τύπων καθοριστικών για τις βροχοπτώσεις, έχει διαφοροποιηθεί από τη μέση. Για το σκοπό αυτό καταρτίστηκαν οι χρονοσειρές του αριθμού ημερών εκδήλωσης κάθε τύπου για την υγρή και ξηρή περίοδο των είκοσι υδρολογικών ετών (1970-71 έως 1989-90). Στις χρονοσειρές αυτές έγιναν στατιστικές δοκιμές για την ανίχνευση τάσεων στον αριθμό ημερών ή για τον εντοπισμό περιόδων με διαφορετική μέση τιμή από τη συνήθη, ενώ υπολογίστηκαν και τα στατιστικά χαρακτηριστικά των αντίστοιχων δειγμάτων. Ο κύριος στόχος των επεξεργασιών αυτών είναι η σύνδεση των χρονοσειρών με κλιματικές διακυμάνσεις και την πραγματοποίηση υγρών ή ξηρών χρονικών περιόδων. Παρόμοια ανάλυση έχει γίνει από τους Bardossy and Caspary [1990], οι οποίοι εξέτασαν τις ημερήσιες σειρές τύπων κυκλοφορίας κατά Hess and Brezowsky [1969], με σκοπό την ανίχνευση κλιματικών αλλαγών στην Ευρώπη.

Στα Σχήματα 5.1α έως 5.1γ έχουν σχεδιαστεί για την υγρή περίοδο οι χρονοσειρές των ημερών εκδήλωσης για τρεις κατηγορίες τύπων καιρού (αντικυκλωνικοί, υφεσιακοί και οι μικτοί μαζί με τους χαρακτηριστικούς), ενώ στα Σχήματα 5.2α έως 5.2γ έχουν σχεδιαστεί οι ίδιες χρονοσειρές για την ξηρή περίοδο.



Σχήμα 5.1 Χρονοσειρές ημερών εκδήλωσης τύπων καιρού υγρής περιόδου (α) αντικυκλωνικοί (β) υφεσιακοί (γ) μικτοί



**Σχήμα 5.2** Χρονοσειρά ημερών εκδήλωσης τύπων καιρού ξηρής περιόδου  
 (α) αντικυκλωνικοί (β) υφεσιακοί (γ) μικτοί

Από τα Σχήματα 5.1 και 5.2 παρά την έντονη διακύμανση των τιμών, είναι φανερή στις χρονοσειρές ορισμένων τύπων, η ύπαρξη πτωτικών και ανοδικών τάσεων, καθώς και περιόδων όπου η μέση τιμή διαφοροποιείται από τη συνήθη. Για να διαπιστωθεί η τυχαιότητα των χρονοσειρών εφαρμόστηκε η στατιστική δοκιμή Kendall [Kottegoda, 1980, pp. 32], ενώ ειδικότερα για τη ανίχνευση γραμμικής τάσης χρησιμοποιήθηκε η στατιστική δοκιμή της γραμμικής παλινδρόμησης [Kottegoda, 1980, pp. 32-33].

Η πρώτη δοκιμή εξετάζει τη μηδενική υπόθεση ότι δεν υπάρχει τάση και η χρονοσειρά είναι τυχαία, ενώ η δεύτερη τη μηδενική υπόθεση ότι η κλίση της ευθείας που εκφράζει τη γραμμική τάση της χρονοσειράς, είναι μηδέν. Σε κάθε στατιστική δοκιμή που εφαρμόζεται στα δεδομένα μίας χρονοσειράς, υπολογίζεται μία παράμετρος, η οποία συγκρίνεται με την τιμή που αντιστοιχεί στα συνήθη επίπεδα εμπιστοσύνης. Οι μεγάλες απόλυτες τιμές της παραμέτρου αντιστοιχούν σε μικρά επίπεδα εμπιστοσύνης (για τα οποία γίνεται δεκτή η μηδενική υπόθεση), και άρα σε μεγαλύτερη βεβαιότητα για τη μη τυχαιότητα ή τη γραμμική τάση των χρονοσειρών. Οι αρνητικές τιμές της παραμέτρου υποδηλώνουν πτωτική τάση ενώ οι θετικές αυξητική τάση της χρονοσειράς. Οι τιμές της παραμέτρου που αντιστοιχούν στα επίπεδα εμπιστοσύνης 1%, 5% και 10% είναι  $\pm 2.58$ ,  $\pm 1.96$  και  $\pm 1.64$  για τη δοκιμή Kendall, ενώ αντίστοιχα για τη δοκιμή της γραμμικής παλινδρόμησης είναι  $\pm 2.85$ ,  $\pm 2.09$  και  $\pm 1.72$ .

Στον Πίνακα 5.1 παρουσιάζονται οι τιμές των στατιστικών παραμέτρων που προέκυψαν από την εφαρμογή των δύο δοκιμών στις χρονοσειρές αριθμού ημερών εκδήλωσης των 16 τύπων καιρού κατά την υγρή και ξηρή περίοδο. Με πλάγια γράμματα γράφονται οι τιμές που είναι εκτός των ορίων του επιπέδου εμπιστοσύνης 5%, ενώ με έντονα πλάγια οι τιμές εκτός των ορίων του επιπέδου εμπιστοσύνης 1%. Δεν υπολογίστηκαν οι παράμετροι των χρονοσειρών που περιλαμβάνουν πολλά μηδενικά (χρονοσειρές τύπων που συνήθως δεν εκδηλώνονται κατά τη συγκεκριμένη περίοδο). Πρέπει να σημειωθεί ότι το μικρό μήκος (20 στοιχεία) και η μεγάλη διασπορά των χρονοσειρών των τύπων καιρού, είναι στοιχεία που επιδρούν αρνητικά στην αξία των στατιστικών δοκιμών, παρά το γεγονός ότι λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της παραμέτρου που εξετάζεται.

**Πίνακας 5.1** Τιμές της παραμέτρου των στατιστικών δοκιμών, στις μηνιαίες χρονοσειρές ημερών εκδήλωσης τύπων καιρού

Τύπος καιρού	ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ		ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ	
	Δοκιμή Kendall	Δοκιμή Παλινδρόμησης	Δοκιμή Kendall	Δοκιμή Παλινδρόμησης
A1	-0.13	1.00	0.58	0.52
A2	0.13	-0.03	0.71	1.62
A3	0.32	0.28	0.58	0.74
A4	-1.17	-0.91	-0.32	0.62
A5	<b>-3.12</b>	<b>-4.31</b>	-	-
W1	1.49	1.85	0.91	1.07
W2	<b>-2.92</b>	<b>-2.94</b>	-	-
NW1	0.84	0.34	-	-
NW2	0.90	1.14	-1.43	-2.01
SW1	-1.30	-1.49	-1.95	<b>-2.15</b>
SW2	-1.82	-1.89	-1.43	-0.44
MT1	0.32	0.94	-0.45	0.13
MT2	-1.23	-0.66	-	-
DSEC	-	-	-1.49	-1.73
MB	<b>2.53</b>	<b>3.57</b>	<b>3.17</b>	<b>4.56</b>
DOR	-0.26	0.84	<b>-2.07</b>	<b>-2.17</b>

Από τα δεδομένα του Πίνακα 5.1, διαπιστώνεται στατιστικά σημαντική πτωτική τάση στις χρονοσειρές των τύπων A5 και W2 της υγρής περιόδου και αυξητική τάση στις χρονοσειρές του τύπου MB και των δύο περιόδων. Ακόμη σχετικά σημαντική είναι η πτωτική τάση των τύπων SW1 και DOR της ξηρής περιόδου.

Για την εκτίμηση των στατιστικών χαρακτηριστικών των χρονοσειρών όπως η διασπορά και η αυτοσυσχέτιση, υπολογίστηκαν οι βασικές στατιστικές παράμετροι. Στους Πίνακες 5.2 και 5.3 παρουσιάζονται για την υγρή και ξηρή περίοδο αντίστοιχα, η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και οι συντελεστές διασποράς, ασυμμετρίας και αυτοσυσχέτισης, των μηνιαίων χρονοσειρών των ημερών εκδήλωσης όλων των τύπων καιρού.

**Πίνακας 5.2** Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης τύπων καιρού υγρής περιόδου

Τύπος καιρού	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντ/στής διασποράς	Συντ/στής ασυμμετρίας	Συντελεστής αυτοσυσχέτισης
A1	16.8	11.8	0.70	1.3	0.36
A2	18.6	8.7	0.47	0.1	-0.29
A3	9.4	4.6	0.49	0.8	-0.34
A4	7.6	4.0	0.53	0.3	0.33
A5	5.1	3.8	0.74	0.6	0.53
W1	7.8	5.4	0.70	0.3	0.18
W2	6.3	4.1	0.66	0.0	0.32
NW1	28.3	11.0	0.39	0.1	0.45
NW2	13.2	5.3	0.41	-0.1	0.18
SW1	30.8	10.9	0.36	0.1	-0.25
SW2	10.4	5.8	0.55	0.2	-0.15
MT1	7.5	4.1	0.54	0.5	0.37
MT2	13.5	7.6	0.56	0.1	0.15
DSEC	0.1	0.2	4.47	4.5	-0.06
MB	29.0	8.6	0.30	-0.4	0.18
DOR	6.8	4.5	0.67	0.7	-0.38

**Πίνακας 5.3** Στατιστικά χαρακτηριστικά μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης τύπων καιρού ξηρής περιόδου

Τύπος καιρού	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντ/στής διασποράς	Συντ/στής ασυμμετρίας	Συντελεστής αυτοσυσχέτισης
A1	12.0	6.9	0.58	0.5	0.08
A2	13.4	6.4	0.48	0.7	-0.47
A3	8.4	5.9	0.71	0.3	-0.51
A4	3.1	2.9	0.97	2.0	-0.09
A5	0.6	1.1	1.90	2.1	0.74
W1	7.8	6.3	0.82	0.5	0.34
W2	0.1	0.4	4.47	4.5	-0.06
NW1	2.1	2.7	1.26	0.8	0.26
NW2	13.4	4.7	0.35	-0.8	-0.18
SW1	11.9	7.7	0.65	0.3	0.09
SW2	2.8	3.0	1.11	1.4	-0.43
MT1	4.5	2.9	0.64	0.3	0.11
MT2	0.3	0.8	2.67	2.8	0.45
DSEC	15.8	7.1	0.45	-0.3	0.47
MB	39.7	13.4	0.34	0.4	0.61
DOR	17.5	10.0	0.57	0.5	0.07

Από τα δεδομένα των Σχημάτων 5.1 και 5.2 και των Πινάκων 5.2 και 5.3 μπορούμε να επισημάνουμε τα παρακάτω σημεία που σχετίζονται με την εξέλιξη των χρονοσειρών.

- Ο αριθμός των ημερών εκδήλωσης των περισσότερων τύπων και των δύο περιόδων παρουσιάζει σημαντική διακύμανση από έτος σε έτος, γεγονός που επιβεβαιώνεται από τις υψηλές τιμές του συντελεστή διασποράς. Οι τύποι της υγρής περιόδου με τη μικρότερη διακύμανση είναι οι MB, SW1 και NW1 (συντελεστές διασποράς κάτω από 0.40), ενώ οι τύποι της θερμής περιόδου είναι οι MB, NW2 και DSEC (συντελεστές διασποράς μέχρι 0.45). Είναι αξιοσημείωτο ότι και στις δύο περιπτώσεις οι τύποι με τη μικρότερη διακύμανση είναι αυτοί που έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα εκδήλωσης στη συγκεκριμένη περιοχή.
- Η περίοδος στην οποία φαίνεται να υπάρχει σημαντική αλλαγή στον αριθμό εκδήλωσης των τύπων καιρού της υγρής περιόδου, είναι η τελευταία τριετία 1987-88 έως 1989-90. Στο διάστημα αυτό υπάρχει μια σαφής άνοδος των συχνότερων αντικυκλωνικών τύπων (A1, A2), που συνοδεύεται από αντίστοιχη πτώση των συχνότερων υφεσιακών (SW1, NW1) αλλά και του MT2.
- Η διασπορά είναι μεγαλύτερη στις χρονοσειρές των τύπων καιρού της ξηρής περιόδου από ότι της υγρής.
- Οι περισσότεροι συντελεστές ασυμμετρίας των δειγμάτων και των δύο περιόδων είναι θετικοί, γεγονός που υποδηλώνει την παρουσία ορισμένων μεγάλων τιμών.
- Η ύπαρξη αυτοσυσχέτισης στις χρονοσειρές αριθμού ημερών εκδήλωσης δεν έχει φυσική ερμηνεία. Έτσι στις περιπτώσεις που έχουμε σημαντικό συντελεστή αυτοσυσχέτισης κάποιων τύπων (MB ξηρής περιόδου, A5 και των δύο περιόδων), αυτός μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη τάσης ή στην παρουσία πολλών μηδενικών στη χρονοσειρά.

### **5.2.3 Ανάλυση διαδοχής τύπων καιρού**

Με την ανάλυση διαδοχής εξετάζεται για κάθε τύπο καιρού η εμμονή (πιθανότητα επικράτησης του ίδιου τύπου την επόμενη ημέρα), καθώς και η πιθανότητα διαδοχής του από οποιονδήποτε άλλο τύπο. Η ανάλυση έχει στόχο να εντοπίσει την τάση ορισμένων τύπων να εκδηλώνονται για πολλές διαδοχικές ημέρες ή ζεύγη τύπων οι οποίοι έχουν μεγάλη πιθανότητα να εκδηλώνονται διαδοχικά. Οι παραπάνω σχέσεις εφόσον είναι στατιστικά



σημαντικές μπορούν να συμβάλλουν στην καλύτερη πρόγνωση της εξέλιξης εκείνων των μετεωρολογικών μεταβλητών, οποίες εξαρτώνται από τον τύπο καιρού.

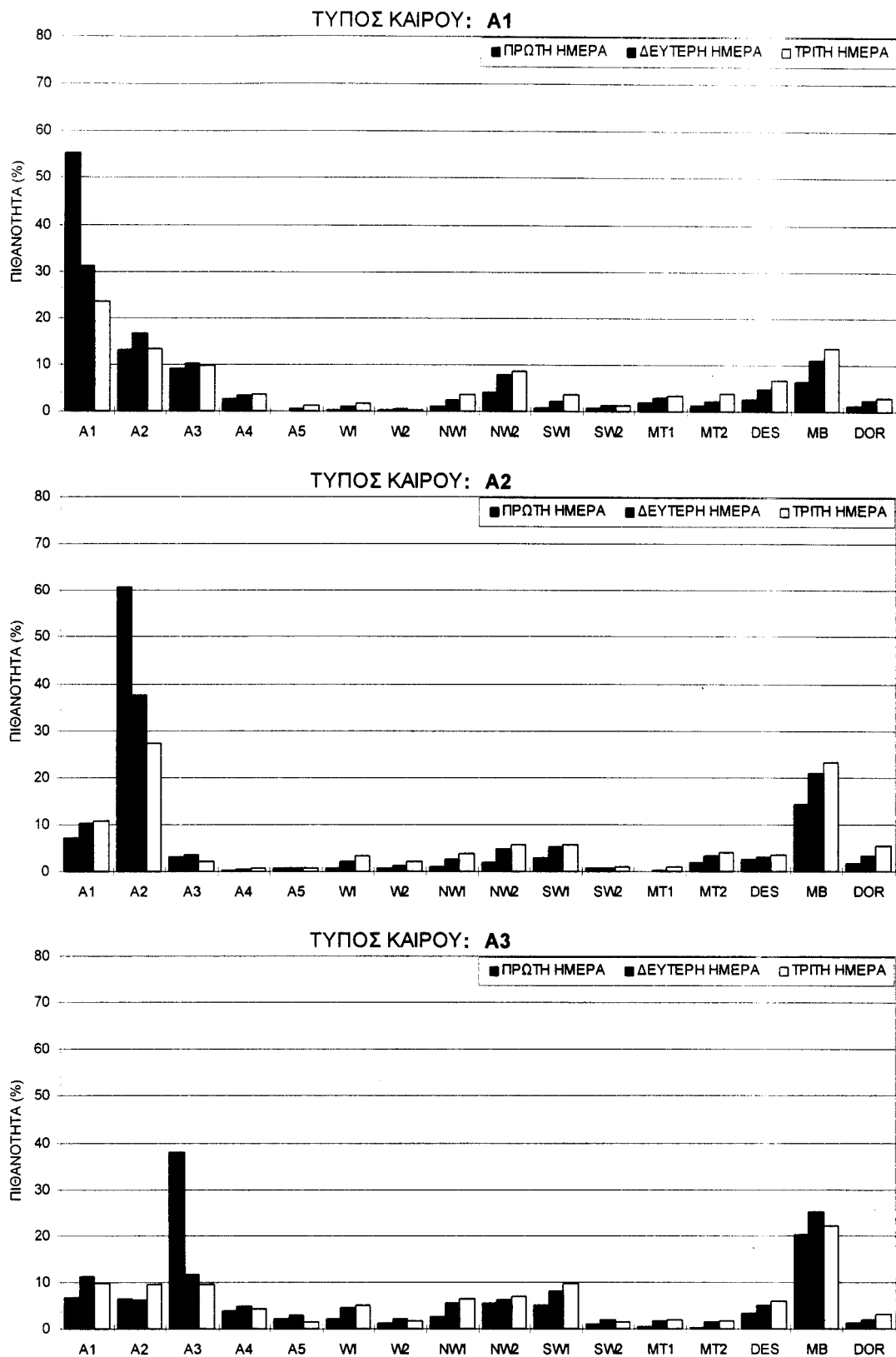
Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με βάση τις ημερήσιες χρονοσειρές εκδήλωσης, όπως αυτές εξήχθησαν από το ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού. Για κάθε τύπο καιρού που επικρατεί μία συγκεκριμένη ημέρα, υπολογίστηκε η πιθανότητα διαδοχής του τις επόμενες τρεις ημέρες από οποιονδήποτε από τους 16 τύπους. Η πιθανότητα αυτή εκτιμάται για κάθε τύπο με βάση τα ακόλουθα βήματα:

1. εξάγονται οι μέρες που εκδηλώθηκε ο συγκεκριμένος τύπος και υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός τους
2. εξετάζεται ο τύπος καιρού που εκδηλώθηκε την επόμενη ημέρα, για το σύνολο των ημερών εκδήλωσης του τύπου που εξετάζεται, και για κάθε έναν από τους 16 τύπους καιρού, υπολογίζεται ο συνολικός αριθμός εκδήλωσης
3. εκτιμάται η πιθανότητα διαδοχής του τύπου που εξετάζεται, από κάθε έναν τύπο, ως το πηλίκο του αριθμού ημερών εκδήλωσης του κάθε τύπου κατά την επόμενη ημέρα, προς τον αρχικό αριθμό ημερών εκδήλωσης του τύπου που εξετάζεται
4. Επαναλαμβάνονται τα βήματα 2 έως 4 για την εξέταση του τύπου καιρού που εκδηλώθηκε μετά από δύο ή περισσότερες ημέρες

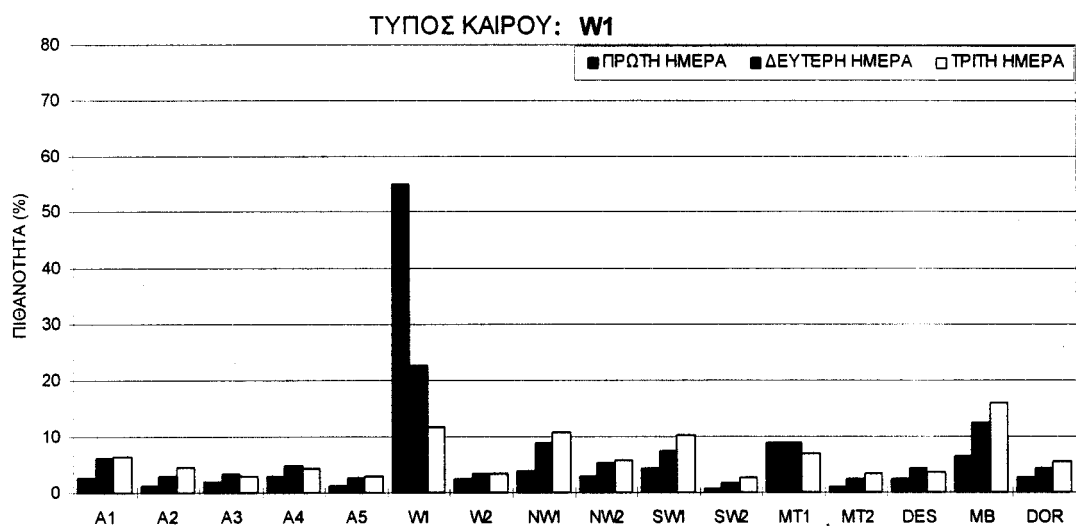
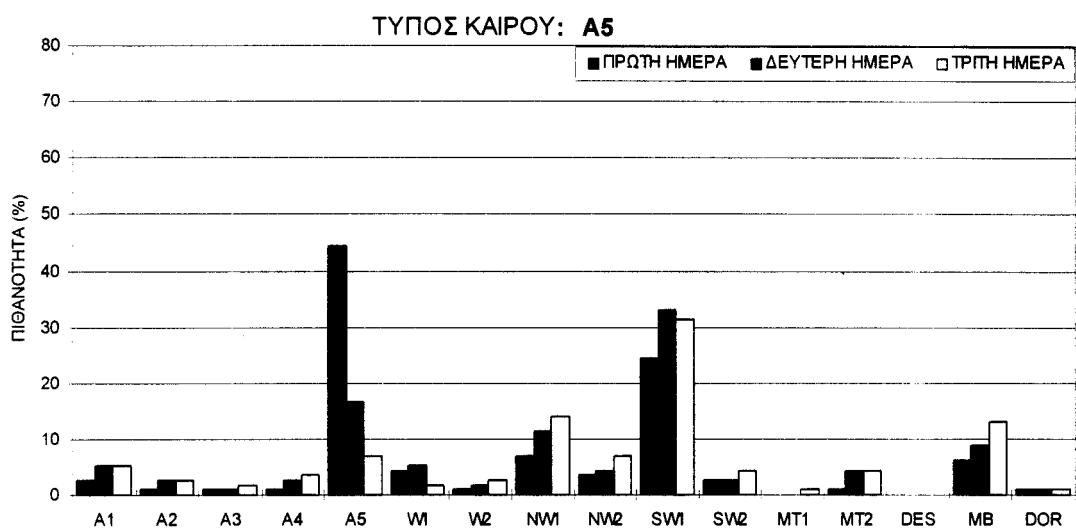
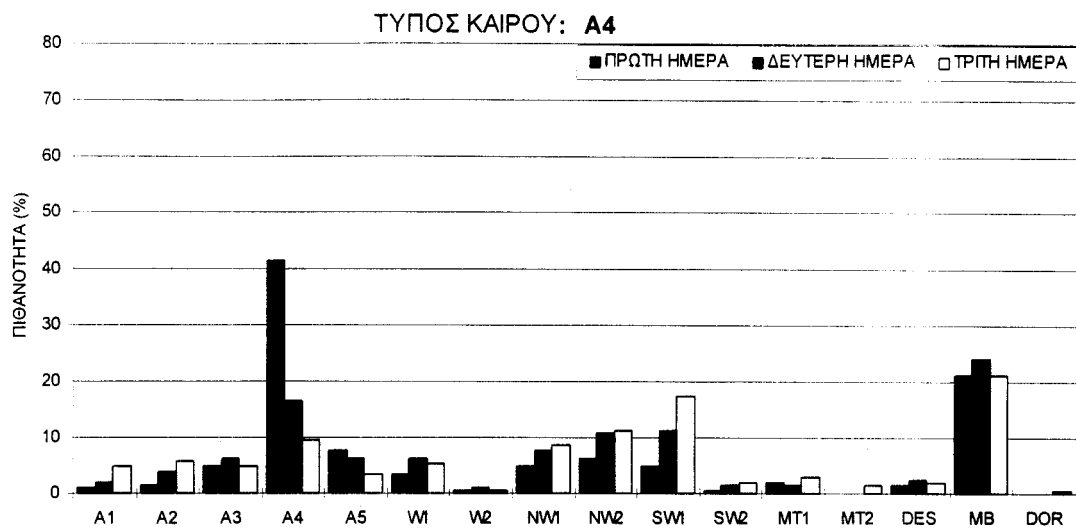
Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται για κάθε τύπο καιρού, η πιθανότητα διαδοχής του από τον εαυτό του και από όλους τους υπόλοιπους, για κάθε μία από τις επόμενες τρεις ημέρες. Από το Σχήμα 5.3 μπορούμε να επισημάνουμε τα παρακάτω σημεία:

- Η τάση όλων των τύπων καιρού να διαδέχονται το εαυτό τους, είναι χαρακτηριστική. Έτσι για κάθε έναν από τους 16 τύπους, τη μεγαλύτερη πιθανότητα να το διαδεχτεί τις επόμενες ημέρες έχει ο ίδιος ο τύπος που εξετάζεται. Είναι χαρακτηριστικό ότι για την πρώτη ημέρα η πιθανότητα αυτή είναι μεγαλύτερη από 40% σε 14 τύπους, ενώ σε επτά από αυτούς είναι μεγαλύτερη από 60%. Ακόμη τη δεύτερη ημέρα η πιθανότητα είναι μεγαλύτερη από 30% σε οκτώ τύπους, ενώ τη τρίτη ημέρα μεγαλύτερη από 20% σε επτά τύπους.

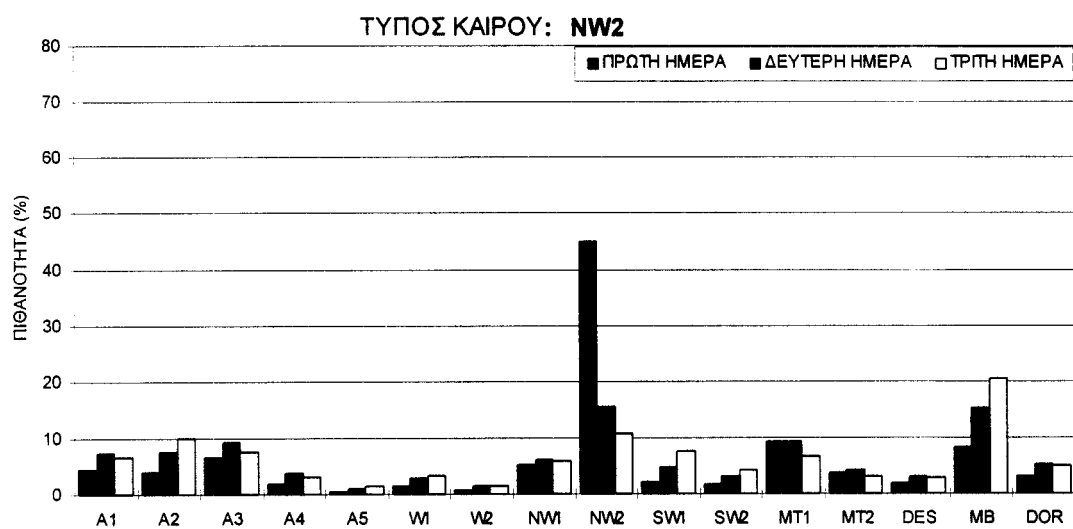
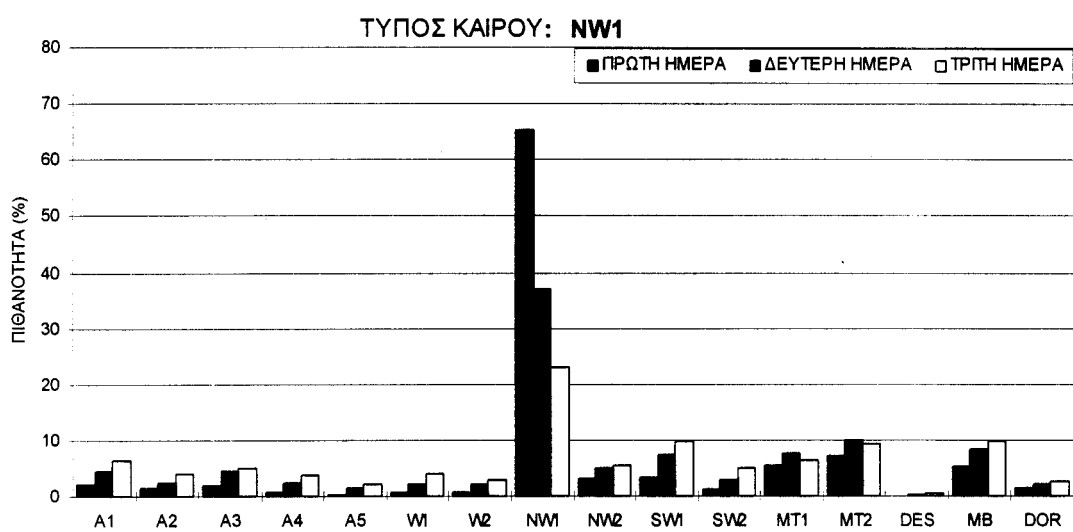
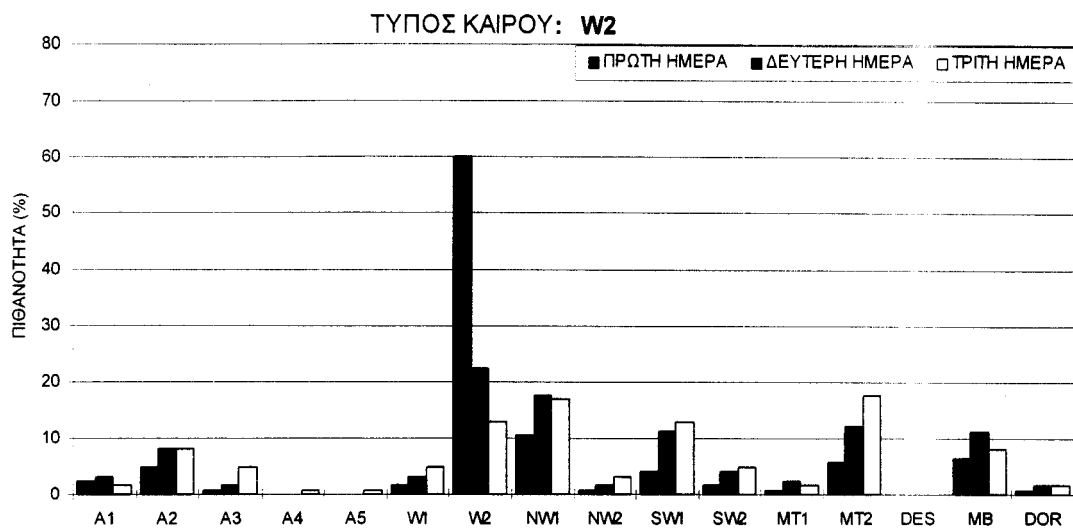
- Η εμμονή ορισμένων τύπων είναι ισχυρότερη, όπως προκύπτει από τις μεγάλες πιθανότητες διατήρησής της για δύο (W1, W2, SW2, DOR) ή και τρεις (A1, A2, NW1, SW1, MT2, DSEC, MB) ημέρες.
- Δε φαίνεται να υπάρχει τάση κάποιων τύπων να διαδέχονται κάποιους άλλους εκτός ίσως από το ότι όλοι σχεδόν οι τύποι να παρουσιάζουν κάποια αυξημένη πιθανότητα τους διαδεχτεί ο τύπος της ασθενούς βαροβαθμίδας (MB). Το γεγονός αυτό οφείλεται στη μεγάλη συχνότητα εκδήλωσης του τύπου αυτού. Ακόμη αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση του τύπου A5 που και για τις τρεις επόμενες ημέρες παρουσιάζει σημαντική πιθανότητα (γύρω στο 30%) να το διαδεχτεί ο τύπος SW1.



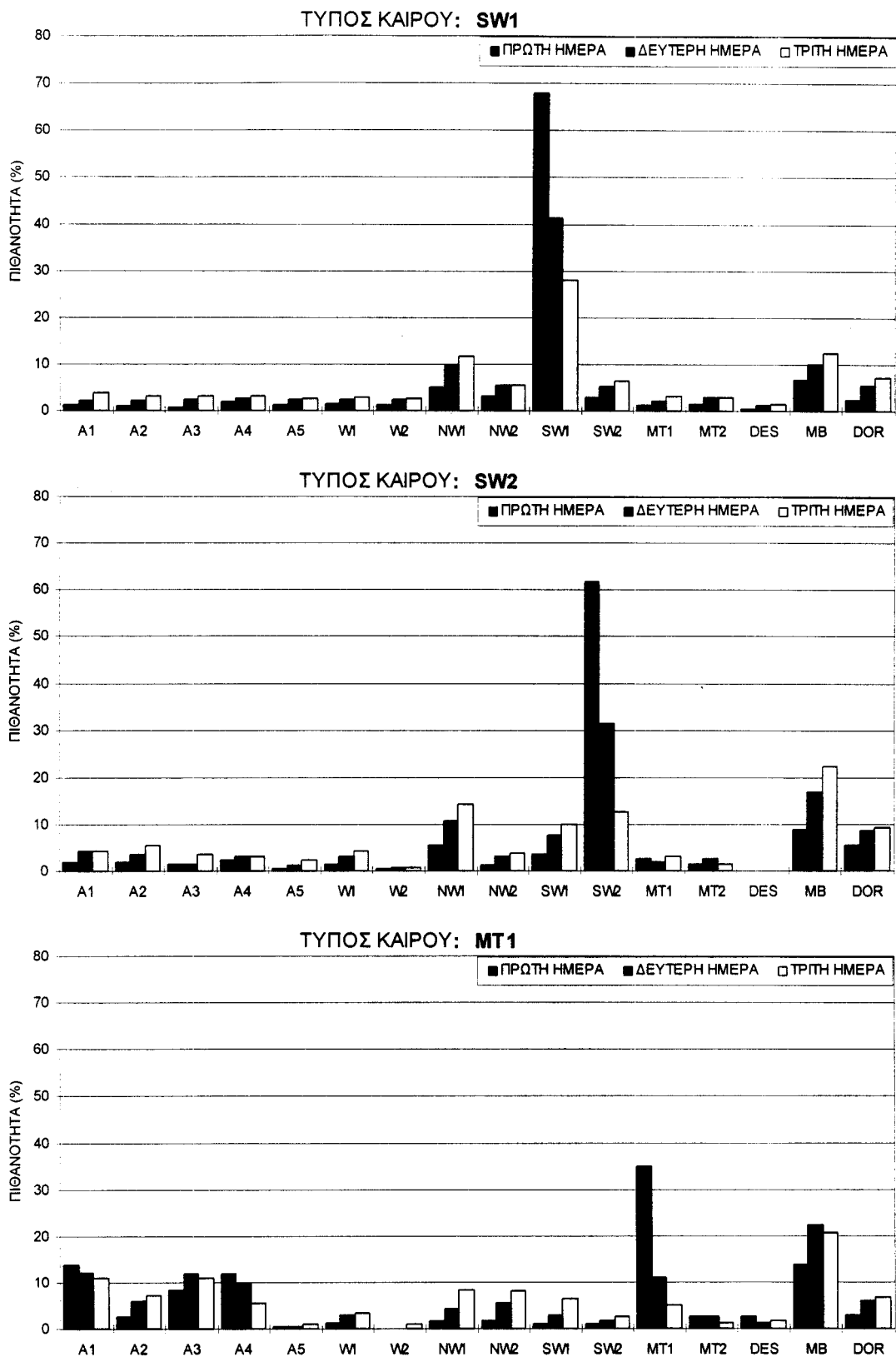
**Σχήμα 5.3** Πιθανότητα διαδοχής τύπων A1, A2, A3 από κάθε έναν από τους 16 τύπους κατά τις επόμενες τρεις ημέρες



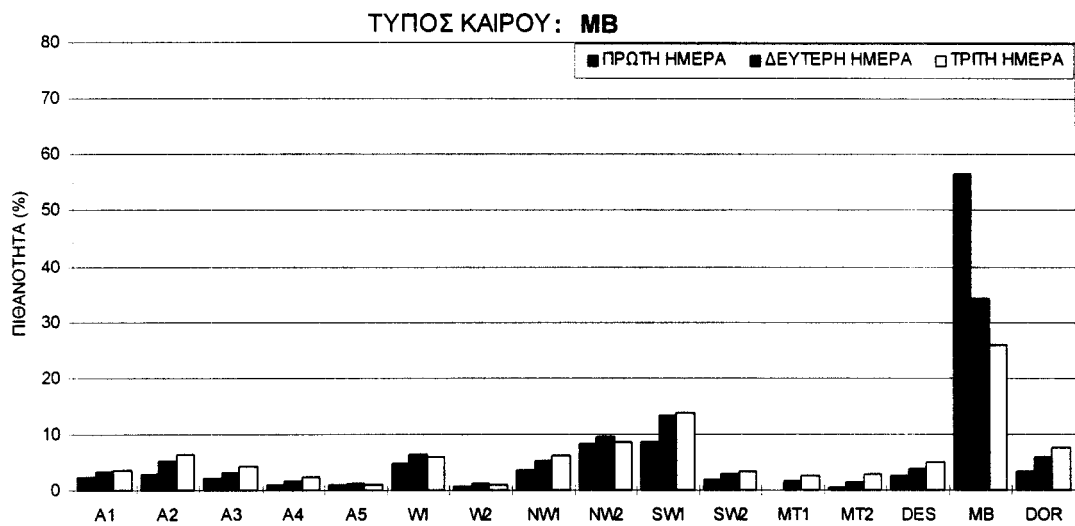
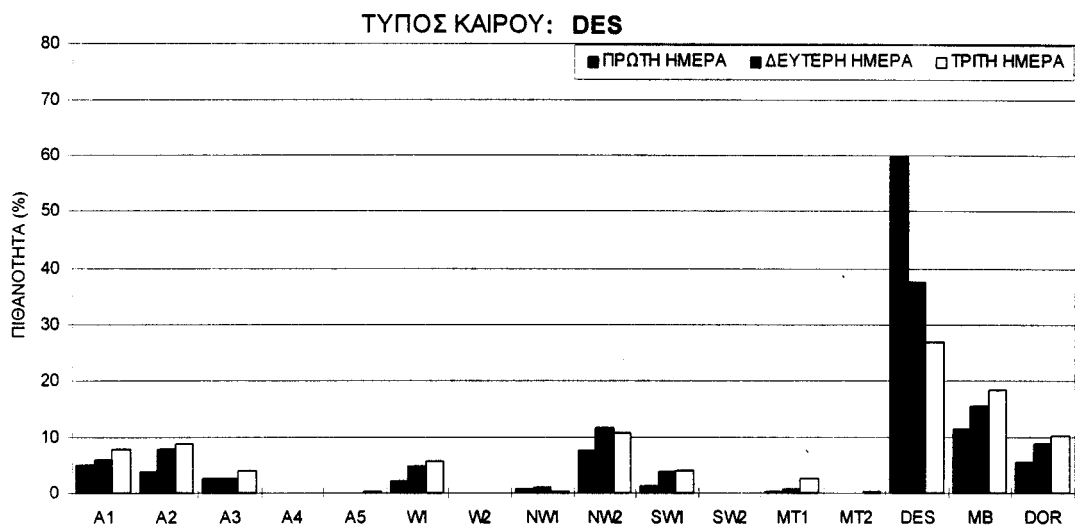
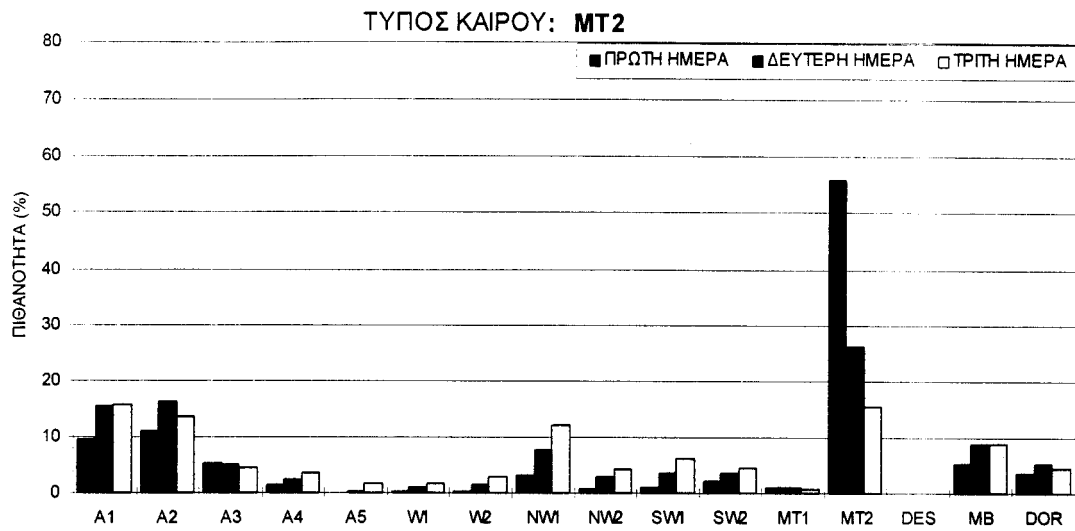
**Σχήμα 5.3 (συνέχεια)** Πιθανότητα διαδοχής τύπων A4, A5, W1 από κάθε έναν από τους 16 τύπους κατά τις επόμενες τρεις ημέρες



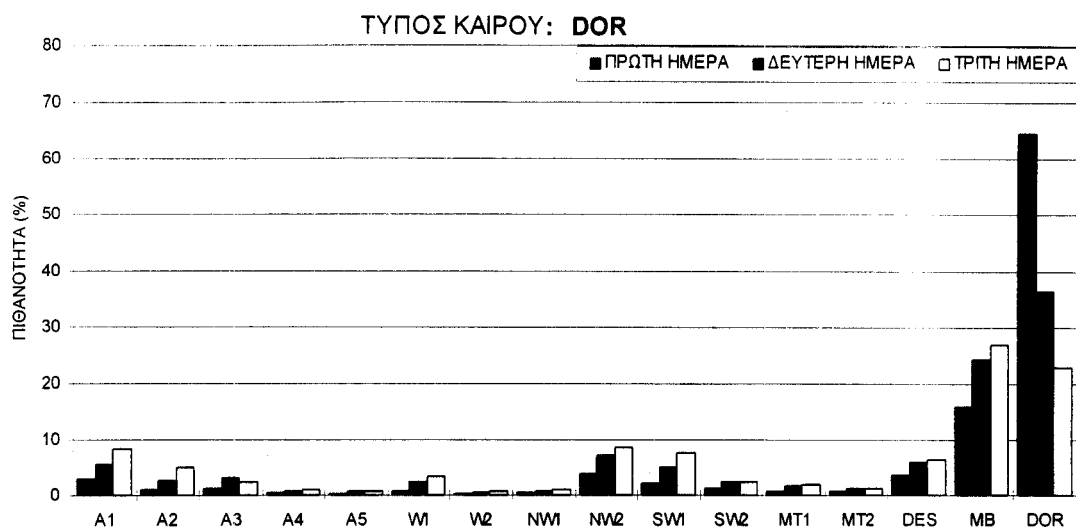
**Σχήμα 5.3 (συνέχεια)** Πιθανότητα διαδοχής τύπων W2, NW1, NW2 από κάθε έναν από τους 16 τύπους κατά τις επόμενες τρεις ημέρες



**Σχήμα 5.3 (συνέχεια)** Πιθανότητα διαδοχής τύπων SW1, SW2, MT1 από κάθε έναν από τους 16 τύπους κατά τις επόμενες τρεις ημέρες



**Σχήμα 5.3 (συνέχεια)** Πιθανότητα διαδοχής τύπων MT2, DSEC, MB από κάθε έναν από τους 16 τύπους κατά τις επόμενες τρεις ημέρες



**Σχήμα 5.3 (συνέχεια)** Πιθανότητα διαδοχής τύπου DOR από κάθε έναν από τους 16 τύπους κατά τις επόμενες τρεις ημέρες

## 5.3 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙΡΟΥ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

### 5.3.1 Επίδραση των τύπων καιρού στη μηνιαία βροχόπτωση

Η ισχυρή εξάρτηση των εντόνων ημερήσιων βροχοπτώσεων συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών, στην πραγματοποίηση ορισμένων τύπων καιρού, έχει ήδη διαπιστωθεί στο Κεφάλαιο 4. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στην σκέψη ότι και το συνολικό βροχομετρικό καθεστώς μίας περιοχής, θα πρέπει να συνδέεται με τις πραγματοποιημένες χρονοσειρές μεμονωμένων ή ομάδων τύπων καιρού. Για το σκοπό αυτό έγινε στατιστική ανάλυση με τη χρήση των μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης των τύπων καιρού και των μηνιαίων χρονοσειρών σημειακής βροχόπτωσης σε 13 βροχομετρικούς σταθμούς της Στερεάς Ελλάδας (περιοχή που εξετάζεται στο Κεφάλαιο 4).

Για την ανάλυση οι τύποι κυκλοφορίας χωρίστηκαν σε δύο κύριες ομάδες, και για κάθε ομάδα καταρτίστηκαν δύο χρονοσειρές. Στη πρώτη ομάδα περιλαμβάνονται όλοι οι τύποι που προκαλούν καλό καιρό (5 αντικυκλωνικοί, MB, DSEC), ενώ στη δεύτερη όλοι οι τύποι που προκαλούν κακοκαιρία και βροχοπτώσεις (6 υφεσιακοί, MT2). Η πρώτη χρονοσειρά κάθε ομάδας περιλαμβάνει το συνολικό αριθμό ημερών εκδήλωσης των τύπων της ομάδας κατά την υγρή περίοδο, ενώ η δεύτερη κατά την ξηρή. Η

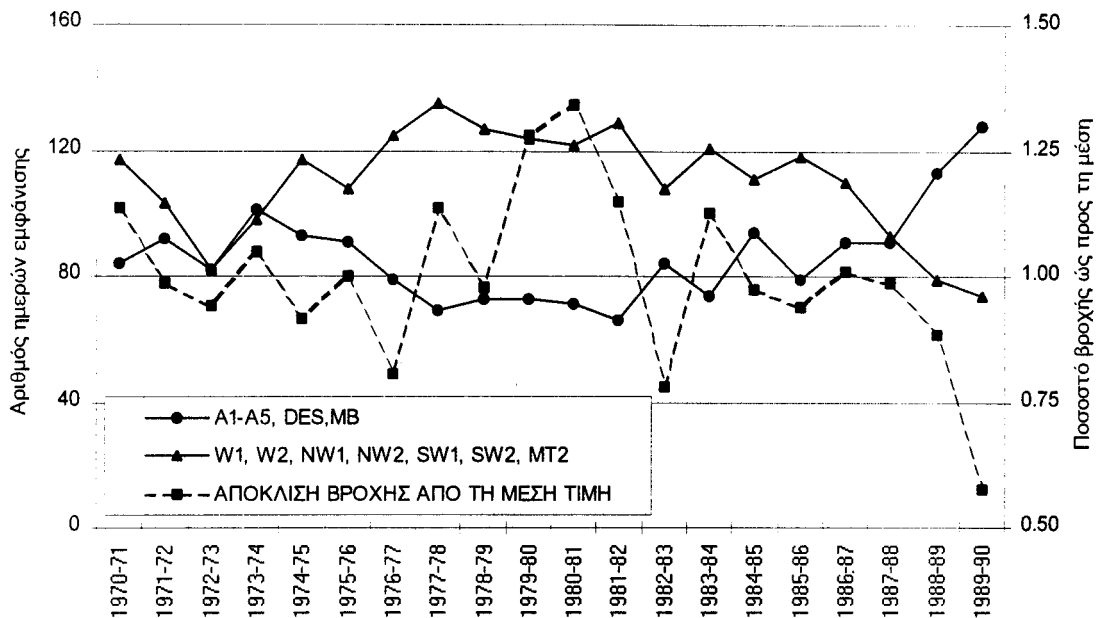


κατάρτιση των τεσσάρων χρονοσειρών έγινε για 20 υδρολογικά έτη (1970-71 έως 1989-90). Για τα ίδια υδρολογικά έτη καταρτίστηκε για κάθε περίοδο (υγρή ή ξηρή) μία χρονοσειρά που είναι ενδεικτική της συνολικής βροχόπτωσης της περιόδου. Η χρονοσειρά αυτή υπολογίστηκε με βάση τα δεδομένα δεκατριών αξιόπιστων βροχομετρικών σταθμών οι οποίοι έχουν χρησιμοποιηθεί και στην ανάλυση του Κεφαλαίου 4 και επιλέχτηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι Αλμυροπόταμος, Κάτω Στενή, Προκόπι, Ιστιαία, Αλιάρτος, Δρυμαία, Άμφισσα, Ανιάδα, Καρπενήσι, Λιδορίκι, Καστράκι, Βακάριο, Γέφυρα Επισκοπής (η γεωγραφική τους θέση παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2). Πρέπει να τονιστεί ότι οι χρονοσειρές βροχής των δύο περιόδων καταρτίστηκαν ενδεικτικά, με σκοπό τη σύγκρισή τους με τις χρονοσειρές των τύπων κυκλοφορίας, και τη εξαγωγή κάποιων πρώτων παρατηρήσεων της επίδρασης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στο βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής μελέτης.

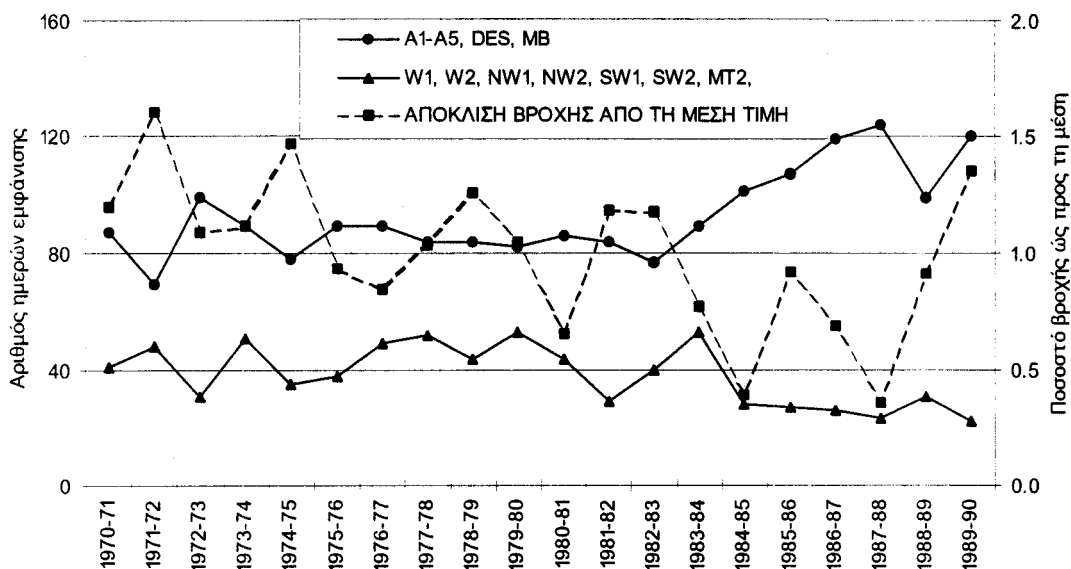
Στα Σχήματα 5.4 και 5.5 παρουσιάζεται για την υγρή και ξηρή περίοδο αντίστοιχα, η εξέλιξη των χρονοσειρών αριθμού ημερών εκδήλωσης των ομάδων τύπων καιρού. Για τη σύγκριση των παραπάνω χρονοσειρών με την εξέλιξη του συνολικού ύψους βροχής της υγρής και της ξηρής περιόδου, έχει υπολογιστεί για κάθε περίοδο η χρονοσειρά της αναλογίας της βροχής κάθε έτους (υγρής ή ξηρής περιόδου) ως προς τη μέση τιμή της βροχής για το χρονικό διάστημα των 20 ετών. Οι δύο αυτές χρονοσειρές αναλογιών βροχής (με μέση τιμή 1) της υγρής και ξηρής περιόδου, σχεδιάζονται συγκριτικά στα αντίστοιχα Σχήματα 5.4 και 5.5. Ακόμη για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των χρονοσειρών που εξετάζονται, υπολογίζεται ο συντελεστής συσχέτισης τους, και εφαρμόζεται στατιστική δοκιμή για να ελεγχθεί η μηδενική υπόθεση ότι ο συντελεστής είναι ίσος με μηδέν [Spiegel, 1977 σελ. 267]. Για το σκοπό αυτό υπολογίζεται στατιστική παράμετρος με βάση τα δεδομένα των δύο χρονοσειρών, η οποία συγκρίνεται με τις τιμές που αντιστοιχούν στα συνήθη επίπεδα σημαντικότητας. Σύμφωνα με τη δοκιμή, για να είναι στατιστικά ίσος με μηδέν ο συντελεστής συσχέτισης χρονοσειρών 20 στοιχείων, σε επίπεδο σημαντικότητας 10%, 5% και 1%, πρέπει αντίστοιχα να είναι μικρότερος από 0.30, 0.38 και 0.52.

Οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των χρονοσειρών που εξετάζονται στο παρόν και στο επόμενο υποκεφάλαιο, παρουσιάζονται μαζί με το επίπεδο σημαντικότητας που πρέπει να ληφθεί για να γίνει δεκτή η

μηδενική υπόθεση (συντελεστής ίσος με το μηδέν). Γενικά αν το επίπεδο σημαντικότητας είναι μικρότερο από 5%, τότε ο συντελεστής θεωρείται στατιστικά διάφορος του μηδενός.



**Σχήμα 5.4** Εξέλιξη αριθμού ημερών εκδήλωσης υφειακών και αντικυκλωνικών τύπων υγρής περιόδου

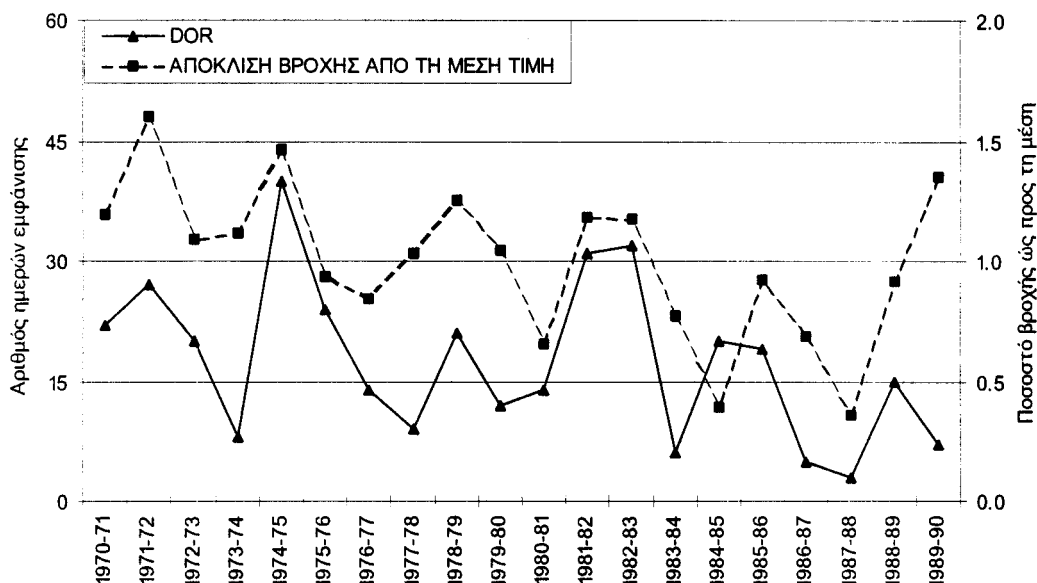


**Σχήμα 5.5** Εξέλιξη αριθμού ημερών εκδήλωσης υφειακών και αντικυκλωνικών τύπων ξηρής περιόδου

Από το Σχήμα 5.4 παρατηρούμε ότι για την υγρή περίοδο οι χρονοσειρές των αριθμών ημερών των δύο ομάδων τύπων κυκλοφορίας παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις. Ακόμη, οι υψηλές τιμές της μίας χρονοσειράς, συνεπάγονται χαμηλές τιμές της άλλης, γεγονός που επιβεβαιώνεται από το σημαντικό συντελεστή συσχέτισης των δύο χρονοσειρών (-0.83, επίπεδο σημαντικότητας < 1%). Η σχέση που υπάρχει μεταξύ του αριθμού των δύο ομάδων τύπων καιρού και της βροχόπτωσης είναι εμφανής. Ο συντελεστής συσχέτισης της χρονοσειράς της βροχόπτωσης με αυτήν των αντικυκλωνικών τύπων είναι -0.68 (επίπεδο σημαντικότητας < 1%), ενώ με αυτή των υφεσιακών 0.58 (επίπεδο σημαντικότητας < 1%). Χαρακτηριστικές είναι οι τιμές των χρονοσειρών σε δύο συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Η πρώτη περιλαμβάνει τα υδρολογικά έτη 1977-78 έως 1982-83 όπου έχουμε μία πτώση του αριθμού των αντικυκλωνικών τύπων, που συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση του αριθμού των υφεσιακών τύπων. Η συγκυρία αυτή είχε σαν αποτέλεσμα τη πραγματοποίηση βροχόπτωσης μεγαλύτερης από τη συνήθη (μέση). Η δεύτερη χρονική περίοδος περιλαμβάνει την τελευταία πενταετία, όπου παρατηρείται μια σημαντική πτωτική τάση εκδήλωσης των υφεσιακών τύπων σε συνδυασμό με την ανοδική τάση εκδήλωσης των αντικυκλωνικών. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη μείωση των βροχοπτώσεων κατά το διάστημα αυτό. Ιδιαίτερα τα δύο τελευταία έτη (1988-89 και 1989-90) ο αριθμός ημερών εκδήλωσης των αντικυκλωνικών τείνει να ξεπεράσει αυτόν των υφεσιακών με αποτέλεσμα τη δραστική μείωση της βροχόπτωσης της υγρής περιόδου των δύο υδρολογικών ετών.

Από το Σχήμα 5.5 παρατηρούμε ότι και για την ξηρή περίοδο είναι εμφανής η μεταβλητότητα και των δύο χρονοσειρών των ομάδων τύπων καιρού, ενώ ο μεταξύ τους συντελεστής συσχέτισης είναι σημαντικός (-0.74, επίπεδο σημαντικότητας < 1%). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι κατά την τελευταία επταετία υπάρχει σημαντική ανοδική τάση εκδήλωσης των αντικυκλωνικών που συνδυάζεται με την πτωτική τάση στην εμφάνιση των υφεσιακών τύπων. Η διακύμανση της βροχής την επταετία αυτή είναι έντονη και δε συνδέεται άμεσα με την εξέλιξη των δύο χρονοσειρών. Αλλά και γενικότερα η χρονοσειρά της βροχόπτωσης δείχνει να συμβαδίζει με τη χρονοσειρά των αντικυκλωνικών τύπων αλλά όχι και με αυτή υφεσιακών. Οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης που είναι -0.55 (επίπεδο σημαντικότητας < 1%), και 0.24 (επίπεδο σημαντικότητας > 10%),

αντίστοιχα επιβεβαιώνουν την παρατήρηση αυτή. Το γεγονός αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η βροχόπτωση της ξηρής περιόδου εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο DOR. Έτσι στο Σχήμα 5.6 παρουσιάζεται η χρονοσειρά του αριθμού ημερών εκδήλωσης του τύπου DOR ο οποίος προκαλεί σημαντικές βροχοπτώσεις κατά τη θερμή περίοδο. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 5.6 υπάρχει εμφανής σχέση μεταξύ της χρονοσειράς εκδήλωσης του τύπου DOR και αυτής της βροχόπτωσης, σχέση που επιβεβαιώνεται και από το συντελεστή συσχέτισης που είναι 0.55 (επίπεδο σημαντικότητας < 1%). Η μοναδική εμφανής αναντιστοιχία μεταξύ των δύο χρονοσειρών, παρουσιάζεται κατά το υδρολογικό έτος 1989-90, όπου στις 21 και 22 Αυγούστου εκδηλώθηκε εξαιρετικά ισχυρή βροχόπτωση, ενώ ο επικρατών τύπος καιρού ήταν NW2. Το συνολικό ύψος του επεισοδίου αυτού επηρέασε καθοριστικά το συνολικό ύψος βροχής της ξηρής περιόδου του συγκεκριμένου έτους. Συγκεκριμένα και στους 13 σταθμούς που εξετάστηκαν, το ύψος αυτού του επεισοδίου αποτελούσε πάνω από το 50% του συνολικού ύψους βροχής για την ξηρή περίοδο του έτους 1989-90. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι και ο τύπος NW2 ο οποίος είναι ο συχνότερος υφειακός της ξηρής περιόδου σχετίζεται σημαντικά με το βροχομετρικό καθεστώς (συντελεστής συσχέτισης 0.49, επίπεδο σημαντικότητας μεταξύ 5% και 1%).



**Σχήμα 5.6** Εξέλιξη αριθμού ημερών τύπου DOR ξηρής περιόδου

### 5.3.2 Επίδραση των τύπων καιρού στη γεωγραφική κατανομή υγρών και ξηρών περιόδων

Η ανάλυση του Κεφαλαίου 4 έχει μεταξύ άλλων αποδείξει ότι ορισμένοι τύποι καιρού προκαλούν ισχυρές ημερήσιες βροχοπτώσεις με συγκεκριμένη γεωγραφική κατανομή. Ακόμη από την προηγούμενη παράγραφο είναι φανερό η επίδραση των χρονοσειρών εκδήλωσης ορισμένων ομάδων τύπων στη βροχομετρικό καθεστώς μίας περιοχής. Οι προηγούμενες παρατηρήσεις οδηγούν στην σκέψη ότι μια διαφοροποίηση στον αριθμό ημερών εκδήλωσης των τύπων αυτών μπορεί να οδηγήσει στην ύπαρξη υδρολογικών ετών τα οποία θα είναι υγρά σε κάποιες γεωγραφικές περιοχές και ξηρά σε κάποιες άλλες γειτονικές. Το τελευταίο σημαίνει ότι σε αυτά τα υδρολογικά έτη θα σημειωθούν βροχοπτώσεις μεγαλύτερες από τις μέσες σε μια γεωγραφική περιοχή, ενώ αντίθετα μικρότερες από τις μέσες σε κάποια άλλη γειτονική περιοχή. Έτσι η διαφοροποίηση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας σε μια περιοχή μπορεί να οδηγήσει σε γεωγραφική ανισοκατανομή των υγρών και ξηρών περιόδων. Αυτό έχει σημαντική επίδραση στη διαχείριση των υδατικών πόρων, ειδικότερα αν πρόκειται για περιοχές που ανήκουν διαχειριστικά στο ίδιο υδατικό σύστημα.

Για τη μελέτη των παραπάνω υποθέσεων εξετάστηκαν τα βροχομετρικά δεδομένα της υγρής περιόδου επτά βροχομετρικών σταθμών. Στον Πίνακα 5.4 παρουσιάζεται για τέσσερα υδρολογικά έτη, η αναλογία της βροχόπτωσης της υγρής περιόδου κάθε έτους, ως προς τη μέση υπερετήσια τιμή (της περιόδου 1970-71 έως 1989-90). Οι τέσσερις από τους σταθμούς αυτούς λειτουργούν στην ανατολική πλευρά (λεκάνες Εύβοιας), και οι άλλοι τρεις στη δυτική πλευρά (λεκάνη Αχελώου) της περιοχής μελέτης. Για κάθε υδρολογικό έτος έχει υπολογιστεί η μέση τιμή της αναλογίας, ξεχωριστά για τους ανατολικούς και τους δυτικούς σταθμούς. Από την ανάλυση του Κεφαλαίου 4 είχε προκύψει ότι τις ισχυρές ημερήσιες βροχοπτώσεις της ανατολικής πλευράς της περιοχής μελέτης επηρεάζουν οι τύποι καιρού MT2 και SW2, ενώ της δυτικής πλευράς οι υπόλοιποι πέντε κυκλωνικοί (W1, W2, SW1, NW1, NW2). Έτσι για τα ίδια υδρολογικά έτη υπολογίστηκαν οι αναλογίες των ημερών εκδήλωσης κάθε υγρής περιόδου, ως προς τη μέση τιμή, των δύο παραπάνω ομάδων τύπων καιρού, και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4 συγκριτικά με την αντίστοιχη γεωγραφική περιοχή (ανατολική και δυτική) την οποία επηρεάζουν.

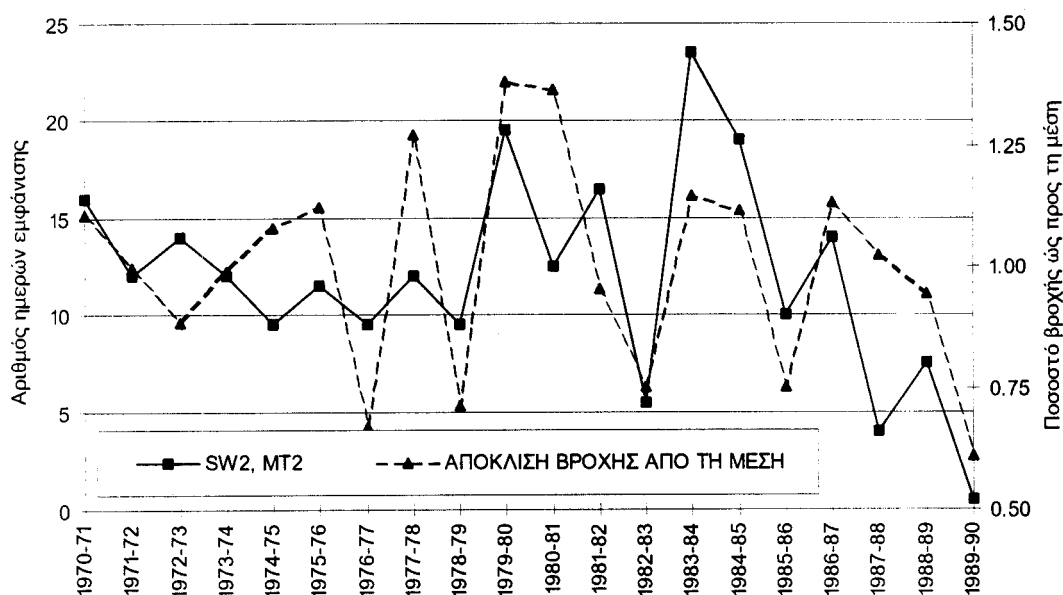
**Πίνακας 5.4** Αναλογία βροχόπτωσης ως προς τη μέση τιμή, υγρής περιόδου, επιλεγμένων βροχομετρικών σταθμών

	1975-76	1978-79	1985-86	1986-87
<b>ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ</b>				
ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΣ	1.23	0.67	0.67	1.11
ΚΑΤΩ ΣΤΕΝΗ	1.03	0.90	0.75	1.14
ΠΡΟΚΟΠΙ	1.14	0.60	0.66	1.02
ΙΣΤΙΑΙΑ	1.08	0.68	0.93	1.25
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>1.12</b>	<b>0.71</b>	<b>0.75</b>	<b>1.13</b>
<b>ΑΝΑΛΟΓΙΑ SW2, MT2</b>	<b>0.96</b>	<b>0.79</b>	<b>0.84</b>	<b>1.18</b>
<b>ΔΥΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ</b>				
ΚΑΣΤΡΑΚΙ	0.90	1.13	1.26	0.94
ΒΑΚΑΡΙΟ	0.75	1.08	1.12	0.90
ΓΕΦ. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣ	0.85	1.30	1.12	0.73
<b>ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ</b>	<b>0.83</b>	<b>1.17</b>	<b>1.17</b>	<b>0.86</b>
<b>ΑΝΑΛΟΓΙΑ W1, W2, SW1, NW1, NW2</b>	<b>0.99</b>	<b>1.25</b>	<b>1.14</b>	<b>0.95</b>

Από τα δεδομένα του Πίνακα 5.4 παρατηρούμε ότι πράγματι υπάρχουν υδρολογικά έτη που είναι υγρά στη μία πλευρά της περιοχής μελέτης και ξηρά στην άλλη. Συγκεκριμένα τα υδρολογικά έτη 1975-76 και 1986-87 είναι σχετικά ξηρά για τους δυτικούς (0.83 και 0.86) και σχετικά υγρά για τους ανατολικούς σταθμούς (1.12 και 1.13). Μεγαλύτερη διαφορά στη βροχή μεταξύ των δύο περιοχών υπάρχει τα υδρολογικά έτη 1978-79 και 1985-86 τα οποία είναι υγρά για τους δυτικούς (1.17 και 1.17) και ξηρά για τους ανατολικούς σταθμούς (0.71 και 0.75). Ακόμη υπάρχει αρκετά μεγάλη συμφωνία μεταξύ των αναλογιών της βροχόπτωσης και των τύπων καιρού που επηρεάζουν κάθε περιοχή. Έτσι τα έτη που είναι ξηρά στην ανατολική και υγρά στη δυτική περιοχή, χαρακτηρίζονται από μικρότερη από το κανονικό εκδήλωση των τύπων καιρού της πρώτης ομάδας (MT2 και SW2), και μεγαλύτερη από το κανονικό των τύπων καιρού της δεύτερης ομάδας (W1, W2, SW1, NW1, NW2). Το αντίστροφο συμβαίνει για τα έτη που είναι υγρά στην ανατολική και ξηρά στη δυτική περιοχή. Έτσι μπορούμε αρχικά να συμπεράνουμε ότι οι διακυμάνσεις στον αριθμό εκδήλωσης ορισμένων τύπων καιρού, μπορούν να συσχετιστούν με την πραγματοποίηση υγρών ή ξηρών ετών σε συγκεκριμένες γεωγραφικές περιοχές.

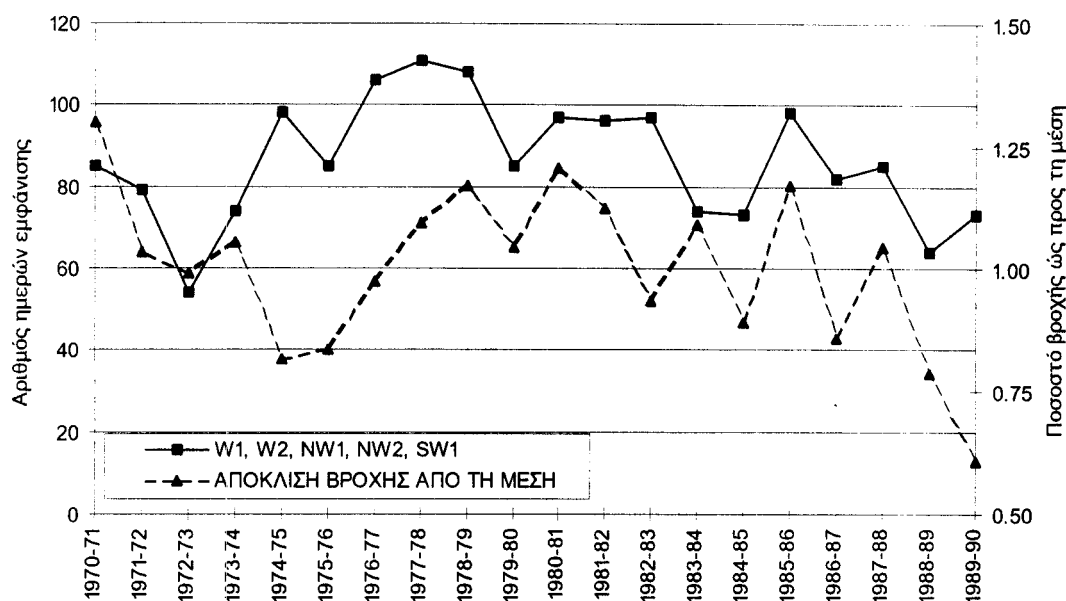
Για την πληρέστερη διερεύνηση των παραπάνω παρατηρήσεων οι τύποι κυκλοφορίας της υγρής περιόδου καταρτίστηκαν δύο χρονοσειρές ημερών εκδήλωσης, για κάθε μία από τις δύο προηγούμενες ομάδες. Η χρονοσειρά κάθε ομάδας περιλαμβάνει το συνολικό αριθμό ημερών εκδήλωσης των τύπων της ομάδας κατά την υγρή περίοδο, για 20 υδρολογικά έτη (1970-71 έως 1989-90). Για τα ίδια υδρολογικά έτη καταρτίστηκαν δύο χρονοσειρές βροχής, αντιπροσωπευτικές των βροχοπτώσεων της ανατολικής και της δυτικής περιοχής. Οι χρονοσειρές έχουν προκύψει αντίστοιχα, από τα δεδομένα των τεσσάρων ανατολικών και των τριών δυτικών βροχομετρικών σταθμών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.4, και εκφράζουν την αναλογία του ύψους βροχής κάθε έτους ως προς τη μέση υπερετήσια βροχόπτωση των 20 υδρολογικών ετών.

Στο Σχήμα 5.7 παρουσιάζεται για την υγρή περίοδο, η χρονοσειρά των χρονοσειρών αριθμού ημερών εκδήλωσης της πρώτης ομάδας τύπων καιρού (MT2, SW2), σε συνδυασμό με τη χρονοσειρά αναλογίας του συνολικού ύψους βροχής, η οποία είναι αντιπροσωπευτική για την ανατολική περιοχή. Οι δύο χρονοσειρές συμβαδίζουν αρκετά ικανοποιητικά και ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε σε 0.60 (επίπεδο σημαντικότητας < 1%).



**Σχήμα 5.7** Εξέλιξη χρονοσειρών τύπων καιρού (MT2, SW2) και βροχόπτωσης ανατολικής περιοχής για την υγρή περίοδο

Στο Σχήμα 5.8 παρουσιάζεται για την υγρή περίοδο, η χρονοσειρά του αριθμού ημερών εκδήλωσης της δεύτερης ομάδας τύπων καιρού (W1, W2, NW1, NW2, SW1), σε συνδυασμό με τη χρονοσειρά αναλογίας του συνολικού ύψους βροχής, η οποία είναι αντιπροσωπευτική για τη δυτική περιοχή. Οι δύο χρονοσειρές συμβαδίζουν ικανοποιητικά και ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης υπολογίστηκε σε 0.38 (επίπεδο σημαντικότητας μεταξύ 5% και 1%).

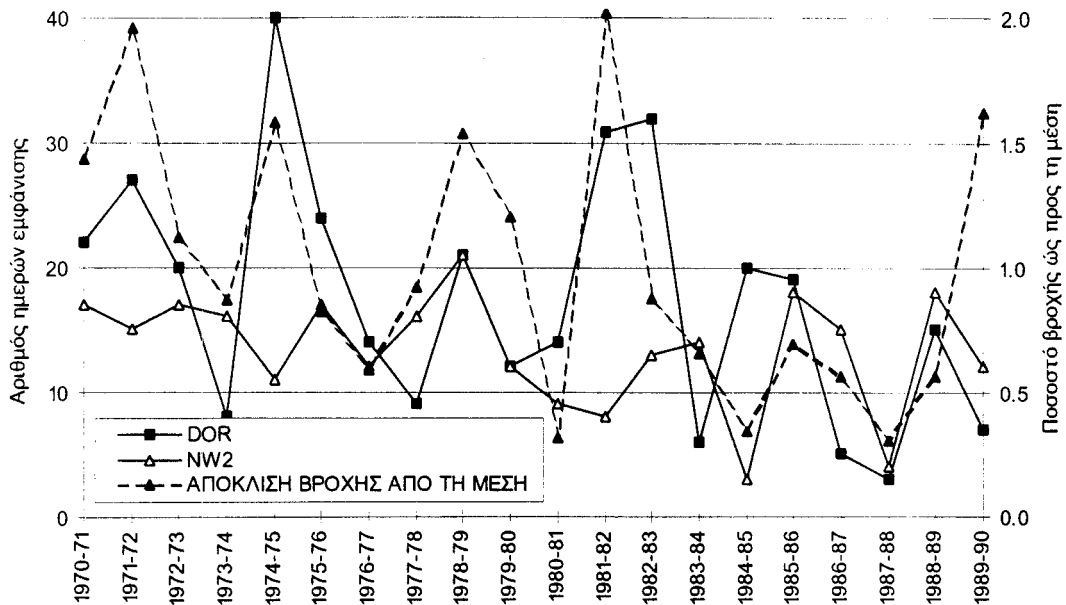


**Σχήμα 5.8** Εξέλιξη χρονοσειρών τύπων καιρού (W1, W2, NW1, NW2, SW1) και βροχόπτωσης δυτικής περιοχής για την υγρή περίοδο

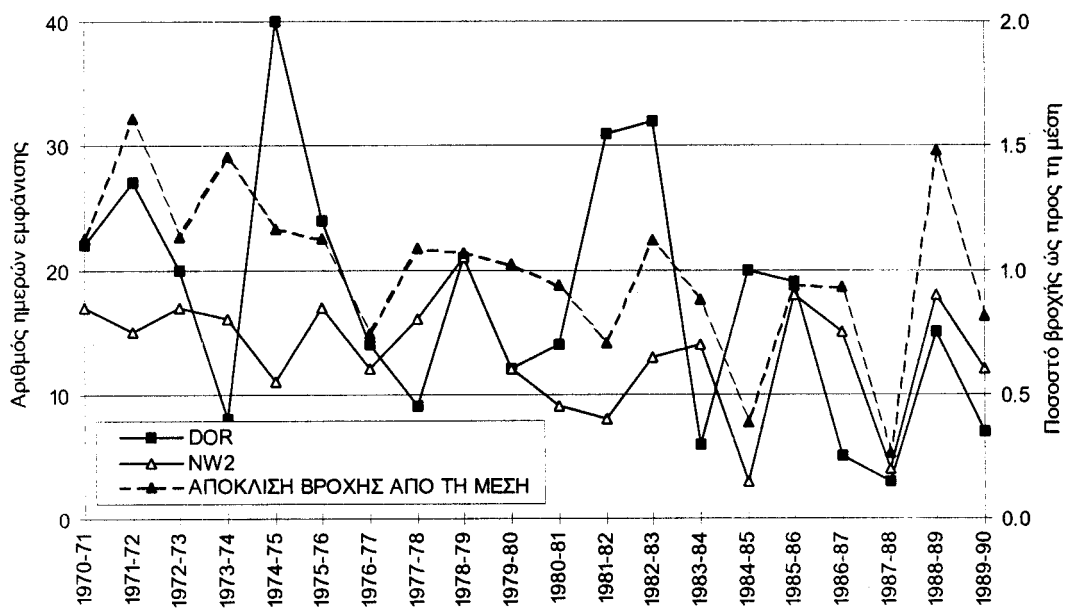
Όπως παρουσιάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής κατά την ξηρή περίοδο εξαρτάται σημαντικά από τον τύπο DOR καθώς και από το NW2. Για τη μελέτη της επίδρασης των τύπων αυτών στις δύο γεωγραφικές περιοχές καταρτίστηκαν οι χρονοσειρές εκδήλωσης των δύο τύπων και οι χρονοσειρές βροχόπτωσης των δύο περιοχών (ανατολικής και δυτικής).

Στο Σχήμα 5.9 παρουσιάζονται για την ξηρή περίοδο, οι χρονοσειρές αριθμού ημερών εκδήλωσης των τύπων DOR και NW2, σε συνδυασμό με τη χρονοσειρά αναλογίας της βροχής, της ανατολικής περιοχής. Όπως φαίνεται και από το σχήμα η χρονοσειρά της βροχής συμβαδίζει αρκετά ικανοποιητικά με αυτήν του DOR (συντελεστής συσχέτισης 0.53, επίπεδο σημαντικότητας < 1%) ενώ δε σχετίζεται ιδιαίτερα με αυτήν του NW2 (συντελεστής συσχέτισης 0.23, επίπεδο σημαντικότητας > 10%).





**Σχήμα 5.9** Εξέλιξη χρονοσειρών τύπων καιρού DOR, NW2 και βροχόπτωσης ανατολικής περιοχής για την ξηρή περίοδο



**Σχήμα 5.10** Εξέλιξη χρονοσειρών τύπων καιρού DOR, NW2 και βροχόπτωσης δυτικής περιοχής για την ξηρή περίοδο

Στο Σχήμα 5.10 παρουσιάζονται για την ξηρή περίοδο, οι χρονοσειρές αριθμού ημερών εκδήλωσης των τύπων DOR και NW2, σε συνδυασμό με τη χρονοσειρά αναλογία της βροχής, της δυτικής περιοχής. Όπως φαίνεται και

από το σχήμα η χρονοσειρά της βροχής συμβαδίζει αρκετά ικανοποιητικά με αυτήν του τύπου NW2 (συντελεστής συσχέτισης 0.73 (επίπεδο σημαντικότητας < 1%), ενώ δε σχετίζεται με αυτήν του τύπου DOR (συντελεστής συσχέτισης 0.27, επίπεδο σημαντικότητας > 10%).

#### 5.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό μελετήθηκε το καθεστώς εκδήλωσης των τύπων καιρών κατά την υγρή και ξηρή περίοδο, και η επίδρασή τους στο βροχομετρικό καθεστώς της Στερεάς Ελλάδας. Τα αποτελέσματα των επεξεργασιών που εφαρμόστηκαν στις ημερήσιες και μηνιαίες χρονοσειρές ημερών εκδήλωσης των τύπων καιρού και τις μηνιαίες χρονοσειρές σημειακών ύψων βροχής, μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ο τύπος MB εμφανίζει τη μεγαλύτερη και ο A5 τη μικρότερη συχνότητα εκδήλωσης. Σε κάθε μήνα ή εποχή του έτους η κατανομή των συχνοτήτων των τύπων καιρού παρουσιάζει σημαντικές διαφοροποιήσεις
- Υπάρχουν μήνες ή εποχές που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ορισμένων τύπων καιρού και τύποι που σε μεγάλο ποσοστό, εκδηλώνονται συγκεκριμένους μήνες.
- Οι ετήσιες χρονοσειρές αριθμού ημερών εκδήλωσης των τύπων καιρού και των δύο περιόδων, παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση και μικρή αυτοσυσχέτιση. Στις χρονοσειρές ορισμένων τύπων, διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές πτωτικές και αυξητικές τάσεις.
- Αντίθετα στις ημερήσιες χρονοσειρές των ημερών εκδήλωσης διαπιστώθηκε σημαντική εμμονή, δηλαδή τάση σε όλους τους τύπους καιρούς να διαδέχονται τον εαυτό τους. Σε επτά τύπους η πιθανότητα αυτή υπερβαίνει το 60%. Δε διαπιστώθηκε σημαντική σχέση στη διαδοχή κάποιου τύπου καιρού από κάποιους άλλους.
- Υπάρχει σημαντική επίδραση του αριθμού ημερών εκδήλωσης ορισμένων μεμονωμένων ή ομάδων τύπων καιρού στο βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής μελέτης. Διαπιστώθηκε και στις δύο περιόδους (υγρή και ξηρή), στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των χρονοσειρών ομάδων τύπων που συνδέονται με την καλοκαιρία ή με τη βροχόπτωση, και των χρονοσειρών συνολικού ύψους βροχής περιόδου.

- Η ύπαρξη υδρολογικών ετών τα οποία είναι υγρά σε κάποιες γεωγραφικές περιοχές και ξηρά σε κάποιες άλλες γειτονικές εξηγείται σημαντικά από τη διαφοροποίηση του αριθμού ημερών εκδήλωσης ορισμένων τύπων καιρού, οι οποίοι συνδέονται με τις βροχοπτώσεις συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών.

Τα περισσότερα από τα προηγούμενα συμπεράσματα μπορούν να αξιοποιηθούν για την κατανόηση μετεωρολογικού καθεστώτος και της σχέσης του με το βροχομετρικό μίας περιοχής, για τον εντοπισμό ιστορικών κλιματικών διακυμάνσεων, ενώ θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στη μελέτη των υδατικών πόρων της περιοχής. Ακόμη η ισχυρή εμμονή που διαπιστώθηκε σε πολλούς τύπους είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί επιχειρησιακά στην πρόγνωση της βροχής.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6    ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΙΣΧΥΡΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ**

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

**ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ  
ΒΡΟΧΗΣ**

**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΒΡΟΧΗΣ**

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ**

**ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## 6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διεργασία της βροχόπτωσης σε μικρές χρονικές κλίμακες (επεισοδίου, ωριαία) έχει ελάχιστα μελετηθεί με τη θεώρηση του επικρατούντος τύπου καιρού. Όπως παρουσιάστηκε και στην εισαγωγή η ισχυρή αυτοσυσχέτιση που εμφανίζουν οι ωριαίες χρονοσειρές βροχόπτωσης καθιστά ευκολότερη την εκτίμηση των μελλοντικών υψών με τη χρήση στοχαστικών μεθόδων, αλλά η μεγάλη μεταβλητότητα που διέπει τα χαρακτηριστικά των ισχυρών επεισοδίων επιδρά ανασταλτικά στην επιχειρησιακή χρησιμότητα των μεθόδων αυτών. Ο συνδυασμός των στοχαστικών μεθόδων με εμπειρικές προσεγγίσεις, όπως αυτή των τύπων καιρού, μπορεί κάτω από ορισμένες συνθήκες να βελτιώσει την στατιστική εκτίμηση των χαρακτηριστικών του επεισοδίου, και να συμβάλλει στην καλύτερη εκτίμηση της εξέλιξης της βροχόπτωσης.

Η μελέτη των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής προϋποθέτει τον ορισμό της έννοιας "επεισόδιο βροχής", καθώς και τις παραδοχές χρονικού εντοπισμού του. Εκτεταμένη βιβλιογραφική επισκόπηση για τα θέματα αυτά γίνεται από τον Κουτσογιάννη [1988], όπου μεταξύ άλλων αναφέρει ότι δεν υπάρχει μονοσήμαντος ορισμός, ούτε καν ενιαίος τύπος ορισμού. Οι περισσότερες προσεγγίσεις στηρίζονται στην εισαγωγή της έννοιας "χρόνος διαχωρισμού" όπου είναι η ελάχιστη χρονική περίοδος μηδενικής βροχόπτωσης που χωρίζει δύο επεισόδια. Η στοχαστική μελέτη του χρόνου διαχωρισμού σε διάφορα κλίματα και είδη καταιγίδων έχει δώσει μια σειρά από τιμές που κυμαίνονται από δύο ώρες μέχρι πέντε ημέρες. Στην εργασία του Κουτσογιάννη [1988], με τη θεώρηση της στοχαστικής του δομής, ο χρόνος διαχωρισμού εκτιμήθηκε σε επτά ώρες.

Στα υποκεφάλαιο 6.2 περιγράφεται η εξαγωγή των ισχυρών επεισοδίων από τα πρωτογενή βροχομετρικά δεδομένα ενώ στο 6.3 εξετάζεται στατιστικά η επίδραση των τύπων καιρού στα χαρακτηριστικά του ισχυρού επεισοδίου βροχής. Ακόμη εξετάζεται η χωρική και χρονική κατανομή της βροχόπτωσης σε ωριαία βάση, κατά τύπο καιρού. Τα χαρακτηριστικά που εξετάζονται είναι η πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας, η διάρκεια, το συνολικό ύψος βροχής, το ωριαίο ύψος βροχής και η μέση ένταση του επεισοδίου. Ακόμη εξετάστηκε η δομή της αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης των ωριαίων σημειακών χρονοσειρών βροχής. Η ανάλυση έχει σκοπό να ανιχνεύσει σημαντικές διαφορές στα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής μεταξύ των διαφόρων τύπων καιρού. Οι διαφορές αυτές στα χαρακτηριστικά, αξιολογούνται με τη χρήση στατιστικών δοκιμών για το αν είναι στατιστικά σημαντικές. Με την εφαρμογή της ανάλυσης διασποράς υπολογίζεται το ποσοστό της διασποράς των χαρακτηριστικών του

επεισοδίου, που εξηγείται όταν εισάγεται η έννοια "τύπος καιρού". Στο υποκεφάλαιο 6.4 εξετάζεται η συμβολή των εμπειρικών προσεγγίσεων και ειδικότερα αυτής των τύπων καιρού, στη παραγωγή συνθετικών επεισοδίων βροχής, ενώ στο 6.5 εξηγείται η διαφοροποίηση της επίδρασης των τύπων καιρού στην σημειακή και επιφανειακή βροχόπτωση. Στο υποκεφάλαιο 6.6 μελετήθηκε η επίδραση του τύπου καιρού στην πιθανότητα εκδήλωσης και σε ορισμένα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών επεισοδίων, με την επεξεργασία ημερησίων δεδομένων βροχής και απορροής. Η ανάλυση πλημμυρών έγινε διερευνητικά με ημερήσια δεδομένα, δεδομένου ότι η πολυπλοκότητα του μηχανισμού βροχής-απορροής δυσκολεύει τη θεωρητική συσχέτιση μεταξύ τύπων καιρού και απορροής. Τέλος στο υποκεφάλαιο 6.7 παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα.

## **6.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

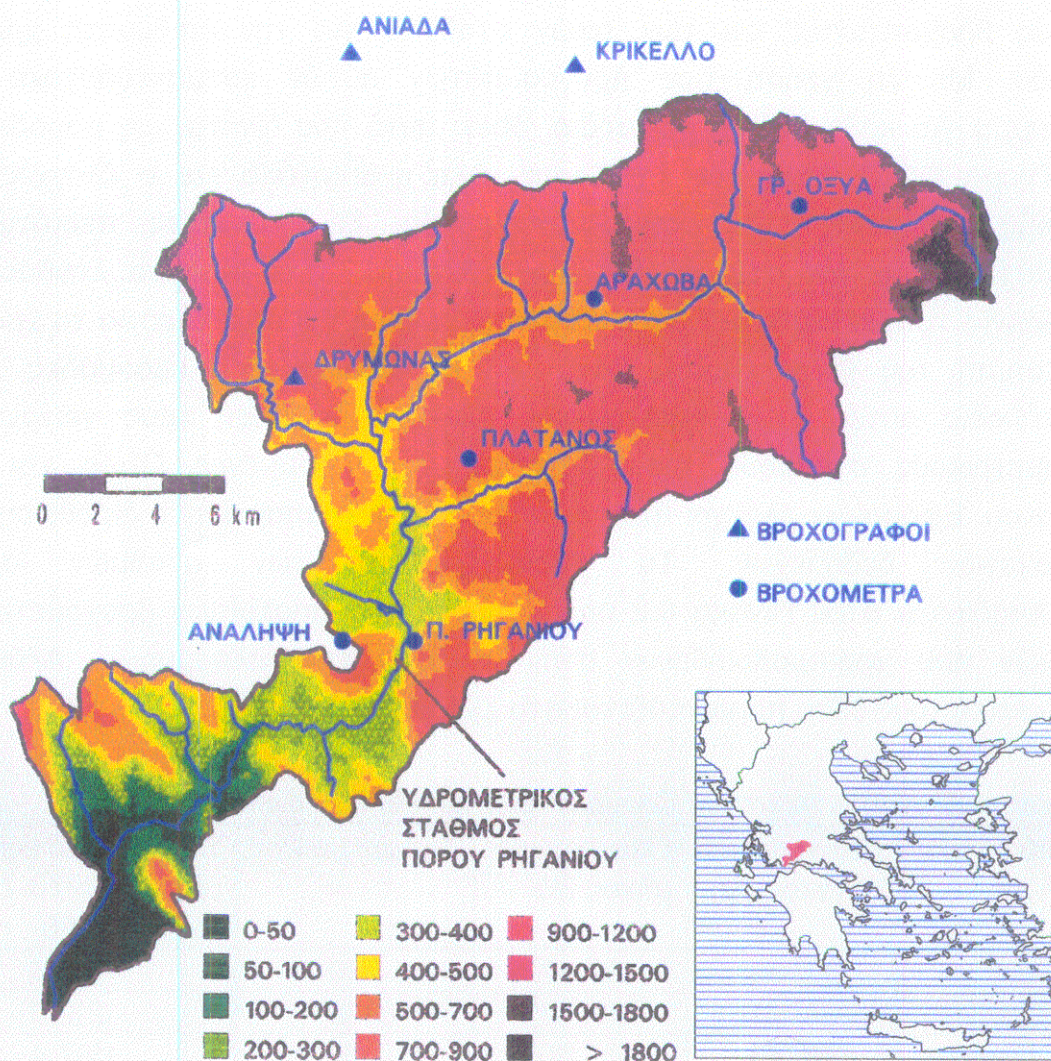
### **6.2.1 Δεδομένα βροχής**

Η ανάλυση της βροχόπτωσης έγινε με τα δεδομένα τριών βροχογράφων που βρίσκονται μέσα ή κοντά στη λεκάνη του Ευήνου. Οι σταθμοί ανήκουν στη Δ.Ε.Η. και τα δεδομένα τους ελέγχθηκαν με γειτονικούς σταθμούς σε ημερήσια και ωριαία βάση. Από τα αποτελέσματα των ελέγχων τα δεδομένα κρίνονται σαν αξιόπιστα παρά τις διακοπές στην λειτουργία τους που παρουσιάζονται κυρίως στις περιόδους χιονοπτώσεων. Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά των τριών βροχογράφων ενώ στο Σχήμα 6.1 απεικονίζεται η γεωγραφική τους θέση. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6.1 οι αποστάσεις μεταξύ των σταθμών είναι αρκετά κοντινές ιδιαίτερα μεταξύ του Κρίκελλου και της Ανιάδας (απέχουν περίπου 7 km). Ο Δρυμώνας είναι εγκατεστημένος νοτιοδυτικά σχετικά με τους άλλους δύο και σε απόσταση περίπου 20 km. Από την επεξεργασία των ταινιών βροχογράφου των τριών σταθμών, εξήχθησαν τα ωριαία ύψη βροχής για είκοσι υδρολογικά έτη (1970-71 έως 1989-90) με μέτριες ελλείψεις. Στα δεδομένα έγινε ο έλεγχος συνέπειας μεταξύ βροχομέτρου και βροχογράφου, και οι ωριαίες τιμές αρχειοθετήθηκαν σε βάση δεδομένων. Η ανάλυση έγινε σε σημειακή (Κρίκελλο) και επιφανειακή (τρεις βροχογράφοι) βάση. Η εξαγωγή των επεισοδίων βροχής από τις ωριαίες χρονοσειρές έγινε με βάση το κριτήριο του χρόνου διαχωρισμού που θεωρήθηκε επτά ώρες [Κουτσογιάννης, 1988], ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις εξετάστηκαν και οι αντίστοιχοι χάρτες καιρού. Το κριτήριο που υιοθετήθηκε για την εξαγωγή των

εντόνων επεισοδίων, ήταν η υπέρβαση του συνολικού ή του μέγιστου ωριαίου ύψους βροχής του επεισοδίου, δύο τιμών “κατωφλίων”. Σε επιφανειακή βάση το επεισόδιο θεωρείται ισχυρό αν έστω και ένας από τους τρεις σταθμούς εκπληρεί το παραπάνω κριτήριο.

**Πίνακας 6.1** Χαρακτηριστικά βροχογράφων

	Κρίκελλο	Ανιάδα	Δρυμόνας
Λεκάνη απορροής	Τρικεριώτη	Τρικεριώτη	Ευήνου
Γεωγραφικό πλάτος (φ)	38° 48'	38° 49'	38° 38'
Γεωγραφικό μήκος (λ)	21° 51'	21° 47'	21° 40'
Υψόμετρο (m)	1120	1060	900
Υπερετήσιο ύψος βροχής (1970-71 έως 1989-90),mm	1320.9	1358.5	1308.7



**Σχήμα 6.1** Λεκάνη Ευήνου και θέση υδρολογικών σταθμών μέτρησης

Στην Ελλάδα έχει μελετηθεί ο ορισμός των εντόνων βροχοπτώσεων και έχει χρησιμοποιηθεί ως “κατώφλι” για την ισχυρή ημερήσια βροχόπτωση η τιμή 29.5 mm [Maheras, 1983]. Στη παρούσα εργασία οι τιμές “κατώφλια” ορίστηκαν σε 25 και 7 mm για το συνολικό και ωριαίο ύψος βροχής αντίστοιχα. Ο ορισμός των τιμών αυτών προφανώς επηρεάζει τον αριθμό των επεισοδίων που εξετάζονται και τη μέση τιμή των διαφορών χαρακτηριστικών τους.

Από την ανάλυση της υγρής περιόδου αποκλείονται τα μικρά επεισόδια όλων των τύπων, ενώ αντίθετα στην ανάλυση της ξηρής περιόδου περιλαμβάνονται πολλά επεισόδια που οφείλονται σε τοπική αστάθεια της ατμόσφαιρας και το ωριαίο ύψος βροχής κάποιου από τους τρεις σταθμούς πέρασε την τιμή “κατώφλι”. Τα επεισόδια αυτά ανήκουν κυρίως σε τύπους που δεν προκαλούν χωροχρονικά εκτεταμένες βροχοπτώσεις, όπως οι πέντε αντικυκλωνικοί (A1-A5) και ο τύπος MB.

Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν προγράμματα γραφικής απεικόνισης της ωριαίας βροχόπτωσης και των τριών σταθμών για την επιθυμητή χρονική περίοδο. Με τη χρήση των προγραμμάτων αυτών κατασκευάστηκε ένα διάγραμμα για κάθε έντονο επεισόδιο, όπως αυτό που δίνεται ως παράδειγμα στο Σχήμα 6.2. Σκοπός της σχεδίασης είναι η εποπτεία και ο έλεγχος της χρονικής συνέπειας των επεισοδίων βροχής. Σε ορισμένες περιπτώσεις εντοπίστηκαν ταινίες στις οποίες είχε αναγραφεί από σφάλμα λανθασμένη ημερομηνία τοποθέτησης και αφαίρεσης της ταινίας, με αποτέλεσμα τη χρονική μετατόπιση της βροχόπτωσης κατά μία ή περισσότερες εβδομάδες. Στις περιπτώσεις αυτές έγινε επιστάμενος έλεγχος με βάση τους γειτονικούς βροχομετρικούς σταθμούς της Αράχωβας, της Γραμμής Οξιάς και του Πλατάνου. Εφόσον οι έλεγχοι ήταν επιτυχείς έγινε η απαραίτητη διόρθωση των πρωτογενών δεδομένων. Τα χαρακτηριστικά των σταθμών αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.2 μαζί με αυτά των υπολοίπων βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των πλημμυρών. Ακόμη η γεωγραφική τους θέση παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.1.

**Πίνακας 6.2 Χαρακτηριστικά βροχομέτρων λεκάνης Ευήνου**

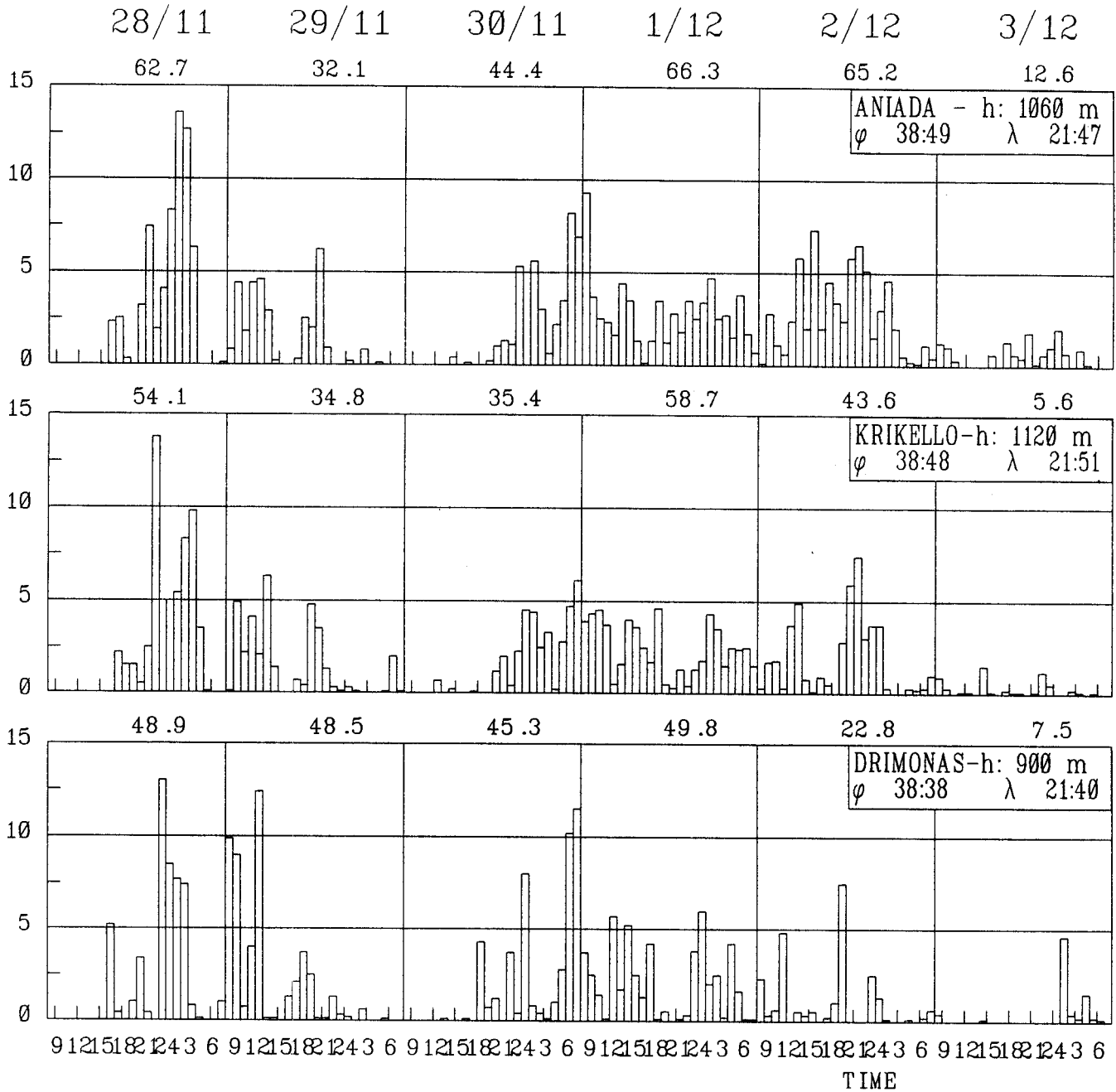
Σταθμός	Γεωγραφικό πλάτος (φ)	Γεωγραφικό μήκος (λ)	Υψόμετρο (m)	Υπερετήσιο ύψος βροχής (1970-71 έως 1989-90), mm
Ανάληψη	38° 30'	21° 42'	620	1168.0
Αράχοβα	38° 41'	21° 52'	960	1210.0
Γραμ. Οξιά	38° 44'	22° 00'	1160	1167.4
Πλάτανος	38° 36'	21° 47'	900	1468.0
Π. Ρηγανίου	38° 30'	21° 45'	150	1230.4



start : 28 11 1980

end : 3 12 1980

Weather Type : SW1



NTUA-DWR

Σχήμα 6.2 Παράδειγμα γραφικής απεικόνισης υετογραμμάτων επεισοδίου βροχής

Ο προσδιορισμός του τύπου καιρού που επικρατούσε κατά την πραγματοποίηση κάθε επεισοδίου βροχής, έγινε με βάση την εργασία του Μαχαίρα [1993] και το ημερήσιο ημερολόγιο τύπων καιρού. Για την κατάταξη ορισμένων επεισοδίων έγινε και χρήση χαρτών καιρού στην επιφάνεια και στη στάθμη των 500 mb. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας για το διάστημα 1970-1979 και της Γερμανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας για το διάστημα 1980-1990. Μετά την όλη επεξεργασία προέκυψαν σε επιφανειακή βάση 538 επεισόδια βροχής, από τα οποία χωρίς ελλείψεις ήταν τα 358. Ειδικά για τη σημειακή επεξεργασία και ανάλυση με βάση τα δεδομένα του σταθμού Κρίκελλο εξήχθησαν και 293 επεισόδια σε σημειακή βάση.

Τα επεισόδια διακρίθηκαν σε υγρή περίοδο (Οκτώβριος - Απρίλιος) και ξηρή περίοδο (Μάιος - Σεπτέμβριος) και στον Πίνακα 6.3 παρουσιάζεται ο αριθμός των επεισοδίων σε επιφανειακή και σημειακή βάση στις δύο περιόδους. Τα επεισόδια αυτά αρχειοθετήθηκαν σε βάση δεδομένων και κατασκευάστηκαν προγράμματα στατιστικής επεξεργασίας των χαρακτηριστικών τους.

**Πίνακας 6.3** Αριθμός ισχυρών επεισοδίων βροχής

	Υγρή περίοδος	Ξηρή περίοδος	Σύνολο
Επιφανειακά (σύνολο)	363	175	538
Επιφανειακά (πλήρη δεδομένα και στους τρεις σταθμούς)	220	138	358
Σημειακά (Κρίκελλο)	200	93	293

### 6.2.2 Δεδομένα πλημμυρών

Η ανάλυση των πλημμυρών έγινε με βάση τις ημερήσιες παροχές στη θέση του υδρομετρικού σταθμού Πόρος Ρηγανίου της λεκάνης του ποταμού Ευήνου (Σχήμα 6.1) για διάστημα είκοσι υδρολογικών ετών (1970-71 έως 1989-90). Η λεκάνη ανάντη του υδρομετρικού σταθμού έχει έκταση 870 km<sup>2</sup>. Η ανάλυση σχετίζεται άμεσα με αυτήν των καταιγίδων δεδομένου ότι αφορούν και οι δύο την ίδια λεκάνη, και έγιναν για το ίδιο χρονικό διάστημα. Οι ημερήσιες παροχές έχουν υπολογιστεί από την επεξεργασία πρωτογενών δεδομένων η οποία περιλαμβάνει την αρχειοθέτηση των υδρομετρικών δεδομένων και των δεδομένων στάθμης (σταθμήμετρο, σταθμηγράφος), την κατάρτιση καμπυλών στάθμης - παροχής και την εξαγωγή των τελικών ημερησίων παροχών.

Οι ημερήσιες πλημμυρικές παροχές που υπερβαίνουν ένα κατώφλι που τέθηκε ίσο με  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της πιθανότητας εκδήλωσης πλημμύρας δεδομένου ότι επικρατεί ένας συγκεκριμένος τύπος. Με βάση το κατώφλι αυτό εξήχθησαν 108 επεισόδια. Για τη μελέτη άλλων χαρακτηριστικών των πλημμυρικών επεισοδίων (ημερήσια παροχή, παροχή αιχμής) χρησιμοποιήθηκαν τα πλημμυρικά επεισόδια που εξήχθησαν με βάση τη τιμή της ημερήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης για την οποία τέθηκε το κατώφλι των 25 mm. Η ημερήσια επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης ανάντη του Πόρου Ρηγανίου υπολογίστηκε με βάση τα ημερήσια ύψη βροχής 5 βροχομετρικών σταθμών για το διάστημα των είκοσι υδρολογικών ετών. Στο Σχήμα 6.1 παρουσιάζεται η θέση και στον Πίνακα 6.2 δίνονται τα χαρακτηριστικά των σταθμών αυτών. Η χρονική βάση κάθε πλημμυρικού επεισοδίου ήταν μεγαλύτερη ή ίση της μιας ημέρας και το κάθε επεισόδιο κατατάχθηκε στον αντίστοιχο τύπο, με βάση το ημερολόγιο των τύπων καιρού. Για κάθε επεισόδιο υπολογίστηκε το συνολικό ύψος βροχής, η μέση ημερήσια παροχή, καθώς και η μέγιστη ημερήσια παροχή που καταγράφηκε μέσα στο επεισόδιο. Συνολικά εξήχθησαν και αρχειοθετήθηκαν σε βάση δεδομένων 176 επεισόδια εκ των οποίων 160 πραγματοποιήθηκαν την υγρή περίοδο. Τα επεισόδια χωρίστηκαν κατά τύπο καιρού και έγινε στατιστική ανάλυση των χαρακτηριστικών τους, τα αποτελέσματα της οποίας δίνονται στο υποκεφάλαιο 6.6

## **6.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΒΡΟΧΗΣ**

### **6.3.1 Συχνότητες εκδήλωσης τύπων καιρού και ισχυρών καταιγίδων**

Η εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης ισχυρής καταιγίδας δεδομένης της επικράτησης ενός τύπου καιρού μπορεί να είναι πολύ χρήσιμη στη στοχαστική μοντελοποίηση της βροχόπτωσης. Η πιθανότητα αυτή υπολογίζεται με βάση τον αριθμό των ημερών που έχει επικρατήσει ο κάθε τύπος και τον αριθμό των ισχυρών καταιγίδων που έχουν εκδηλωθεί. Στους Πίνακες 6.4 και 6.5 παρουσιάζονται για την ψυχρή και θερμή περίοδο αντίστοιχα, ο αριθμός των ημερών επικράτησης και η συχνότητα κάθε τύπου, ο αριθμός των ισχυρών καταιγίδων που εκδηλώθηκαν και η συχνότητα τους.

Με βάση τα δεδομένα των Πινάκων 6.4 και 6.5 μπορούμε να παρατηρήσουμε τα παρακάτω σημεία:

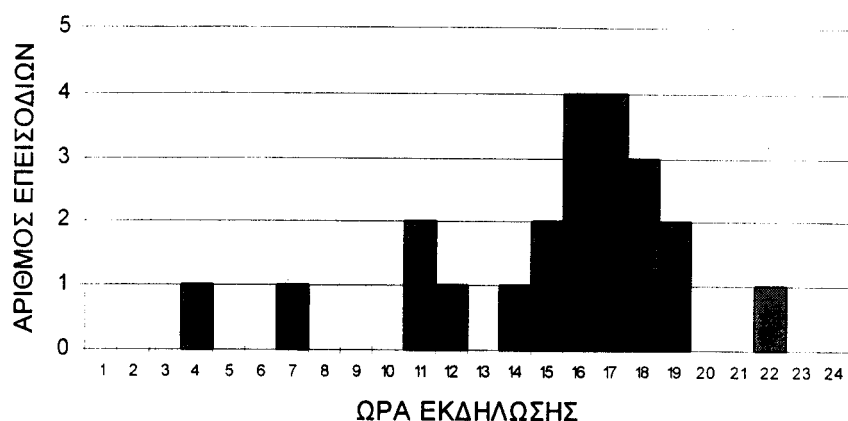
**Πίνακας 6.4** Συχνότητες τύπων καιρού και επεισοδίων βροχής υγρής περιόδου

Τύπος καιρού	Αριθμός ημερών τύπου καιρού	Ποσοστό τύπου καιρού (%)	Αριθμός επεισοδίων	Ποσοστό επεισοδίων (%)	Πιθανότητα εκδήλωσης (%)
A1	346	8.1	3	0.8	0.9
A2	372	8.8	1	0.3	0.3
A3	199	4.7	1	0.3	0.5
A4	146	3.4	0	0.0	0.0
A5	101	2.4	2	0.6	2.0
W1	155	3.7	25	6.9	16.1
W2	123	2.9	23	6.3	18.7
NW1	571	13.5	116	31.9	20.3
NW2	266	6.3	26	7.2	9.8
SW1	615	14.4	116	31.9	18.9
SW2	215	5.1	26	7.2	12.1
MT1	149	3.5	1	0.3	0.7
MT2	278	6.5	8	2.2	2.9
DSEC	0	0.0	0	0.0	0.0
MB	577	13.6	7	1.9	1.2
DOR	132	3.1	8	2.2	6.1
Σύνολο	4245	100.0	363	100.0	

**Πίνακας 6.5** Συχνότητες τύπων καιρού και επεισοδίων βροχής ξηρής περιόδου

Τύπος καιρού	Αριθμός ημερών τύπου καιρού	Ποσοστό τύπου καιρού (%)	Αριθμός επεισοδίων	Ποσοστό επεισοδίων (%)	Πιθανότητα εκδήλωσης (%)
A1	237	7.7	3	1.7	1.3
A2	268	8.7	2	1.1	0.7
A3	161	5.3	2	1.1	1.2
A4	67	2.2	1	0.6	1.5
A5	13	0.4	0	0.0	0.0
W1	155	5.1	7	4.0	4.5
W2	4	0.1	1	0.6	25.0
NW1	36	1.2	10	5.7	27.8
NW2	268	8.7	16	9.2	6.0
SW1	238	7.8	21	12.0	8.8
SW2	48	1.6	5	2.9	10.4
MT1	91	3.0	4	2.3	4.4
MT2	4	0.1	0	0.0	0.0
DSEC	317	10.4	13	7.4	4.1
MB	801	26.2	31	17.7	3.9
DOR	352	11.5	59	33.7	16.8
Σύνολο	3060	100.0	175	100.0	

- Στη υγρή περίοδο περίπου τα 2/3 των ισχυρών καταιγίδων πραγματοποιήθηκαν όταν ο επικρατών τύπος καιρού ήταν NW1 ή SW1 ενώ το ποσοστό εμφάνισης των δύο αυτών τύπων ήταν περίπου 28%. Επίσης το 91.4% των καταιγίδων πραγματοποιήθηκε όταν επικρατούσε ένας από τους έξι υφεσιακούς τύπους οι οποίοι έχουν ποσοστό εμφάνισης 45.9%.
- Στη ξηρή περίοδο ένα στα τρία επεισόδια πραγματοποιήθηκε όταν επικρατούσε ο τύπος DOR ο οποίος εμφανίστηκε σε ποσοστό 11.5%. Οι υφεσιακοί τύποι με ποσοστό εμφάνισης 24.5% έδωσαν επίσης το ένα τρίτο των επεισοδίων.
- Στις δύο περιόδους αλλά κυρίως στη ξηρή παρατηρείται το φαινόμενο της συχνής εμφάνισης καταιγίδων σε τύπους καιρού που δεν είναι βροχεροί (MB, A1-A5). Τα επεισόδια αυτά που οφείλονται σε τοπική αστάθεια της ατμόσφαιρας, έχουν πολύ μικρή διάρκεια και συνήθως εκδηλώνονται στον έναν από τους τρεις σταθμούς παρά τη μικρή απόσταση των σταθμών μεταξύ τους. Χαρακτηριστικό των καταιγίδων αυτών είναι η ώρα εκδήλωσης τους που συνήθως είναι μεταξύ δύο και επτά το απόγευμα. Τις ώρες αυτές στις ζεστές καλοκαιρινές ημέρες η μάζα του αέρα που είναι σε επαφή με το έδαφος θερμαίνεται αρκετά με αποτέλεσμα να ανυψωθεί (κατακόρυφη μεταφορά) και να ψυχθεί. Αν η αέρια μάζα περιέχει κάποιο σημαντικό ποσό υγρασίας και η ατμόσφαιρα παρουσιάζει αστάθεια, τότε με την ψύξη το νερό αυτό υγροποιείται και τελικά κατακρημνίζεται. Τα παραπάνω επιβεβαιώνει το Σχήμα 6.3, όπου παρουσιάζεται η κατανομή των επεισοδίων βροχής στο Κρίκελλο του τύπου με ασθενή βαροβαθμίδα (MB), ανάλογα με την ώρα του εικοσιτετραώρου που εκδηλώθηκαν. Όπως φαίνεται η μεγάλη πλειονότητα των επεισοδίων αυτών εκδηλώνεται κατά τη διάρκεια του απογεύματος. Πιο συγκεκριμένα μεταξύ των ωρών 4 και 6 το απόγευμα σημειώθηκε το 50% των επεισοδίων αυτών (11 στα 22).

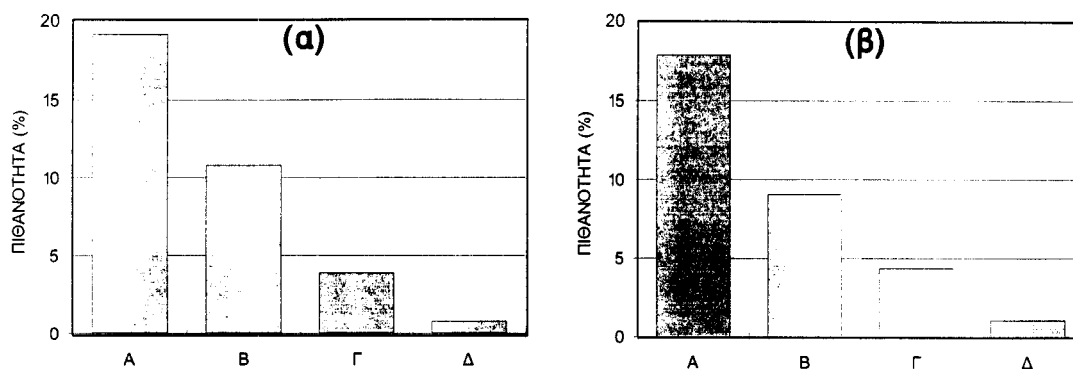


**Σχήμα 6.3** Κατανομή σημειακών επεισοδίων τύπου MB ανάλογα με την ώρα που εκδηλώθηκαν

Από τα δεδομένα των Πινάκων 6.4 και 6.5, προκύπτει ότι και οι δύο εποχές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τέσσερις κατηγορίες τύπων καιρού, οι οποίες έχουν διαφορετική πιθανότητα πραγματοποίησης καταιγίδας. Στον Πίνακα 6.6 παρουσιάζονται οι κατηγορίες για κάθε εποχή μαζί με το εύρος και τη μέση τιμή της πιθανότητας εκδήλωσης των επεισοδίων ανά ομάδα τύπων καιρού. Η πιθανότητα εκδήλωσης παρουσιάζεται και για τις δύο περιόδους στο Σχήμα 6.4

**Πίνακας 6.6** Πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας ανά ομάδα τύπων καιρού

Κατηγορία	Υγρή περίοδος		Ξηρή περίοδος	
	Τύποι καιρού	Μέση πιθανότητα (%)	Τύποι καιρού	Μέση πιθανότητα (%)
A (πιθανότητα >15%)	W1, W2, NW1, SW1	19.1	W2, NW1, DOR	17.9
B (πιθανότητα 8-15%)	SW2, NW2	10.8	SW1, SW2	9.1
Γ (πιθανότητα 2-8%)	MT2, DOR	3.9	W1, NW2, MT1, DSEC, MB	4.4
Δ (πιθανότητα <2%)	A1, A2, A3, A4, A5, MT1, DSEC, MB	0.8	A1, A2, A3, A4, A5, MT2	1.1



**Σχήμα 6.4:** Πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας ανά ομάδα τύπων καιρού (α) Ομάδες υγρής περιόδου (β) Ομάδες ξηρής περιόδου

Για τον έλεγχο της διαφοράς στην πιθανότητα εμφάνισης ισχυρού επεισοδίου βροχής μεταξύ των ομάδων τύπων καιρού, χρησιμοποιήθηκε στατιστική δοκιμή η οποία ελέγχει τη μηδενική υπόθεση ότι οι αναλογίες εμφάνισης κάποιων γεγονότων σε δύο διαφορετικούς πληθυσμούς είναι ίσες [Spiegel, 1977, σελ. 214]. Εφαρμόστηκε στις συχνότητες εμφάνισης των ισχυρών επεισοδίων κάθε τύπου καιρού με στόχο να διαγνώσει αν η αναλογία των πραγματοποιηθέντων ισχυρών επεισοδίων κάθε τύπου, προς τις ημέρες εμφάνισης του, διαφοροποιείται σημαντικά. Η τυποποιημένη μεταβλητή της δοκιμής εκτιμάται με βάση τα πραγματοποιηθέντα επεισόδια και το συνολικό αριθμό ημερών που επικράτησε ο κάθε τύπος.

Η τυποποιημένη μεταβλητή εξετάζεται με την κανονική κατανομή και η τιμή της πρέπει να είναι ίση μικρότερη από 2.33, για να δεχτούμε τη μηδενική υπόθεση σε επίπεδο εμπιστοσύνης 1%. Στον Πίνακα 6.7 παρουσιάζεται η τιμή της τυποποιημένης μεταβλητής που προκύπτει από τις δοκιμές όλων των κατηγοριών μεταξύ τους και για τις δύο περιόδους. Από τα δεδομένα του Πίνακα συνάγεται ότι η μηδενική υπόθεση (οι αναλογίες των ισχυρών επεισοδίων σε οποιεσδήποτε δύο ομάδες τύπων καιρού είναι ίσες), απορρίπτεται στα συνήθη επίπεδα σημαντικότητας (έως και 1%). Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων και των δύο περιόδων, όσον αφορά στη πιθανότητα πραγματοποίησης ισχυρού επεισοδίου δεδομένου ότι επικρατεί κάποιος συγκεκριμένος τύπος καιρού.

**Πίνακας 6.7** *Τυποποιημένη μεταβλητή στατιστικής δοκιμής αναλογιών (Υγρή περίοδος/Ξηρή περίοδος)*

Ομάδα τύπων	1	2	3	4
1	*			
2	4.20/3.23	*		
3	7.47/9.40	3.87/3.37	*	
4	18.59/10.7	11.84/6.48	4.95/4.15	*

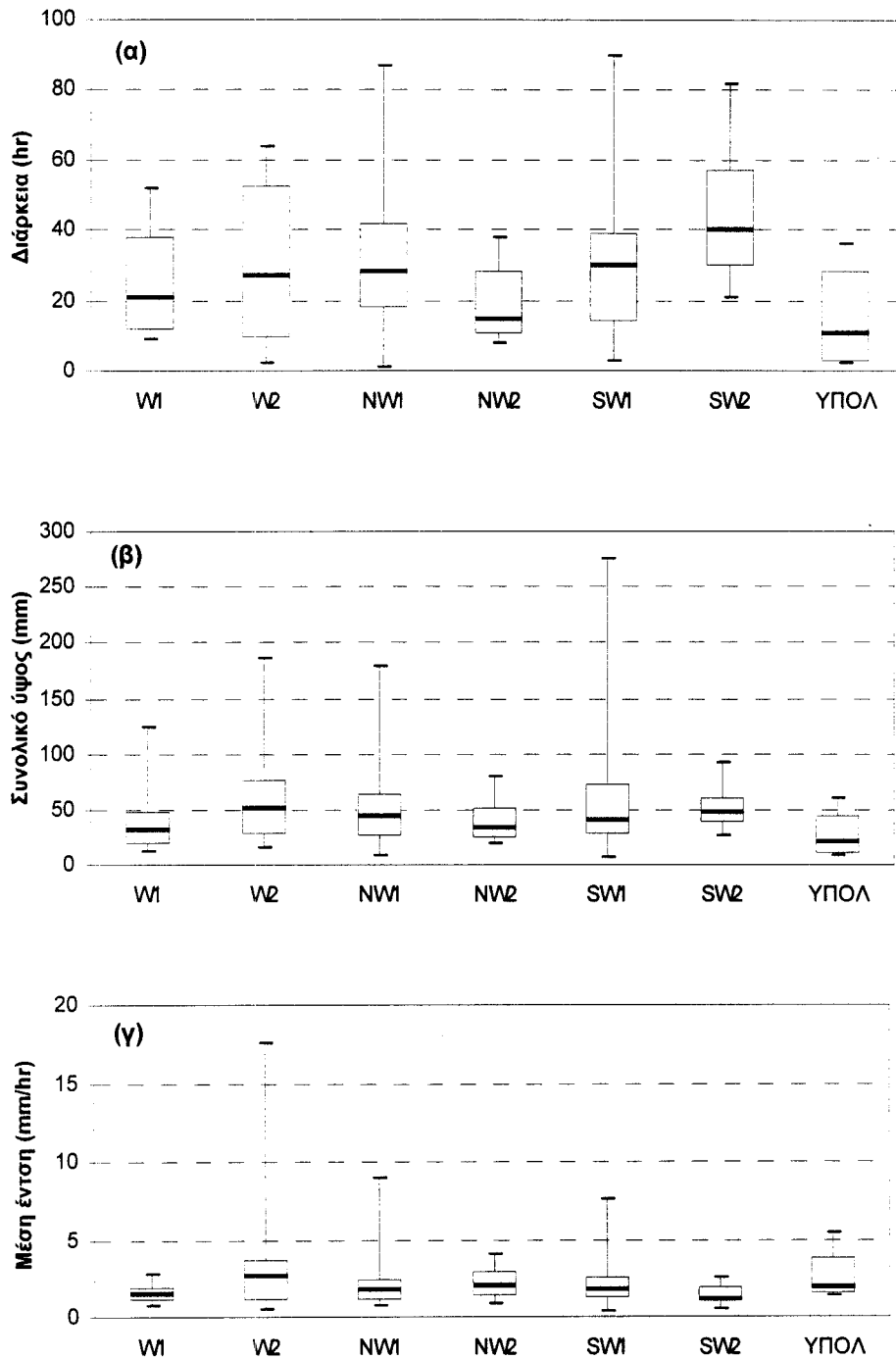
### 6.3.2 Χαρακτηριστικά επεισοδίου βροχής κατά τύπο καιρού.

Η ανάλυση των ισχυρών επεισοδίων έγινε χωριστά για την υγρή και ξηρή περίοδο. Τα επεισόδια χωρίστηκαν κατά τύπο καιρού και υπολογίστηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά της διάρκειας, του συνολικού ύψους, του ωριαίου ύψους και της μέσης έντασης των επεισοδίων βροχής. Ακόμη για τις χρονοσειρές των ωριαίων υψών υπολογίστηκαν οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης και ετεροσυσχέτισης για τα πέντε πρώτα βήματα. Τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου σε επιφανειακή βάση προσδιορίστηκαν με βάση τα δεδομένα και των τριών σταθμών. Ως διάρκεια του επεισοδίου ορίζεται το χρονικό διάστημα από την έναρξη της βροχής στον πρώτο σταθμό μέχρι τη λήξη στον τελευταίο. Το συνολικό και το ωριαίο ύψος υπολογίζονται ως μέσες τιμές των τριών συνολικών και ωριαίων υψών αντίστοιχα. Τέλος η μέση ένταση του επεισοδίου υπολογίζεται ως πηλίκο του συνολικού ύψους προς τη διάρκεια.

Ο μικρός αριθμός των επεισοδίων της ξηρής περιόδου, οι ομοιότητες στα χαρακτηριστικά της βροχής μεταξύ ορισμένων τύπων αλλά και οι μετεωρολογικές ομοιότητες μεταξύ των τύπων αυτών, οδήγησε στην ομαδοποίηση των τύπων της περιόδου αυτής σε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες. Η πρώτη περιλαμβάνει τους ζωνικούς (W1, W2) και τους νοτιοδυτικούς (SW1, SW2). Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους βορειοδυτικούς (NW1, NW2) και η τρίτη τον τύπο DOR. Η τέταρτη κατηγορία περιλαμβάνει όλους τους υπόλοιπους τύπους (A1, A2, A3, A4, A5, MB, DSEC, MT1, MT2). Όλες οι αναλύσεις έγιναν σε σημειακή βάση (Κρίκελλο) και σε επιφανειακή βάση (τρεις βροχογράφοι). Στο Σχήμα 6.5 παρουσιάζονται τα συνοπτικά χαρακτηριστικά των διατεταγμένων δειγμάτων των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής στο Κρίκελλο, με τη μορφή διαγράμματος "κουτιού". Τα χαρακτηριστικά των διατεταγμένων δειγμάτων που παρουσιάζονται είναι η διάμεση, η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή, καθώς και το άνω και κάτω τεταρτημόριο του διατεταγμένου δείγματος. Στους Πίνακες 6.8 και 6.9 παρουσιάζονται σε σημειακή και επιφανειακή βάση αντίστοιχα, οι στατιστικές παράμετροι των χαρακτηριστικών των επεισοδίων βροχής κατά τύπο καιρού, για την υγρή και



ξηρή περίοδο. Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζονται συγκριτικά σε σημειακή και επιφανειακή βάση, οι μέσες τιμές των διαρκειών, των συνολικών υψών και των μέσων εντάσεων, καθώς και οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης των ωριαίων υψών με βήμα 1 για την υγρή περίοδο. Στο Σχήμα 6.7 παρουσιάζονται οι ίδιες τιμές για τα χαρακτηριστικά της ξηρής περιόδου.



**Σχήμα 6.5** Διαγράμματα "κουτιού" χαρακτηριστικών διατεταγμένων δειγμάτων των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής στο Κρίκελλο: (α) διάρκεια, (β) συνολικό ύψος, και (γ) μέση ένταση.

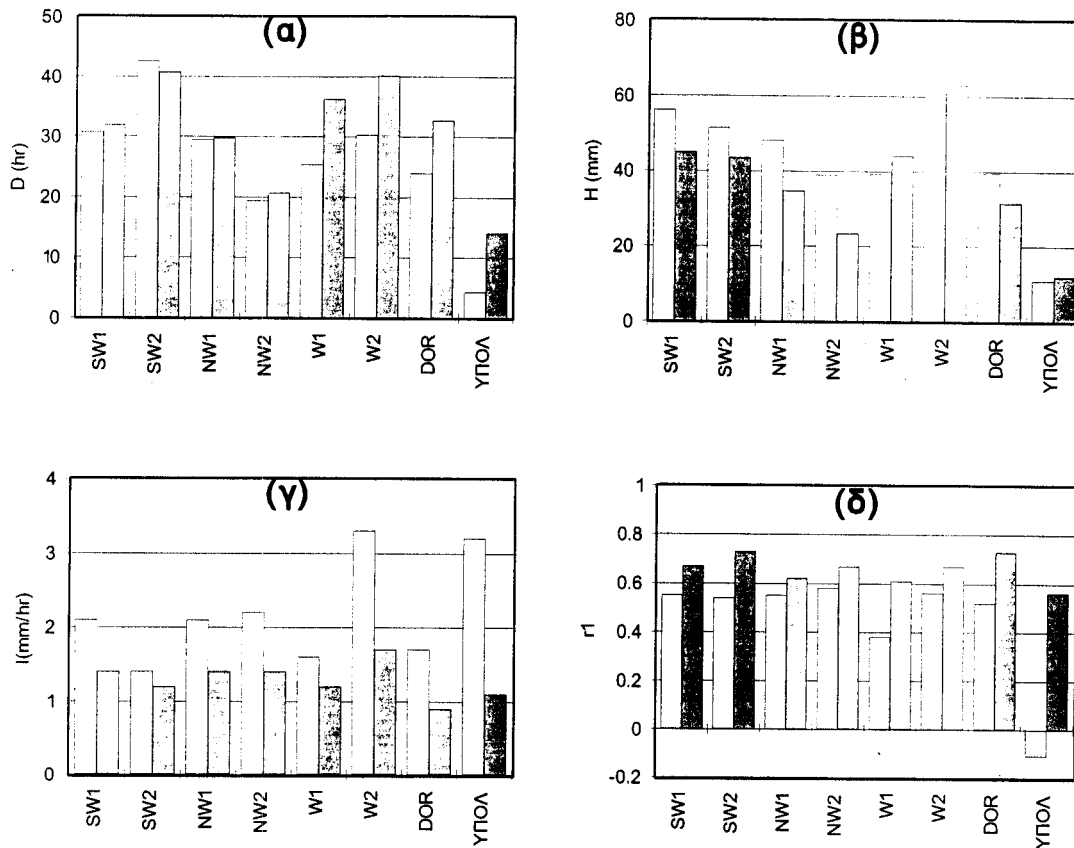
Πίνακας 6.8 Στατιστικά χαρακτηριστικά επεισοδίων βροχής σε σημειακή βάση

ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ								
	SW1	SW2	NW1	NW2	W1	W2	DO R	ΥΠΟΛ
<b>Αριθμός επεισοδίων</b>	71	14	63	14	15	17	3	3
<b>Διάρκεια (hr)</b>								
Μέση τιμή	30.7	42.6	29.5	19.4	25.4	30.3	24.0	4.3
Τυπική απόκλιση	20.0	17.8	16.9	9.7	30.3	21.6		
<b>Συνολικό ύψος(mm)</b>								
Μέση τιμή	56.1	51.5	48.1	39.0	39.2	60.7	39.5	10.9
Τυπική απόκλιση	44.6	17.4	30.5	19.8	28.1	46.2		
<b>Μέση ένταση(mm/hr)</b>								
Μέση τιμή	2.1	1.4	2.1	2.2	1.6	3.3	1.7	3.2
Τυπική απόκλιση	1.3	0.6	1.5	0.9	0.5	3.9		
<b>Ωριαίο ύψος (mm)</b>								
Μέση τιμή	1.8	1.2	1.6	2.0	1.5	2.0	1.6	2.5
Τυπική απόκλιση	2.6	1.9	2.2	2.6	2.0	3.5		
Συντ. αυτοσυσχέτισης (βήμα 1)	0.55	0.54	0.55	0.58	0.38	0.56	0.52	-0.11
ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ								
	SW1, SW2, W1, W2	NW1, NW2	DOR	ΥΠΟΛ.				
<b>Αριθμός επεισοδίων</b>	21	13	27	32				
<b>Διάρκεια</b>								
Μέση τιμή (hr)	12.7	8.2	5.8	4.3				
Τυπική απόκλιση (hr)	11.8	6.6	3.0	5.2				
<b>Συνολικό ύψος</b>								
Μέση τιμή (mm)	25.0	29.8	18.4	14.7				
Τυπική απόκλιση (mm)	12.1	22.4	9.6	6.3				
<b>Μέση ένταση</b>								
Μέση τιμή (mm/hr)	4.0	5.0	3.6	5.8				
Τυπ. απόκλιση (mm/hr)	3.9	3.5	1.6	3.9				
<b>Ωριαίο ύψος</b>								
Μέση τιμή (mm)	2.0	3.6	3.2	3.4				
Τυπική απόκλιση (mm)	3.7	6.1	5.5	4.9				
Συντ. αυτοσυσχέτισης (βήμα 1)	0.44	0.20	-0.03	0.01				

\* Οι τύποι DOR και ΥΠΟΛ. της υγρής περιόδου έχουν λίγα επεισόδια και έτσι παρουσιάζεται ενδεικτικά η μέση τιμή, ενώ δεν υπολογίστηκαν τα υπόλοιπα στατιστικά χαρακτηριστικά.

**Πίνακας 6.9** Στατιστικά χαρακτηριστικά επεισοδίων βροχής σε επιφανειακή βάση

ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ								
	SW1	SW2	NW1	NW2	W1	W2	DO R	ΥΠΟΛ
<b>Αριθμός επεισοδίων</b>	69	16	52	24	22	16	5	16
<b>Διάρκεια (hr)</b>								
Μέση τιμή	31.9	40.8	29.8	20.7	36.3	40.2	32.8	14.1
Τυπική απόκλιση	20.1	24.4	14.9	11.7	22.2	20.4	14.6	13.6
<b>Συνολικό ύψος(mm)</b>								
Μέση τιμή	45.0	43.5	34.8	23.4	44.1	63.0	31.6	12.0
Τυπική απόκλιση	38.9	25.4	21.9	17.1	47.2	45.9	23.3	8.9
<b>Μέση ένταση(mm/hr)</b>								
Μέση τιμή	1.4	1.2	1.4	1.4	1.2	1.7	0.9	1.1
Τυπική απόκλιση	0.7	0.6	1.0	1.0	0.5	0.9	0.4	0.5
<b>Ωριαίο ύψος (mm)</b>								
Μέση τιμή	1.4	1.1	1.2	1.1	1.2	1.6	1.0	0.9
Τυπική απόκλιση	1.8	1.3	1.6	1.6	1.5	2.5	1.6	1.0
Συντ. αυτοσυσχέτισης (βήμα 1)	0.67	0.73	0.62	0.67	0.61	0.67	0.73	0.56
ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ								
	SW1, SW2, W1, W2		NW1, NW2		DOR		ΥΠΟΛ.	
<b>Αριθμός επεισοδίων</b>	24		21		45		48	
<b>Διάρκεια</b>								
Μέση τιμή (hr)	18.9		9.0		9.7		5.3	
Τυπική απόκλιση (hr)	13.2		7.8		6.1		3.9	
<b>Συνολικό ύψος</b>								
Μέση τιμή (mm)	21.9		17.1		10.8		7.3	
Τυπική απόκλιση (mm)	14.0		18.0		6.8		5.1	
<b>Μέση ένταση</b>								
Μέση τιμή (mm/hr)	1.5		2.3		1.3		1.8	
Τυπ. απόκλιση (mm/hr)	0.9		1.3		0.8		1.2	
<b>Ωριαίο ύψος</b>								
Μέση τιμή (mm)	1.2		1.9		1.1		1.4	
Τυπική απόκλιση (mm)	1.8		3.0		2.1		1.9	
Συντ. αυτοσυσχέτισης (βήμα 1)	0.44		0.34		0.20		0.11	

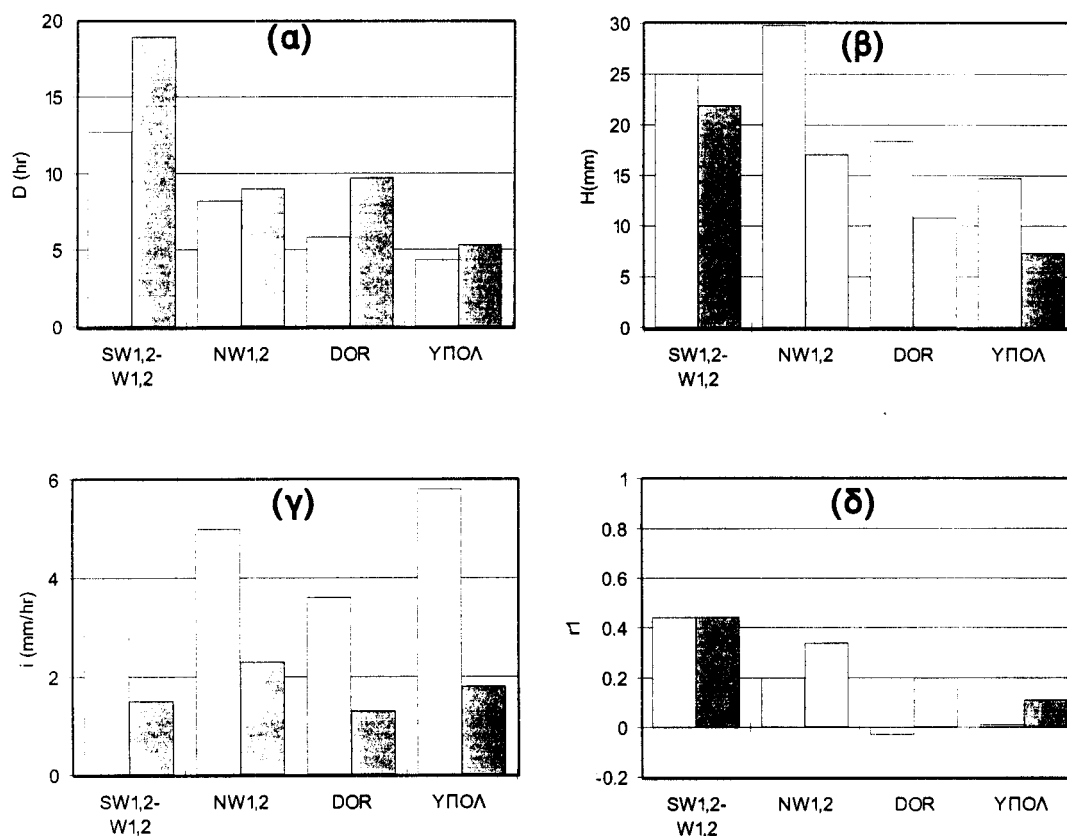


**Σχήμα 6.6** Χαρακτηριστικά επεισοδίου βροχής υγρής περιόδου, ανά τύπο καιρού σε σημειακή (ανοικτή απόχρωση) και επιφανειακή βάση (σκούρα απόχρωση): **(α)** μέση διάρκεια, **(β)** μέσο συνολικό ύψος, **(γ)** μέση ένταση, **(δ)** συντελεστής αυτοσυσχέτισης με βήμα 1

Από τα δεδομένα των Πινάκων 6.7 και 6.8, και των Σχημάτων 6.5 και 6.6 συνάγονται οι ακόλουθες παρατηρήσεις:

- Τα δείγματα όλων των χαρακτηριστικών του σημειακού επεισοδίου βροχής και ιδιαίτερα του ωριαίου ύψους παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά. Ιδιαίτερα το ωριαίο ύψος βροχής σε όλους τους τύπους και για τις δύο περιόδους εμφανίζει συντελεστές διασποράς μεγαλύτερους από τη μονάδα.
- Ο τύποι καιρού που έχουν ομαδοποιηθεί στη κατηγορία “υπόλοιποι” (ΥΠΟΛ) και στις δύο περιόδους, δε χαρακτηρίζονται από μετεωρολογικά φαινόμενα που να δικαιολογούν πραγματοποίηση ισχυρής βροχόπτωσης στη συγκεκριμένη περιοχή. Πρόκειται για τους πέντε αντικυκλωνικούς (A1-A5), τους ξηρούς τύπους MB και DSEC, και τους μικτούς MT1 και MT2. Ο τελευταίος προκαλεί ισχυρές βροχοπτώσεις στην περιοχή του Αιγαίου, όπως αναπτύχθηκε στο Κεφάλαιο 4, αλλά κατατάχθηκε μαζί με τους άλλους λόγω του ελάχιστου αριθμού επεισοδίων που πραγματοποιήθηκαν στην

λεκάνη του Ευήνου όταν επικρατούσε ο τύπος αυτός. Η βροχή που εμφανίζεται κατά την παρουσία των τύπων αυτών οφείλεται σε τοπική αστάθεια της ατμόσφαιρας. Έτσι όπως φαίνεται και από τους Πίνακες 6.8 και 6.9 τα επεισόδια αυτά έχουν πολύ μικρή διάρκεια και συνολικό ύψος βροχής. Ακόμη, η βροχόπτωση εκδηλώνεται συνήθως τις απογευματινές ώρες και σε έναν από τους τρεις σταθμούς, όπως επισημάνθηκε και επεξηγήθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.



**Σχήμα 6.7** Χαρακτηριστικά επεισοδίου βροχής ξηρής περιόδου, ανά τύπο καιρού σε σημειακή (ανοικτή απόχρωση) και επιφανειακή βάση (σκούρα απόχρωση): **(α)** μέση διάρκεια, **(β)** μέσο συνολικό ύψος, **(γ)** μέση ένταση, **(δ)** συντελεστής αυτοσυσχέτισης με βήμα 1

- Η διάρκεια των επεισοδίων παρουσιάζει ορισμένες σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων τύπων. Στη υγρή περίοδο ο τύπος NW2 αλλά και οι τύποι που ανήκουν στην κατηγορία των υπολοίπων προκαλούν επεισόδια με μικρότερες διάρκειες ενώ οι SW2 και W2 με μεγαλύτερες (Σχήμα 6.4α). Στη ξηρή περίοδο οι διάρκειες των επεισοδίων των τύπων της πρώτης ομάδας (SW1, SW2, W1, W2) προκαλούν επεισόδια με μεγαλύτερες διάρκειες (Σχήμα 6.6α)

- Τα συνολικά ύψη των επεισοδίων δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τύπων. Στην υγρή περίοδο ο W2 παρουσιάζει το μεγαλύτερο συνολικό ύψος, ενώ ο NW2 και οι τύποι που ανήκουν στην κατηγορία των υπολοίπων (Σχήμα 6.6β). Στην ξηρή περίοδο οι υφειακοί τύποι προκαλούν επεισόδια με μεγαλύτερο συνολικό ύψος (Σχήμα 6.7β)
- Οι μέσες εντάσεις των επεισοδίων παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μόνο στην σημειακή ανάλυση. Στην υγρή περίοδο τα σημειακά επεισόδια των τύπων W2 και της κατηγορίας των υπολοίπων έχουν σημαντικά μεγαλύτερη μέση ένταση από τα υπόλοιπα (Σχήμα 6.6γ). Στην ξηρή περίοδο τα σημειακά επεισόδια της κατηγορίας των υπολοίπων εμφανίζουν μεγαλύτερη μέση ένταση (Σχήμα 6.7γ)
- Τα ωριαία ύψη δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τύπων ενώ η πολύ μεγάλη διασπορά δεν επιτρέπει την εξαγωγή στατιστικά σημαντικών συμπερασμάτων. Όσον αφορά το συντελεστή αυτοσυσχέτισης τα ωριαία ύψη όλων των τύπων της υγρής περιόδου παρουσιάζουν υψηλή αυτοσυσχέτιση χωρίς να υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τύπων (Σχήμα 6.6δ). Τα ωριαία ύψη της ξηρής περιόδου παρουσιάζουν σχεδόν μηδενική αυτοσυσχέτιση, ενώ τα ύψη των δύο κατηγοριών των υφειακών τύπων παρουσιάζουν υψηλότερη αυτοσυσχέτιση. Το γεγονός αυτό δείχνει μια “χειμερινή” δομή των επεισοδίων αυτών παρά το ότι εκδηλώνονται την ξηρή περίοδο (Σχήμα 6.7δ).
- Στην ξηρή περίοδο παρουσιάζονται μεγαλύτερες διαφοροποιήσεις μεταξύ των τύπων σε όλα τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης.

Για τον έλεγχο της διαφοράς των χαρακτηριστικών των επεισοδίων βροχής κατά τύπο καιρού χρησιμοποιήθηκε η στατιστική δοκιμή των Kruskal-Wallis [Freud and Simon, 1991], η οποία ελέγχει το κατά πόσον δύο ή περισσότερα δείγματα προέρχονται από τον ίδιο πληθυσμό. Η δοκιμή επιλέχθηκε επειδή είναι μη παραμετρική και δεν απαιτεί για την εφαρμογή της τα δείγματα να ακολουθούν συγκεκριμένη κατανομή (π.χ. κανονική). Εφαρμόστηκε στα δείγματα των χαρακτηριστικών των επεισοδίων βροχής χωρισμένων κατά τύπο καιρού. Σε κάθε ένα από τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής βροχής (διάρκεια, συνολικό ύψος, μέση ένταση) ελέγχθηκε η μηδενική υπόθεση ότι τα δείγματα όλων των τύπων καιρού μαζί ανήκουν στον ίδιο στατιστικό πληθυσμό. Η δοκιμή εφαρμόστηκε ξεχωριστά για τις δύο περιόδους καθώς και για τα σημειακά και επιφανειακά επεισόδια. Η ανάλυση δείχνει ότι η μηδενική υπόθεση απορρίπτεται στα συνήθη επίπεδα σημαντικότητας (μέχρι 1%) για τις διάρκειες και τα συνολικά ύψη, ενώ για τις μέσες εντάσεις δεν απορρίπτεται σε επίπεδο 5%.

Από τα προηγούμενα συνάγεται ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στα χαρακτηριστικά του επεισοδίου μεταξύ των διαφόρων τύπων, με εξαίρεση τη μέση ένταση του επεισοδίου.

Η δοκιμή χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για να ελεγχθούν οι διαφορές σε κάποιο χαρακτηριστικό του επεισοδίου μεταξύ δύο μόνο τύπων. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να ελεγχθεί κατά πόσον είναι σημαντικές παρατηρήσεις που έγιναν για κάποιο χαρακτηριστικό του επεισοδίου, ενός συγκεκριμένου τύπου, συγκρίνοντας τον τύπο αυτόν με κάθε έναν από τους υπόλοιπους. Με τη μέθοδο αυτή διερευνήθηκαν ορισμένες από τις παρατηρήσεις που διατυπώθηκαν σε αυτή τη παράγραφο. Με πλάγια γράμματα διατυπώνονται οι στατιστικές υποθέσεις και με κανονικά περιγράφονται τα αποτελέσματα των ελέγχων.

*1. Ο NW2 της υγρής περιόδου προκαλεί επεισόδια με μικρότερη διάρκεια και συνολικό ύψος.*

Εφαρμόστηκε η δοκιμή μεταξύ των διαρκειών και συνολικών υψών του τύπου NW2 και των αντιστοίχων χαρακτηριστικών κάθε ενός από τους τύπους SW1, SW2, NW1, W1, W2. Οι δοκιμές επιβεβαίωσαν τη παραπάνω υπόθεση.

*2. Η κατηγορία των υπολοίπων(A1-A5, MT1, MT2, DSEC, MB) τύπων της υγρής περιόδου προκαλούν επεισόδια με μικρότερη διάρκεια και συνολικό ύψος*

Εφαρμόστηκε η δοκιμή μεταξύ των διαρκειών και συνολικών υψών της κατηγορίας των υπολοίπων(A1-A5, MT1, MT2, DSEC, MB) τύπων και των αντιστοίχων χαρακτηριστικών καθενός από τους τύπους SW1, SW2, NW1, W1, W2. Οι δοκιμές έδειξαν ότι επιβεβαιώνεται η παραπάνω υπόθεση.

*3. Ο SW2 της υγρής περιόδου προκαλεί επεισόδια με μεγαλύτερη διάρκεια.*

Ο έλεγχος έδειξε ότι η διάρκεια των επεισοδίων του τύπου αυτού, δε διαφέρει σημαντικά από τις διάρκειες των άλλων τύπων παρά μόνο με αυτές του NW2 και των υπολοίπων (A1-A5, MT1, MT2, DSEC, MB).

*4. Ο W2 της υγρής περιόδου προκαλεί επεισόδια με μεγαλύτερο συνολικό ύψος και μέση ένταση επεισοδίου.*

Εφαρμόστηκε η δοκιμή μεταξύ των συνολικών υψών και μέσων εντάσεων του τύπου W2 και των αντιστοίχων χαρακτηριστικών κάθε ενός από τους υπόλοιπους τύπους. Οι δοκιμές έδειξαν ότι το συνολικό ύψος του τύπου αυτού διαφέρει σημαντικά από τα ύψη των NW1, NW2, DOR, ΥΠΟΛΟΙΠΟΙ αλλά όχι από τους SW1, SW2, W1. Όσον αφορά στη μέση ένταση οι δοκιμές δεν έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές του συγκεκριμένου τύπου από του άλλους.

*5. Οι διάρκειες των επεισοδίων μεταξύ των τεσσάρων κατηγοριών τύπων καιρού της ξηρής περιόδου διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους*

Πράγματι ο έλεγχος έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ όλων των κατηγοριών τύπων. Τις μεγαλύτερες διάρκειες παρουσιάζει η ομάδα των SW1, SW2, W1, W2 προκαλεί κατά τη ξηρή περίοδο επεισόδια και ακολουθούν η ομάδα των τύπων NW1 και NW2, ο τύπος DOR και τέλος η κατηγορία των υπολοίπων (A1-A5, MT1, MT2, DSEC, MB).

*6. Τα συνολικά ύψη των υφιστάμενων τύπων της ξηρής περιόδου είναι μεγαλύτερα από αυτά του DOR και των υπολοίπων (A1-A5, MT1, MT2, DSEC, MB).*

Εφαρμόστηκε η δοκιμή μεταξύ των συνολικών υψών των τύπων της ξηρής περιόδου και ο έλεγχος επιβεβαιώνει την παραπάνω υπόθεση.

*7. Οι μέσες εντάσεις της ομάδας των NW1 και NW2 και της ομάδας των υπολοίπων της ξηρής περιόδου είναι μεγαλύτερες από αυτές των άλλων δύο ομάδων.*

Εφαρμόστηκε η δοκιμή μεταξύ των μέσων εντάσεων των επεισοδίων των κατηγοριών αυτών και των άλλων δύο της ξηρής περιόδου και ο έλεγχος επιβεβαιώνει την παραπάνω υπόθεση.

Στον Πίνακα 6.10 παρουσιάζονται ενδεικτικά ορισμένα από τα παραπάνω αποτελέσματα της επιφανειακής ανάλυσης. Στη πρώτη στήλη δίνονται οι τύποι καιρού που εξετάζονται και στη δεύτερη το επίπεδο εμπιστοσύνης που θα πρέπει να υιοθετηθεί ώστε να γίνει αποδεκτή η μηδενική υπόθεση ότι τα δείγματα του συγκεκριμένου χαρακτηριστικού του επεισοδίου βροχής (διάρκεια, συνολικό ύψος, μέση ένταση) των τύπων καιρού, ανήκουν στον ίδιο στατιστικό πληθυσμό.

Από τους στατιστικούς ελέγχους διαπιστώνονται στατιστικά σημαντικές διαφορές στα δείγματα των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής μεταξύ των διαφόρων τύπων καιρού, παρά τη μεγάλη διασπορά που παρουσιάζουν. Η επιχειρησιακή χρησιμότητα της ανάλυσης επιβάλλει τον προσδιορισμό του ποσοστού της διασποράς που ερμηνεύεται από την εισαγωγή της έννοιας “τύπος καιρού”. Για το σκοπό αυτό έγινε ανάλυση διασποράς στα δείγματα των χαρακτηριστικών του επεισοδίου μεταξύ όλων των τύπων καιρού. Στον Πίνακα 6.11 παρουσιάζεται το ποσοστό της διασποράς που εξηγείται από τους τύπους καιρού για κάθε χαρακτηριστικό του επεισοδίου βροχής. Από τον Πίνακα 6.11 φαίνεται ότι η εισαγωγή των τύπων καιρού εξηγεί ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς στα χαρακτηριστικά των επεισοδίων της ξηρής περιόδου (που φτάνει το 18% για τις διάρκειες σε επιφανειακή βάση), όχι όμως και της υγρής.



**Πίνακας 6.10** Ενδεικτικά αποτελέσματα δοκιμής Kruskal-Wallis στην επιφανειακή ανάλυση

ΥΓΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ					
Διάρκειες		Συνολικά ύψη		Μέσες εντάσεις	
Τύποι καιρού	Επίπεδο (%)	Τύποι καιρού	Επίπεδο (%)	Τύποι καιρού	Επίπεδο (%)
Όλοι	< 1	Όλοι	< 1	Όλοι	18
SW1-SW2	26	SW1-NW2	< 1	W2-SW1	11
SW1-NW2	1	SW1-W2	10	SW1-ΥΠΟΛ	14
SW1-ΥΠΟΛ	< 1	NW1-W2	2		
SW1-W2	12	SW1-ΥΠΟΛ			
ΞΗΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ					
Όλοι	< 1	Όλοι	< 1	Όλοι	1
NW1,2-SW1,2,W1,2	< 1	NW1,2-SW1,2,W1,2	2	NW1,2-ΥΠΟΛ	13
DOR-ΥΠΟΛ	< 1	DOR-ΥΠΟΛ	3	NW1,2-SW1,2,W1,2	3
		DOR-SW1,2,W1,2	0	DOR-ΥΠΟΛ	2

**Πίνακας 6.11** Ποσοστό της διασποράς (%) που εξηγείται από τους τύπους καιρού

	Σημειακά επεισόδια	Επιφανειακά επεισόδια
<b>Υγρή περίοδος</b>		
Διάρκειες	7	11
Συνολικά ύψη	3	10
Μέσες εντάσεις	7	4
Ωριαίο ύψος	1	1
<b>Ξηρή περίοδος</b>		
Διάρκειες	18	28
Συνολικά ύψη	18	22
Μέσες εντάσεις	8	9
Ωριαίο ύψος	2	2

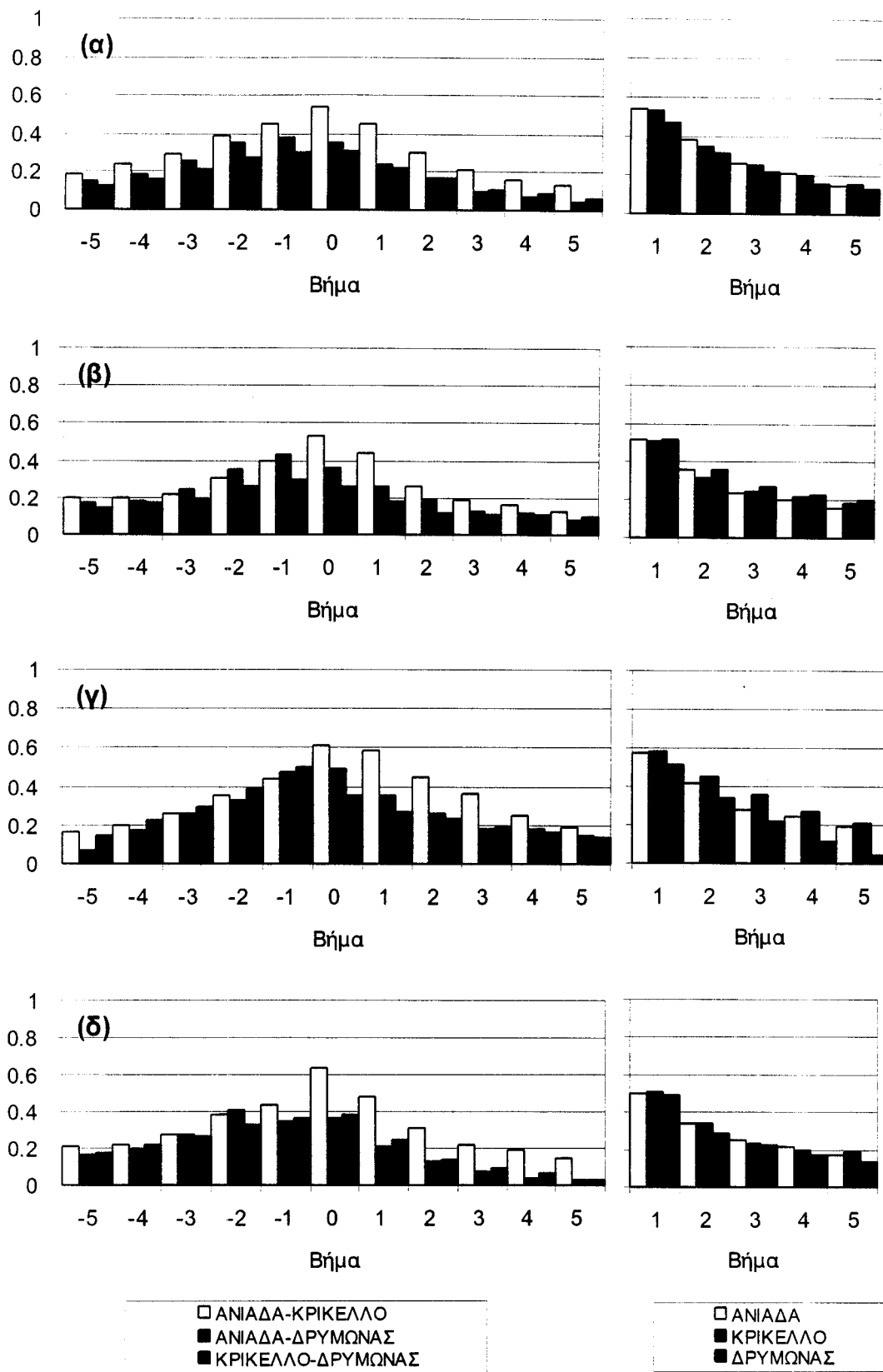
### 6.3.3 Δομή συσχέτισης των ωριαίων υψών βροχής

Για όλους τους τύπους καιρού υπολογίστηκαν οι συντελεστές ετεροσυσχέτισης των ωριαίων υψών με βήμα -5 έως 5 μεταξύ των τριών σταθμών, καθώς και οι πέντε πρώτοι συντελεστές αυτοσυσχέτισης κάθε σταθμού. Στο Σχήμα 6.8 παρουσιάζονται οι ετεροσυσχετίσεις των ωριαίων υψών όλων των τύπων της υγρής περιόδου, καθώς και οι αντίστοιχες αυτοσυσχετίσεις. Στο Σχήμα 6.9

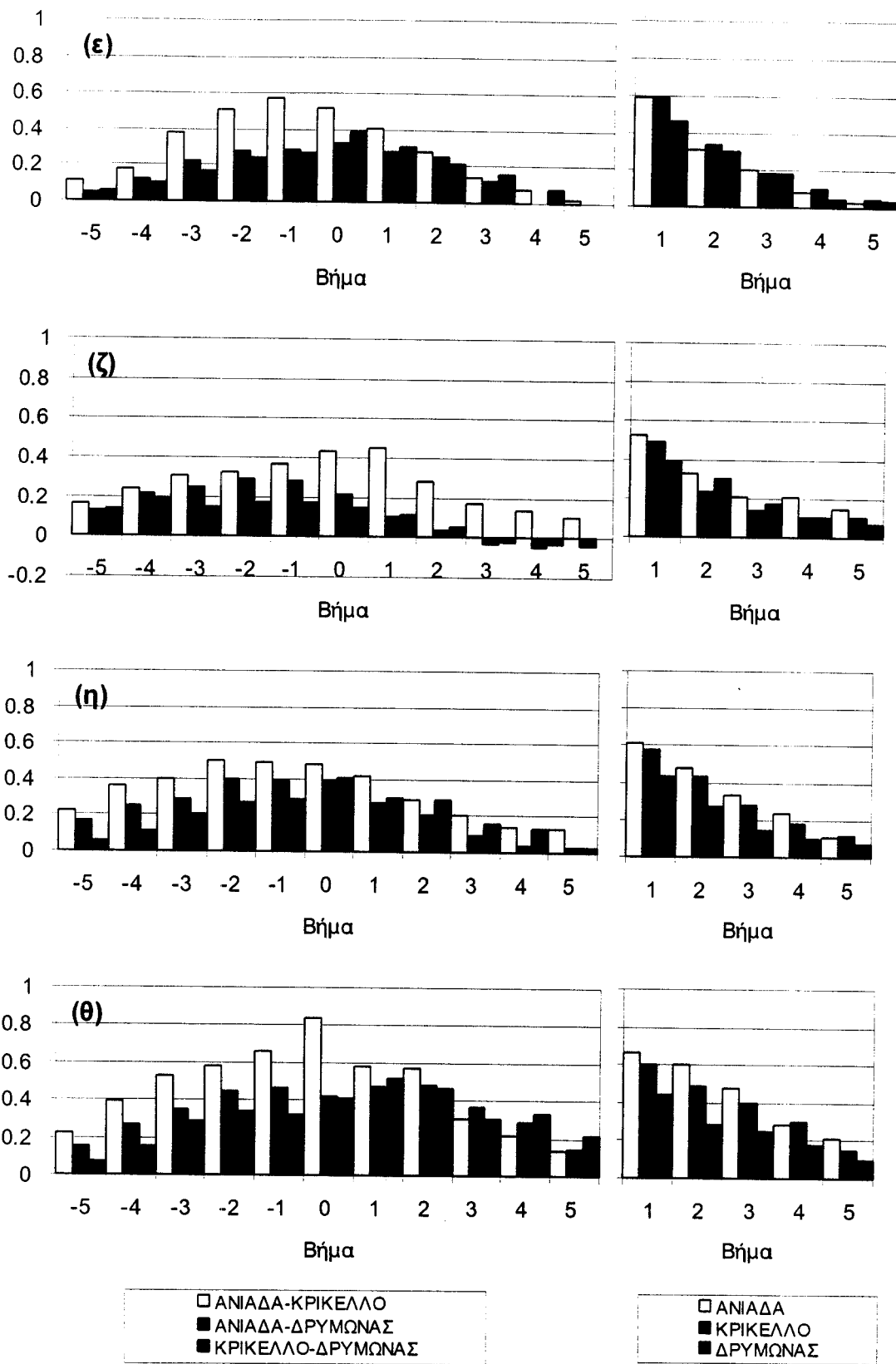
παρουσιάζονται οι ετεροσυσχετίσεις και αυτοσυσχετίσεις των ωριαίων υψών όλων των τύπων για την ξηρή περίοδο.

Από την παραπάνω ανάλυση, εκτός από τις παρατηρήσεις που έγιναν προηγουμένως, επισημαίνονται και τα παρακάτω σημεία:

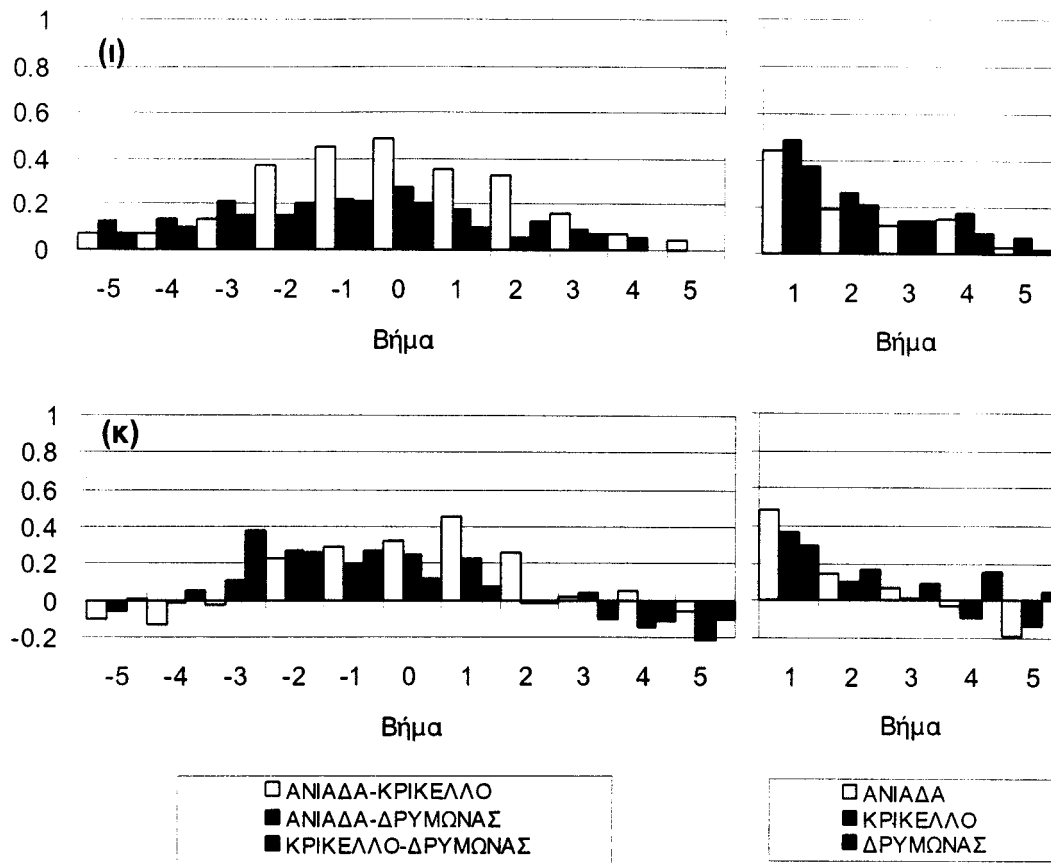
- Οι αυτοσυσχετίσεις και ετεροσυσχετίσεις είναι ισχυρότερες για τα ωριαία ύψη των τύπων της υγρής περιόδου από αυτούς της ξηρής. Αυτό οφείλεται στη έντονη μεταβλητότητα του ύψους βροχής των καλοκαιρινών επεισοδίων στο χώρο και το χρόνο, εξαιτίας της ατμοσφαιρικής αστάθειας που χαρακτηρίζει τις βροχερές ημέρες της ξηρής περιόδου.
- Κατά την υγρή περίοδο δεν υπάρχει πρακτική διαφορά μεταξύ των τύπων όσον αφορά στην αυτοσυσχέτιση και ετεροσυσχέτιση, εκτός από την κατηγορία των υπολοίπων που περιλαμβάνει επεισόδια που έχουν κυρίως προκληθεί από τοπική αστάθεια. Όπως φαίνεται από τα Σχήματα 6.8 οι αυτοσυσχετίσεις και ετεροσυσχετίσεις των τύπων της υγρής περιόδου είναι αρκετά σημαντικές και μειώνονται όσο αυξάνει το βήμα.
- Κατά τη ξηρή περίοδο τα ωριαία ύψη των υφειακών τύπων παρουσιάζουν αυξημένες αυτοσυσχετίσεις και ετεροσυσχετίσεις (Σχήματα 6.9α - 6.9η) σε σχέση με αυτά των δύο άλλων τύπων (Σχήματα 6.9θ, 6.9ι). Όπως έχει εντοπιστεί και προηγουμένως, οι υφειακοί τύποι της ξηρής περιόδου δίνουν επεισόδια που τα χαρακτηριστικά τους μοιάζουν με αυτά της υγρής περιόδου.
- Οι ετεροσυσχετίσεις είναι ισχυρότερες μεταξύ των δύο κοντινών σταθμών Κρίκελλο και Ανιάδα γεγονός που εξηγείται από τη μεταξύ τους μικρή απόσταση. Ακόμη ο Δρυμώνας συσχετίζεται καλύτερα με την πλησιέστερή του Ανιάδα. Η αιχμή των ετεροσυσχετογραμμάτων κατά κανόνα εμφανίζεται σε βήμα 0, πράγμα που δείχνει ότι υπάρχει συγχρονισμός στην εξέλιξη της βροχής στους τρεις σταθμούς. Όμως ορισμένα ετεροσυσχετογράμματα του Δρυμώνα εμφανίζουν αιχμή σε βήμα περίπου - 1, γεγονός που σημαίνει ότι η βροχή προηγείται κατά μία ώρα περίπου στον Δρυμώνα σε σχέση με τους άλλους δύο σταθμούς.



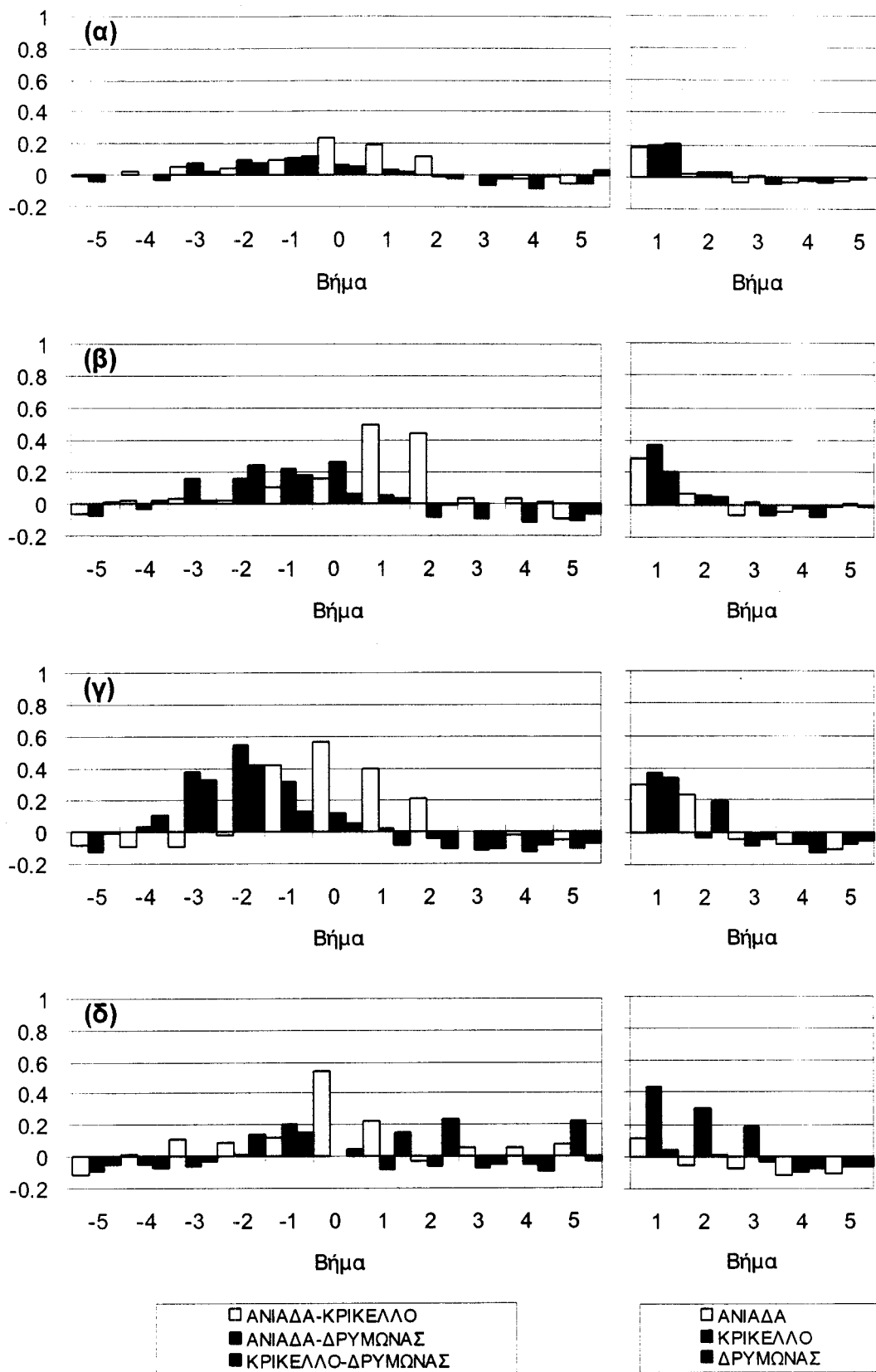
Σχήμα 6.8 Συντελεστές ετεροσυσχέτισης και αυτοσυσχέτισης ωριαίων υψών τύπων καιρού υγρής περιόδου (α) Όλοι (β) SW1 (γ) SW2 (δ) NW1



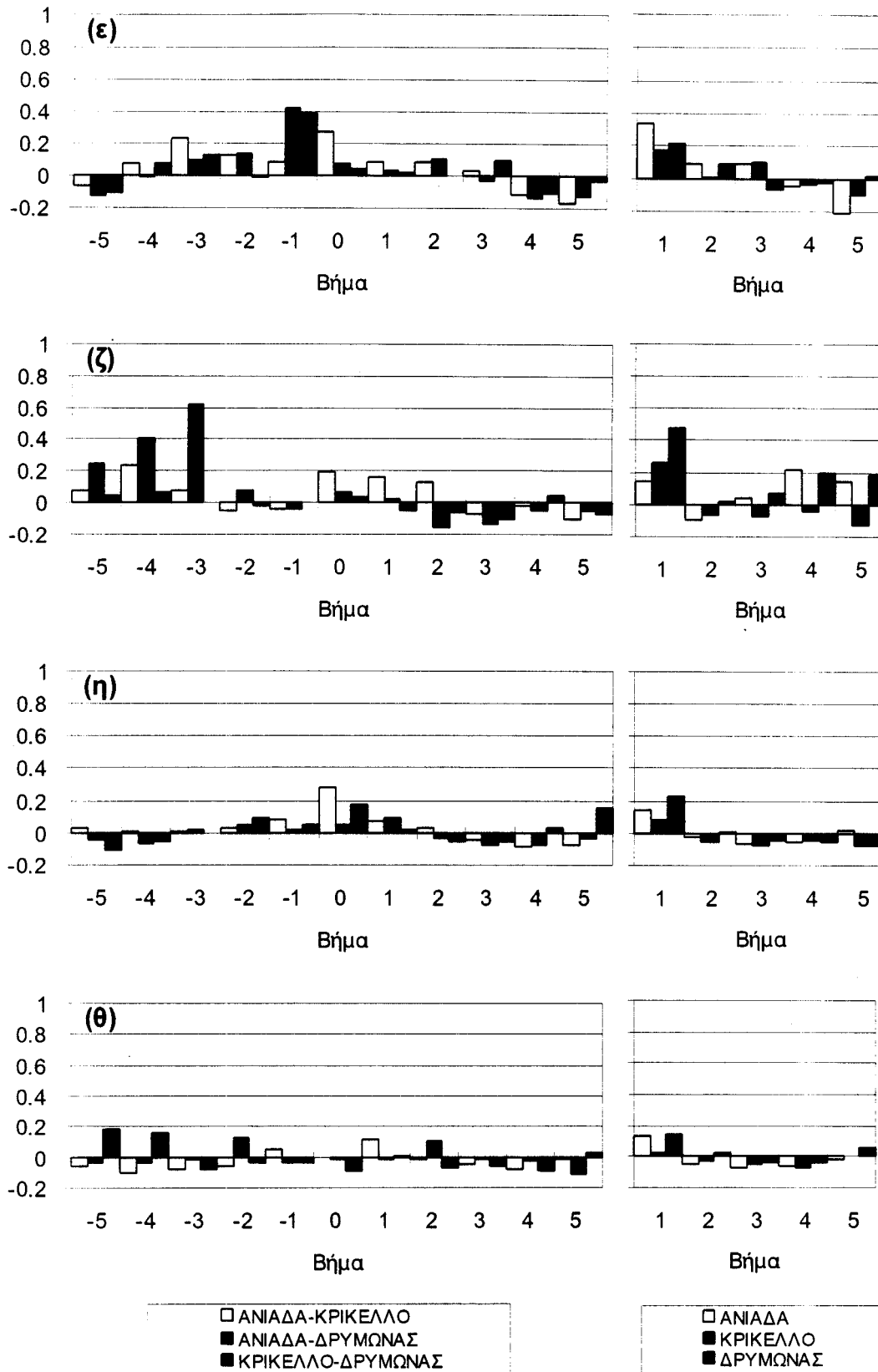
**Σχήμα 6.8 (συνέχεια)** Συντελεστές ετεροσυσχέτισης και αυτοσυσχέτισης ωριαίων υψών τύπων καιρού υγρής περιόδου (ε) NW2 (ζ) W1 (η) W2 (θ) DOR



**Σχήμα 6.8 (συνέχεια)** Συντελεστές ετεροσυσχέτισης και αυτοσυσχέτισης ωριαίων υψών τύπων καιρού υγρής περιόδου (ι) MT1, MT2, (κ) A1-A5, MB, DSEC



**Σχήμα 6.9** Συντελεστές ετεροσυσχέτισης και αυτοσυσχέτισης ωριαίων υψών τύπων καιρού ξηρής περιόδου (α) Όλοι (β) SW1 (γ) SW2 (δ) NW1



Σχήμα 6.9 (συνέχεια) Συντελεστές ετεροσυσχέτισης και αυτοσυσχέτισης ωριαίων υψών τύπων καιρού ξηρής περιόδου (ε) NW2 (ζ) W1 (η) DOR (θ) A1-A5, MT1,2, DSEC, MB

#### 6.3.4 Σύγκριση των χαρακτηριστικών της βροχής με ανάλογες εργασίες

Στην εργασία του Μαχαίρα [1982], εξετάζονται κατά τύπο οι τιμές πολλών μετεωρολογικών μεταβλητών της περιοχής της Θεσσαλονίκης και εξηγούνται πολλά από τα χαρακτηριστικά των μεταβλητών αυτών με βάση τα χαρακτηριστικά των τύπων καιρού. Επίσης υπολογίζονται το μέσο ημερήσιο ύψος και διάρκεια βροχής κατά τύπο καιρού. Σε πολλά σημεία τα αποτελέσματα της εργασίας του Μαχαίρα μοιάζουν αρκετά με αυτά της παρούσας ανάλυσης, παρά το γεγονός ότι εξετάστηκαν ισχυρές καταιγίδες σε μια εντελώς διαφορετική περιοχή του ελληνικού χώρου. Τα σημεία αυτά παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Οι NW2 της υγρής περιόδου έχουν μικρότερο ύψος και διάρκεια βροχής.
2. Ο W2 της υγρής περιόδου παρουσιάζει το μεγαλύτερο ύψος και διάρκεια.
3. Οι MB, DSEC, A1 της ξηρής περιόδου παρουσιάζουν καταιγίδες που συνήθως οφείλονται στα υπολείμματα αστάθειας που υπάρχουν καθ' ύψος
4. Οι διάρκειες των τύπων της ξηρής περιόδου έχουν ανάλογη διάταξη και στις δυο αναλύσεις

Σε μία δεύτερη εργασία ο Μαχαίρας [1985] ερεύνησε τη συχνότητα εμφάνισης της βροχής κατά τη θερινή περίοδο, σε 13 σταθμούς κατανεμημένους σε όλο τον Ελληνικό χώρο, κατατάσσοντας τις βροχερές ημέρες σε τύπους καιρού. Σαν βροχερή ημέρα όρισε αυτήν στην οποία έχει καταγραφεί βροχή μεγαλύτερη των 5.5 χιλιοστών σε τουλάχιστον δύο σταθμούς. Με βάση την κατάταξη προέκυψε ότι το 58% των επεισοδίων πραγματοποιήθηκε όταν επικρατούσε ο τύπος DOR ενώ το υπόλοιπο όταν επικρατούσε κάποιος από τους υφειακούς W1, NW1, NW2, SW1, SW2. Στη παρούσα ανάλυση ο DOR δίνει το 34% των επεισοδίων και οι υφειακοί άλλο 34%, ενώ οι άλλοι τύποι το υπόλοιπο 32%. Η διαφορά στα αποτελέσματα εξηγείται από το γεγονός ότι το κριτήριο ορισμού της βροχερής ημέρας απέκλεισε τα επεισόδια που εκδηλώνονται όταν επικρατούν τύποι που δε χαρακτηρίζονται από βροχοπτώσεις. Οι τοπικές αυτές καταιγίδες που προκαλούνται από τοπικές αστάθειες στην ατμόσφαιρα, επεκτείνονται χωρικά σε αποστάσεις πολύ πιο περιορισμένες από αυτές μεταξύ των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν, με αποτέλεσμα να μην προκαλούν βροχόπτωση μεγαλύτερη από 5.5 χιλιοστά σε σταθμούς που απέχουν μεγάλες αποστάσεις, όπως αυτοί που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία του Μαχαίρα. Σημειώνεται ότι όπως διαπιστώθηκε από την παρούσα ανάλυση η πλειονότητα των επεισοδίων βροχής των τύπων αυτών εκδηλώνονταν σε έναν από τους τρεις σταθμούς παρά τις πολύ κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους.



## 6.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΒΡΟΧΗΣ

### 6.4.1 Εισαγωγή

Η πρόγνωση των χαρακτηριστικών των καταιγίδων είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ικανοποιητική πρόγνωση των πλημμυρικών φαινομένων. Η τροφοδότηση των μοντέλων βροχής-απορροής με τη χρονική και χωρική εξέλιξη των επεισοδίων βροχής, συμβάλλει σημαντικά στην πρόγνωση των πλημμυρογραφημάτων. Η θεώρηση των τύπων καιρού δε συμβάλλει ουσιαστικά στην πρόγνωση των μελλοντικών υετογραμμάτων, ενώ τα μοντέλα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση της βροχής παράγουν υετογράμματα που δεν έχουν την απαιτούμενη χρονική ανάλυση και ακρίβεια, όπως παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 2. Έτσι είναι πολύ συνηθισμένη η χρήση στοχαστικών μεθόδων οι οποίες είναι γρήγορες υπολογιστικά, ενώ τα προβλεπόμενα ύψη βροχής αντιστοιχούν σε συγκεκριμένη πιθανότητα. Η αδυναμία των στοχαστικών μεθόδων να προσομοιάσουν τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής που παρουσιάζουν έντονη μεταβλητότητα οδηγεί στον συνδυασμό τους με άλλες μεθόδους. Έτσι η εμπειρική διαπίστωση ορισμένων χαρακτηριστικών της βροχής που επιτυγχάνεται με τις εμπειρικές προσεγγίσεις μπορεί να ενσωματωθεί στα στοχαστικά μοντέλα και να βελτιώσει την στοχαστική πρόγνωση. Τα συμπεράσματα της ανάλυσης κατά τύπο καιρού των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής αλλά και της γεωγραφικής κατανομής της ημερήσιας βροχής, μπορούν να αξιοποιηθούν για τη βελτίωση των στοχαστικών μεθόδων προσομοίωσης. Κύριος στόχος είναι η καλύτερη εκτίμηση εκείνων των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής που χαρακτηρίζονται από μεγάλη μεταβλητότητα.

Στο παρόν υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η χρήση ενός στοχαστικού μοντέλου για τη στοχαστική προσομοίωση επεισοδίων βροχής. Το μοντέλο κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης μπορεί και ενσωματώνει πληροφορίες σχετικές με την πιθανά όρια διακύμανσης ορισμένων χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν στην αναμενόμενη διάρκεια και συνολικό ύψος του επεισοδίου και πρακτικά μπορούν να εκτιμώνται και με τη θεώρηση του τύπου καιρού που προκαλεί το συγκεκριμένο επεισόδιο. Το στοχαστικό μοντέλο που επιλέχτηκε να ρυθμιστεί έχει προταθεί από τους Koutsoyiannis and Foufoula [1991], και η θεωρητική του βάση στηρίζεται στην έννοια της κλιμάκωσης (scaling). Στην επιλογή συνέβαλε η παρατήρηση που έγινε αναλύοντας τα σημειακά δεδομένα βροχής (παράγραφος 6.3.2), ότι η διάρκεια του επεισοδίου επιδρά στα

υπόλοιπα χαρακτηριστικά του (συνολικό ύψος, τμηματικό ύψος). Ακόμη τα μοντέλα κλιμάκωσης είναι πολύ διαδεδομένα στη διεθνή βιβλιογραφία την τελευταία δεκαετία δεδομένου ότι με ένα μικρό αριθμό παραμέτρων περιγράφουν τη βροχόπτωση σε ένα μεγάλο εύρος κλιμάκων [Foufoula-Georgiou and Krajewski, 1995].

Η επίδραση της διάρκειας στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του επεισοδίου μελετήθηκε με τα δεδομένα του σταθμού Κρίκελλο, τα οποία χωρίστηκαν σε κλάσεις διάρκειας και για κάθε κλάση υπολογίστηκαν τα στατιστικά χαρακτηριστικά του συνολικού και ωριαίου ύψους βροχής. Ακόμη υπολογίστηκε και η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης του ωριαίου ύψους για μικρές και μεγάλες διάρκειες. Στους Πίνακες 6.12 και 6.13 παρουσιάζονται για την υγρή και ξηρή περίοδο αντίστοιχα, η μέση τιμή και τυπική απόκλιση της διάρκειας, του συνολικού και του ωριαίου ύψους καθώς και ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης του τελευταίου. Στον Πίνακα 6.14 δίνονται οι συντελεστές αυτοσυσχέτισης του ωριαίου ύψους για μικρές και μεγάλες διάρκειες και για τις δύο εποχές.

**Πίνακας 6.12** Στατιστικά χαρακτηριστικά κλάσεων διαρκειών υγρής περιόδου

Κλάση διαρκείας (hr)	Αριθμ. Επεισοδίων	Διάρκεια		Συνολικό ύψος		Ωριαίο ύψος		
		Μέση τιμή	Τυπική αποκλ.	Μέση τιμή	Τυπική αποκλ.	Μέση τιμή	Τυπική αποκλ.	Συντελ. Αυτ/σης
2 έως 9	23	5.8	2.4	17.7	7.3	3.1	4.4	0.14
10 έως 13	21	11.2	1.3	27.5	10.7	2.5	3.0	0.20
14 έως 20	24	16.6	2.4	33.3	11.6	2.0	2.4	0.48
21 έως 25	21	22.7	1.5	40.4	15.1	1.8	2.3	0.49
26 έως 30	24	28.2	1.5	55.2	28.3	2.0	2.7	0.64
31 έως 36	24	34.1	1.9	67.4	50.2	2.0	2.8	0.69
37 έως 43	20	39.6	2.2	66	39.9	1.7	2.8	0.52
44 έως 53	20	48.2	3.0	72.5	38.9	1.5	2.2	0.57
> από 54	21	66.2	11.9	80.6	38.2	1.2	1.7	0.56

**Πίνακας 6.13** Στατιστικά χαρακτηριστικά κλάσεων διαρκειών ξηρής περιόδου

Κλάση διαρκείας (hr)	Αριθμ. Επεισοδίων	Διάρκεια		Συνολικό ύψος		Ωριαίο ύψος		
		Μέση τιμή	Τυπική αποκλ.	Μέση τιμή	Τυπική αποκλ.	Μέση τιμή	Τυπική αποκλ.	Συντελ. Αυτ/σης.
2 έως 3	27	2.6	0.5	16.0	7.8	6.3	7.3	-0.19
4 έως 5	11	4.5	0.5	18.1	9.0	4.1	5.9	0.04
6 έως 7	19	6.3	0.5	18.9	8.3	3.0	5.2	0.08
8 έως 11	13	9.6	1.0	23.1	9.4	2.4	4.2	0.23
> από 12	13	22.8	9.2	37.5	20.2	1.6	3.4	0.20

**Πίνακας 6.14** Συντελεστές αυτοσυσχέτισης ωριαίων υψών βροχής

Βήμα	Υγρή περίοδος		Ξηρή περίοδος	
	Μικρές διάρκειες (4-10 ώρες)	Μεγάλες διάρκειες (4-10 ώρες)	Μικρές διάρκειες (4-10 ώρες)	Μεγάλες διάρκειες (4-10 ώρες)
0	1	1	1	1
1	0.25	0.57	0.13	0.21
2	-0.04	0.41	-0.09	0.09
3	-0.11	0.3	-0.17	0.03
4		0.24		-0.01
5		0.19		-0.07
6		0.15		0.02
7		0.11		0.03
8		0.12		-0.08
9		0.1		-0.13
10		0.09		-0.14

Από τα δεδομένα των Πινάκων 6.12 έως 6.14 είναι φανερό η εξάρτηση των περισσότερων στατιστικών χαρακτηριστικών του συνολικού και ωριαίου ύψους βροχής από τη διάρκεια. Σημαντικότερη εξάρτηση παρουσιάζει η μέση τιμή του συνολικού ύψους βροχής και ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης του ωριαίου ύψους, μεγέθη που αυξάνουν συναρτήσει της διάρκειας του επεισοδίου, και στις δύο εποχές. Ακόμη χαρακτηριστική είναι και η υψηλότερη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης που εμφανίζουν τα ωριαία δεδομένα των επεισοδίων των μεγάλων κλάσεων διάρκειας. Για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης αυτής σε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής έγινε και ανάλυση διασποράς [Spiegel, 1977], με βάση τις κλάσεις διάρκειας στις οποίες έχουν χωριστεί τα επεισόδια. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε το ποσοστό της διασποράς του συνολικού και

ωριαίου ύψους και της μέσης έντασης, που εξηγείται από τη διάρκεια του επεισοδίου βροχής. Η ανάλυση έδειξε ότι σε επιφανειακή βάση, η διάρκεια του επεισοδίου εξηγεί το 47% και 41% της διασποράς του συνολικού ύψους για τη υγρή και ξηρή περίοδο αντίστοιχα, το 6% και 18% της διασποράς της μέσης έντασης και το 1% και 2% της διασποράς του ωριαίου ύψους. Παρατηρούμε ότι τα παραπάνω ποσοστά είναι αρκετά μεγαλύτερα (περίπου διπλάσια) από τα αντίστοιχα ποσοστά που εξηγεί η εισαγωγή της έννοιας των τύπων καιρού (Πίνακας 6.11).

Για την επιχειρησιακή αξιοποίηση του μοντέλου είναι απαραίτητος ο συνδυασμός του με άλλες προσεγγίσεις, δεδομένου ότι εξ ορισμού η χρήση ενός μοντέλου κλιμάκωσης για την στοχαστική προσομοίωση της βροχής προϋποθέτει μία αρχική εκτίμηση της διάρκειας του επεισοδίου. Η διάρκεια συνήθως εκτιμάται με στατιστικό τρόπο και με βάση αυτήν υπολογίζονται τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του επεισοδίου. Ακόμη τα συνθετικά επεισόδια προσεγγίζουν τα πραγματοποιημένα όταν είναι διαθέσιμες και άλλες εκτιμήσεις σχετικές με το συνολικό ύψος του επεισοδίου βροχής. Έτσι είναι απαραίτητος ο συνδυασμός του στοχαστικού μοντέλου με προσεγγίσεις όπως αυτή των τύπων καιρού, με στόχο την αρχική εκτίμηση ορισμένων χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής.

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζεται η συνθετική παραγωγή επεισοδίων βροχής με βάση το μοντέλο κλιμάκωσης, ενώ εξετάζονται διαφορετικά σχήματα προσομοίωσης με στόχο τη βελτίωση των αποτελεσμάτων, καθώς και η επίδραση της εκτίμησης ορισμένων χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής στη μορφή των συνθετικών υετογραμμάτων

#### **6.4.2 Στοχαστική προσομοίωση επεισοδίων βροχής**

Το μοντέλο κλιμάκωσης χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή συνθετικών επεισοδίων βροχής, με τη χρήση μίας σειράς σχημάτων στοχαστικής προσομοίωσης [Mamassis et al., 1993b]. Σε όλες τις περιπτώσεις η παραγωγή των συνθετικών επεισοδίων γίνεται σε δύο φάσεις:

- Σε πρώτη φάση παράγεται η συνολική διάρκεια του επεισοδίου βροχής από την περιθώρια συνάρτηση κατανομής. Αν το επεισόδιο βρίσκεται σε εξέλιξη η παραγόμενη διάρκεια είναι μεγαλύτερη από την τρέχουσα.
- Στη συνέχεια παράγονται τα διαδοχικά ωριαία ύψη βροχής. Αν το επεισόδιο βρίσκεται σε εξέλιξη, τα ήδη παρατηρημένα ύψη βροχής λαμβάνονται υπόψη.

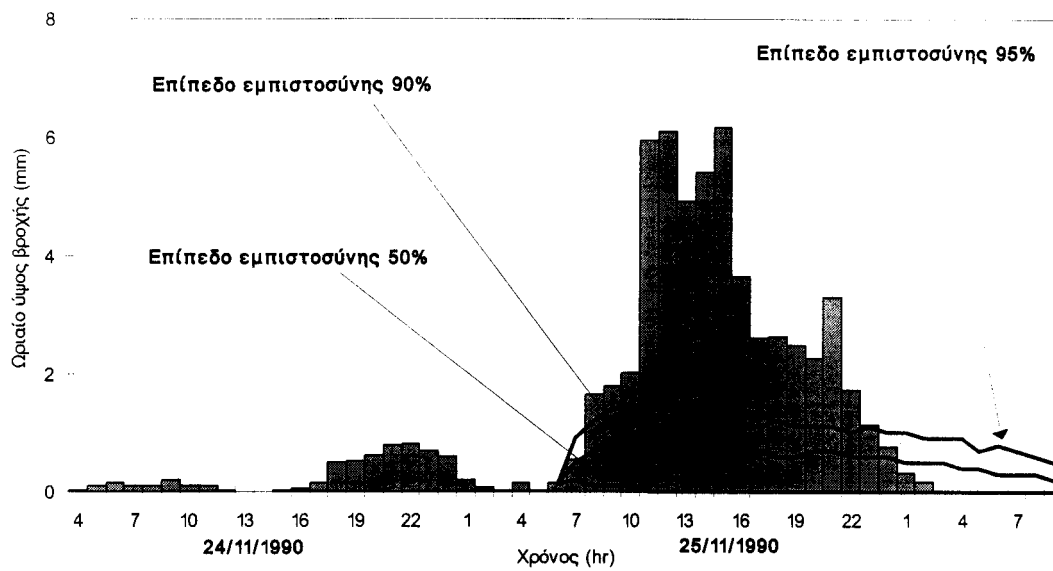
Εξετάστηκαν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις σχετικά με τις επιχειρησιακές δυνατότητες που υπάρχουν, και κάθε φορά προσαρμόστηκε κατάλληλα το σχήμα προσομοίωσης. Τα τρία σχήματα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

1. Η απλή περίπτωση. Η προσομοίωση αρχίζει εφόσον έχει ήδη εκδηλωθεί επεισόδιο βροχής και βρίσκεται σε εξέλιξη. Σε αυτό το σχήμα η συνολική διάρκεια που παράγεται θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τρέχουσα διάρκεια του επεισοδίου βροχής.
2. Προσαρμόσιμη (adaptive) προσομοίωση για πρόγνωση μίας ώρας. Σε κάθε χρονικό βήμα ανανεώνεται η πληροφορία σχετικά με τη χρονοσειρά των παρατηρημένων ωριαίων υψών βροχής. Η διάρκεια του επεισοδίου παράγεται όπως και στο προηγούμενο σχήμα.
3. Προσαρμόσιμη προσομοίωση, ενώ ταυτόχρονα αξιοποιούνται εκτιμήσεις σχετικές με το συνολικό ύψος και διάρκεια του επεισοδίου βροχής. Οι εκτιμήσεις αυτές πιθανόν να έχουν προέλθει από άλλες προσδιοριστικές ή εμπειρικές προσεγγίσεις (π.χ. τύποι καιρού).

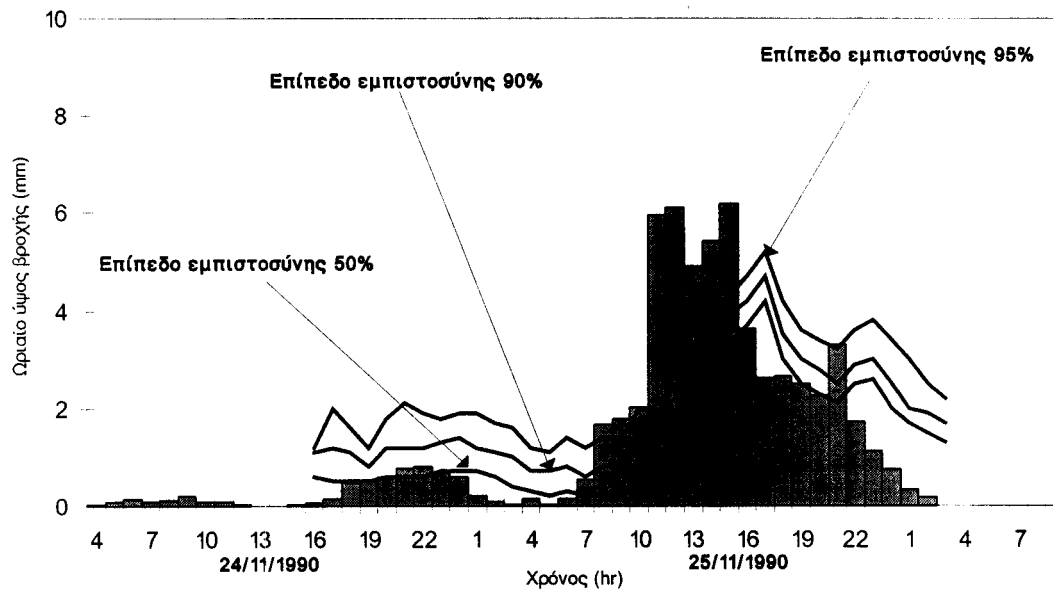
Στα Σχήματα 6.10 έως 6.12 παρουσιάζεται το επεισόδιο βροχής της 24-25/11/1990 στο σταθμό Κρίκελλο (με βάση τα δεδομένα του οποίου ρυθμίστηκε το μοντέλο κλιμάκωσης) και τα αποτελέσματα της στοχαστικής προσομοίωσης για τις τρεις περιπτώσεις που εξετάστηκαν. Σε κάθε περίπτωση έχουν παραχθεί 1000 συνθετικά βροχογραφήματα και σε κάθε χρονικό βήμα παρουσιάζονται οι τιμές που αντιστοιχούν στα επίπεδα εμπιστοσύνης 50, 90 και 95%.

Στο Σχήμα 6.10 παρουσιάζεται η πρώτη περίπτωση που εξετάστηκε από όπου φαίνεται η αδυναμία να προσεγγιστεί το πειραματικό βροχογράφημα από τα συνθετικά δεδομένα.

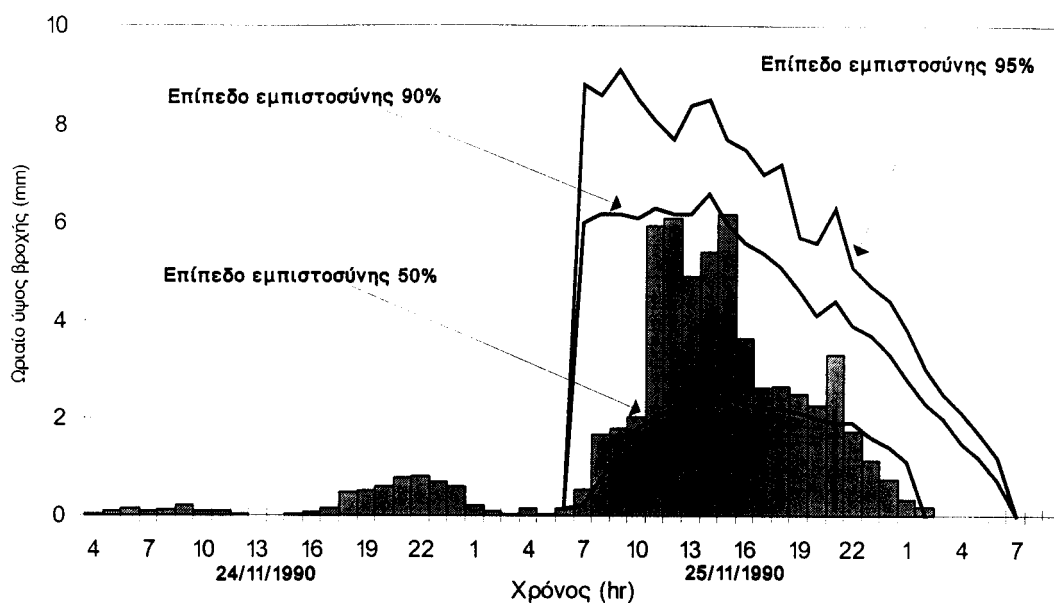
Στο Σχήμα 6.11 παρουσιάζεται η περίπτωση της προσαρμόσιμης προσομοίωσης. Όπως φαίνεται υπάρχει μεγαλύτερη ομοιότητα μεταξύ του πειραματικού βροχογραφήματος, και των συνθετικών τιμών αλλά οι αιχμές δεν περιέχονται από τιμές που αντιστοιχούν σε κάποιο επίπεδο εμπιστοσύνης. Συγκεκριμένα το μοντέλο τροφοδοτείται με τα πραγματοποιημένα ωριαία ύψη και στην περίπτωση που εισάγονται οι πραγματοποιημένες αιχμές, τότε στηριζόμενο στην ισχυρή αυτοσυσχέτιση παράγει την αιχμή τις επόμενες ώρες.



**Σχήμα 6.10** Στοχαστική προσομοίωση επεισοδίου βροχής (Απλή περίπτωση)



**Σχήμα 6.11** Στοχαστική προσομοίωση επεισοδίου βροχής (Προσαρμόσιμη περίπτωση)



**Σχήμα 6.12** Στοχαστική προσομοίωση επεισοδίου βροχής (Προσαρμόσιμη περίπτωση και εκτίμηση διάρκειας και συνολικού ύψους)

Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η τρίτη περίπτωση στην οποία αξιοποιούνται κάποιες αρχικές εκτιμήσεις σχετικές με τη διάρκεια και το συνολικό ύψος. Εξετάστηκαν διάφορα σενάρια σχετικά με την ακρίβεια των αρχικών εκτιμήσεων και εδώ παρουσιάζεται η περίπτωση κατά την οποία είναι γνωστή η συνολική διάρκεια του επεισοδίου βροχής με ακρίβεια 10%, ενώ το συνολικό ύψος με ακρίβεια 20%. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 6.12 τα διαδοχικά ύψη βροχής του παρατηρημένου βροχογραφήματος περιέχονται στις τιμές που αντιστοιχούν σε επίπεδο εμπιστοσύνης 50% με βάση το σύνολο των συνθετικών επεισοδίων. Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια που τέθηκαν για τη ακρίβεια της αρχικής εκτίμησης της διάρκειας και του συνολικού ύψους δεν είναι ρεαλιστικά, τουλάχιστον με τη χρήση των σημερινών προσδιοριστικών και εμπειρικών προσεγγίσεων. Παρά το γεγονός αυτό φαίνεται στην περίπτωση αυτή, η ικανότητα του στοχαστικού μοντέλου να περιγράψει την εσωτερική δομή του επεισοδίου βροχής.

## 6.5 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΗΜΕΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Η επίδραση των τύπων καιρού στην επιφανειακή και σημειακή βροχόπτωση, διαφοροποιείται σύμφωνα με τις αναλύσεις που έγιναν στο Κεφάλαιο 4 και στο

υποκεφάλαιο 6.3. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 4.6 το ποσοστό της διασποράς του ημερήσιου ύψους βροχής που εξηγείται από τους τύπους καιρού σε ορισμένες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης, δεν είναι αμελητέο όπως ήταν στη σημειακή ανάλυση (Πίνακας 6.11). Το γεγονός αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ένδειξη ότι η επίδραση των τύπων καιρού στο ύψος βροχής μεγαλώνει, με την αύξηση της θεωρούμενης χρονικής κλίμακας. Για να μελετηθεί η επίδραση της χρονικής κλίμακας στο ποσοστό της διασποράς που εξηγείται από τη θεώρηση των τύπων καιρού, χρησιμοποιήθηκαν τα ωριαία ύψη βροχής της υγρής περιόδου του σταθμού Κρίκελλο με τα οποία πραγματοποιήθηκε η σημειακή ανάλυση (υποκεφάλαιο 6.3). Τα ύψη συναθροίστηκαν για τα χρονικά διαστήματα των 6, 12, 24 ωρών, και στα δείγματα που προέκυψαν έγινε ανάλυση διασποράς κατά τύπο καιρού. Η ανάλυση έδειξε ότι το ποσοστό της διασποράς των υψών βροχής που εξηγείται από τους τύπους καιρού, αυξάνει ελάχιστα όσο αυξάνει η χρονική κλίμακα. Ειδικότερα τα ποσοστά της διασποράς που εξηγούνται είναι 1.0%, 2.3%, 2.9% και 3.9% για τις χρονικές κλίμακες των 1, 6, 12, 24 ωρών αντίστοιχα.

Από την προηγούμενη ανάλυση προκύπτει ότι η αύξηση της χρονικής κλίμακας δεν εξηγεί σημαντικό μέρος της διαφοράς των αποτελεσμάτων των Πινάκων 4.6 και 6.11. Κατά συνέπεια το μεγαλύτερο μέρος της διαφοράς αυτής θα πρέπει να αποδοθεί από τα διαφορετικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των εντόνων κριτηρίων βροχής στις δύο περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση (Πίνακας 4.6), η επιλογή βασίστηκε στο μέγεθος του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε σημείο της περιοχής μελέτης, ενώ στη δεύτερη περίπτωση (Πίνακας 6.11), η επιλογή των επεισοδίων, βασίστηκε στην τιμή της έντασης βροχής σε ένα σημείο. Τα δεδομένα της πρώτης περίπτωσης περιλαμβάνουν επεισόδια, στα οποία δεν εκδηλώθηκε βροχόπτωση στο σημείο που θεωρήθηκε για την ανάλυση της δεύτερης περίπτωσης (Κρίκελλο). Είναι αναμενόμενο πως εάν λαμβάνονταν υπόψη κάθε επεισόδιο ανεξάρτητα από το μέγεθος της βροχής (χωρίς κριτήριο επιλογής), το ποσοστό της διασποράς που εξηγείται από τους τύπους καιρού, θα ήταν μεγαλύτερο. Αυτό θα συνέβαινε δεδομένου ότι στο δείγμα θα περιλαμβάνονταν αρκετά επεισόδια με ασήμαντο ύψος βροχής που οφείλονται στην δράση αντικυκλωνικών τύπων. Ακόμη οι φανερές διαφορές στα χαρακτηριστικά της βροχής, μεταξύ κυκλωνικών και αντικυκλωνικών τύπων, θα είχαν σαν αποτέλεσμα να εξηγούνται μεγαλύτερα ποσοστά στην ανάλυση διασποράς από τη δράση των τύπων καιρού. Η προσέγγιση αυτή έχει γίνει από πολλούς ερευνητές αλλά και από τους Bardossy and Plate [1991, 1992], οι οποίοι ανέλυσαν ημερήσια ύψη βροχής σε λεκάνη της Γερμανίας κατά τύπο καιρού



χρησιμοποιώντας την κατάταξη των Baur et al., [1944]. Στην εργασία τους συμπεριέλαβαν το σύνολο των επεισοδίων, με αποτέλεσμα να προκύπτει πολύ ισχυρή εξάρτηση μεταξύ των χαρακτηριστικών της βροχής, και των τύπων καιρού, η οποία σε ένα σημαντικό ποσοστό οφείλεται στη συμμετοχή στην ανάλυση των αντικυκλωνικών τύπων.

## 6.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ

Η διάρκεια, το συνολικό ύψος και η ένταση του επεισοδίου βροχής επιδρούν καθοριστικά στα χαρακτηριστικά των πλημμυρών όπως ο συνολικός όγκος απορροής, η μορφή του υδρογραφήματος και ο χρόνος ανόδου. Έτσι εάν η επικρατούσα καιρική κατάσταση επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής τότε θα πρέπει να αναζητηθεί η επίδραση της και στα χαρακτηριστικά των πλημμυρών. Όμως τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής δεν επιδρούν μονοσήμαντα στην απορροή και παράγοντες όπως η προηγούμενη κατάσταση της λεκάνης (ξηρή, κορεσμένη) επηρεάζουν καθοριστικά τη μορφή του υδρογραφήματος. Ακόμη η διαδοχή των τύπων καιρού δεν επιτρέπει την απόδοση ενός πλημμυρικού επεισοδίου σε ένα μόνον τύπο παρά μόνο σε λίγες περιπτώσεις. Σε γνώση του συγγραφέα υπάρχουν μόνον οι εργασίες των Van de Griend and Seyhan [1984] και των Duckstein et al. [1993], που εξετάζουν την ημερήσια και μηνιαία απορροή σε σχέση με τους τύπους καιρού, αγνοώντας τις παραπάνω διαπιστώσεις.

Αρχικά έγινε προκαταρκτική διερεύνηση της σχέσης ορισμένων χαρακτηριστικών των πλημμυρών με τον επικρατούντα τύπο καιρού. Η διερεύνηση έγινε με βάση ημερήσια δεδομένα βροχής και απορροής η επεξεργασία των οποίων παρουσιάστηκε στο υποκεφάλαιο 6.2. Με βάση τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκαν οι στατιστικές παράμετροι ορισμένων χαρακτηριστικών των πλημμυρικών επεισοδίων, χωρισμένων κατά τύπο καιρού. Ακόμη υπολογίστηκε η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικού επεισοδίου για κάθε τύπο.

Στον Πίνακα 6.12 παρουσιάζονται για την υγρή περίοδο ο αριθμός των πλημμυρικών επεισοδίων κάθε τύπου καθώς και η μέση τιμή και τυπική απόκλιση των χαρακτηριστικών τους. Στη τελευταία γραμμή του Πίνακα παρατίθενται τα χαρακτηριστικά των επεισοδίων της ξηρής περιόδου, ανεξάρτητα από τύπο

καιρού. Ακόμη τέσσερα επεισόδια δεν ήταν εφικτό να αποδοθούν σε ένα μόνο τύπο και εξετάστηκαν ξεχωριστά.

**Πίνακας 6.12** Χαρακτηριστικά πλημμυρικών επεισοδίων

Τύπος καιρού	Αριθμός	Βροχή (mm)		Μέση ημερήσια παροχή (m <sup>3</sup> /s)		Μέγιστη ημερήσια παροχή (m <sup>3</sup> /s)	
		Μέση τιμή	Τυπ. Αποκ.	Μέση τιμή	Τυπ. Αποκ.	Μέση τιμή	Τυπ. Αποκ.
W1	11	76.0	37.0	125.2	103.4	411.2	255.8
W2	13	66.0	17.6	87.8	98	232.3	228.4
NW1	57	76.2	43.7	89.1	80.6	349.3	352.0
NW2	8	62.2	35.0	61.3	70.3	187.4	289.2
SW1	44	84.7	44.2	83.9	69.3	341.2	326.9
SW2	16	60.8	16.2	74.7	60.5	255.5	198.3
DOR	3	46.1	11.5	41.7	72	150.9	124.0
ΥΠΟΛΟΙΠΟΙ	4	80.3	36.8	90.4	31.4	328.6	424.7
ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΧΩΡΙΣ ΚΑΤΑΤΑΞΗ	4	154.6	30.1	127.5	102.4	696.0	171.5
ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	16	52.2	26.1	19.4	17.2	57.7	71.4

Από τα δεδομένα του Πίνακα 6.12 μπορούμε να σχολιάσουμε τα παρακάτω σημεία:

- Υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών επεισοδίων κάθε τύπου καιρού, που εκφράζεται με συντελεστές διασποράς μεγαλύτερους της μονάδας. Οι στατιστικές δοκιμές που εφαρμόστηκαν δείχνουν ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των χαρακτηριστικών των διάφορων τύπων παρά μόνο μεταξύ των χαρακτηριστικών των πλημμυρικών επεισοδίων της υγρής και ξηρής περιόδου.
- Δεν υπάρχει μεγάλη συμφωνία με την ανάλυση των βροχογραφικών δεδομένων, γεγονός που επιβεβαιώνει την επίδραση της κατάστασης της εδαφικής υγρασίας στην απορροή. Για τη μελέτη της επίδρασης αυτής έγινε κατάταξη των επεισοδίων σε κλάσεις ανάλογα με την τιμή της απορροής της προηγούμενης ημέρας. Η ανάλυση έδειξε ότι αν και μειώνεται η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών (συντελεστές διασποράς λίγο μικρότεροι της μονάδας) δε διαπιστώνονται σημαντικές διαφορές από τον Πίνακα 6.12.

Τα αποτελέσματα της διερευνητικής ανάλυσης των χαρακτηριστικών των πλημμυρών δεν είναι ενθαρρυντικά για την περαιτέρω ανάλυση με ωριαία δεδομένα. Αν και η ανάλυση αυτή θα μπορούσε να εξετάσει και χαρακτηριστικά

της πλημμύρας τα οποία δε θεωρήθηκαν σε αυτή τη φάση (αιχμή, χρόνος ανόδου) δεν αναμένεται ότι θα εντοπίσει στατιστικά σημαντικές στα χαρακτηριστικά των πλημμυρών μεταξύ των διαφόρων τύπων καιρού.

Στον Πίνακα 6.13 παρουσιάζονται ο αριθμός των ημερών επικράτησης και η συχνότητα κάθε τύπου, ο αριθμός των πλημμυρικών επεισοδίων που εκδηλώθηκαν και η συχνότητα τους και τέλος η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμύρας δεδομένου ότι επικρατεί ο συγκεκριμένος τύπος. Για την ανάλυση αυτή χρησιμοποιήθηκαν οι ημερήσιες πλημμυρικές παροχές που υπερβαίνουν ένα κατώφλι που τέθηκε ίσο με  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Από τα δεδομένα του Πίνακα 6.13 είναι φανερό ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρικού επεισοδίου μεταξύ των τύπων. Οι διαφορές αυτές είναι ανάλογες με τις στατιστικά σημαντικές διαφορές στην πιθανότητα εκδήλωσης καταιγίδας οι οποίες διαπιστώθηκαν στο υποκεφάλαιο 6.3. Οι ομοιότητες στις δύο αναλύσεις είναι αναμενόμενες δεδομένης της εξάρτησης της απορροής από την ισχυρή βροχόπτωση. Το γεγονός αυτό πάντως, δε μειώνει τη αξία της παρατήρησης ότι ο τύπος καιρού επιδρά και στην πιθανότητα εκδήλωσης πλημμύρας.

**Πίνακας 6.13** Συχνότητες τύπων καιρού και επεισοδίων απορροής

Τύπος καιρού	Αριθμός ημερών τύπων	Αριθμός επεισοδίων	Ποσοστό τύπων (%)	Ποσοστό επεισοδίων (%)	Πιθανότητα εκδήλωσης (%)
A1	583	1	8.0	0.9	0.2
A2	640	0	8.8	0.0	0.0
A3	360	0	4.9	0.0	0.0
A4	213	0	2.9	0.0	0.0
A5	114	0	1.6	0.0	0.0
W1	310	13	4.2	12.0	4.2
W2	127	9	1.7	8.3	7.1
NW1	607	40	8.3	37.0	6.6
NW2	534	4	7.3	3.7	0.7
SW1	853	27	11.7	25.0	3.2
SW2	263	9	3.6	8.3	3.4
MT1	240	0	3.3	0.0	0.0
MT2	282	4	3.9	3.7	1.4
DSEC	317	0	4.3	0.0	0.0
MB	1378	0	18.9	0.0	0.0
DOR	484	1	6.6	0.9	0.2
Σύνολο	7305	108	100	100	

## 6.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τη όλη ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα ισχυρά επεισόδια βροχής και απορροής, διατυπώνονται τα παρακάτω γενικά συμπεράσματα:

1. Διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των τύπων καιρού στην πιθανότητα εκδήλωσης ισχυρού επεισοδίου βροχής και ημερήσιας πλημμύρας.
2. Υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις της δομής των επεισοδίων βροχής της υγρής από αυτά της ξηρής περιόδου, ανεξάρτητα από τον τύπο καιρού, και σαφώς μεγαλύτερες από αυτές που οφείλονται στον τύπο καιρού.
3. Τα δείγματα των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής, και ιδιαίτερα το ωριαίο ύψος, παρουσιάζουν σημαντική διασπορά, σε όλους τους τύπους και στις δύο περιόδους.
4. Οι τύποι καιρού της υγρής περιόδου παρουσιάζουν μικρές διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά στα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής. Πάντως ορισμένα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων τύπων παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με τους υπόλοιπους.
5. Οι τύποι καιρού της θερινής περιόδου διαφέρουν μεταξύ τους σε όλα τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής. Η πρώτη κατηγορία υφεσιακών χαρακτηρίζεται από μεγάλες διάρκειες και συνολικά ύψη και η δεύτερη από μεγάλες μέσες εντάσεις. Οι άλλες δύο κατηγορίες χαρακτηρίζονται από μικρές διάρκειες και συνολικά ύψη.
6. Οι τύποι καιρού της υγρής περιόδου παρουσιάζουν μεγαλύτερες ετεροσυσχετίσεις και αυτοσυσχετίσεις των ωριαίων υψών σε σχέση με τους τύπους της ξηρής περιόδου. Οι υφεσιακοί τύποι της ξηρής περιόδου παρουσιάζουν "ενδιάμεση εικόνα" μεταξύ των δύο περιόδων.
7. Η εισαγωγή της έννοιας "τύπος καιρού" συμβάλλει στη ερμηνεία της διασποράς της διάρκειας και του συνολικού ύψους κατά ένα σημαντικό ποσοστό για τη ξηρή ( 28% και 22%) και σε μικρό την υγρή περίοδο (11% και 10%). Για τη μέση ένταση και ιδιαίτερα για το ωριαίο ύψος το ποσοστό είναι αμελητέο.
8. Η διάρκεια του επεισοδίου βροχής έχει σημαντική επίδραση στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά και εξηγεί ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς τους. Τα διάφορα σχήματα στοχαστικής προσομοίωσης που εφαρμόστηκαν για την παραγωγή συνθετικών επεισοδίων βροχής παρήγαγαν ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο με την τροφοδότησή τους με αρχικές εκτιμήσεις για τη διάρκεια και το συνολικό ύψος του επεισοδίου. Στις εκτιμήσεις αυτές μπορεί

εκτός των άλλων προσεγγίσεων να συμβάλει και η θεώρηση του επικρατούντος τύπου καιρού.

9. Τα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών επεισοδίων που εξετάστηκαν, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τύπων καιρού. Η επέκταση της ανάλυσης με τη χρήση ωριαίων δεδομένων απορροής δε φαίνεται ότι θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα, δεδομένων των θεωρητικών προβλημάτων που υπάρχουν στη σχέση τύπου καιρού και απορροής.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΕΠΙΛΟΓΟΣ**

**ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ**

**SUMMARY**

**ΣΗΜΕΙΑ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

**ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

## 7.1 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Στην παρούσα εργασία διερευνήθηκε διεξοδικά η επίδραση των τύπων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στη φυσική διεργασία της βροχής και της χωροχρονικής της εξέλιξης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε η κατάταξη τύπων κυκλοφορίας του Maheras [1979] για την ανατολική Μεσόγειο, και μελετήθηκε η επίδραση τους σε ένα μεγάλο αριθμό χωροχρονικών χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης. Ακόμη διερευνήθηκαν θέματα σχετικά με την επίδραση των τύπων στο βροχομετρικό καθεστώς, και τις πλημμύρες. Οι διαπιστώσεις που έγιναν στα ιστορικά δεδομένα, αξιολογήθηκαν και ποσοτικοποιήθηκαν με την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων έτσι ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν στη στατιστική πρόγνωση της βροχής. Δεδομένου του μικρού αριθμού ανάλογων εργασιών στη διεθνή βιβλιογραφία, πολλές από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της πρωτοτυπίας τους.

Η πληρέστερη προσέγγιση του θέματος επέβαλε αρχικά τη βιβλιογραφική επισκόπηση των κατατάξεων τύπων καιρού, καθώς και των διαφόρων προσεγγίσεων που εφαρμόζονται για τη μελέτη και μοντελοποίηση της βροχόπτωσης. Οι κατατάξεις τύπων καιρού που παρουσιάζονται στην διεθνή βιβλιογραφία, διακρίθηκαν σε τρεις κύριες κατηγορίες (μετεωρολογικών μεταβλητών, μετεωρολογικών σχηματισμών, ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας). Οι κατατάξεις διακρίθηκαν ανάλογα με τις συνοπτικές καταστάσεις και μετεωρολογικές μεταβλητές που θεωρήθηκαν, και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάταξη. Οι σημαντικότερες από τις κατατάξεις κάθε κατηγορίας παρουσιάστηκαν συνοπτικά. Ακόμη εξετάστηκαν τα χαρακτηριστικά μοντελοποίησης της βροχής στη διεθνή βιβλιογραφία (θεωρητική βάση, χωροχρονική κλίμακα), ενώ ανάλογα με τη θεωρητική βάση οι προσεγγίσεις διακρίθηκαν σε τρεις κύριες κατηγορίες (στοχαστικές, προσδιοριστικές, εμπειρικές). Ο μεγάλος αριθμός σχετικών εργασιών στη βιβλιογραφία, δεν επέτρεψε παρά μόνο τη συνοπτική παρουσίαση ορισμένων χαρακτηριστικών προσεγγίσεων από κάθε κατηγορία.

Η επίδραση των τύπων καιρού στη γεωγραφική κατανομή των ισχυρών βροχοπτώσεων είναι αρκετά σημαντική, στη περιοχή της Στερεάς Ελλάδας. Τα ημερήσια δεδομένα 71 βροχομετρικών σταθμών της περιοχής, αποθηκεύτηκαν σε Σύστημα Γεωγραφικής Πληροφορίας (ΣΓΠ), με τη χρήση του οποίου υλοποιήθηκαν μια σειρά από εφαρμογές, σχετικές με την επεξεργασία και παρουσίαση των δεδομένων. Η ανάπτυξη των εφαρμογών

αφορά κυρίως στην κατάρτιση και στατιστική επεξεργασία επιφανειών βροχής, αλλά ακόμη περιλαμβάνει και την παρουσίαση και χρωματική απεικόνιση των πρωτογενών και επεξεργασμένων δεδομένων. Από την στατιστική επεξεργασία προκύπτει ότι η επικράτηση ορισμένων τύπων καιρού προκαλεί βροχοπτώσεις σε συγκεκριμένες γεωγραφικές υποπεριοχές. Ακόμη η ημερήσια βροχόπτωση ορισμένων υποπεριοχών, εξαρτάται σημαντικά από συγκεκριμένους τύπους. Το συμπέρασμα αυτό είναι πολύ σημαντικό, ιδιαίτερα για τη Στερεά Ελλάδα η οποία περιλαμβάνει πολλούς μεγάλους ποταμούς με σημαντικές κλιματικές διαφορές μεταξύ των διαφόρων λεκανών, ενώ διαχειριστικά αποτελούν ενιαίο υδατικό σύστημα (συνδέονται με την ύδρευση της Αθήνας).

Ο αριθμός ημερών εκδήλωσης κάθε τύπου διαφοροποιείται στους μήνες, ενώ παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα στα διαδοχικά έτη. Η μεταβλητότητα αυτή μπορεί να επηρεάσει το βροχομετρικό καθεστώς και τη χωρική κατανομή των υγρών και ξηρών περιόδων. Η ανάλυση μηνιαίων χρονοσειρών εκδήλωσης των τύπων καιρού δεν έδειξε σημαντικές τάσεις, αλλά μεγάλους συντελεστές διασποράς. Η επεξεργασία των χρονοσειρών αυτών σε συνδυασμό με σημειακές μηνιαίες βροχόπτωσης δεκατριών σταθμών, έδειξε μεγάλη συσχέτιση των χρονοσειρών ομάδων τύπων καιρού με τις αντίστοιχες χρονοσειρές βροχόπτωσης της υγρής και της ξηρής περιόδου. Ακόμη η ανάλυση έδειξε ότι η διακύμανση του αριθμού ημερών εκδήλωσης ορισμένων ομάδων τύπων καιρού οδηγεί στην ύπαρξη υδρολογικών ετών κατά οποία η βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από τη μέση σε κάποιες γεωγραφικές περιοχές και μικρότερη από τη μέση σε κάποιες άλλες γειτονικές. Οι παρατηρήσεις αυτές δε συμβάλλουν στην πρόγνωση της βροχής αλλά θα πρέπει να ληφθούν υπόψη στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων μοντέλων διαχείρισης υδατικών συστημάτων που καταλαμβάνουν μεγάλη γεωγραφική έκταση.

Η επίδραση των τύπων καιρού στη σημειακή βροχόπτωση σε μικρή χωρική (λεκάνης, σημειακή) και χρονική κλίμακα (επεισοδίου, ωριαία) δεν είναι ιδιαίτερα σημαντική. Με βάση τα δεδομένα τριών βροχογράφων της λεκάνης του Ευήνου μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής (πιθανότητα εκδήλωσης, διάρκεια, συνολικό ύψος, μέση ένταση, ωριαίο ύψος), κατά τύπο καιρού. Η ανάλυση έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στην πιθανότητα εκδήλωσης και στη διάρκεια του επεισοδίου ορισμένων τύπων. Η διάρκεια του επεισοδίου βροχής επιδρά περισσότερο στα στατιστικά χαρακτηριστικά του ωριαίου και συνολικού ύψους βροχής, από ότι ο επικρατών τύπος καιρού. Η ανάλυση διασποράς



έδειξε ότι ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς του συνολικού ύψους και της μέσης έντασης του επεισοδίου βροχής, εξηγείται από τη διάρκεια. Η διαπίστωση αυτή στα ιστορικά δεδομένα παραπέμπει στα μοντέλα κλιμάκωσης που στηρίζονται στην παρατηρημένη σχέση των χαρακτηριστικών της βροχής στις διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες. Ένα τέτοιο μοντέλο ρυθμίστηκε και χρησιμοποιήθηκε ως βάση για την εφαρμογή διαφόρων σχημάτων στοχαστικής προσομοίωσης, με σκοπό την παραγωγή συνθετικών επεισοδίων βροχής. Το μοντέλο για την προσομοίωση των ωριαίων υψών απαιτεί εξ ορισμού την αρχική εκτίμηση της διάρκειας με στοχαστική ή άλλη μέθοδο. Ακόμη η τροφοδότησή του με αρχικές εκτιμήσεις για τη διάρκεια και το συνολικό ύψος του επεισοδίου, βελτιώνει σημαντικά τη συμπεριφορά του. Οι εκτιμήσεις αυτές μπορούν να γίνουν με τη χρήση προσδιοριστικών ή εμπειρικών προσεγγίσεων, όπως είναι η αυτή των τύπων καιρού.

Η διαφοροποίηση της επίδρασης των τύπων καιρού στην σημειακή και επιφανειακή βροχόπτωση, δεν εξηγείται από την αύξηση της χρονικής κλίμακας και αποδίδεται στα διαφορετικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των εντόνων κριτηρίων βροχής στις δύο περιπτώσεις. Η ανάλυση ημερήσιων υδρομετρικών δεδομένων στην λεκάνη του Ευήνου έδειξε ότι τα χαρακτηριστικά των πλημμυρών δε συνδέονται με τους τύπους καιρού.

Στο υποκεφάλαιο 7.2 παρουσιάζεται περιληπτικά η εργασία στα Αγγλικά, στο υποκεφάλαιο 7.3 επισημαίνονται τα σημεία εκείνα που χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης και πού θα πρέπει να κατευθυνθεί η μελλοντική έρευνα, ενώ στο τελευταίο υποκεφάλαιο συνοψίζονται τα συμπεράσματα της όλης εργασίας.

## **7.2 SUMMARY**

The influence of the prevailing weather situation on the temporal evolution and geographical distribution of intense rainfall is studied, as a potential tool to improve rainfall prediction. A classification scheme of the atmospheric circulation over the east Mediterranean territory is used for the analysis. The study area is the Sterea Hellas region (central Greece) with an area of about 25,000 km<sup>2</sup>. Daily data from 71 rain gages and hourly data from three rain recorders over a 20 year period are used. From these data sets, the intense

rainfall events were extracted and analyzed. Several empirical and statistical methods (also including the available tools of a Geographical Information System) are used for the analysis and comparison of rainfall distribution both in space and in time. The analysis shows that the contribution of the concept of weather types to the quantitative point rainfall prediction in short timescale is small, and only the estimation of the probability of occurrence of an intense event is feasible. The same results were produced by the analysis of the flood event characteristics by weather type. On the contrary, the relation between the spatial distribution of rainfall and the atmospheric circulation patterns is significant and may be used for improving the forecasting of the geographical distribution of rainfall. Also the weather types influence the rainfall and climatological regime of a specific region.

## **7.3 ΣΗΜΕΙΑ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

### **7.3.1 Γενικά**

Η εκπόνηση διδακτορικής διατριβής σε μιά επιστημονική περιοχή που έχει ελάχιστα ερευνηθεί, επιτρέπει τη διερεύνηση πολλών διαφορετικών σημείων, αλλά ταυτόχρονα αφήνει και πολλές ερευνητικές κατευθύνσεις τις οποίες δε φωτίζει ικανοποιητικά. Από την άλλη μεριά, μέσα από την ενασχόληση με τις διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις, τα υπολογιστικά συστήματα, και τα πρωτογενή δεδομένα και υλικό που συμβάλλουν στην έρευνα της βροχής, εντοπίζονται ορισμένες φάσεις της ερευνητικής διαδικασίας οι οποίες μπορούν να βελτιωθούν θεωρητικά και τεχνικά. Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην έρευνα για την ανάπτυξη πρωτότυπων ή βελτιωμένων μεθοδολογιών, για τη μελέτη της βροχής στον Ελληνικό χώρο, είναι η μικρή διαθεσιμότητα ψηφιακών δεδομένων. Ιδιαίτερα στη σημερινή εποχή όπου διατίθενται ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων και σε μία ποικιλία μορφών, η ανάπτυξη ψηφιακών βάσεων σε υπολογιστικά συστήματα είναι η απαραίτητη υποδομή για την ανάπτυξη σύγχρονων μεθοδολογιών. Ακόμη η επεξεργασία και γραφική απεικόνιση μεγάλου αριθμού δεδομένων, συμβάλλει στην διαπίστωση εμπειρικών χαρακτηριστικών τα οποία ενσωματώνονται στις θεωρητικές προσεγγίσεις. Το κοινό χαρακτηριστικό των σημείων που επισημαίνονται και προτείνονται για μελλοντική έρευνα, είναι ότι απαιτούν σαν υποδομή, την υλοποίηση βάσεων δεδομένων, και την εισαγωγή της διαθέσιμης πληροφορίας. Ακόμη

είναι απαραίτητη και η ανάπτυξη εξειδικευμένων εφαρμογών σε υπολογιστή, για τη διαχείριση και επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων. Αυτός είναι και ο βασικότερος λόγος που τα σημεία αυτά δεν αναπτύχθηκαν στα χρονικά πλαίσια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Η μελλοντική έρευνα της συγκεκριμένης προσέγγισης των τύπων καιρού, σε ένα βαθμό προσδιορίζεται και από τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα ανάλυση. Ακόμη η τεχνολογική εξέλιξη και η μεγάλη διαθεσιμότητα δεδομένων επιβάλλει την έρευνα για την ανάπτυξη νέων προσεγγίσεων, οι οποίες να αξιοποιούν την υπάρχουσα υποδομή, και να ενσωματώνουν την αποκτημένη εμπειρία. Εδώ προτείνονται τρεις κύριες κατευθύνσεις για τη μελλοντική έρευνα σχετικά με τη βροχή και οι οποίες σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με την τυποποίηση των καιρικών καταστάσεων. Η πρώτη αφορά στην περαιτέρω εφαρμογή σε διαφορετικές χωροχρονικές κλίμακες, των επεξεργασιών εκείνων που στην παρούσα εργασία έδωσαν στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα. Η δεύτερη αφορά στην ανάλυση των μετεωρολογικών μεταβλητών σε μικρές χρονικές κλίμακες, για την ανίχνευση συνθέσεων των τιμών των μεταβλητών μιας μικρής χρονικής περιόδου, οι οποίες σχετίζονται με την εκδήλωση της βροχόπτωσης και τα χαρακτηριστικά του επεισοδίου. Τέλος η τρίτη αφορά στην ψηφιακή αρχειοθέτηση των συνοπτικών χαρτών και την ανάπτυξη μεθοδολογιών για τη διαχείριση, κατάταξη και επεξεργασία τους. Ουσιαστικά οι δυο τελευταίες σχετίζονται με την τυποποίηση καιρικών καταστάσεων με τη χρήση ψηφιακών δεδομένων, και την εφαρμογή τους στη μελέτη της βροχής. Υπενθυμίζεται ότι για την υλοποίηση της έρευνας είναι απαραίτητη η κατάρτιση βάσεων βροχομετρικών, μετεωρολογικών και συνοπτικών δεδομένων, και η ανάπτυξη εφαρμογών σε Σ.Γ.Π. και άλλα υπολογιστικά συστήματα. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αναλυτικότερα οι τρεις προτεινόμενες ερευνητικές κατευθύνσεις.

### **7.3.2 Βροχόπτωση και τύποι καιρού**

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι ενθαρρυντικά για την περαιτέρω έρευνα της επίδρασης των τύπων καιρού σε ορισμένα από τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα σημαντικότερα από τα σημεία που χρήζουν παραπέρα διερεύνησης.

- Η σημαντική επίδραση ορισμένων τύπων στη γεωγραφική κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης, θα πρέπει να επαληθευτεί σε μεγαλύτερες γεωγραφικές περιοχές. Συγκεκριμένα η διερεύνηση της επίδρασης των τύπων αυτών στην κατανομή της ημερήσιας βροχόπτωσης στο σύνολο

του Ελληνικού χώρου, θα αποκαλύψει σημαντικές ιδιαιτερότητες στη βροχόπτωση των διαφόρων γεωγραφικών περιοχών. Ακόμη η χωρική επέκταση των επιφανειών βροχής θα συμβάλλει σημαντικά στην μελέτη του ημερήσιου βροχομετρικού καθεστώτος και τη σύνδεση του με τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου. Η κατασκευή στατιστικών επιφανειών βροχής για κάθε τύπο, οι οποίες θα αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες πιθανότητες είναι μία από τις εφαρμογές που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν εργαλείο στην μελέτη και πρόγνωση της βροχής. Οι επιφάνειες θα πρέπει να περιλαμβάνουν ολόκληρη την Ελλάδα, να αφορούν σε συγκεκριμένο μήνα, και να τροποποιούνται τακτικά έτσι ώστε να ενσωματώνουν την καινούργια πληροφορία.

- Η γεωγραφική κατανομή της βροχής θα πρέπει να διερευνηθεί σε μικρότερα διαδοχικά χρονικά βήματα, για να εξεταστεί η επίδραση των τύπων καιρού στη χωρική και χρονική εξέλιξη των επεισοδίων βροχής. Έτσι οι τύποι καιρού θα συσχετιστούν εκτός από τα χαρακτηριστικά εκείνα που σχετίζονται με τη χρονική εξέλιξη (διάρκεια, συνολικό σημειακό ύψος), και με τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των επεισοδίων (γεωγραφική περιοχή εκδήλωσης, συνολικό επιφανειακό ύψος). Η ανάλυση μπορεί να βασιστεί στην τεχνική της κατάρτισης ωριαίων επιφανειών βροχής, οι οποίες θα συμβάλλουν σημαντικά στη σύνδεση της χωροχρονικής εξέλιξης της βροχής με τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά των τύπων καιρού. Ακόμη παρά τα φτωχά αποτελέσματα της σημειακής ανάλυσης θα πρέπει να εξεταστεί η επίδραση των τύπων καιρού στα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής και στην σημειακή ωριαία βροχόπτωση, σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές.
- Η μεθοδολογία κατάρτισης και επεξεργασίας των επιφανειών βροχής μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά, με την έρευνα στην παρεμβολή και την απεικόνιση των πρωτογενών και των στατιστικών επιφανειών. Ακόμη πρέπει να διερευνηθεί η ανάπτυξη μοντέλων βροχής - απορροής σε Σ.Γ.Π. που θα στηρίζονται στην επεξεργασία κανάβων των διαφόρων μεταβλητών. Τα μοντέλα αυτά θα τροφοδοτούνται από τις ωριαίες επιφάνειες βροχόπτωσης αλλά θα ενσωματώνουν στη λειτουργία τους και επιφάνειες άλλων μεταβλητών όπως η θερμοκρασία, το υψόμετρο, η γεωλογική σύσταση και η φυτοκάλυψη.

### 7.3.3 Ανίχνευση ομοίων καταστάσεων καιρού με τη χρήση μετεωρολογικών μεταβλητών

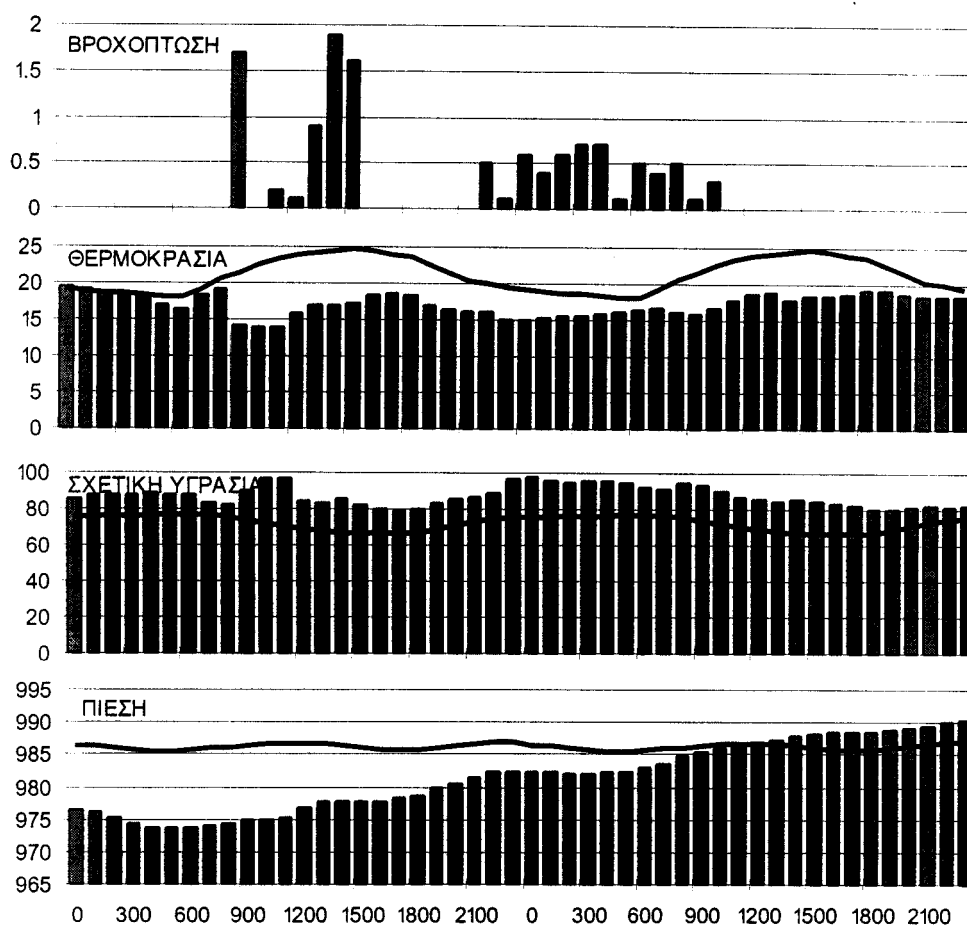
Η χρονική εξέλιξη των τιμών των μετεωρολογικών μεταβλητών σε ένα σημείο του χώρου εξαρτάται άμεσα από την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην περιοχή αλλά και από φυσιογραφικούς παράγοντες, όπως το γεωγραφικό πλάτος, το ανάγλυφο και η απόσταση από τη θάλασσα. Ειδικά μεταβλητές όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η βροχόπτωση επηρεάζονται καθοριστικά από το υψόμετρο, ενώ η ταχύτητα και η διεύθυνση ανέμου εξαρτώνται σημαντικά από τον προσανατολισμό του αναγλύφου. Σε πολλές περιπτώσεις διαπιστώνεται εξάρτηση στη χρονική εξέλιξη μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών για κάποιο χρονικό διάστημα σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Η εξάρτηση αυτή συνήθως οφείλεται σε νόμους φυσικής της ατμόσφαιρας (μείωση θερμοκρασίας - αύξηση σχετικής υγρασίας), στην επικράτηση ορισμένων συνοπτικών ή καιρικών καταστάσεων (πτώση πίεσης - εκδήλωση βροχόπτωσης) ή σε φυσιογραφικούς παράγοντες (διεύθυνση ανέμου - σχετική υγρασία). Έτσι μια άλλη μορφή τυποποίησης των καιρικών καταστάσεων είναι η ανίχνευση ομοίων καταστάσεων καιρού στην εξέλιξη των μετεωρολογικών παραμέτρων σε ένα σημείο του χώρου. Ιδιαίτερα ενδιαφέρουν οι καιρικές καταστάσεις που συνδέονται με την εκδήλωση ισχυρής βροχόπτωσης και για το λόγο αυτό εξετάζεται η σύνθεση των χρονοσειρών μετεωρολογικών μεταβλητών, κατά τη χρονική περίοδο πραγματοποίησης εντόνων επεισοδίων βροχής. Η σύνθεση των τιμών των μετεωρολογικών μεταβλητών μιας χρονικής περιόδου, αντιπροσωπεύει το καιρό που επικράτησε την περίοδο αυτή. Η ανίχνευση “τύπων καιρού” εξετάζοντας τις παράλληλες παρατηρημένες χρονοσειρές των μετεωρολογικών μεταβλητών έχει στόχο να ανιχνεύσει την τυχόν εξάρτηση στη χρονική εξέλιξη των μεταβλητών. Ακόμη η μελέτη των χρονοσειρών αυτών όταν εκδηλώνεται έντονη βροχόπτωση, έχει στόχο την ανίχνευση “ομοίων” καταστάσεων η αναγνώριση των οποίων μπορεί να συμβάλει στην πρόβλεψη της εξέλιξης της βροχής και των άλλων μεταβλητών στα επόμενα χρονικά βήματα. Η κατάταξη “ομοίων” καιρικών καταστάσεων στηρίζεται σε ορισμένα χαρακτηριστικά στην εξέλιξη και τη σχέση μεταξύ των χρονοσειρών, τα οποία μπορούν να τυποποιηθούν. Τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά αυτά είναι γνωστά από την υπάρχουσα μετεωρολογική εμπειρία, αλλά η

κλιματική και γεωγραφική ιδιαιτερότητα κάθε σημείου μπορεί να επιδράσει στη σχέση των μεταβλητών. Ακόμη ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη των χρονοσειρών πριν την εκδήλωση του επεισοδίου βροχής, έτσι ώστε τα συμπεράσματα που θα προκύψουν να συμβάλλουν στην πρόγνωση της βροχής.

Για την καλύτερη κατανόηση των παραπάνω παρουσιάζεται συνοπτικά προκαταρκτική διερεύνηση που έγινε με βάση τα ωριαία δεδομένα επτά μετεωρολογικών μεταβλητών. Τα δεδομένα μετρήθηκαν από τον Αυτόματο Τηλεμετρικό Μετεωρολογικό Σταθμό Πολυτεχνειούπολης Ζωγράφου (υψόμετρο από ΜΣΘ 219 μέτρα) σε δεκάλεπτη βάση, και καταρτίστηκαν ωριαίες χρονοσειρές για διάστημα τριών υδρολογικών ετών. Αρχικά εντοπίστηκαν τα επεισόδια βροχής, και για κάθε ένα απεικονίστηκε η εξέλιξη όλων των μετρημένων μεταβλητών κατά το χρονικό διάστημα πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το επεισόδιο. Η προκαταρκτική διερεύνηση έδειξε ότι η χρονική εξέλιξη ορισμένων από τις μεταβλητές αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένη με το φαινόμενο της βροχόπτωσης. Στα Σχήματα 7.1 και 7.2 παρουσιάζονται οι ωριαίες χρονοσειρές τεσσάρων μετεωρολογικών μεταβλητών, κατά τα χρονικά διαστήματα 30-31/1/1996 και 31/5-1/6/1994, μέσα στα οποία εκδηλώθηκε ισχυρή βροχόπτωση. Το διάγραμμα της εξέλιξης των μεταβλητών έγινε για 48 ώρες, μέσα στις οποίες περιλαμβάνεται το επεισόδιο βροχής. Οι μετεωρολογικές μεταβλητές που παρουσιάζονται πλην της βροχής, είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση. Ακόμη στο διάγραμμα κάθε μεταβλητής, παρουσιάζεται με συνεχή γραμμή η μέση χρονοσειρά της μεταβλητής όπως προκύπτει για το συγκεκριμένο μήνα. Η χρονοσειρά αυτή σχεδιάστηκε με βάση 24 ωριαίες τιμές, η κάθε μία από τις οποίες έχει υπολογιστεί με βάση τις τιμές της μεταβλητής την αντίστοιχη ώρα κάθε ημέρας του συγκεκριμένου μήνα, στον οποίο εκδηλώθηκε το επεισόδιο. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η σύγκριση των τιμών των μεταβλητών κατά τη εξέλιξη του επεισοδίου βροχής, με τις “συνήθεις” τιμές της μεταβλητής για το συγκεκριμένο μήνα.

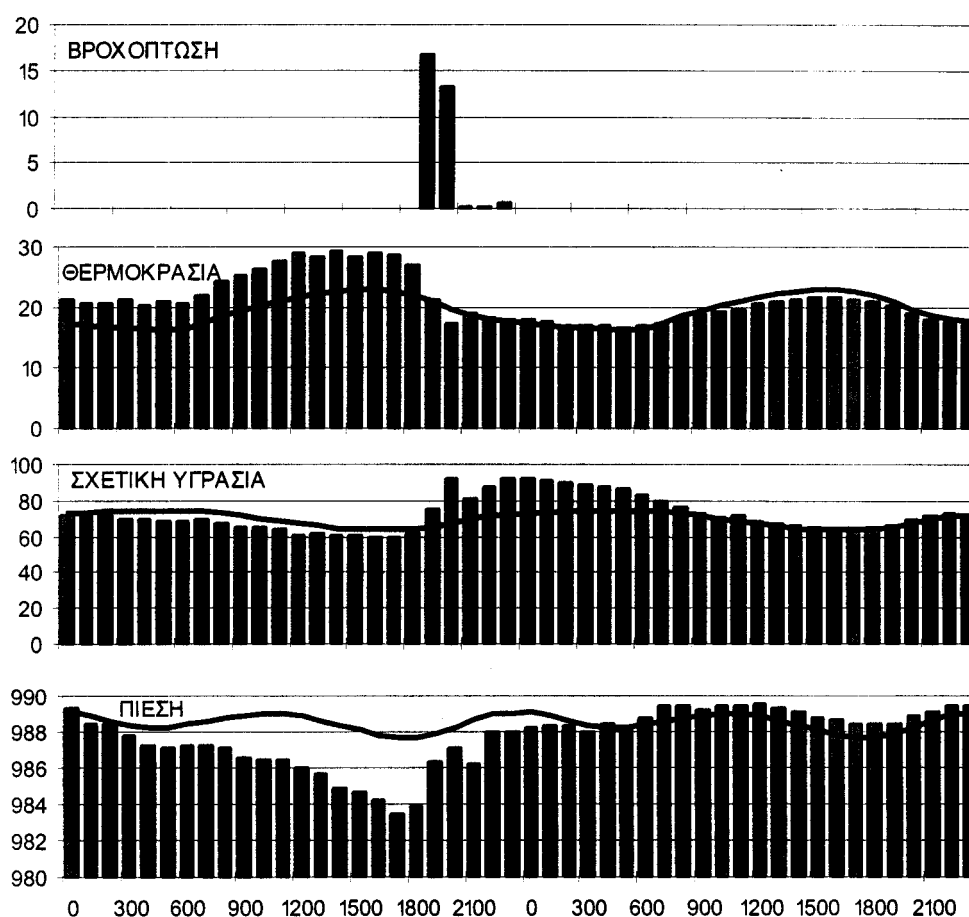
Στο Σχήμα 7.1 παρουσιάζεται το επεισόδιο βροχής της 30-31/1/1996, που οφείλεται στη δράση μίας ύφεσης. Το επεισόδιο εκδηλώθηκε στις επτά το απόγευμα, είχε διάρκεια 13 ώρες και συνολικό ύψος 30.5 mm. Όπως φαίνεται από το σχήμα η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται πολύ πριν από την εκδήλωση της βροχόπτωσης δεδομένου ότι πλησιάζει το πεδίο των χαμηλών

πίεσεων, ενώ τρεις ώρες πριν το επεισόδιο η πίεση έχει μειωθεί αισθητά σε σχέση με τη μέση τιμή του μήνα. Κατά τη διάρκεια του επεισοδίου η πίεση παραμένει σε χαμηλά επίπεδα, ενώ στη συνέχεια με την απομάκρυνση του πεδίου χαμηλών πιέσεων αρχίζει να αυξάνεται για να ανέβει στα φυσιολογικά επίπεδα 10 περίπου ώρες μετά τη λήξη του επεισοδίου. Η θερμοκρασία μετά την έναρξη του επεισοδίου βροχής μειώνεται με ελάχιστα μεγαλύτερο ρυθμό από αυτόν που αντιστοιχεί σε αυτή την ώρα της ημέρας, και οφείλεται στη δύση του ηλίου. Η σχετική υγρασία τις μεσημεριανές ώρες πριν από την έναρξη του επεισοδίου, είναι πάνω από το κανονικό επίπεδο, και αυξάνεται σταδιακά. Το γεγονός αυτό συνδυαζόμενο και με την αντίστοιχη άνοδο της θερμοκρασίας, υποδηλώνει την αύξηση της απόλυτης υγρασίας στην ατμόσφαιρα. Μετά την έναρξη της βροχής η σχετική υγρασία φτάνει σε υψηλά επίπεδα (οφείλεται στην αύξηση της απόλυτης υγρασίας από τη βροχόπτωση), για να πλησιάσει τις κανονικές τιμές αρκετές ώρες μετά τη λήξη του επεισοδίου.



**Σχήμα 7.1** Ωριαίες χρονοσειρές μετεωρολογικών μεταβλητών, κατά το χρονικό διάστημα 30-31/1/1996

Στο Σχήμα 7.2 παρουσιάζεται το επεισόδιο βροχής της 31/5-1/6/1994, το οποίο αποδίδεται σε ατμοσφαιρική αστάθεια που σημειώθηκε με τη θέρμανση υγρών αερίων μαζών. Το επεισόδιο εκδηλώθηκε στις επτά το απόγευμα, είχε διάρκεια 5 ώρες και συνολικό ύψος 32 mm. Όπως φαίνεται από το σχήμα, η θερμοκρασία τις μεσημεριανές ώρες πριν το επεισόδιο, ήταν αρκετά μεγαλύτερη από τα φυσιολογικά όρια. Η εξάτμιση που πραγματοποιήθηκε κατά την έναρξη της καταιγίδας είχε σαν αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας στα κανονικά επίπεδα. Η σχετική υγρασία αυξήθηκε σε σχέση με την κανονική, μετά την έναρξη του επεισοδίου, για να επανέλθει στα ίδια επίπεδα αρκετές ώρες μετά. Η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται σημαντικά τις μεσημεριανές ώρες αλλά ανεβαίνει στα κανονικά επίπεδα κατά τη διάρκεια του επεισοδίου.



**Σχήμα 7.2** Ωριαίες χρονοσειρές μετεωρολογικών μεταβλητών, κατά το χρονικό διάστημα 31/5-1/6/1994,

Με βάση τα πρώτες παρατηρήσεις της προκαταρκτικής διερεύνησης τα σημεία που θα πρέπει να διερευνηθούν μελλοντικά είναι: **(α)** η μεθοδολογία



τυποποίησης των καιρικών καταστάσεων οι οποίες συνδέονται με τις ισχυρές βροχοπτώσεις, με βάση τη σύνθεση των χρονοσειρών των μετεωρολογικών μεταβλητών, και **(β)** η σχέση μεταξύ των χρονοσειρών αυτών και των αποκλίσεων τους από τις μέσες, και η αξιοποίησή τους στη πρόγνωση της βροχόπτωσης κατά τα επόμενα χρονικά βήματα. Η μεθοδολογία θα πρέπει να αξιοποιεί τις παρατηρημένες χρονοσειρές των μεταβλητών αλλά και την απόκλισή τους από τις μέσες χρονοσειρές του συγκεκριμένου μήνα, ιδιαίτερα κατά το χρονικό διάστημα αμέσως πριν την εκδήλωση του επεισοδίου. Ακόμη θα πρέπει να ποσοτικοποιηθούν οι σχέσεις μεταξύ των χρονοσειρών των διαφόρων μεταβλητών στα διάφορα στάδια του επεισοδίου βροχής, και να αξιοποιηθούν στην πρόγνωση της εκδήλωσης και εξέλιξης της σημειακής βροχόπτωσης.

#### **7.3.4 Βάση δεδομένων συνοπτικών καταστάσεων**

Η αυτόματη τυποποίηση των καιρικών καταστάσεων με τη χρήση ψηφιακών δεδομένων από χάρτες καιρού είναι ένα δύσκολο θέμα που θα πρέπει να ερευνηθεί αρκετά. Η ανάπτυξη βάσης δεδομένων ορισμένων στοιχείων των χαρτών καιρού (ισοβαρείς, μέτωπα), είναι απαραίτητη υποδομή για την πραγματοποίηση έρευνας στην αναγνώριση, κατάταξη και μελέτη των "ομοίων" συνοπτικών καταστάσεων. Ακόμη σημαντική είναι η ανάπτυξη εφαρμογών έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση των "ομοιοτέρων" ιστορικών συνοπτικών καταστάσεων, και της αντίστοιχης ιστορικής εξέλιξης των μετεωρολογικών μεταβλητών

Η ψηφιακή αρχειοθέτηση και επεξεργασία των στοιχείων των χαρτών καιρού γίνεται σε Σ.Γ.Π. στο οποίο είναι δυνατή η αποθήκευση, διαχείριση και γεωγραφική απεικόνιση των δεδομένων, καθώς και η ανάπτυξη εργαλείων επεξεργασίας των χαρτών. Στις επιλεγμένες χρονικές στιγμές θα ψηφιοποιούνται οι ισοβαρείς για τις επιλεγμένες στάθμες της ατμόσφαιρας, καθώς και άλλα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά, όπως η θέση των μετωπικών επιφανειών. Για την αναγνώριση των "ομοίων" συνοπτικών καταστάσεων θα πρέπει να αναπτυχθεί εφαρμογή σύγκρισης των αρχειοθετημένων ψηφιακών δεδομένων. Η σύγκριση πρέπει να είναι πολυεπίπεδη (στις διάφορες στάθμες της ατμόσφαιρας) και το αποτέλεσμα να ποσοτικοποιείται με συντελεστή που θα εκφράζει το βαθμό ομοιότητας.

Η αυτόματη αναγνώριση και κατάταξη των ημερήσιων συνοπτικών καταστάσεων σε τύπους καιρού με βάση την ψηφιακή επεξεργασία ορισμένων στοιχείων των μετεωρολογικών χαρτών, είναι ένα σημείο που απαιτεί μεγάλη διερεύνηση. Ακόμη δυσκολότερη είναι η αυτόματη κατάταξη

στους ήδη υπάρχοντες τύπους καιρού. Η μοναδικότητα της κάθε συνοπτικής κατάστασης κάνει πολλές φορές δύσκολη και υποκειμενική την κατάταξή της, ενώ για την κατάταξη μίας ημέρας έχουν χρησιμοποιηθεί χάρτες που εκδίδονται σε μικρότερα χρονικά διαστήματα. Έτσι η αυτόματη κατάταξη της καιρικής κατάστασης σε κάποιο από τους συγκεκριμένους τύπους χωρίς την εξέτασή της από έμπειρο μετεωρολόγο είναι αρκετά δύσκολη. Βέβαια με τη χρήση της βάσης δεδομένων μπορούν να ανακτηθούν “όμοιες” καταστάσεις μαζί με τον τύπο καιρού στον οποίο έχουν αποδοθεί. Η ψηφιακή αναγνώριση των αρχειοθετημένων συνοπτικών καταστάσεων που έχουν τις μεγαλύτερες ομοιότητες με αυτή μιας δεδομένης ημέρας γίνεται με το συντελεστή “ομοιότητας”. Οι χάρτες καιρού της δεδομένης κατάστασης συγκρίνεται με όλους τους χάρτες που υπάρχουν στο αρχείο και ανασύρονται εκείνοι που έχουν το μεγαλύτερο συντελεστή “ομοιότητας” μαζί με την ιστορική χωροχρονική εξέλιξη των μετεωρολογικών μεταβλητών.

#### **7.4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Τα σημαντικότερα σημεία που προέκυψαν από το σύνολο της εργασίας, μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω γενικά συμπεράσματα:

1. Το φαινόμενο της βροχής έχει μελετηθεί σε όλες τις χωρικές και χρονικές κλίμακες, με την ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού προσεγγίσεων με ποικίλες θεωρητικές βάσεις. Ο μεγαλύτερος αριθμός των προσεγγίσεων αυτών στηρίζεται στη θεωρία των πιθανοτήτων, αλλά τα τελευταία χρόνια είναι σημαντική η συμβολή στην πρόγνωση του φαινομένου, των προσεγγίσεων που προσομοιώνουν την ατμοσφαιρική κυκλοφορία και αξιοποιούν εικόνες radar και δορυφόρων. Η μελέτη της βροχής κατά τύπο καιρού έχει γίνει μέχρι σήμερα σε περιορισμένη κλίμακα, ενώ πολλές φορές οι κατατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν δεν τυποποιούσαν ικανοποιητικά την επικρατούσα μετεωρολογική κατάσταση. Η βιβλιογραφική επισκόπηση αποκαλύπτει ένα μικρό αριθμό ανάλογων εργασιών, ενώ μόνο ορισμένες από τις κατατάξεις που χρησιμοποιούνται λαμβάνουν υπόψη τη γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία της περιοχής.

2. Ο επικρατών τύπος καιρού επιδρά σημαντικά στη χωρική κατανομή της βροχόπτωσης. Αυτό επιβεβαιώνεται από τα αποτελέσματα των διαφορετικών αναλύσεων που έγιναν, όπως από τις εμφανείς διαφορές μεταξύ των στατιστικών επιφανειών, την ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των επιφανειών του ίδιου τύπου, και τις στατιστικά σημαντικές διαφορές της ημερήσιας επιφανειακής βροχόπτωσης μεταξύ των διαφόρων υποπεριοχών. Τα αποτελέσματα των επεξεργασιών, είναι απόλυτα συμβατά με τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά των συνοπτικών καταστάσεων που κατατάχθηκαν στους τύπους αυτούς. Ακόμη τα αποτελέσματα είναι συμβατά και με τα κλιματικά και φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.
3. Ένα σημαντικό ποσοστό της γεωγραφικής μεταβλητότητας του ημερήσιου ύψους βροχής σε ορισμένες υποπεριοχές της περιοχής μελέτης, εξηγείται από τους τύπους καιρού. Έτσι η εμπειρική σχέση που διαπιστώνεται μεταξύ των τύπων καιρού και των χαρακτηριστικών της βροχόπτωσης των υποπεριοχών αυτών, μπορεί να αξιοποιηθεί στην στατιστική εκτίμηση και πρόγνωση των χαρακτηριστικών αυτών.
4. Διαπιστώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ ομάδων τύπων καιρού όσον αφορά στην πιθανότητα εκδήλωσης ισχυρού επεισοδίου βροχής. Η επίδραση των τύπων καιρού στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του επεισοδίου βροχής είναι περιορισμένη. Τα δείγματα των χαρακτηριστικών του επεισοδίου βροχής παρουσιάζουν σημαντική διασπορά, σε όλους τους τύπους και στις δύο περιόδους. Πάντως ορισμένα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων τύπων παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση σε σχέση με αυτά των υπολοίπων. Ακόμη η εισαγωγή της έννοιας “τύπος καιρού” συμβάλλει στη ερμηνεία της διασποράς της διάρκειας και του συνολικού ύψους του επεισοδίου βροχής κατά ένα σημαντικό ποσοστό για τη ξηρή και σε μικρό την υγρή περίοδο. Για τη μέση ένταση και ιδιαίτερα για το ωριαίο ύψος το ποσοστό αυτό είναι αμελητέο.
5. Υπάρχει σημαντική εξάρτηση των στατιστικών χαρακτηριστικών του ωριαίου και συνολικού ύψους βροχής από τη διάρκεια του επεισοδίου. Ένα σημαντικό ποσοστό της διασποράς του συνολικού ύψους και της μέσης έντασης του επεισοδίου βροχής, εξηγείται από τη διάρκεια. Η ιδιότητα αυτή των δεδομένων συνέβαλε στην ικανοποιητική προσαρμογή ενός στοχαστικού μοντέλου κλιμάκωσης. Τα διάφορα σχήματα στοχαστικής

προσομοίωσης που εφαρμόστηκαν για την παραγωγή συνθετικών επεισοδίων βροχής παρήγαγαν ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο με την τροφοδότησή τους με αρχικές εκτιμήσεις για τη διάρκεια και το συνολικό ύψος του επεισοδίου. Στις εκτιμήσεις αυτές μπορεί εκτός των άλλων προσεγγίσεων να συμβάλει και η θεώρηση του επικρατούντος τύπου καιρού.

6. Η επίδραση των τύπων καιρού στην ωριαία βροχόπτωση είναι πολύ μικρή. Οι τύποι καιρού, ιδιαίτερα της υγρής περιόδου παρουσιάζουν μικρές διαφορές μεταξύ τους όσον αφορά στη στοχαστική δομή των ωριαίων υψών του επεισοδίου βροχής. Βέβαια υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στη στοχαστική δομή των επεισοδίων της υγρής από αυτά της ξηρής περιόδου, ανεξάρτητα από τον τύπο καιρού, και σαφώς μεγαλύτερες από αυτές που οφείλονται στον τύπο καιρού. Ακόμη οι τύποι καιρού της υγρής περιόδου παρουσιάζουν μεγαλύτερες ετεροσυσχετίσεις και αυτοσυσχετίσεις των ωριαίων υψών σε σχέση με τους τύπους της ξηρής περιόδου. Οι υφειακοί τύποι της ξηρής περιόδου παρουσιάζουν “ενδιάμεση εικόνα” μεταξύ των δύο περιόδων.
7. Το υψηλό ποσοστό της διασποράς του ημερήσιου ύψους που εξηγείται από τους τύπους καιρού (επιφανειακή ανάλυση) σε σχέση με το ωριαίο ύψος (σημειακή ανάλυση) δεν αποδίδεται στην αύξηση της χρονικής κλίμακας, αλλά στα διαφορετικά κριτήρια που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των εντόνων κριτηρίων βροχής στις δύο αναλύσεις.
8. Οι χρονοσειρές ημερών εκδήλωσης των τύπων καιρού ανά μήνα παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση, μηδενική αυτοσυσχέτιση ενώ ορισμένες τάσεις που διαπιστώθηκαν θα πρέπει να αποδοθούν στο μικρό μήκος και τη μεγάλη διακύμανση των χρονοσειρών. Υπάρχουν μήνες ή εποχές που χαρακτηρίζονται από την παρουσία ορισμένων τύπων καιρού και τύποι που σε μεγάλο ποσοστό, εκδηλώνονται συγκεκριμένους μήνες. Ακόμη στις χρονοσειρές αυτές διαπιστώθηκε σημαντική τάση σε όλους τους τύπους καιρού να διαδέχονται τον εαυτό τους, ενώ δε διαπιστώθηκε σημαντική σχέση στη διαδοχή κάποιου τύπου καιρού από άλλον τύπο. Τέλος υπάρχει σημαντική επίδραση του αριθμού ημερών εκδήλωσης ορισμένων μεμονωμένων ή ομάδων τύπων καιρού στο βροχομετρικό καθεστώς της περιοχής μελέτης. Διαπιστώθηκε και στις δύο περιόδους (υγρή και ξηρή), στατιστικά σημαντική σχέση μεταξύ των

χρονοσειρών ομάδων τύπων που συνδέονται με την καλοκαιρία ή με τη βροχόπτωση, και των χρονοσειρών συνολικού ύψους βροχής περιόδου. Ακόμη η ύπαρξη υδρολογικών ετών τα οποία είναι υγρά σε κάποιες γεωγραφικές περιοχές και ξηρά σε κάποιες άλλες γειτονικές αποδίδεται κατά κύριο λόγο στη διαφοροποίηση του αριθμού ημερών εκδήλωσης ορισμένων τύπων καιρού, οι οποίοι συνδέονται με τις βροχοπτώσεις συγκεκριμένων γεωγραφικών περιοχών.

9. Τα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών επεισοδίων που εξετάστηκαν, δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τύπων καιρού, δεδομένης της πολυπλοκότητας του μηχανισμού βροχής-απορροής.
10. Με βάση τις αναλύσεις που έγιναν στην παρούσα εργασία προτείνονται ορισμένες κατευθύνσεις για μελλοντική έρευνα σχετικά με τη βροχή οι οποίες σχετίζονται με την τυποποίηση των καιρικών καταστάσεων. Συγκεκριμένα προτείνονται: **(α)** η περαιτέρω εφαρμογή ορισμένων από τις επεξεργασίες που πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές χωροχρονικές κλίμακες, **(β)** η διερεύνηση των μετεωρολογικών μεταβλητών σε μικρές χρονικές κλίμακες, με στόχο τον εντοπισμό συνθέσεων των τιμών των μεταβλητών μιας μικρής χρονικής περιόδου, που να σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης και **(γ)** η ψηφιακή αρχειοθέτηση των συνοπτικών χαρτών, η ανάπτυξη μεθοδολογιών για τη διαχείριση, κατάταξη και επεξεργασία τους και η αυτοματοποίηση της αναγνώρισης των τύπων καιρού.

# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

**ΒΙΒΛΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΕΣ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

**ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ**

## **BIBΛΙΑ**

- Abercrobey, R., *Weather*, London, Kegan Paul, pp. 334-377, 1887
- Ahrens, D., *Essentials of Meteorology; An invitation to the Atmosphere*, West Publishing Company, Minneapolis, 1993
- ARC-INFO, *Managing Tabular Data*, ESRI, New York, 1992
- ARC-INFO, *Surface modeling with GRID*, ESRI, New York, 1992
- Astapenko, P. D., *Atmospheric processes in high latitudes of the southern hemisphere*, Moscow, Akad. Nauk, 1960
- Dingman, L., *Physical Hydrology*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1994
- Freud J. and Simon G., *Statistics a first course*, Prentice-Hall Inc., New Jersey 1991
- Κουτσογιάννης, Δ., *Στατιστική υδρολογία*, ΕΜΠ, Αθήνα, 1996
- Kottegoda, N., T., *Stochastic water resources Technology*, MacMillan Press, Hong Kong, 1980.
- Μακρής, Γ., *Ο καιρός*, Αθήνα, 1990
- Maidment, D., *Handbook of Hydrology*, McGraw Hill Inc., New York, 1993
- McCuen, R. and W. Snyder, *Hydrologic Modeling: Statistical methods and applications*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1986
- Μιμίκου, Μ., *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1994
- Ξανθόπουλος Θ., *Εισαγωγή στη Τεχνική Υδρολογία*, ΕΜΠ, Αθήνα, 1994
- Shaw, E., *Hydrology in Practice*, 1983
- Spiegel M., *Πιθανότητες και στατιστική*, McGraw-Hill, Αθήνα 1977
- WMO, *Guide to hydrometeorological practices*, 1965
- WMO/UNEP, *European Climate Support Network*, First European Climate Assessment, 1995

## **ΜΕΛΕΤΕΣ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- Αλεξοπούλου, Κ., Π. Αναστασοπούλου, Δ. Μπώκου, Ν. Σταυρίδης και Ν. Μαμάσης, Βροχομετρικοί και υδρομετρικοί σταθμοί και δεδομένα, Τεύχος 2, *Εκτίμηση και διαχείριση των υδατικών πόρων της Στερεάς Ελλάδας*, Τομέας ΥΠΥΘΕ, ΕΜΠ, 1992
- Baur, F., P. Hess and H. Nagel, *Kalender der Grosswetterlagen Europas 1881-1939*, DWD, Bad Homburg, Germany, 1944

- Bolotinskaja, M., S., and Ryzakiov, L., Jun. (editors), Catalogue of macrosynoptic processes according to G. Vangengejm's classification 1891-1962, Leningrad, Arkt I Antakt Naucissled Inst, 1964
- Brandley, R.S., Barry, R.G., and Kiladis, G., Climate fluctuations of the Western United States during the period of instrumental records. Report to National Science Foundation, Contribution 42, University of Massachusetts, Amherst, 121 pp., 1982
- Conte, M., and M., Colacino, Notes on the climate of the Mediterranean and future scenarios, Desertification in a European context: Physical and socio-economic aspects, Final report, European commission, 1995
- Davidova, N., G, Types of synoptic processes and associated wind fields in oceanic regions of the southern hemisphere, Tech. Notes, WMO, Geneva, pp. 263-291, 1967
- Dzerdzeevskii, B.L., Circulation of the atmosphere: circulation mechanisms in the atmosphere of the northern hemisphere in the twentieth century (statistical data for the entire hemisphere and for its six sectors), Moscow, Akad Nauk SSSR, Inst Geogr, 1970
- Dzerdzeevskii, B.L., Kurganskaja, V., Vitvitskaja, Z., Typification of circulation mechanism in northern hemisphere and characteristics of synoptic seasons, Moscow, Gidrometr, 1946
- Grace R. A. and P. S. Eagleson, *The Synthesis of short-time-increment rainfall sequences*, Hydrodynamics Laboratory Report no. 91, MIT, 1966.
- Hess, P. and Brezowsky, H., Katalog der Grobwetterlagen Europas. Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 113, Bd. 15, 2. neu bearbeitete und ergänzte Aufl., Offenbach a. Main, Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1969.
- Καραλής, Ι., Τύποι καιρού Ελλάδος, Διατριβή επί διδακτορία, Ε.Μ.Υ., Αθήνα, 1969
- Κουτσογιάννης, Δ., Μοντέλο επιμερισμού σημειακής βροχόπτωσης, Διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 1988
- Λαλιώτης, Γ., Συμβολή εις τη συνοπτική και κλιματολογικήν έρευναν των γενικών βροχοπτώσεων εν Ελλάδι κατά την δεκαετίαν Σεπτέμβριος 1960 - Μάρτιος 1970, Μονογραφία, Ε.Μ.Υ., Αθήνα, Μάιος 1977
- Λιβαδάς, Γ., Περί των συνθηκών ομάδων ημερών αποτόμου μείωσης της θερμοκρασίας εν Ελλάδι, Διατριβή επί διδακτορία, Θεσσαλονίκη, 1955



- Λιβαδάς, Γ., Ο καιρός της πάχνης εν Ελλάδι, Διατριβή επί Υψηγεία, Θεσσαλονίκη, 1962
- Μαμάσης, Ν., Σ. Ρώτη, Σ., Κουτσογιάννης Δ., και Θ. Ξανθόπουλος Υδρολογικά χαρακτηριστικά των λεκανών Μόρνου, Ευήνου και Υλίκης, *Πρακτικά της ημερίδας της ΕΕΔΥΠ "Προοπτικές επίλυσης του υδροδοτικού συστήματος της Αθήνας"*, Γ. Φούντας, 55-64, 1990
- Μπαλτάς Β., Εκτίμηση και πρόγνωση καταιγίδων και πλημμυρών με τη χρήση μετεωρολογικού radar, Διακτορική διατριβή, ΕΜΠ, Αθήνα, 1996
- Μαχαίρας Π., Συνοπτικές καταστάσεις και πολυδιάστατη ανάλυση του καιρού στη Θεσσαλονίκη, Μονογραφία, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 1982
- Μαχαίρας Π., Ημερολόγιο τύπων καιρού 1960-1990, (αδημοσίευτο) 1993
- Μαχαίρας Π., Μ. Βαφειάδης, Φ. Κολυβά-Μαχαίρα, Χ. Μπαλαφούτης, Α. Αρσένη-Παπαδημητρίου και Σ. Γκίκα, Τελική Έκθεση, *Μελέτη της ξηρασίας στον Ελληνικό χώρο: Ανάπτυξη μεθόδων μακροπρόθεσμης πρόγνωσης περιόδων ξηρασίας και τρόπων για την αντιμετώπισή τους*, Τομέας Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, ΑΠΘ, 1993
- Maheras P., Climatologie de la mer Egee et de ses marges continentales, These d'Etat, Universite de Dijon, p. 783, 1979
- Meijerink A., Brouwer H., Mannaerts C., and C., Valenzuela, Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology, *UNESCO, Publication Number 23*, 1995
- Ρώτη, Σ., Ν. Μαμάσης, και Δ. Κουτσογιάννης, Επεξεργασία υδρομετεωρολογικών δεδομένων σε μηνιαία βάση, Τεύχος 6, *Διευρέυνση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ύδρευση της μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τομέας ΥΠΥΘΕ, ΕΜΠ, 1989
- Schuepp, M., Kalender der Wetter und Witterungslagen von 1955 bis 1967, *Veroffntl. Schweiz. Meterol. Zentralanst.*, 11, 43p, 1968
- Τζούλης, Β., Διερεύνηση της χωρικής κατανομής των βροχοπτώσεων με τη χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας, *Διπλωματική εργασία*, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1996
- Valencia, D., and Schaake, J., C., A disaggregation model for time series analysis and synthesis, *Report no. 149, Ralph M. Parsons Laboratory for Water Resources and Hydrodynamics*, M.I.T., Cambridge, 1972

## ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

- Asakura, T., Dynamic climatology of atmospheric circulation over East Asia centred in Japan, *Papers in Meteorology and Geophysics*, Meteorological Research Institute, Tokyo, 19, pp. 1-68, 1968
- Austin, P. M. and R. A. Houze, Jr., Analysis of the structure of precipitation patterns in New England, *Journal of Applied Meteorology*, 11, 926-934, 1972
- Bardossy, A. and E. Plate, Modeling daily rainfall using a semi-Markov representation of circulation pattern occurrence, *Journal of Hydrology*, 122,33-47, 1991
- Bardossy, A. and E. Plate, Space time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns, *Water Resources Research*, 28(5), 1247-1259, 1992
- Bardossy, A., and H., J., Caspary, Detection of climatic change in Europe by analyzing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989, *Theor. Appl., Climatol.*, 42, 155-167, 1990
- Barnley, N., O'Hare, G., and Wilby, R.L., Rainfall generation by frontal activity in the UK and Ireland, 1970-1990, using Lamb's Weather Types, Geography, *Journal of Hydrology*, submitted, 1995
- Bethlahmy, N., The two axis method: A new method to calculate average precipitation over a basin, *Hydrological Sciences Bulletin*, 21, 379-385, 1976
- Carapiperis, L.,N., On the spells of cold weather over the East Mediterranean during autumn, *Archiv. fur Meteor., Geoph. und Bioklimatologie*, Serie B, Bannnd 4, 4 Helf, 1953
- Carapiperis, L.,N., Uber eine Klassifizierung der Etsien auf Grund der herrschenden isobarischen Zustande, *Meteor. Rundschau*, 7, 1/2 Heft, Seite 6-9, 1954
- Carapiperis, L.,N., On the great and abrupt falls of air temperature in Athens, *Geof. Pura e applicata*, Vol 35, pp.143-148, Milano, 1956
- Carapiperis, L.,N., On the spells of cold weather over Greece during the spring, *Δημοσιεύματα Εργαστηρίου Μετεωρολογίας Πανεπιστημίου Αθηνών*, No 4, Αθήνα, 1956
- Carapiperis, L.,N., Halcyon days, *Weather*, Vol 12, No 10, October 1957
- Court, A. and M. T. Bare, Basin precipitation estimates by Bethlamy 's two axis method, *Journal of Hydrology*, 68, 149-158, 1984

- Creutin, J.D., and C. Obled, Objective analysis and mapping techniques for rainfall fields: An objective comparison, *Water Resources Research*, 25, 781-792, 1982
- Diskin M., H., On the determination of the speed of moving rainfall patterns, *Hydrological Sciences Journal*, 32, 1, 1-14, 1987
- Duckstein, L., A. Bardossy, and I. Bogardi, Linkage between the occurrence of daily atmospheric circulation patterns and floods: an Arizona case study, *Journal of Hydrology*, 143, 413-428, 1993
- Eltahir, A., B., E., El Nino and the natural variability in the flow of the Nile River, *Water Resources Research*, Vol. 32, no. 1, pp. 131-137, 1996
- Evenj, S., Om vaertyper, *Naturen*, Oslo, 3, pp. 75-82, 1943
- Foufoula-Georgiou, E., and W., Krajewski, Recent advances in modeling, estimation, and forecasting, *Reviews of Geophysics*, supplement, 1125-1137, 1995
- Garcia-Guzman, A. and E., Aranda-Oliver, A stochastic model of dimensionless hyetograph, *Water Resources Research*, Vol. 29, no. 7, pp. 2363-2370, 1993
- Georgakakos, K., P., and M., L., Kavvas, Precipitation analysis, modeling and prediction in hydrology, *Reviews on Geophysics*, 25(2), 163-178, 1987
- Georgakakos, K., P., and R., L., Brass, A hydrologically Useful station precipitation model - 1. Formulation, *Water Resources Research*, Vol. 20, no. 11, pp. 1585-1596, 1984
- Georgakakos, K., P., and R., L., Brass, A hydrologically Useful station precipitation model - 2. Case studies, *Water Resources Research*, Vol. 20, no. 11, pp. 1597-1610, 1984
- Girs, A., A., The general distinguishing features of various patterns of atmospheric circulation in northern hemisphere, Moscow, Arkt I Antarkt Naucissled Inst, 1963
- Gold, E., aids to forecasting types of pressure distribution with notes and tables for the fourteen years 1905-1918, *Geophys Mem.*, London, 2, No 16, 1920
- Haan, C., T., Allen, D., M. and Street J., O., A Markov chain model of the daily rainfall, *Water Resources Research*, vol 12, no 3, pp. 443-449, 1976
- Hay, L. E., G. J. McCabe, Jr., D. M. Woolock and M. A. Ayers, Simulation of precipitation by weather type analysis, *Water Resources Research*, 27(4), 493-501, 1991

- Hershenhorn J. and D. A. Woolhiser, Disaggregation of daily rainfall, *Journal of Hydrology*, 95(3/4), 299-322, 1987
- Huff F., A. and W. L. Shipp, Spatial correlation of storm, monthly and seasonal precipitation, *Journal of applied Meteorology*, Vol. 8 , 542-550, 1969
- Huff, F., Climatological assessment of natural precipitation characteristics for use in weather modification, *Journal of applied Meteorology*, 8, 401-410, 1969
- Huff, F.A., Time distribution of rainfall in heavy storms, *Water Resources Research*, 3(4), 1007-1019, 1967
- Hughes, J., and P. Guttorp, A class of stochastic models for relating synoptic atmospheric patterns to regional hydrologic phenomena, *Water Resources Research*, 30(5), 1535-1546, 1994
- Ignacio Rodriguez-Iturbe I., and P., S., Eagleson, Mathematical models of rainstorms events in space and time, *Water Resources Research*, Vol. 23, no. 1, pp. 181-190, 1987
- Καραπιπέρης Λ., Ν., Η κατανομή των βροχοπτώσεων στον Ελληνικό χώρο, *Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας*, Τόμος ΧΙ, Τεύχος 1, 1974
- Kitanidis, K., P., Geostatistics, Ch 20 in *Handbook of Hydrology*, edited by D. R. Maidment, Mc Graw Hill, New York, 1993
- Koutsoyiannis, D. and E., Fofoula-Georgiou, A scaling model of storm hyetograph, *Water Resources Research*, Vol. 29, no. 7, pp. 2345-2361, 1993
- Koutsoyiannis, D., A nonlinear disaggregation method with a reduced parameter set for simulation of hydrologic series, *Water Resources Research*, Vol. 28, no. 12, pp. 3175-3191, 1992
- Lamb, H. H., British Isles weather types and a register of the daily sequences of circulation patterns 1861-1971, *Geoph. Memoirs* No. 116, 1972
- Lamb, H. H., Types and spells of weather around the year in the British Isles. Annual trends, seasonal structure of the year, Singularities., *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 76, 393-438, 1950
- Lebel, T., G. Bastin, C. Obled, and J.D. Creutin, On the accuracy of areal estimation: A case study, *Water Resources Research*, 23, 2123-2134, 1987
- Maheras P. and A. Flocas, Synoptic conditions and geographic distribution of daily rainfall during the warm period, over Greece, *Proceedings of the 3<sup>d</sup> Hellenic-British climatological congress*, Athens, 1985

- Maheras, P., Delimitation of the Summer-Dry Period in Greece According to the Frequency of Weather Types, *Theoretical Applied Climatology* 39, 171-176, 1989
- Maheras, P., Situations synoptiques et analyse factorielle des precipitations torrentielles ( $\geq 29.5$  mm/24 heures) en Grece, *La Meteorologie* 34, 1983
- Maheras, P., Delimitation of the summer-dry period in Greece according to the frequency of weather types, *Theoretical Applied Climatology*, 39, 171-176, 1989
- Mamassis, N. and D. Koutsoyiannis, An attempt for stochastic forecasting of rainfall (using weather types and the scaling model), *Presentation at 4th meeting of the AFORISM project*, Grenoble, France, 1993a
- Mamassis, N., et D. Koutsoyiannis, Structure temporelle de pluies intenses par type de temps, *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, (ed. P. Maheras), 6<sup>eme</sup> Colloque International de Climatologie, Thessaloniki, 22-25 Septembre 1993, Vol. 6, 123-132, Association Internationale de Climatologie, Aix-en-Provence Cedex, France, 1993b
- Mamassis, N. and D., Koutsoyiannis, Some results on rainfall modeling, *Presentation at the 5th meeting of the AFORISM project*, Cork, Ireland, 1993c
- Mamassis, N. and D., Koutsoyiannis, Weather types and Geographical Distribution of Rainfall, *5<sup>th</sup> International Conference on Precipitation Space Time Variability and Dynamics of Rainfall*, 14-16 June, Elounda, Greece, 1995
- Mamassis, N. and D., Koutsoyiannis, Influence of atmospheric circulation types on space - time distribution of intense rainfall, *Journal of Geophysical Research*, 101, D21, 26267-26276, 1996
- Mamassis, N., Koutsoyiannis, D. and I., Nalbantis, Intense rainfall and flood event classification by weather type, *Presentation at the XIX EGS General Assembly*, Grenoble, abstract in *Annales Geophysicae*, Vol. 12, Supplement II, Part II, C440, 1993a
- Mamassis, N., Koutsoyiannis, D. and E., Foufoula-Georgiou, Stochastic rainfall forecasting by conditional simulation using a scaling model, *Presentation at the XIX EGS General Assembly*, Grenoble, abstract in *Annales Geophysicae*, Vol. 12, Supplement II, Part II, C440, 1993b

- McCabe, G., A conceptual weather-type classification procedure for the Philadelphia, Pennsylvania area, *U. S. Geol. Surv. Water Resour. Invest. Rep.*, 89-4183, 1989
- McCabe, G., Relationships between atmospheric circulation and snowpack in the Gunnison river basin, Colorado, *Journal of Hydrology*, 157, 157-175, 1994
- Mimikou, M., A., Daily precipitation occurrences modelling with Markov chain of seasonal order, *Journal des Sciences Hydrologiques*, 28, 2, 221-232, 1983
- Mimikou, M., A., A study for improving precipitation occurrences modelling with a Markov chain, *Journal of Hydrology*, 70, 25-33, 1984
- Mimikou, M., A., and E. A. Baltas, Flood forecasting based on radar rainfall measurements, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, No. 3, 151-156, 1996
- Newnham, E., V., Classification of synoptic charts for the North Atlantic for 1896-1910, *Geophys Mem.*, London, 3, No 26, 1925
- Niemczynowicz J., Investigation of influence of rainfall movement on runoff hydrograph, part II, *Nord. Hydrol.*, 15(2), 71-84, 1984
- Niemczynowicz J., The rainfall movement - A valuable complement to short-term rainfall data, *Journal of Hydrology*, 104, 311-326, 1988
- Papagianakis, S., D., The weather conditions of Balkans peninsula during the winter 1940-41, *Geophysica* 6:1, Helsinki, 1956
- Piechota., T., C., and J., A., Dracup, Drought and regional hydrologic variation in the United States: Associations with the El Nino-Southern Oscillation, *Water Resources Research*, Vol. 32, no. 5, pp. 1359-1373, 1996
- Restepo-Posada, P., J. and Eagleson, P., S., Identification of independent rainstorms, *Journal of Hydrology*, 55, 303-319, 1982
- Rodriguez-Iturbe, I., B., Febres de Power, M., B., Sharifi, and K., Georgakakos, Chaos in rainfall, *Water Resources Research*, Vol. 25, no. 7, pp. 1667-1675, 1989
- Rodriguez-Iturbe, I., Exploring complexity in the structure of rainfall, *Advances in Water Resources*, Vol. 14, no. 4, 1991
- Schaake, J., C., Ganslaw, M., J., Fothergill, J., W. and Harbaugh, T., E., Multivariate rainfall generator for annual, seasonal, monthly and daily events, *Proceedings of the International Symposium on Mathematical*

- Modeling Technics in Water Resources Systems*, vol. 2, pp. 437-460, Ottawa, Canada 1972
- Shaw, E., An analysis of the origins of precipitation in Northern England, 1956-1960, *Quart. J. R. Soc.*, 539-547, 1962
- Shaw, E., M., and P.P. Lynn, Areal rainfall evaluation using two surface fitting techniques, *Hydrological Sciences Bulletin*, 17, 419-433, 1972.
- Sivapalan M., and F., Wood, A multidimensional model of nonstationary space-time rainfall at the catchment scale, *Water Resources Research*, Vol. 23, no. 7, pp. 1289-1299, 1987
- Tabios, G. Q., and J. D. Salas, A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation, *Water Resources Bulletin*, 21, 365-380, 1985
- Teisserenc de Bort, L., Etude sur l'hiver de 1879-1880 et recherches sur la position des centres d'action de l'atmosphere dans les hivers anormaux, IV. Paris, *Annales du Bureau Central Meteorologique de France*, pp. 19-60, 1881
- Teisserenc de Bort, L., Sur l'hiver de 1879-1880, Paris, Comptes rendus des seances de l'Academie des Sciences, 1882
- Tessier, Y., S., Lovejoy and D., Schertzer, Universal multifractals in rain and clouds: theory and observations, *Journal of Applied Meteorology*, 32, 223-250, 1993
- Van Bebber, J., and Kuppen, W., Die Isobarentypen des Nordatlantischen Ozeans and Westeuropas, *Aus Arch dt Seew*, Hamburg, 18, No 5, pp. 1-27, 1895
- Van Bebber, J., Typische Witterungs-Erscheinungen, *Aus Arch dt Seew*, Hamburg, 5, No 3, pp. 1-45, 1882
- Van de Gried, A. and E. Seyhan, Statistical analysis of weather-type runoff phenomena in an alpine environment, *Journal of Hydrology*, 70, 51-69, 1984.
- Van de Gried, A. and Seyhan, E., Statistical analysis of weather-type runoff phenomena in an alpine environment, *Journal of Hydrology*, 70, 51-69, 1984
- Waymire, E., and V., K., Gupta, The mathematical structure of rainfall representations, 1, A review of the stochastic rainfall models, *Water Resources Research*, Vol. 17, no. 5, pp. 1261-1272, 1981

- Waymire, E., and V., K., Gupta, The mathematical structure of rainfall representations, 2, A review of the theory of point processes, *Water Resources Research*, Vol. 17, no. 5, pp. 1273-1285, 1981
- Waymire, E., and V., K., Gupta, The mathematical structure of rainfall representations, 3, Some applications of the point processes theory to rainfall processes, *Water Resources Research*, Vol. 17, no. 5, pp. 1286-1294, 1981
- Waymire, E., Gupta V., and I. Ignacio Rodriguez-Iturbe, A spectral theory of rainfall intensity at the Meso- $\beta$  scale, *Water Resources Research*, Vol. 20, no. 10, pp. 1453-1465, 1984
- Wilby, R., B. Greenfield, and C. Glenny, A coupled synoptic-hydrological model for climate change impact, *Journal of Hydrology*, 153, 265-290, 1994
- Wilby, R., Simulation of precipitation by weather pattern and frontal analysis, *Journal of Hydrology*, 173, 91-109, 1995
- Wilby, R., Simulation of precipitation by weather pattern and frontal analysis, *Journal of Hydrology*, 173, 91-109, 1995
- Wilby, R., Stochastic weather type simulation for regional climate change impact assessment, *Water Resources Research*, 30(12), 3395-3403, 1994
- Wilson, L., D. Lettenmaier, D., and E. Wood, Simulation of daily precipitation in the Pacific Northwest using a weather type classification scheme, *Surveys in Geophysics*, 12(1-3), 127-142, 1991