

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Σχολή Θετικών Επιστημών
Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
«Μετεωρολογία και Κλιματολογία»

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ
ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ
ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ
ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΣΑΛΒΑΝΟΥ ΙΩΑΝΝΑ – ΜΑΡΙΑ

Γεωλόγος

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2006

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

	Σελ.
Περιεχόμενα.....	1
Πρόλογος.....	3
Εισαγωγή.....	4
1. Ανάλυση εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των σταθμών Αθήνας και Θεσσαλονίκης την περίοδο 1961-1990.....	12
1.1 Εισαγωγή.....	12
1.2 Θεωρητικό μοντέλο μεταβολής πιθανότητας ακραίων φαινομένων.....	13
1.3 Κατανομή εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής, στους σταθμούς Αθήνας και Θεσσαλονίκης, την περίοδο 1961-1990.....	17
1.4 Θεωρητική κατανομή εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής (έλεγχος K-S).....	21
2. Διερεύνηση κλιματικής μεταβολής των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής στους σταθμούς Αθήνας και Θεσσαλονίκης.....	29
2.1 Εισαγωγή.....	29
2.2 Στατιστικό μοντέλο κλιματικής μεταβολής.....	31
2.2.1. Κανονική κατανομή.....	31
2.2.2. Λογαριθμοκανονική κατανομή.....	32
2.3 Διερεύνηση κλιματικής μεταβολής στις χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής.....	33
2.3.1 Στατιστική σύγκριση παραμέτρων μ και σ	36
3. Ανάλυση πιθανότητας εμφάνισης ακραίων εποχών στις επιμέρους περιόδους.....	44
3.1 Εισαγωγή.....	44
3.2 Καθορισμός ακραίων εποχών.....	46
3.3 Πιθανότητα ακραίων εποχών επιμέρους περιόδων.....	48
3.3.1. Πιθανότητα ψυχρών / ξηρών και θερμών / υγρών εποχών στο σταθμό της Αθήνας.....	49
3.3.2. Πιθανότητα ψυχρών / ξηρών και θερμών / υγρών εποχών στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.....	52
3.4 Μεταβολή πιθανότητας ακραίων εποχών σε σχέση με τις μεταβολές των μ και σ μεταξύ των επιμέρους περιόδων.....	55
3.5 Θεωρητική μεταβολή πιθανότητας ακραίων εποχών.....	57

4. Συσχέτιση μεταβολής παραμέτρων μ και σ και μεταβολής πιθανότητας ακραίων εποχών μεταξύ επικαλυπτόμενων περιόδων.....	62
4.1 Εισαγωγή.....	62
4.2 Μεταβολή πιθανότητας ακραίων εποχών σε σχέση με τις μεταβολές των μ και σ μεταξύ των επικαλυπτόμενων περιόδων.....	63
4.3 Συσχέτιση πιθανότητας εμφάνισης ακραίων εποχών και παραμέτρων μ και σ	81
5. Εκτίμηση πιθανότητας ακραίων εποχών στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2071-2100.....	88
5.1 Εισαγωγή.....	88
5.2 Μοντέλο HadRM3H.....	88
5.3 Αξιολόγηση μοντέλου HadRM3H.....	89
5.4 Στατιστική σύγκριση παραμέτρων μ και σ μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100.....	94
5.5 Εκτίμηση πιθανότητας ακραίων εποχών στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης την περίοδο 2071-2100.....	96
Συμπεράσματα.....	99
Βιβλιογραφία.....	103

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Διατριβή αποτελεί μια προσπάθεια διερεύνησης του τρόπου με τον οποίο η πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, μεταβάλλεται με τις μεταβολές του κλίματος (μεταβολή μέσης τιμής ή / και μεταβλητότητας).

Οφείλω από τη θέση αυτή να ευχαριστήσω τον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας για την παραχώρηση των δεδομένων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης των σταθμών Αθήνας και Θεσσαλονίκης, χωρίς τα οποία δεν θα ήταν δυνατή η πραγματοποίηση της παρούσας διατριβής.

Θεωρώ επίσης καθήκον μου να ευχαριστήσω θερμά το Ίδρυμα Κρατικών Υποτροφιών (ΙΚΥ) για την υποτροφία που μου παρείχε με την ιδιότητα ως Ειδικό Μεταπτυχιακό Υπότροφο.

Στο σημείο αυτό θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Πέτρο Πέννα για την εμπιστοσύνη με την οποία με περιέβαλλε, την αμέριστη βοήθεια και συμπαράσταση που μου προσέφερε και γενικότερα για την άριστη συνεργασία μας, τόσο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης Διατριβής, όσο και κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Π.Μ.Σ. «Μετεωρολογία και Κλιματολογία».

Αισθάνομαι επίσης την ανάγκη να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κα. Αγγελική Αρσένη – Παπαδημητρίου και το Λέκτορα Θεόδωρο Μαυρομμάτη, μέλη της εξεταστικής επιτροπής, για το ενδιαφέρον τους και τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις τους, κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Διατριβής.

Θα ήταν παράληψη μου αν δεν ευχαριστούσα από τη θέση αυτή την Καθηγήτρια κα. Ε. Μπόρα – Σέντα, οι γνώσεις της οποίας συνέβαλλαν σημαντικά στην περάτωση της Διατριβής αυτής.

Το δύσκολο έργο της εκπόνησης της παρούσης Διατριβής δε θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση, ηθική και οικονομική, των γονιών μου, τους οποίους ευχαριστώ θερμά.

ΙΩANNA – MAPIA ΣΑΛΒΑΝΟΥ,
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2006

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία 30 χρόνια απασχολεί ιδιαίτερα τους επιστήμονες και τους διάφορους Διεθνείς Οργανισμούς, η πιθανότητα που έχουν οι ανθρώπινες δραστηριότητες, να διαταράξουν τη σύσταση της ατμόσφαιρας και τη λειτουργία του κλιματικού συστήματος. Το πιο ανησυχητικό φαινόμενο που αναγκαζόμαστε να αντιμετωπίσουμε είναι η αύξηση του CO₂ και η άνοδος της θερμοκρασίας που θα προκαλούσε, σε συνδυασμό με μεταβολές στο υδρολογικό ισοζύγιο.

Οι Hansen *et al.* (1989), μελετώντας την επίδραση ενός εντεινόμενου φαινομένου του θερμοκηπίου, σε τρεις εκδηλώσεις του περιοχικού κλίματος (ξηρασία, καταιγίδες και θερμοκρασία) επισημαίνουν ότι, μια συνέχιση των σημερινών ρυθμών αύξησης των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, θα προκαλέσει αύξηση της συχνότητας και της έντασης της ξηρασίας, ενώ θα οδηγήσει και σε καταιγίδες μεγαλύτερης κατακόρυφης έκτασης, με μεγαλύτερα ύψη βροχής. Η ισχυροποίηση, τόσο των ξηρών, όσο και των υγρών ακραίων συνθηκών, είναι μια πιθανή συνέπεια της αυξημένης επιφανειακής θέρμανσης και εξάτμισης. Η μείωση των χαμηλών νεφών, ενδεχόμενες μεταβολές στην ωκεάνια κυκλοφορία, η αύξηση της διακριτικότητας του μοντέλου, η βελτίωση των αναπαραστάσεων της εδαφικής υδρολογίας και της ανοδικής μεταφοράς υγρού αέρα, αποτελούν παραμέτρους ενίσχυσης της αξιοπιστίας του μοντέλου, που όμως είναι σχεδόν απίθανο να τροποποιήσουν τη σημασία του αποτελέσματος. Δηλαδή, την ισχυροποίηση, τόσο των ξηρών, όσο και των υγρών ακραίων συνθηκών.

Σύμφωνα με την τελευταία έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής, την οποία όρισαν τα Ηνωμένα Έθνη για την παρακολούθηση της Κλιματικής Μεταβολής (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC), υπάρχει μια 'εξαιρετικά σημαντική ορατή ανθρώπινη επίδραση' στο κλίμα. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέρος της θέρμανσης που παρατηρείται κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών, αποδίδεται σε ανθρώπινη δραστηριότητα (IPCC, 2001a).

Σημάδια μεταβολής του κλίματος έχουν παρατηρηθεί, τόσο σε παγκόσμιο, όσο και σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών, η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 0,6°C, με τις ηπειρωτικές περιοχές να θερμαίνονται περισσότερο από τις ωκεάνιες. Κατά τη διάρκεια των προηγούμενων 150 ετών, το 1998 ήταν το θερμότερο έτος και ακολουθεί το έτος 2002 (December Press Release 2005). Η δεκαετία του 90' αποτελεί την θερμότερη από τα μέσα του

19^ο αιώνα και πιθανόν και της χιλιετίας (IPCC 2001a, WMO 2002). Ειδικότερα στην Ευρώπη, κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα, η ετήσια θερμοκρασία παρουσίασε άνοδο κατά 0,8°C (ECSN 1995). Η αύξηση αυτή είναι μεγαλύτερη πάνω από την ΒΔ Ρωσία και την Ιβηρική χερσόνησο (Nicholls et al. 1996, Onate and Pou, 1996) και εντονότερη το χειμώνα σε σχέση με το καλοκαίρι (Maugeri and Nanni 1998, Brunetti et al. 2000b). Το 2002 ήταν επίσης το δεύτερο θερμότερο έτος για την Ευρώπη, με μέση θερμοκρασία κατά 1,25°C υψηλότερη από τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1961-1990, ενώ το έτος 1995 ήταν θερμότερο (κατά 1,46°C πάνω από τη μέση τιμή).

Μεταβολές εντοπίζονται και στο πεδίο της βροχόπτωσης. Σε παγκόσμια κλίμακα, παρατηρείται αύξηση του μέσου ύψους βροχής κατά 2%, κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα, με έντονες μεταβολές μεταξύ των ηπείρων, αλλά και εντός της Ευρώπης. Στη Βόρεια Ευρώπη παρατηρείται αύξηση του ετήσιου ύψους βροχής κατά 10% έως 40%, σε αντίθεση με τη Νότια Ευρώπη, η οποία παρουσιάζει τάση προς ξηρότερο κλίμα (ελάττωση έως και 20%) (IPCC 2001a). Σχετικές μελέτες για την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, αναφέρουν μια χαρακτηριστική υγρή περίοδο μεταξύ των ετών 1930-1941 και μια χαρακτηριστική ξηρή περίοδο μεταξύ των ετών 1942-1954. Ειδικότερα, για σταθμούς της Δυτικής Μεσογείου και των Βαλκανίων, η οχταετία 1978-1985 και κυρίως για την ελληνική περιοχή η πενταετία 1987-1992 ήταν ιδιαίτερα ξηρή (Maheras 1987, Maheras 1988a, Maheras και Kolyva – Mahera 1990, Maheras και Anagnostopoulou 2003). Στη Νότια Ισπανία, ο αριθμός ημερών βροχής έχει ελαττωθεί κατά 50% κατά τη διάρκεια της περιόδου 1964-1993 (Romero et al. 1999), ενώ στην Ιταλία, το ετήσιο ύψος βροχής παρουσίασε πτώση κατά 5%, στο βόρειο τμήμα της χώρας και κατά 15% στο νότιο (Buffoni et al. 1999). Σε ότι αφορά την Ελλάδα, τα δεδομένα φανερώνουν ελάττωση του ετήσιου ύψους βροχής, πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της χώρας, κατά το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, που οφείλεται στην ελάττωση των χειμερινών και φθινοπωρινών υψών βροχής (Κανδύλης 1991, Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης, 1995).

Τα κλιματικά μοντέλα, σύμφωνα με την IPCC (2001a), προβλέπουν περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1,4-5,8°C από το 1990 έως το 2100. Το εύρος αυτό αντανακλά, όχι μόνο την ‘αβεβαιότητα’ των μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCM), αλλά και των διαφορετικών σεναρίων, σε ότι αφορά τις συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα, κατά τη διάρκεια των επόμενων 100 ετών, με βάση διαφορετικές υποθέσεις πάνω στην αύξηση του πληθυσμού και την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη. Στην Ευρώπη, αναμένεται

αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας κατά $0,1-0,4^{\circ}\text{C}$, ανά δεκαετία, κατά τη διάρκεια των επόμενων 100 ετών. Η αύξηση αυτή προβλέπεται να είναι μεγαλύτερη στη Νότια Ευρώπη (Ισπανία, Ιταλία και Ελλάδα) και Βορειοανατολική Ευρώπη (Φιλανδία, Δυτική Ρωσία) και μικρότερη στις περιοχές κατά μήκος των ακτών του Ατλαντικού. Η μέση θερινή θερμοκρασία παρουσιάζει επίσης μεγαλύτερη αύξηση στη νότια Ευρώπη (κατά $0,2^{\circ}\text{C}$ έως $0,6^{\circ}\text{C}$, ανά δεκαετία) σε σχέση με τη βόρεια (κατά $0,08^{\circ}\text{C}$ έως $0,3^{\circ}\text{C}$, ανά δεκαετία). Οι ψυχροί χειμώνες της περιόδου 1961-1990 (έναν ανά 10 χειμώνες) παρουσιάζουν σημαντική τάση ελάττωσης, ενώ έως το έτος 2080 θα απουσιάζουν πλήρως. Αντίθετα, τα θερμά καλοκαίρια θα εμφανίζονται συχνότερα. Στο χρονικό διάστημα έως και το 2080 σχεδόν κάθε καλοκαίρι θα είναι θερμότερο από το πιο θερμό της περιόδου 1961-1990 (ένα ανά 10 καλοκαίρια). Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν αύξηση του ετήσιου ύψους βροχής πάνω από την Βόρεια Ευρώπη κατά 1% έως 2%, ανά δεκαετία και ελάττωση αυτού πάνω από τη Νότια Ευρώπη, όχι μεγαλύτερη του 1%, ανά δεκαετία. Μικρότερες μεταβολές αναμένονται πάνω από χώρες της Κεντρικής Ευρώπης (Γαλλία, Γερμανία, Ουγγαρία). Με εξαίρεση τα Βαλκάνια και την Τουρκία, στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης οι χειμερινές βροχοπτώσεις προβλέπεται να αυξηθούν κατά 1% έως 4%. Τα θερινά ύψη βροχής αυξάνονται κατά 2%, ανά δεκαετία, στη Βόρεια Ευρώπη, ενώ στη Νότια Ευρώπη ελαττώνονται έως και 5% (Parry 2000, IPCC 2001c). Ειδικότερα για τη Μεσόγειο, η οποία ήδη αντιμετωπίζει προβλήματα, σε ότι αφορά τα αποθέματα ύδατος για ύδρευση και άρδευση, οποιαδήποτε ελάττωση της βροχόπτωσης, που συνδέεται με την παγκόσμια θέρμανση, θα επιδεινώσει ακόμη περισσότερο το υπάρχον πρόβλημα (Palutikof et al. 1999).

Η διερεύνηση της κλιματικής μεταβολής στα αρχαία ιστορικών δεδομένων ή στα κλιματικά πειράματα με τη χρήση μοντέλων γενικής κυκλοφορίας (GCM), έχει συνήθως αντιμετωπιστεί, ως ένα πρόβλημα εκτίμησης της μεταβολής μεταξύ των παραμέτρων θέσης (π.χ. μέση τιμή ή διάμεσος) (Schneider 1989, Houghton et al. 1990). Εντούτοις, σημαντικές επιδράσεις από τη μεταβολή του κλίματος, προέρχονται και από τη μεταβολή των παραμέτρων κλίμακας (π.χ. μεταβλητότητα, ενδοτεταρτομοριακό πλάτος) (Katz R.W. 1988, Rind et al. 1989) και ιδιαίτερα από την μεταβολή της συχνότητας εμφάνισης των ακραίων μετεωρολογικών και κλιματικών φαινομένων (Watson et al. 1996, Parmesan et al. 2000).

Το επίπεδο της μεταβλητότητας του κλίματος λαμβάνεται συνήθως σταθερό. Εντούτοις, προκειμένου να ληφθεί υπόψη, ο τρόπος με τον οποίο, μια κλιματική

μεταβλητή κατανέμεται γύρω από μια παράμετρο θέσης, θα πρέπει να μελετηθεί και η μεταβολή των παραμέτρων κλίμακας (Katz 1988). Επιπλέον, η μεταβολή μιας κλιματικής μεταβλητής, η οποία ακολουθεί μια συγκεκριμένη κατανομή πιθανότητας, πιθανόν ασύμμετρη, όπως π.χ. η κατανομή γάμμα των μηνιαίων υψών βροχής, θα έχει επίσης ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της παραμέτρου σχήματος της κατανομής (Katz 1991).

Μια εν δυνάμει μεταβολή της μεταβλητότητας έχει εξίσου σημαντικές επιπτώσεις σε πλήθος εφαρμογών και ιδιαίτερα σε βιολογικές διαδικασίες. Ένας έντονος παγετός ή ανώμαλα κύματα καύσωνα μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές καταστροφές στην ανάπτυξη των δέντρων και φυτών, ανεξάρτητα από τη μέση θερμοκρασία του μήνα ή του έτους (Rind et al. 1989). Η έλλειψη ικανοποιητικής πρόβλεψης της μεταβολής της μεταβλητότητας, αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα στην διερεύνηση του τρόπου αντίδρασης των δασών στην μεταβολή του κλίματος (Solomon και West 1985). Επιπλέον, η μεταβολή, τόσο της μέσης τιμής, όσο και της μεταβλητότητας των κλιματικών μεταβλητών, μπορεί να προκαλέσει αξιοσημείωτες μεταβολές στη συχνότητα των ακραίων κλιματικών και μετεωρολογικών φαινομένων (Katz and Brown 1992, Colombo et al. 1998, Rodrigo 2002). Οι Mearns et al. (1984) τονίζουν πως, οποιαδήποτε απόφαση, σχετικά με το ποια στρατηγική θα πρέπει να ακολουθηθεί, υπό συνθήκες μεταβολής του μέσου κλίματος, δεν θα πρέπει να παρθεί, δίχως να ληφθεί υπόψη μια εν δυνάμει μεταβολή της μεταβλητότητας αυτού και επισημαίνουν την ευαισθησία της πιθανότητας των ακραίων, σημαντικών για την κοινωνία, μετεωρολογικών φαινομένων, στις μεταβολές της μεταβλητότητας. Μελέτη των μεγίστων ημερήσιων θερινών θερμοκρασιών σε εννέα σταθμούς του Καναδά έδειξε ότι, η συχνότητα εμφάνισης, τόσο των μεμονωμένων ημερών, όσο και των ακολουθιών 2-5 συνεχόμενων ημερών, όπου η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο κατώφλι, είναι πιο ευαίσθητη στην αύξηση της μέσης τιμής, στους σταθμούς με μικρή μεταβλητότητα (Colombo et al. 1998). Σε μια αντίστοιχη μελέτη για ένα δίκτυο σταθμών στην Ισπανία, οι Katz και Carrido (1994) συμπέραναν ότι, η σχετική ευαισθησία των ακραίων γεγονότων βροχής στη διάμεσο και στην παράμετρο κλίμακας της κατανομής είναι μεγαλύτερη, όσο πιο ακραίο είναι το φαινόμενο. Επιπλέον, η σχετική ευαισθησία στην κλίμακα είναι μεγαλύτερη στα υγρά γεγονότα, ενώ το αντίθετο ισχύει για τα ξηρά.

Οι μεταβολές, τόσο της συχνότητας, όσο και της έντασης και διάρκειας των ακραίων φαινομένων είναι υψίστης σημασίας, καθώς επηρεάζουν διάφορους τομείς

κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών δραστηριοτήτων (Watson et al. 1996, Parmesan et al. 2000, Kunkel et al. 1999), αλλά και τον τομέα της υγείας, είτε άμεσα μέσω κυμάτων παγετού ή καύσωνα, είτε έμμεσα μέσω ακραίων επεισοδίων βροχής (πλημμύρες) ή επεισοδίων ρύπανσης (Zwiers και Kharin, 1998).

Η Ευρώπη τα τελευταία χρόνια υπέστη την επίδραση ενός σημαντικού αριθμού ακραίων φαινομένων. Το εξαιρετικά θερμό και ξηρό καλοκαίρι του 1995 εντοπίστηκε στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης (Palutikof et al. 1997). Οι καταστροφικές συνέπειες των ισχυρών θερινών βροχοπτώσεων του 2002 έγιναν αντιληπτές στο Κεντρικό κυρίως τμήμα της Ευρώπης, ενώ το κύμα καύσωνα που ακολούθησε το αμέσως επόμενο καλοκαίρι (2003) έπληξε το μεγαλύτερο τμήμα της ηπείρου. Το ερώτημα, εάν τέτοια φαινόμενα θα εμφανίζονται συχνότερα στο μέλλον, αποτελεί ένα σημαντικό θέμα προς διευθέτηση, σύμφωνα με τα μέλη του Ευρωπαϊκού Προγράμματος STARDEX (STARDEX 2001).

Παρότι η κοινωνία τείνει εύλογα να αντιληφθεί τη μεταβλητότητα του κλίματος και ιδιαίτερα τα ακραία φαινόμενα, μόλις στις αρχές της δεκαετίας του 90' ήρθαν στο φως έρευνες, που μαρτυρούν το αυξημένο ενδιαφέρον των επιστημόνων, στις πιθανές επιπτώσεις της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, στο χαρακτήρα των ακραίων μετεωρολογικών και κλιματικών φαινομένων (Rind et al. 1989, Meehl et al. 2000, Houghton et al. 2001, Milly et al. 2002). Συγκριτική μελέτη των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του παρόντος ($1xCO_2$) και του μελλοντικού ($2xCO_2$) κλίματος, σε περιοχική κλίμακα (Yonetani και Gordon 2001), οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, η μέση εποχιακή / ετήσια θερμοκρασία μπορεί, λόγω διπλασιασμού της συγκέντρωσης του CO_2 , να αυξηθεί σε τέτοιο βαθμό ώστε, οι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες του παρόντος κλίματος, να θεωρούνται κανονικές στο μελλοντικό κλίμα. Τα ακραία υψηλά εποχιακά / ετήσια ύψη βροχής στο παρόν κλίμα, προβλέπεται ότι, θα καταγράφονται στο μέλλον με σημαντικά μεγαλύτερη συχνότητα, κυρίως στις περιοχές μεγάλου γ. πλάτους και στην θαλάσσια περιοχή των Τροπικών. Αύξηση αναμένεται και στη συχνότητα των ακραίων χαμηλών εποχιακών υψών βροχής και μάλιστα, σε κάποιες ήδη ευαίσθητες στην ξηρασία περιοχές, όπως οι χώρες της Μέσης Ανατολής, το μεγαλύτερο μέρος της Αφρικής και η Αυστραλία. Αντίστοιχη θεωρητική μελέτη για την ευρύτερη περιοχή της νότιας Ευρώπης (Cubasch et al. 1996), οδηγεί στην αύξηση του μήκους των ξηρών ακολουθιών, υπό συνθήκες διπλασιασμού της συγκέντρωσης του CO_2 . Στην ίδια κατεύθυνση προσανατολίζονται και αρκετές μελέτες σε πραγματικά δεδομένα (Easterling et al. 2000, Milly et al.

2002). Παρόλα αυτά, οι Karl και Easterling (2000), τονίζουν πως, η σαφής σύνδεση της αύξησης των θερμοκηπικών αερίων και των τροποποιήσεων του χαρακτήρα των ακραίων φαινομένων, προβάλλει τουλάχιστον έως τώρα απίθανη, εξαιτίας της εξ' ορισμού σπανιότητας των τελευταίων καθώς και των δυσκολιών στην πρόσβαση δεδομένων και στην παρακολούθηση των μεταβολών του κλίματος.

Τα ακραία φαινόμενα παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες στον καθορισμό τους (Folland et al. 1997, Easterling et al. 1999), εντούτοις, σε γενικές γραμμές, λαμβάνονται ως περίοδοι σημαντικών αποκλίσεων από τη μέση κατάσταση. Η εξ ορισμού σπανιότητα και ιδιαιτερότητα των φαινομένων αυτών αποτελεί ένα από τα βασικότερα προβλήματα, τα οποία αντιμετωπίζονται στις μελέτες, που σχετίζονται με τον εντοπισμό στατιστικά σημαντικής μεταβολής στη συχνότητα εμφάνισης αυτών (Easterling et al. 2000, Palmer και Raisanen 2002). Σύμφωνα με τους Meehl et al. (2000), η δυσκολία στη διερεύνηση της μεταβολής της συχνότητας των ακραίων φαινομένων, οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης. Οι αλληλεπιδράσεις αυτές διαφέρουν από μεταβλητή σε μεταβλητή και εξαρτώνται από τον τύπο της κατανομής, της οποίας τα ακραία τμήματα (ουρές κατανομής) δηλαδή, τιμές της μεταβλητής, οι οποίες απέχουν σημαντικά από τη μέση τιμή ή τη διάμεσο της κατανομής, αντιπροσωπεύουν τα ακραία φαινόμενα.

Ενώ προβάλλει έντονη η ανάγκη διερεύνησης του τρόπου με τον οποίο, η συχνότητα των ακραίων φαινομένων μεταβάλλεται με τις μεταβολές του κλίματος (μέση τιμή ή μεταβλητότητα) (Wigley 1985, Mitchell et al. 1990), οι προσπάθειες διερεύνησης της φύσεως μιας τέτοιας σχέσης είναι σπάνιες. Σχετικές μελέτες εντοπίζονται κυρίως στη διεθνή βιβλιογραφία και είτε πραγματοποιούνται σε θεωρητική βάση (Wigley 1988, Katz και Brown, 1992), είτε σε προσομοιωμένες χρονοσειρές δεδομένων (Cubasch et al. 1996, Colombo et al 1999, Yonetani και Gordon, 2000), ενώ σπάνια απαντώνται σε πραγματικά δεδομένα (Mearns et. al. 1984, Brown και Katz 1995, Colombo et al. 1998, Katz και Carrido 1994, Ben-Gai et al. 1998) και μάλιστα σε τοπική κλίμακα (Rodrigo 2002, Founda et al. 2004, Unkasenic et al. 2005).

Ως εκ των άνω, στην παρούσα Διατριβή, εφαρμόζονται βασικές αρχές της Στατιστικής και των κατανομών και διερευνάται η σχέση μεταξύ των μεταβολών του κλίματος (μεταβολή μέσης τιμής και μεταβλητότητας /τυπικής απόκλισης) και των μεταβολών της πιθανότητας (συχνότητα εμφάνισης) των ακραίων μέσων εποχιακών θερμοκρασιών και ακραίων ολικών εποχιακών υψών βροχής (ακραίες εποχές) στους

σταθμούς της Αθήνας (Αστεροσκοπείο) και της Θεσσαλονίκης (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο), κατά τη διάρκεια των περιόδων 1883-2002 και 1913-2002, αντίστοιχα. Οι συγκεκριμένοι σταθμοί επιλέχθηκαν εξαιτίας του μεγάλου μήκους των χρονοσειρών μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και ολικών μηνιαίων υψών βροχής, προϋπόθεση απαραίτητη για την διεξαγωγή της παρούσης μελέτης.

Πρόκειται ουσιαστικά για μια προσπάθεια προσδιορισμού της σχέσης μεταξύ των μεταβολών του κλίματος (μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης) και των μεταβολών της πιθανότητας των ακραίων εποχών, με απώτερο στόχο τη δυνατότητα άμεσης εκτίμησης της δεύτερης. Κατά τη διεξαγωγή της μελέτης, εφαρμόστηκε ένα απλό στατιστικό μοντέλο κλιματικών μεταβολών, που προτάθηκε αρχικά από τον Katz (1991). Στο μοντέλο αυτό η κλιματική μεταβολή λαμβάνεται ως η μεταβολή: (i) της παραμέτρου θέσης, (ii) της παραμέτρου κλίμακας ή (iii) και των δύο παραμέτρων, της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της κατανομής, που αντιπροσωπεύει την κλιματική μεταβλητή (π.χ. τη μέση εποχιακή θερμοκρασία ή το ολικό εποχιακό ύψος βροχής) και τα ακραία φαινόμενα μελετώνται ως γεγονότα στις ουρές της κατανομής. Στην συγκεκριμένη μελέτη η κλιματική μεταβολή διερευνάται μεταξύ συνεχόμενων περιόδων μήκους 30 ετών και το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην ανάλυση του τρόπου, αλλά και του βαθμού επίδρασης των μεταβολών, των παραμέτρων θέσης και κλίμακας της κατανομής, στην πιθανότητα των ακραίων εποχών.

Αρχικά, μελετάται η κατανομή των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής της περιόδου 1961-1990 (περίοδος αναφοράς) και υπολογίζονται τα βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά αυτής, καθώς και οριακές τιμές για λόγους σύγκρισης (**Κεφάλαιο 1**). Η συγκεκριμένη 30ετία προτάθηκε από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), για την εδραίωση γενικών στατιστικών χαρακτηριστικών και οριακών τιμών, τόσο της θερμοκρασίας, όσο και του ύψους βροχής. Στη συνέχεια, οι χρονοσειρές των μέσων εποχιακών θερμοκρασιών και ολικών εποχιακών υψών βροχής των σταθμών Αθήνας και Θεσσαλονίκης, μήκους 120 και 90 ετών αντίστοιχα, διαιρούνται σε ένα ακέραιο πλήθος μη επικαλυπτόμενων επιμέρους περιόδων μήκους 30 ετών (προκύπτουν 4 επιμέρους περίοδοι για την Αθήνα και 3 για τη Θεσσαλονίκη) και υπολογίζονται τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Επόμενο βήμα αποτελεί ο έλεγχος στατιστικά σημαντικής μεταβολής, τόσο ως προς την παράμετρο θέσης, όσο και ως προς την παράμετρο κλίμακας, μεταξύ των διαδοχικών επιμέρους περιόδων, ως ένδειξη κλιματικής μεταβολής (**Κεφάλαιο 2**).

Ακολουθεί ο καθορισμός των ακραίων εποχών στους δύο σταθμούς και ο υπολογισμός της πιθανότητας εμφάνισης τους σε κάθε μη επικαλυπτόμενη επιμέρους περίοδο. Οι ακραίες εποχές χαρακτηρίζονται ως πολύ ψυχρές / ξηρές, ψυχρές / ξηρές, θερμές / υγρές και πολύ θερμές / υγρές, σε σχέση με τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90 της περιόδου αναφοράς 1961-1990, αντίστοιχα (Ben-Gai et al. 1998, Rodrigo 2002). Η πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών, σε κάθε επιμέρους περίοδο, υπολογίζεται συναρτήσει της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της κάθε περιόδου. (**Κεφάλαιο 3**). Επειδή η διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων προϋποθέτει μεγαλύτερο δείγμα τιμών η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για ένα πλήθος επικαλυπτόμενων περιόδων μήκους 30 ετών. Ακολουθεί ποσοτικός προσδιορισμός της σχέσης μεταξύ των μεταβολών των παραμέτρων της κατανομής και των μεταβολών της πιθανότητας των ακραίων εποχών (**Κεφάλαιο 4**). Στη συνέχεια, το απλό στατιστικό μοντέλο, που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, εφαρμόζεται στα αποτελέσματα του HadRM3H κλιματικού μοντέλου, του Hadley Center (Hudson και Jones 2002), με στόχο την εκτίμηση της μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, σύμφωνα με το A2-SRES σενάριο (IPCC 2001) (**Κεφάλαιο 5**). Τέλος, παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την παρούσα μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΟΧΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΑΘΗΝΑΣ ΚΑΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1961-1990

1.1 Εισαγωγή

Τα κλιματικά δεδομένα του Ελλαδικού χώρου, ακόμη και σε μηνιαία βάση, καλύπτουν γενικά μικρή χρονική περίοδο, που δεν ξεπερνά τα 60 έτη. Έτσι, για τις ανάγκες της παρούσης μελέτης, επιλέχθηκαν και αναλύθηκαν τα δεδομένα μόνο των σταθμών Αθήνας (Αστεροσκοπείο) και Θεσσαλονίκης (Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο), οι οποίοι διαθέτουν αρκετά μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων. Οι χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής είναι το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των ομογενών μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας αέρα και ολικών μηνιαίων υψών βροχής που δημοσιεύθηκαν από τους Arseni – Papadimitriou (1973), Arseni – Papadimitriou (1974), Φλόκας (1985) και Αρσένη – Παπαδημητρίου (1994), στα οποία προστέθηκαν τα δεδομένα των επόμενων ετών έως το 2002. Έτσι, οι προκύπτουσες χρονοσειρές για την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη έχουν μήκη 120 (1883-2002) και 90 (1913-2002) έτη αντίστοιχα. Η μέση εποχιακή θερμοκρασία ή το ολικό εποχιακό ύψος βροχής υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες τιμές των μηνών Ιανουάριος, Φεβρουάριος και Δεκέμβριος (του προηγούμενου έτους) για το Χειμώνα, Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος για την Άνοιξη, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος για τον Καλοκαίρι και Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος για το Φθινόπωρο.

Στην πρόσφατη, διεθνή κυρίως, βιβλιογραφία απαντά κανείς ένα σημαντικό αριθμό εργασιών, σχετικών με τα ακραία μετεωρολογικά και κλιματολογικά φαινόμενα και τις επιπτώσεις αυτών σε πλήθος κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών δραστηριοτήτων (Watson et al. 1996, Parmesan et al. 2000, Kunkel et al. 1999, Zwiers και Kharin 1998, Kalkstein και Smoyer 1993, Meehl et al. 2000). Ένα εξαιρετικά θερμό και ξηρό καλοκαίρι, όπως αυτό του έτους 1995, που έπληξε τις περισσότερες χώρες της δυτικής Ευρώπης (Palutikof et al. 1997), έχει καταστροφικά αποτελέσματα στο φυσικό περιβάλλον, κυρίως λόγω της ελάττωσης του διαθέσιμου

ύδατος. Η γεωργία και η διαχείριση των υδάτινων πόρων είναι δύο τομείς της οικονομίας, οι οποίοι επηρεάζονται σημαντικά από τέτοια φαινόμενα και ιδιαίτερα στις χώρες της Μεσογείου όπου, ακόμη και στα 'κανονικά' έτη, η έλλειψη νερού αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, τόσο στην οικονομία των χωρών αυτών, όσο και στην ευημερία των κατοίκων τους (Palutikof et al. 1999). Οι χώρες αυτές, ως ιδανικός προορισμός διακοπών για δεκάδες εκατομμύρια τουριστών ετησίως, φαίνεται να είναι περισσότερο ευάλωτες, καθώς, αρκετά παραθαλάσσια θέρετρα της Μεσογείου παύουν να προσελκύουν το ενδιαφέρον των τουριστών, λόγω των συχνότερων δυσμενών συνθηκών που δημιουργούνται, κατά τη διάρκεια των μηνών Ιούλιος και Αύγουστος (Perry 1987).

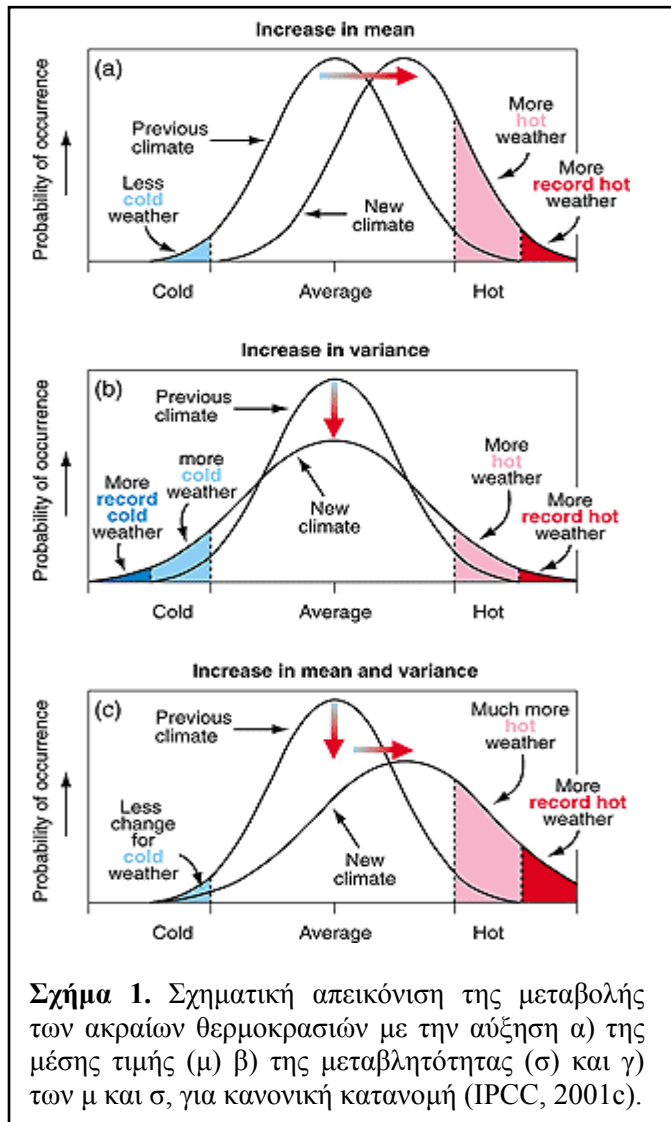
Η κατανόηση του τρόπου, με τον οποίο τα ακραία φαινόμενα μπορούν να επηρεάσουν την κοινωνία και το περιβάλλον, προϋποθέτει, αρχικά, τη θεωρητική προσέγγιση του τρόπου, με τον οποίο τα φαινόμενα αυτά μπορούν να μεταβληθούν από στατιστικής απόψεως. Η δυσκολία στην κατανόηση των μεταβολών των ακραίων κλιματικών φαινομένων, οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης (Meehl et al. 2000). Οι αλληλεπιδράσεις αυτές διαφέρουν από μεταβλητή σε μεταβλητή και εξαρτώνται από τον τύπο της κατανομής, της οποίας τα ακραία τμήματα (ουρές κατανομής) αντιπροσωπεύουν τα ακραία φαινόμενα. Έτσι, στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφονται, αρχικά, σε θεωρητική βάση, οι διάφοροι τρόποι αλληλεπίδρασης μεταξύ της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων φαινομένων, για την περίπτωση της κανονικής κατανομής. Στη συνέχεια, μελετάται η κατανομή των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, την περίοδο 1961-1990 και υπολογίζονται τα βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά της κατανομής αυτών, καθώς και οριακές τιμές για λόγους σύγκρισης. Η συγκεκριμένη 30ετία, προτείνεται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), για την εδραίωση γενικών στατιστικών χαρακτηριστικών και οριακών τιμών, τόσο της θερμοκρασίας, όσο και του ύψους βροχής και αποτελεί περίοδο αναφοράς στη συγκεκριμένη μελέτη.

1.2 Θεωρητικό μοντέλο μεταβολής πιθανότητας ακραίων φαινομένων

Μια κλιματική μεταβλητή περιγράφεται από μια κατανομή πιθανότητας, της οποίας η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.), εξαρτάται από τις παραμέτρους θέσης (location parameter), κλίμακας (scale parameter) ή και σχήματος (shape parameter). Στην ιδανική περίπτωση της κανονικής κατανομής, η συνάρτηση

πιθανότητας αυτής εξαρτάται από την παράμετρο θέσης, που αντιστοιχεί στη μέση τιμή και από την παράμετρο κλίμακας, που αντιστοιχεί στην τυπική απόκλιση.

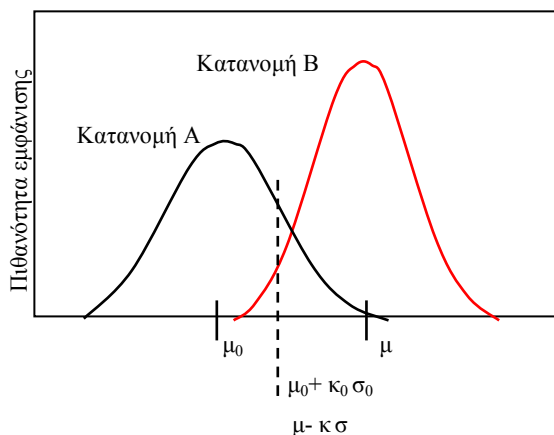
Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται η τυπική καμπύλη της συνάρτησης πυκνότητας της



κανονικής κατανομής μιας κλιματικής μεταβλητής, όπως είναι η θερμοκρασία. Τα γραμμοσκιασμένα τμήματα αντιπροσωπεύουν γεγονότα στις ουρές της κατανομής με μικρή πιθανότητα εμφάνισης, δηλαδή, τιμές, οι οποίες απέχουν σημαντικά από τη μέση τιμή της κατανομής (τουλάχιστον κατά μία τυπική απόκλιση). Σε μια τέτοια κατανομή, η αύξηση της μέσης τιμής, δηλαδή, η μετατόπιση της καμπύλης της κατανομής προς τα δεξιά κατά μήκος του άξονα $x'x$ (Σχήμα 1α), οδηγεί στην αύξηση της πιθανότητας των υψηλών θερμοκρασιών και στην εμφάνιση νέων υψηλότερων θερμοκρασιών. Η

μεταβολή της μέσης τιμής δεν συνοδεύεται από μεταβολή της τυπικής απόκλισης καθώς, στο Σχήμα 1α, το εύρος μεταξύ των υψηλότερων και των χαμηλότερων θερμοκρασιών δεν μεταβλήθηκε. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η συχνότητα των ακραίων φαινομένων, σύμφωνα με τους Mearns et al. (1984), μεταβάλλεται μη γραμμικά με τη μεταβολή της μέσης τιμής, δηλαδή μια μικρή μεταβολή της δεύτερης θα έχει ως αποτέλεσμα την έντονη μεταβολή στη συχνότητα εμφάνισης αυτών. Μια αύξηση της τυπικής απόκλισης, δηλαδή συμπίεση της καμπύλης της κατανομής, χωρίς μεταβολή της μέσης τιμής, οδηγεί στην αύξηση της πιθανότητας, τόσο των υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών, όσο και των απολύτων ακραίων τιμών αυτών (Σχήμα 1β). Οι Katz και Brown (1992), τονίζουν ότι, μία μεταβολή της τυπικής απόκλισης θα έχει

μεγαλύτερη επίδραση στη συχνότητα των ακραίων φαινομένων, από ότι μια μεταβολή της μέσης τιμής, με την προϋπόθεση ότι, τα φαινόμενα αυτά απέχουν τουλάχιστον κατά μία τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή. Η αύξηση, τόσο της μέσης τιμής, όσο και της μεταβλητότητας είναι επίσης πιθανή (Σχήμα 1γ), με αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας των υψηλών θερμοκρασιών, την εμφάνιση νέων υψηλότερων θερμοκρασιών και την ελάττωση της συχνότητας των χαμηλών θερμοκρασιών. Διαφορετικοί συνδυασμοί μεταβολής της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης οδηγούν σε διαφορετικά αποτελέσματα.



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση της μεταβολής της πιθανότητας εμφάνισης P_A ακραίων υψηλών θερμοκρασιών, από την κατανομή $N(\mu_0, \sigma_0)$ (καμπύλη Α) στην κατανομή $N(\mu, \sigma)$ (καμπύλη Β).

Σε μια προσπάθεια λεπτομερέστερης ανάλυσης των αποτελεσμάτων αυτών, ως θεωρήσουμε την κανονική κατανομή μιας κλιματικής μεταβλητής X_i (π.χ. της μέσης εποχιακής θερμοκρασίας) όπου, $i=1, 2, \dots, n$ όπου, n =μήκος χρονοσειράς, με μέση τιμή μ_0 και τυπική απόκλιση σ_0 (Σχήμα 2, καμπύλη Α) (Yonetani and Gordon 2001).

Αν ορίσουμε ως άνω κατώφλι την τιμή που απέχει κατά μια τυπική απόκλιση από τη μέση τιμή μ_0 (δηλαδή $\kappa_0 = 1$), τότε η τιμή της μεταβλητής $X_0 > \mu_0 + \sigma_0$ χαρακτηρίζεται ως ακραία υψηλή και έχει πιθανότητα εμφάνισης, σύμφωνα με το μοντέλο του Gauss, $P_A = P(z > 1)$ μικρότερη από 16%. Υποθέτουμε μεταβολή της κατανομής με νέα μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , η οποία αντιπροσωπεύεται από την καμπύλη Β (Σχήμα 2). Από την αλληλεπικάλυψη των καμπύλων Α και Β, προκύπτει ότι,

$$(\mu_0 + \sigma_0) = (\mu - \kappa \sigma) \quad (1.1)$$

Η πιθανότητα $P_A = P(z > -\kappa)$, σύμφωνα με την καμπύλη της κατανομής Β, αυξάνει, όσο αυξάνει το κ και είναι 99,9% όταν $\kappa=3,07$, 50% όταν $\kappa=0$ και 20% όταν $\kappa=-0,84$ (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τιμές της πιθανότητα P_A συναρτήσει του κ .

K	3,07	2,33	1,28	0,84	0,68	0	-0,68	-0,84	-1,28	-2,33
$P_A(X > -\kappa)\%$	99,9	99	90	80	75	50	25	20	10	1

Η παράμετρος κ συνδέει δύο διαφορετικούς όρους. Ο ένας από τους δύο είναι ο λόγος R που ορίζεται ως, ο λόγος της μεταβολής της μέσης τιμής προς την τυπική απόκλιση σ_0 (Wigley, 1985), δηλαδή,

$$R = (\mu - \mu_0) / \sigma_0 \quad (1.2)$$

Από τις σχέσεις (1.1) και (1.2) προκύπτει ότι:

$$\kappa = (R - 1) \sigma_0 / \sigma \quad (1.3)$$

Έτσι, η πιθανότητα P_A σύμφωνα με την καμπύλη B , καθορίζεται όχι μόνο ως προς R (που εκφράζει τη μεταβολή της μέσης τιμής) αλλά και ως προς το λόγο σ_0 / σ που εκφράζει τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης. Αν $\mu = \mu_0 + \sigma_0$, τότε η πιθανότητα $P_A = 50\%$, για $R = 1$. Αν $(\mu - 3,07\sigma) > (\mu_0 + \sigma_0)$, τότε $P_A > 99,9\%$, όταν $R > (1 + 3,07\sigma_0 / \sigma)$. Δηλαδή, εάν η μέση τιμή αυξηθεί περισσότερο από μία τυπική απόκλιση (όταν $R > 1$), τότε η πιθανότητα P_A αυξάνει και από μικρότερη του 16% γίνεται μεγαλύτερη από 50%, ανεξάρτητα τη μεταβολή ή μη της τυπικής απόκλισης. Στην περίπτωση που μεταβληθεί και η τυπική απόκλιση, τότε

- αν $\sigma = 2\sigma_0$, τότε $P_A > 99,9\%$, όταν $R > 7,17$ και
- αν $\sigma = \sigma_0/2$, τότε $P_A > 99,9\%$, όταν $R > 2,53$

Αν $(\mu + 0,84\sigma) = (\mu_0 + \sigma_0)$, τότε η πιθανότητα $P_A = 20\%$, όταν $R = (1 - 0,84\sigma_0/\sigma)$. Στην περίπτωση αυτή,

- αν $\sigma = 2\sigma_0$, τότε $P_A = 20\%$, όταν $R = -0,68$ και
- αν $\sigma = \sigma_0/2$, τότε $P_A = 20\%$, όταν $R = 0,58$

Γενικεύοντας τα παραπάνω προκύπτει ότι, η πιθανότητα, P_A ενός ακραίου φαινομένου που απέχει περισσότερο από μια τυπική απόκλιση σ_0 από τη μέση τιμή μ_0 είναι

- $P_A > 50\%$, όταν $R > 1$ και αυξάνει, όταν ελαττώνεται η τυπική απόκλιση σ
- $P_A > 50\%$, όταν $R > 1$ και ελαττώνεται, όταν αυξάνει η τυπική απόκλιση σ
- $P_A < 50\%$, όταν $R < 1$ και αυξάνει, όταν αυξάνει η τυπική απόκλιση σ
- $P_A < 50\%$, όταν $R < 1$ και ελαττώνεται, όταν ελαττώνεται η τυπική απόκλιση σ

Δηλαδή, εάν η μέση τιμή μ απέχει περισσότερο από μια τυπική απόκλιση σ_0 από τη μέση τιμή μ_0 , τότε η πιθανότητα είναι μεγαλύτερη από 50% ανεξάρτητα από τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης σ και αυξάνει, όταν το σ ελαττώνεται (και αντίθετα). Εάν η μέση τιμή μ απέχει λιγότερο από μια τυπική απόκλιση σ_0 από τη

μέση τιμή μ_0 , τότε η πιθανότητα είναι μικρότερη από 50% και αυξάνει, όταν αυξάνει το σ (και αντίστροφα). Παρόμοια μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στην περίπτωση των προς τα αριστερά ακραίων φαινομένων, δηλαδή, ως προς την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή να έχει τιμή $X = X_0 < \mu_0 - k_0\sigma_0$, μόνο που στην περίπτωση αυτή εξετάζεται η απόλυτη τιμή της διαφοράς $(\mu - \mu_0)$, δηλαδή ο λόγος R , θα είναι $R = |(\mu - \mu_0)| / \sigma_0$ και η πιθανότητα $P_A = P(z \leq 1) = P(z \leq k)$.

Στην περίπτωση της κανονικής κατανομής, η παραπάνω μεθοδολογία περιγράφει με σαφή και αξιόπιστο τρόπο τις επιδράσεις των μεταβολών της μέσης τιμής μ και της τυπικής απόκλισης σ , στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων τιμών της κλιματικής μεταβλητής. Εντούτοις, στις περισσότερες κατανομές, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση εξαρτώνται από τις παραμέτρους θέσης, κλίμακας ή και σχήματος με αποτέλεσμα, οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις να σχετίζονται άμεσα με τις μεταβολές των παραμέτρων αυτών. Συνεπώς, για κλιματικές μεταβλητές, οι οποίες δεν προσεγγίζονται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή, όπως η βροχόπτωση, η κατάσταση είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη, ειδικά για τα ξηρά κλίματα. Στην περίπτωση π.χ. των μηνιαίων υψών βροχής, η κατανομή αυτών συνήθως αντιπροσωπεύεται καλύτερα από την κατανομή γάμμα, όπου μια μεταβολή της μέσης τιμής μπορεί να συνοδεύεται από μεταβολή του σχήματος της κατανομής συμπεριλαμβανομένης και της μεταβλητότητας (Groisman et al. 1999). Επιπλέον, πιθανές ασάφειες σε ότι αφορά στο βαθμό μεταβολής της μέσης τιμής, θα προκαλούν, εύλογα, σύγχυση στην ερμηνεία των μεταβολών της μεταβλητότητας. Συνεπώς, ακόμη κι αν οι μεταβολές στην πιθανότητα των ακραίων φαινομένων μπορούν να διαπιστωθούν, χωρίς την πραγματοποίηση αντίστοιχης ανάλυσης, δεν είναι βέβαιο, εάν οι μεταβολές αυτές προκλήθηκαν από μια μεταβολή της μέσης τιμής, της μεταβλητότητας ή και των δύο παραμέτρων. Είναι δε πολύ περισσότερο δύσκολο να εκτιμηθεί ο βαθμός επίδρασης των μεταβολών αυτών, στις μεταβολές των ακραίων φαινομένων.

1.3 Κατανομή εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής, στους σταθμούς Αθήνας και Θεσσαλονίκης, την περίοδο 1961-1990.

Για τη μελέτη της κατανομής των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, υπολογίζονται για κάθε παράμετρο και σταθμό, σε εποχιακή βάση, τα κυριότερα «αριθμητικά περιγραφικά μέτρα», η σύντομη περιγραφή των οποίων ακολουθεί στην επόμενη παράγραφο.

Τα αριθμητικά περιγραφικά μέτρα χωρίζονται σε μέτρα κεντρικής τάσης, μέτρα μεταβλητότητας και μέτρα ασυμμετρίας (Κολυβά – Μαχαίρα και Μπόρα - Σέντα 1996). Η μέση τιμή (Mean) ανήκει στην πρώτη κατηγορία. Η τυπική απόκλιση (SD), ο συντελεστής μεταβλητότητας (CV) και τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90 ανήκουν στα μέτρα μεταβλητότητας. Ο συντελεστής μεταβλητότητας προκύπτει από τη διαίρεση της τυπικής απόκλισης προς τη μέση τιμή. Σε ότι αφορά στα ποσοστιαία σημεία, το 100 P-ποσοστιαίο σημείο ενός συνόλου n μετρήσεων, ονομάζεται η τιμή, η οποία χωρίζει την κατανομή συχνοτήτων με τέτοιο τρόπο, ώστε το 100P% του χωρίου κάτω από την κατανομή να είναι αριστερά του ποσοστιαίου σημείου, ενώ το 100 (1-P)% να είναι δεξιά του. Απλούστερα, το P75 ποσοστιαίο σημείο για παράδειγμα, είναι η τιμή εκείνη της μεταβλητής κάτω από την οποία βρίσκεται το 75% του συνόλου των παρατηρήσεων και επάνω από αυτή το 25%. Στην παρούσα μελέτη τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90, υπολογίζονται για τον καθορισμό των πολύ ψυχρών / ξηρών (P10), των ψυχρών / ξηρών (P25), των θερμών / υγρών (P75) και των πολύ θερμών / υγρών (P90) εποχών, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς (Κεφάλαιο 3).

Οι συντελεστές λοξότητας S (Skewness) και κύρτωσης K (Kurtosis) ανήκουν στα μέτρα ασυμμετρίας και ελέγχουν τον τύπο της κατανομής συχνοτήτων, δηλαδή εάν οι τιμές της τοποθετούνται συμμετρικά ή μη γύρω από τη μέση τιμή, καθώς και την οξύτητά της, δηλαδή το πλάτος της στην περιοχή του μεγίστου. Συντελεστής λοξότητας θετικός (αρνητικός) σημαίνει ότι, οι περισσότερες τιμές βρίσκονται δεξιά (αριστερά) της επικρατούσας τιμής, ενώ αν $S=0$ δεν υπάρχει ασυμμετρία. Συντελεστής κύρτωσης θετικός, μηδέν ή αρνητικός σημαίνει ότι, η καμπύλη της κατανομής είναι αντίστοιχα λεπτόκυρτη, μεσόκυρτη ή πλατύκυρτη.

Στους Πίνακες 2 και 3 παρουσιάζονται τα κυριότερα «αριθμητικά περιγραφικά μέτρα», των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, στους σταθμούς Αθήνας και Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα, την περίοδο 1961-1990. Η Αθήνα, σε σχέση με τη Θεσσαλονίκη, παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες και ιδιαίτερα το χειμώνα, όπου η διαφορά είναι της τάξεως των 3,7°C. Ακολουθεί το Φθινόπωρο με 2,5°C, το Καλοκαίρι με 1,7°C και το τέλος η Άνοιξη με 1,5°C. Η τυπική απόκλιση (SD) των εποχιακών θερμοκρασιών και στους δύο σταθμούς είναι σημαντικά μικρότερη σε σχέση με τη μέση τιμή και κατ' επέκταση και οι τιμές του συντελεστή μεταβλητότητας (CV) κυμαίνονται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα.

Το χειμώνα, η Αθήνα, δέχεται μεγαλύτερα ποσά βροχής σε σχέση με τη Θεσσαλονίκη, ενώ η αντίστροφη εικόνα παρατηρείται κατά το θέρος (Αρσένη – Παπαδημητρίου 1994). Η παρατήρηση αυτή δικαιολογείται από την ηπειρωτική επίδραση που δέχεται η Θεσσαλονίκη, η οποία δίνει στις θερινές βροχοπτώσεις το χαρακτήρα των καταιγίδων (Balafoutis *et al.* 1992). Σε ότι αφορά στις υπόλοιπες εποχές του έτους, η ‘υπεροχή’ της Θεσσαλονίκης είναι εμφανής. Σημειώνεται ότι, η συνεισφορά των φθινοπωρινών βροχοπτώσεων στο ολικό ετήσιο ύψος βροχής, την συγκεκριμένη περίοδο μελέτης, στην Αθήνα, είναι μεγαλύτερη από την συνεισφορά των εαρινών βροχοπτώσεων, ενώ η αντίθετη εικόνα παρατηρείται στη Θεσσαλονίκη. Η υψηλή μεταβλητότητα των θερινών βροχοπτώσεων ($CV > 80\%$) στο σταθμό της Αθήνας οφείλεται στη μη κανονική συχνότητα εμφάνισης των θερμικών καταιγίδων την εποχή αυτή. Αντίθετα, στο σταθμό της Θεσσαλονίκης οι θερινές βροχοπτώσεις εμφανίζουν μεγαλύτερη ομοιογένεια (47%). Η παρατήρηση αυτή μπορεί να ερμηνευθεί, εάν ληφθούν υπ’ όψιν οι κύριες τροχιές των κυκλωνικών κινήσεων στη Μεσόγειο και Ν. Ευρώπη (Maheras, 1988). Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου οι τροχιές των υφέσεων επηρεάζουν μόνο τη Β. Ελλάδα και ως εκ τούτου εκεί εμφανίζεται το τοπικό ελάχιστο του συντελεστή μεταβλητότητας (Σακελλαρίου 1992).

Σε ότι αφορά τους συντελεστές λοξότητας και κύρτωσης, αυτοί παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον, διότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον καθορισμό της κανονικότητας ενός συνόλου παρατηρήσεων. Έτσι, στην περίπτωση που η καμπύλη της κατανομής είναι μεσόκυρτη ($K=0$) και δεν υπάρχει ασυμμετρία ($S=0$), η κατανομή είναι κανονική. Οι τιμές των συντελεστών αυτών, τόσο σε ότι αφορά τη θερμοκρασία, όσο και τη βροχόπτωση, με λίγες μόνον εξαιρέσεις, υποδηλώνουν σημαντικές αποκλίσεις από την κανονικότητα, λαμβάνοντας υπ’ όψιν τα αυστηρά κριτήρια τα οποία τέθηκαν προηγουμένως.

Πίνακας 2. Στατιστικά χαρακτηριστικά εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων (°C και mm, αντίστοιχα) της περιόδου 1961-1990 στην Αθήνα.

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
<i>Mean</i>	10,5	16,0	26,5	19,2
<i>SD</i>	0,7	0,9	0,7	0,7
<i>Skewness</i>	-0,1	-0,2	0,2	0,0
<i>Kurtosis</i>	-0,8	-0,4	-1,0	-0,7
<i>P10</i>	9,5	15,0	25,6	18,3
<i>P25</i>	9,9	15,3	25,9	18,8
<i>P75</i>	11,2	16,8	27,0	19,8
<i>P90</i>	11,3	17,1	27,4	20,2
<i>CV(%)</i>	7,0	5,5	2,7	3,9
	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
<i>Mean</i>	141,4	77,1	17,0	94,5
<i>SD</i>	48,4	35,4	15,7	56,0
<i>Skewness</i>	0,0	0,5	1,0	0,6
<i>Kurtosis</i>	0,1	0,9	0,6	-0,7
<i>P10</i>	87,6	34,7	1,5	28,7
<i>P25</i>	113,8	49,9	3,0	53,2
<i>P75</i>	165,8	95,3	26,9	143,1
<i>P90</i>	219,4	118,7	39,7	187,3
<i>CV(%)</i>	34,2	45,9	92,2	59,2

Πίνακας 3. Στατιστικά χαρακτηριστικά εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων (°C και mm, αντίστοιχα) της περιόδου 1961-1990 στην Θεσσαλονίκη.

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ			
	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
<i>Mean</i>	6,8	14,5	24,8	16,7
<i>SD</i>	0,6	0,9	0,6	1,0
<i>Skewness</i>	0,6	-0,5	0,0	-0,2
<i>Kurtosis</i>	-0,9	0,3	1,0	-0,4
<i>P10</i>	6,1	13,3	24,1	15,2
<i>P25</i>	6,3	14,0	24,5	16,1
<i>P75</i>	7,3	15,3	25,2	17,4
<i>P90</i>	7,8	15,6	25,7	18,1
<i>CV(%)</i>	9,2	6,5	2,6	6,1
	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
	ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΑΝΟΙΞΗ	ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ
<i>Mean</i>	124,0	132,5	87,9	121,8
<i>SD</i>	60,1	39,4	41,3	60,0
<i>Skewness</i>	0,4	0,1	0,7	0,1
<i>Kurtosis</i>	-0,2	-1,0	-0,2	-1,2
<i>P10</i>	43,8	87,1	41,2	48
<i>P25</i>	80,3	101,1	57,2	77,2
<i>P75</i>	172,6	168,0	107,6	180,5
<i>P90</i>	194,8	186,1	151,3	201,9
<i>CV(%)</i>	48,4	29,7	47,0	49,3

1.4 Θεωρητική κατανομή εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής (έλεγχος K-S).

Σε μια χρονοσειρά πραγματικών δεδομένων π.χ. των ημερήσιων υψών βροχής ενός σταθμού, η μελέτη των ακραίων τιμών π.χ. του ετήσιου μεγίστου, παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία εξαιτίας του ότι, οι τιμές αυτές εμφανίζουν υψηλή μεταβλητότητα, τόσο στο χώρο, όσο και στο χρόνο. Τα «ξένα» αυτά στοιχεία της χρονοσειράς καθιστούν δύσκολη τη στατιστική ανάλυση σε πλήθος εφαρμογών, εξαιτίας του μεγάλου ή μικρού μεγέθους τους, με αποτέλεσμα να μην θεωρηθεί ότι προέρχονται από την ίδια κατανομή. Η μεταβολή της συχνότητας εμφάνισης των ακραίων αυτών εκδηλώσεων του κλίματος μπορεί, παρόλα αυτά, να αποτελέσει σημαντική ένδειξη κλιματικής μεταβολής. Εντούτοις, σε σχετικές αναλύσεις μεγαλύτερης κλίμακας χρόνου, όπως των μέσων εποχιακών θερμοκρασιών, οι ακραίες τιμές δεν είναι απαραίτητα σημαντικά υψηλότερες ή χαμηλότερες ανεξάρτητα την αύξηση ή την ελάττωση της συχνότητας των ακραίων ημερήσιων τιμών.

Η κανονική κατανομή της θερμοκρασίας σε διάφορες κλίμακες χρόνου και για διάφορες περιόδους μελέτης και περιοχές, έχει επισημανθεί από πλήθος ερευνητών. Στην περίπτωση της βροχόπτωσης, εντούτοις, η υψηλή μεταβλητότητα την οποία παρουσιάζει, τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο, έχει σαν αποτέλεσμα η κατανομή αυτής για διάφορες κλίμακες χρόνου, να παρουσιάζει πλήθος διαφορετικών μορφών, από εκθετική ή με θετική λοξότητα έως κοντά στην κανονική. Για περιοχές με υψηλά ύψη βροχής, η μέση τιμή παρουσιάζει τη μεγαλύτερη συχνότητα και η κατανομή της βροχόπτωσης είναι κανονική. Στα ξηρά κλίματα, η βροχόπτωση παρουσιάζει υψηλή μεταβλητότητα με αποτέλεσμα σε κάποια έτη να παρατηρούνται υψηλά ύψη βροχής, ενώ σε κάποια άλλα εξαιρετικά χαμηλά ύψη βροχής. Η κατανομή των ετήσιων βροχοπτώσεων στις ξηρές περιοχές, θα εμφανίζει ασύμμετρο σχήμα, με εκτεταμένο το δεξί άκρο της κατανομής (Katz 1991).

Οι Ben – Gai et al. (1998), μελέτησαν την χωρική και χρονική μεταβολή της συχνότητας των ετήσιων και μηνιαίων υψών βροχής στο Ισραήλ, χρησιμοποιώντας την κατανομή γάμμα. Σύμφωνα με τις τιμές των συντελεστών λοξότητας και κύρτωσης, η κατανομή των ετήσιων υψών βροχής σε συγκεκριμένους σταθμούς της Κεντρικής Μεσογείου (Maheras et al. 1992) και των Βαλκανίων (Maheras και Kolyva – Mahera 1990) προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή. Η Rodrigo (2002) επισημαίνει ότι, σε εποχιακή κλίμακα χρόνου, η κατανομή πιθανότητας της

βροχόπτωσης, λαμβάνοντας υπ' όψιν το Κεντρικό Οριακό Θεώρημα (Κ.Ο.Θ.), τείνει να προσεγγίζει την κανονική κατανομή.

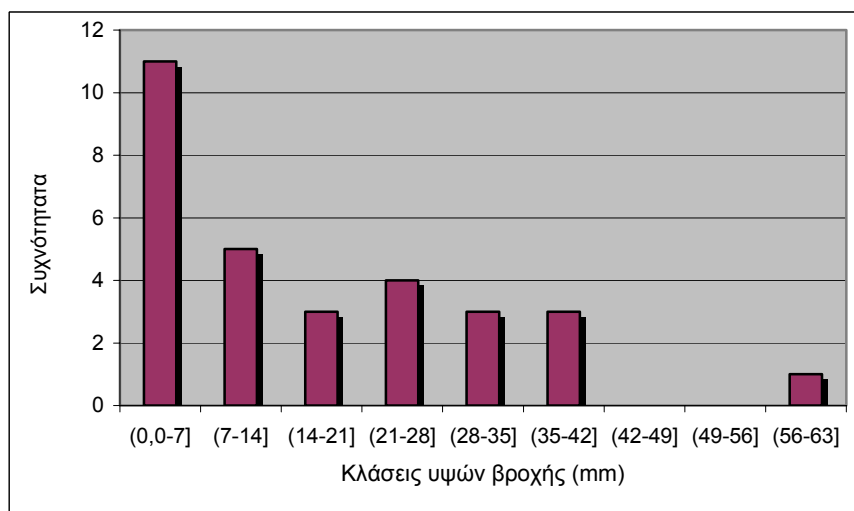
Ένας αξιόπιστος και συχνά χρησιμοποιούμενος έλεγχος της κανονικότητας των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, αποτελεί το κριτήριο Kolmogorov – Smirnov (για ένα δείγμα). Το κριτήριο αυτό είναι ισοδύναμο με τον έλεγχο (καλής προσαρμογής) X^2 και ελέγχει αν το δείγμα προέρχεται από κάποια συγκεκριμένη θεωρητική κατανομή με συνάρτηση αθροιστικής κατανομής (σ.α.κ.) $F_0(x)$ (Κολυβά – Μαχαίρα και Μπόρα – Σέντα 1996). Για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης

$H_0: F(x) = F_0(x)$ (το δείγμα προέρχεται από πληθυσμό με σ.α.κ. $F_0(x)$)

υπολογίζεται η τιμή του στατιστικού $D = \max \{|F(x_i) - F_0(x_i)|\}, i=1, \dots, n$.

Στην προκειμένη περίπτωση για $n = 30$ έτη, εάν η τιμή του $D \leq 1,36/\sqrt{n} (=0,248)$, τότε η θεωρητική υπόθεση είναι αποδεκτή σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%.

Στον Πίνακα 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του κριτηρίου Kolmogorov – Smirnov (K-S), σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, για τον έλεγχο καλής προσαρμογής της κανονικής κατανομής στις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της περιόδου 1961-1990, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Τα αποτελέσματα του ελέγχου K-S είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά σε κάθε περίπτωση, με εξαίρεση τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας, η κατανομή των οποίων παρουσιάζει θετική λοξότητα (Σχήμα 3).



Σχήμα 3. Κατανομή θερινών υψών βροχής, στο σταθμό της Αθήνας την περίοδο 1961-1990.

Πίνακας 4. Τιμές του στατιστικού D του κριτηρίου K-S, για τον έλεγχο προσαρμογής της κανονικής (λογαριθμοκανονικής για τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας) κατανομής για την περίοδο 1961-1990.

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ		ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	
	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Αθήνα	Θεσσαλονίκη
<i>Χειμώνας</i>	0,109	0,157	0,081	0,101
<i>Άνοιξη</i>	0,097	0,084	0,080	0,126
<i>Καλοκαίρι</i>	0,107	0,121	0,113	0,117
<i>Φθινόπωρο</i>	0,114	0,102	0,145	0,147

Στην περίπτωση αυτή ελέγχθηκε η προσαρμογή της λογαριθμοκανονικής (lognormal) κατανομής και τα αποτελέσματα ήταν εξίσου ικανοποιητικά ($D=0,113$) (Πίνακα 4). Η λογαριθμοκανονική κατανομή, προτιμήθηκε έναντι άλλων κατανομών (όπως η κατανομή γάμμα) για λόγους απλούστευσης, καθώς αυτή προκύπτει από την κανονική με απλό μετασχηματισμό. Συγκεκριμένα, η τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί κατανομή lognormal με μέση τιμή m και τυπική απόκλιση s , εάν η τυχαία μεταβλητή $Y=\ln(X)$ ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) της lognormal κατανομής δίνεται από τη σχέση:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2}, X>0 \quad \text{ή} \quad (1.1)$$

$$f(\ln x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1.2)$$

Η μέση τιμή m και η τυπική απόκλιση s της lognormal κατανομής της τυχαίας μεταβλητής X δίνονται από τις σχέσεις:

$$m = e^{\mu + \frac{1}{2}\sigma^2} \quad \text{και} \quad s = \sqrt{\left(e^{2\mu + 2\sigma^2}\right)\left(e^{\sigma^2} - 1\right)} \quad (1.3)$$

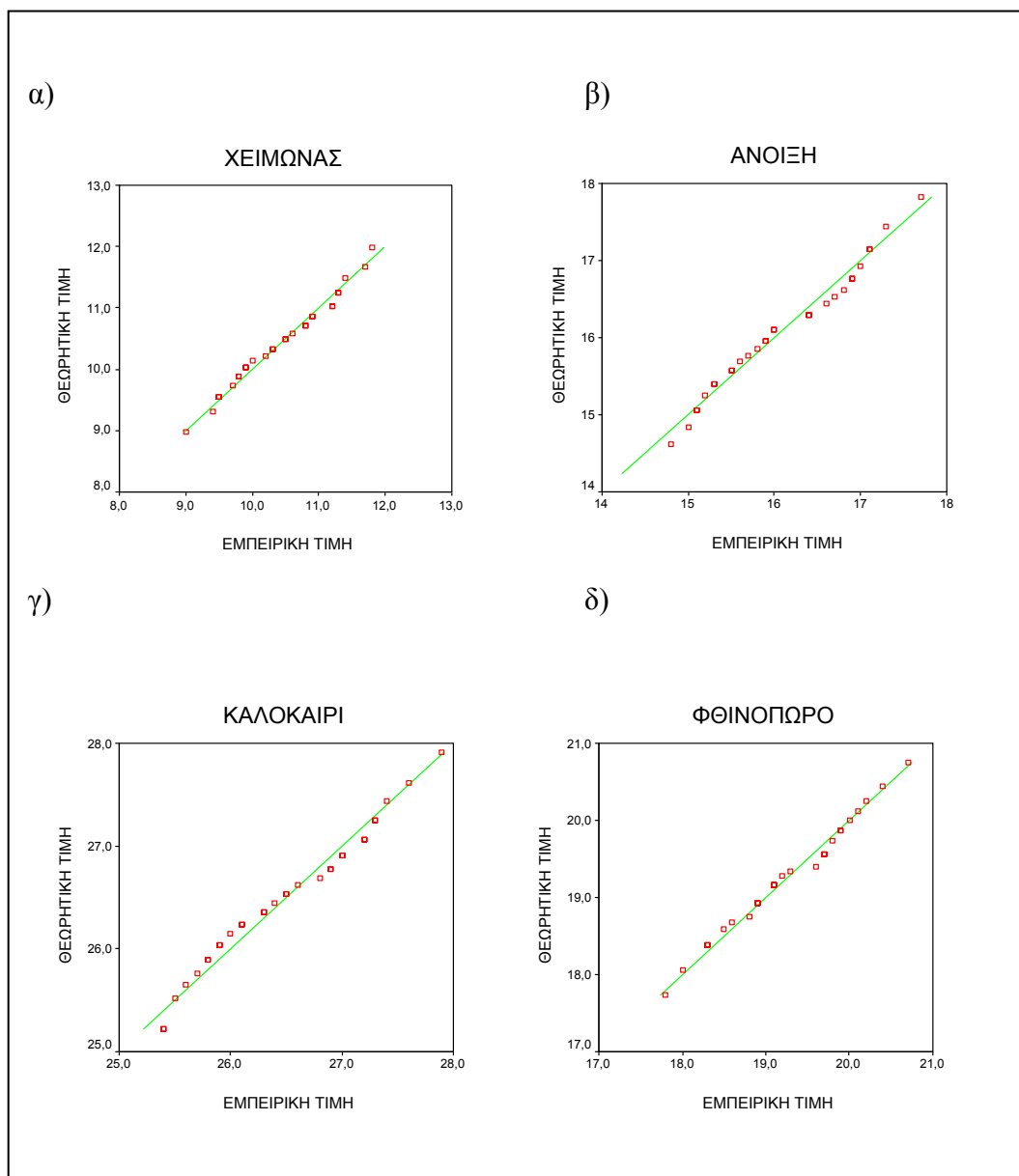
όπου μ και σ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων της X . Υπενθυμίζεται ότι, στην περίπτωση της κανονικής κατανομής η παράμετρος θέσης αντιστοιχεί στη μέση τιμή και η παράμετρος κλίμακας στην τυπική απόκλιση. Στην περίπτωση της λογαριθμοκανονικής κατανομής η μέση τιμή μ της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων της X αντιστοιχεί στην παράμετρο κλίμακας της λογαριθμοκανονικής κατανομής και η τυπική απόκλιση σ της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων της X

αντιστοιχεί στην παράμετρο σχήματος της λογαριθμοκανονικής κατανομής της μεταβλητής X . Συγκεκριμένα, η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της λογαριθμοκανονικής κατανομής των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας, την περίοδο 1961-1990, είναι $m=25,9$ και $s=28,3$ αντίστοιχα, ενώ η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας, την ίδια περίοδο, είναι $\mu=2,16$ και $\sigma=1,48$ αντίστοιχα.

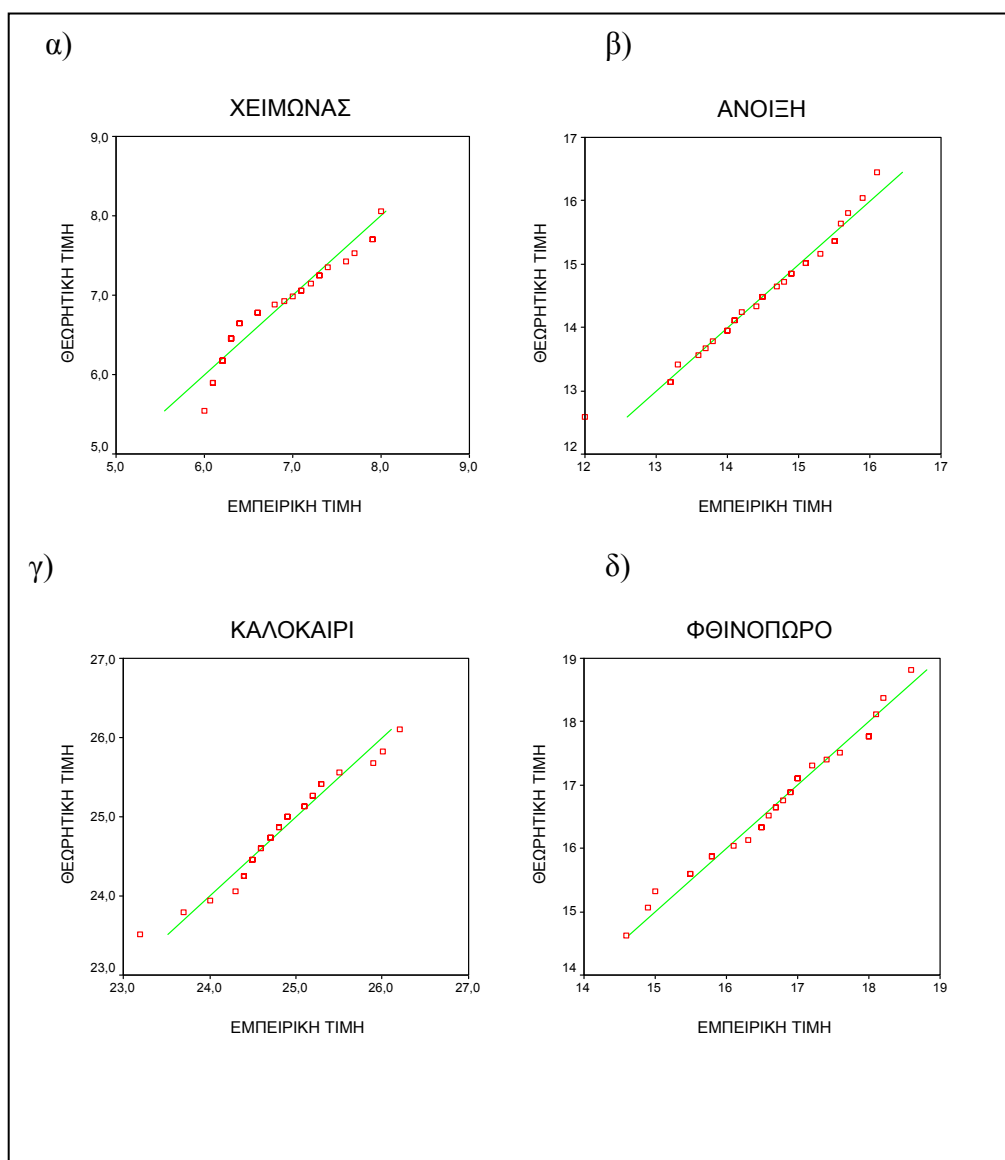
Προκειμένου τη γραφική απεικόνιση της προσαρμογής (ή μη) της κανονικής κατανομής στις χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, της περιόδου 1961-1990, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, κατασκευάστηκαν για κάθε περίπτωση τα διαγράμματα Q-Q (Quantile-Quantile plots). Πρόκειται για μια από τις πλέον διαδεδομένες γραφικές μεθόδους ελέγχου της προέλευσης δύο δειγμάτων από την ίδια κατανομή. Στα διαγράμματα αυτά πλωτάρονται οι εμπειρικές τιμές έναντι των αντίστοιχων θεωρητικών, ενώ χαράσσεται και μια ευθεία από την αρχή των αξόνων με κλίση 45° . Όσο πιο κοντά στην ευθεία βρίσκονται τα σημεία, τόσο πιο καλή είναι η προσαρμογή της θεωρητικής κατανομής στα εμπειρικά δεδομένα. Στα Σχήματα 4 έως 7, απεικονίζονται τα Q-Q διαγράμματα των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Σε όλες τις περιπτώσεις, με εξαίρεση τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας, μπορεί με βεβαιότητα να ειπωθεί ότι, τα εμπειρικά δεδομένα ακολουθούν κανονική κατανομή. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, στη συνέχεια, ώστε να διερευνηθεί ο τρόπος, αλλά και ο βαθμός επίδρασης των μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, στις μεταβολές της πιθανότητας των ακραίων εποχών στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Ειδικά για την περίπτωση των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας, η κατανομή των οποίων προσεγγίζεται καλύτερα από την λογαριθμοκανονική κατανομή, η διερεύνηση των μεταβολών της πιθανότητας των ακραίων θερινών υψών βροχής, μελετάται σε σχέση με τις μεταβολές της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων των θερινών υψών βροχής, στο σταθμό αυτό. Δηλαδή στην προκειμένη περίπτωση, η μελέτη επικεντρώνεται στη μετασχηματισμένη χρονοσειρά $Y=\ln(X)$, όπου X το ολικό θερινό ύψος βροχής.

Η χρησιμοποίηση της κανονικής κατανομής διευκολύνει τη διεξαγωγή της παρούσας μελέτης, τόσο σε ότι αφορά στη διερεύνηση της κλιματικής μεταβολής, όσο και στις επιδράσεις αυτής στην πιθανότητα των ακραίων εποχών. Οι περισσότεροι έλεγχοι στατιστικά σημαντικής μεταβολής τόσο, ως προς τη μέση τιμή, όσο και ως προς την τυπική απόκλιση, βασίζονται στην υπόθεση της κανονικότητας

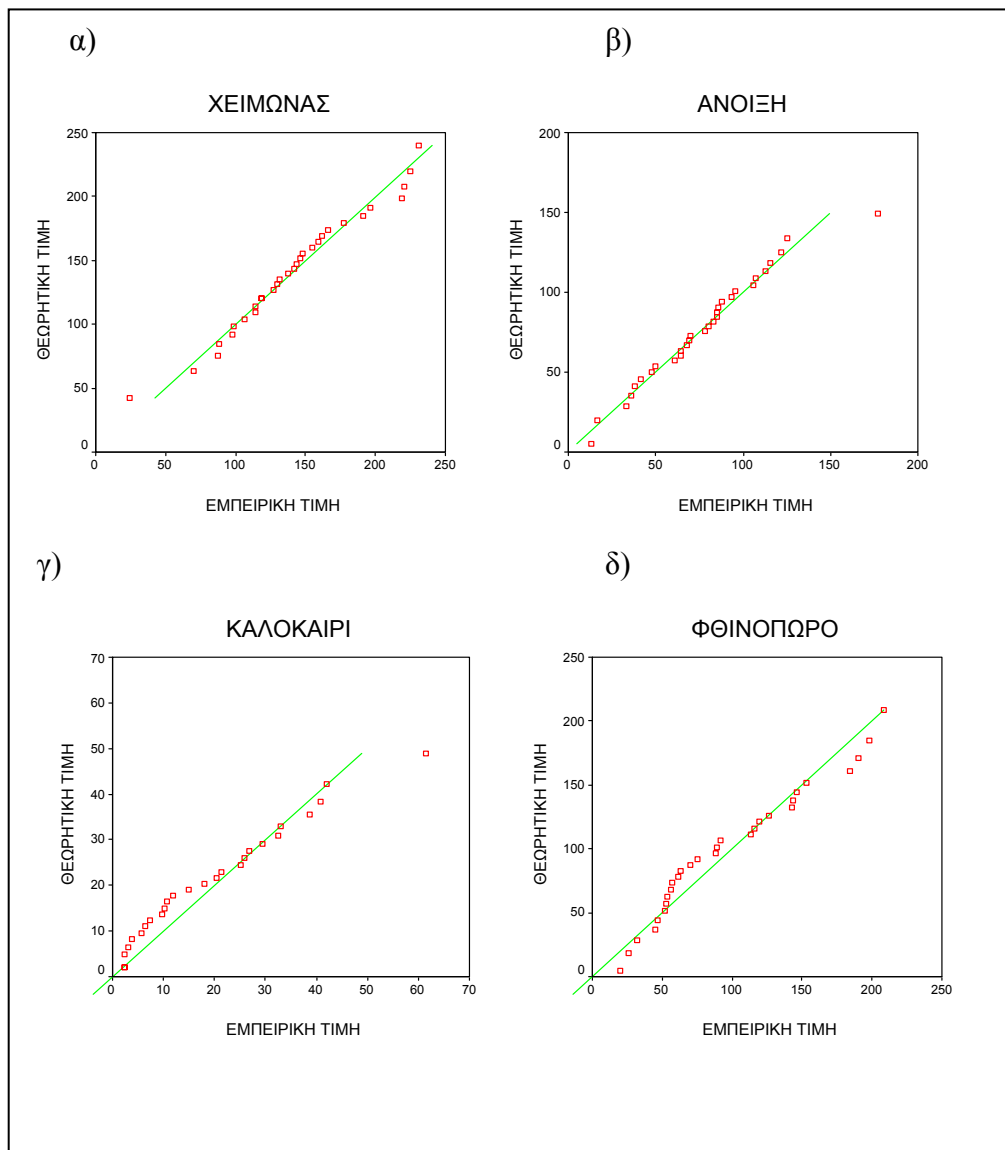
του δείγματος και παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις αποκλίσεις από αυτήν. Επιπλέον, το γεγονός ότι, στην κανονική κατανομή, η μεταβολή της μέσης τιμής δεν υπονοεί την μεταβολή της μεταβλητότητας, καθιστά ευκολότερη τη μελέτη των επιδράσεων των μεταβολών αυτών, στις μεταβολές της πιθανότητας των ακραίων εποχών.



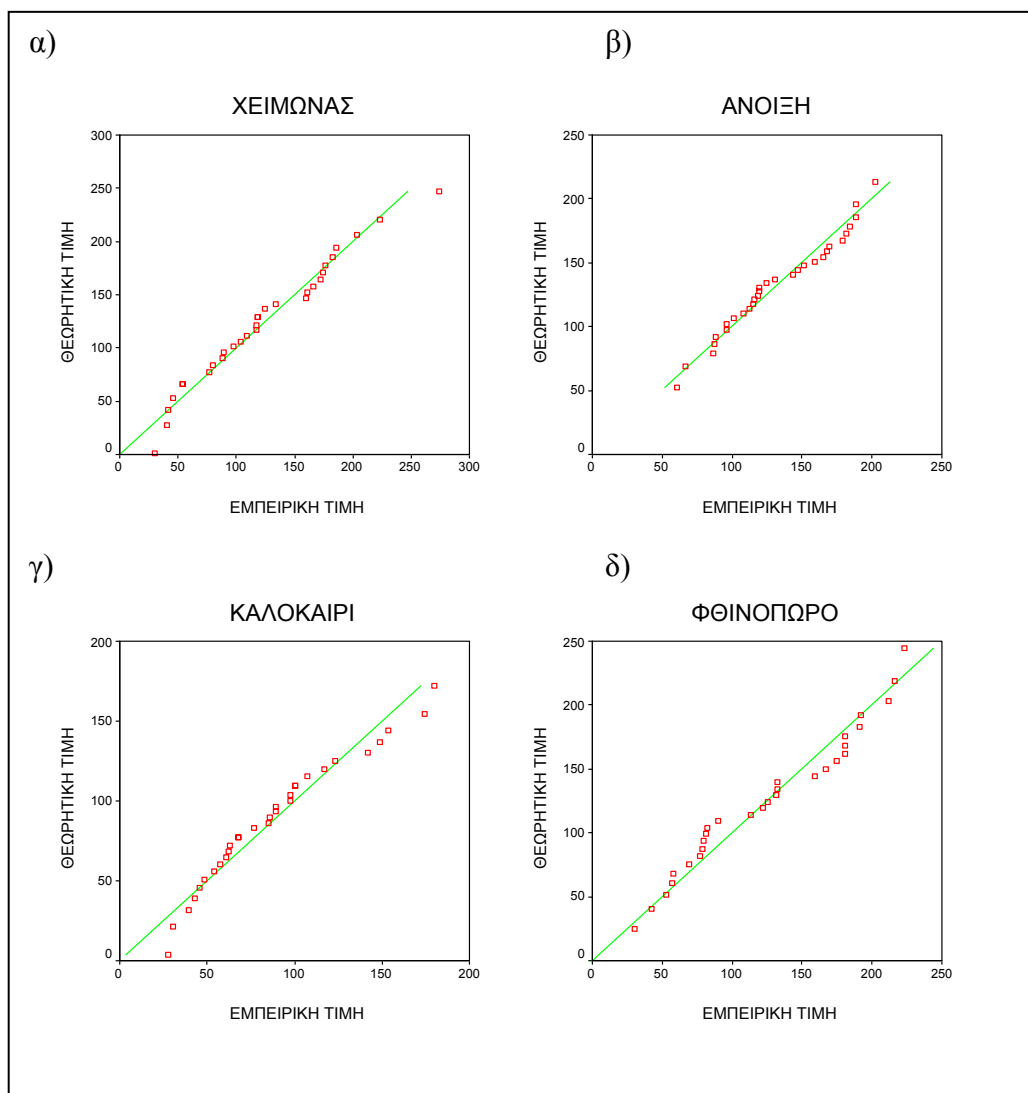
Σχήμα 4. Q-Q διαγράμματα των εποχιακών θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς 1961-1990, της Αθήνας.



Σχήμα 5. Q-Q διαγράμματα των εποχιακών θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς 1961-1990, της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 6. Q-Q διαγράμματα των εποχιακών βροχοπτώσεων της περιόδου αναφοράς 1961-1990, της Αθήνας.



Σχήμα 7. Q-Q διαγράμματα των εποχιακών βροχοπτώσεων της περιόδου αναφοράς 1961-1990, της Θεσσαλονίκης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΩΝ ΕΠΟΧΙΑΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΥΨΩΝ ΒΡΟΧΗΣ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΑΘΗΝΑΣ ΚΑΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Οι χρονικές μεταβολές και οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αποτέλεσαν στο παρελθόν το αντικείμενο πλήθους μελετών, είτε ως μεμονωμένοι σταθμοί (Arseni – Papadimitriou 1973, Arseni – Papadimitriou 1994, Makrogiannis et al. 1998, Founda et al. 2004), είτε ως μέλη ομάδων σταθμών της Ελλάδας (Κανδύλης 1991, Σαχσαμάνογλου και Μακρογιάννης 1995, Φείδας et al. 2002, Maheras και Anagnostopoulou 2003), των Βαλκανίων (Maheras και Kolyva – Mahera 1990), της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου (Arseni – Papadimitriou και Maheras 1991, Maheras et al. 1992). Μετά το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου, οι πόλεις αυτές παρουσίασαν ταχύτατη ανάπτυξη με αποτέλεσμα σήμερα να συγκεντρώνουν πάνω από το 50% του πληθυσμού της χώρας. Αποτελούν τα δύο μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ελλάδας και για το λόγο αυτό, υπάρχει πάντοτε το ενδιαφέρον σχετικά με την επίδραση της αστικοποίησης στο κλίμα των πόλεων αυτών, η οποία, όπως και στις περισσότερες πόλεις στα μέσα γεωγραφικά πλάτη, εμφανίζεται ως θέρμανση (φαινόμενο θερμικής νησίδας) (Philandras et al. 1999). Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας, σε μια αστική περιοχή, είναι δυνατόν να επηρεάσει τη συχνότητα εμφάνισης των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση εξαιρετικά δυσμενών ατμοσφαιρικών συνθηκών. Στο Βελιγράδι, η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας, κατά τη διάρκεια της περιόδου 1975-2003, η οποία συνδέεται με το φαινόμενο της θερμικής νησίδας (Unkasenic et al. 1991), σχετίζεται με μια αξιοσημείωτη αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης των ακραίων μεγίστων θερμοκρασιών στην πόλη αυτή (Unkasenic et al. 2005).

Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, η θερμοκρασία στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, φαίνεται να ακολουθεί την ίδια πορεία με αυτήν των περισσότερων Ευρωπαϊκών χωρών. Σχετικές μελέτες υποδεικνύουν μια αυξητική τάση των μέσων

ετήσιων θερμοκρασιών, από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα έως το 1930 περίπου, ακολουθεί μια σταθερή σχετικά περίοδος έως το 1960 και στη συνέχεια πτώση έως το 1970. Στην Αθήνα, από το 1970 και για μια περίοδο 10 ετών, η θερμοκρασία παρουσιάζει σταθερή πορεία, ενώ από το 1980 περίπου, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία συνεχίζεται έως σήμερα. Οι Metaxas et al. (1991) υπολόγισαν ότι, η πτωτική πορεία της θερμοκρασίας, έως τη δεκαετία του '70, στην ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, ήταν λιγότερο έντονη στους σταθμούς της Μασσαλίας, του Καΐρου και της Αθήνας και απέδωσε το γεγονός αυτό στην επίδραση της αστικοποίησης. Σύμφωνα με τους Philandras et al (1999), η επίδραση της αστικοποίησης στο σταθμό του Αστεροσκοπείου, κυρίως μετά το 1970, είναι εμφανής στις εαρινές και θερινές θερμοκρασίες, λιγότερο το φθινόπωρο, ενώ δεν φαίνεται καμία επίδραση το χειμώνα. Εντούτοις, σύμφωνα με τους Fidas και Lalas (2000), οι επιδράσεις αυτές φαίνεται να εξασθενούν στην Αθήνα μετά το 1985, παρά τη συνέχιση της αστικοποίησης της πόλης. Αντίθετα, σε ότι αφορά τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, τη Θεσσαλονίκη, μια επίσης παράκτια πόλη, η πτωτική τάση, τόσο των ετήσιων, όσο και των εποχιακών θερμοκρασιών συνεχίστηκε και μετά το 1970 (Giles και Flocas 1984, Makroyiannis et al. 1998), παρά τη συνεχή αστικοποίηση της περιοχής. Οι Arseri – Papadimitriou et al. (1998), σε μια αντίστοιχη μελέτη, κατέληξαν ότι, το φαινόμενο της θερμικής νησίδας στην πόλη της Θεσσαλονίκης είναι γεγονός και επιδρά στην αύξηση των ελαχίστων θερμοκρασιών. Το φαινόμενο αυτό είναι εμφανές, τόσο στις μέσες ετήσιες, όσο και στις εποχιακές χρονοσειρές.

Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση, σχετικές μελέτες υποδεικνύουν πτωτική τάση των ετήσιων, χειμερινών και φθινοπωρινών υψών βροχής, στο σταθμό της Αθήνας, για το χρονικό διάστημα 1955-2001, σε αντίθεση με την αυξητική τάση των εαρινών και θερινών υψών βροχής. Εντούτοις, σε καμία περίπτωση η τάση των υψών βροχής δεν είναι στατιστικά σημαντική. Για την ίδια περίοδο μελέτης, στη Θεσσαλονίκη, παρατηρείται ελάττωση, τόσο των ετήσιων, όσο και των εποχιακών υψών βροχής και μάλιστα στην περίπτωση των ετήσιων υψών είναι στατιστικά σημαντική (Φεΐδας et al. 2002). Σύμφωνα με την Arseni – Papadimitriou (1994), η δεκαετία 1984-1993 είναι ιδιαίτερα ξηρή, τόσο για το σταθμό της Αθήνας, όσο και της Θεσσαλονίκης, ενώ χαρακτηριστικά υγρή είναι, για την πρώτη, η περίοδος 1874-1883 και για τη δεύτερη, η περίοδος 1934-1943. Οι ετήσιες βροχοπτώσεις παρουσιάζουν δραματικές μειώσεις κατά τη διάρκεια των προσφάτων ετών και στους δύο σταθμούς, εντούτοις, στην Αθήνα, υπάρχουν ενδείξεις ανάκαμψης της πτωτικής τάσης τους μετά το 1993.

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο περιγράφεται και εφαρμόζεται ένα απλό στατιστικό μοντέλο για την εκτίμηση της κλιματικής μεταβολής στις χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στους σταθμούς της Αθήνας (1883-2002) και της Θεσσαλονίκης (1913-2002). Πρόκειται ουσιαστικά για μια προσπάθεια καθορισμού της κλιματικής μεταβολής με τη χρήση στατιστικών όρων. Το στατιστικό μοντέλο που χρησιμοποιείται βασίζεται γενικά στις μεταβολές των παραμέτρων θέσης και κλίμακας της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής που αντιπροσωπεύει τις δύο κλιματικές μεταβλητές. Όπως διαπιστώθηκε στο Κεφάλαιο 1, η κατανομή των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων (των φυσικών λογαρίθμων των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας), της περιόδου 1961-1990, προσεγγίζεται ικανοποιητικά από την κανονική κατανομή. Έτσι, σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, η κλιματική μεταβολή, για την περίπτωση της κανονικής κατανομής, μπορεί να χαρακτηριστεί από: (i) μεταβολή στην παράμετρο μ , (ii) μεταβολή στην παράμετρο σ ή (iii) συνδυασμό και των δύο περιπτώσεων (Katz 1991, Katz and Brown 1992). Οι επιδράσεις των μεταβολών των παραμέτρων αυτών, στην πιθανότητα των ακραίων φαινομένων, έχουν ήδη περιγραφεί θεωρητικά στο προηγούμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 1). Οι χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, διαιρούνται, αρχικά, σε ένα πλήθος μη επικαλυπτόμενων περιόδων μήκους 30 ετών. Προκύπτουν έτσι, τέσσερις επιμέρους περίοδοι για τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της Αθήνας και τρεις για της Θεσσαλονίκης. Στην συνέχεια, ελέγχεται η προσαρμογή της κανονικής (λογαριθμοκανονικής για τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας) κατανομής, σε κάθε μια επιμέρους περίοδο και υπολογίζονται σε κάθε περίπτωση η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση. Τέλος, με τη χρήση ειδικών στατιστικών ελέγχων, πραγματοποιείται σύγκριση των παραμέτρων κάθε επιμέρους περιόδου, με αυτές της αμέσως επόμενης της.

2.2 Στατιστικό μοντέλο κλιματικής μεταβολής

Μια κλιματική μεταβλητή X περιγράφεται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) $f(x)$, με συνάρτηση αθροιστικής κατανομής (σ.α.κ.) $F_X(x) = P\{X \leq x\}$, η οποία χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους θέσης και κλίμακας (Katz 1991, Katz and Brown 1992).

2.2.1 Κανονική κατανομή

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί κανονική κατανομή, η σ.π.π. αυτής χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους θέσης και κλίμακας, οι οποίες στην

προκειμένη περίπτωση αντιστοιχούν στη μέση τιμή μ και στην τυπική απόκλιση σ . Συνεπώς, η κατανομή της κανονικοποιημένης μεταβλητής

$$Z = (X - \mu) / \sigma \quad (2.1)$$

είναι ανεξάρτητη των μ και σ . Η σχέση (2.1) υπονοεί ότι, η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής της X , $F_X(x)$ μπορεί να εκφραστεί σε σχέση με την σ.α.κ. $\Phi_Z(z)$ της κανονικοποιημένης μεταβλητής Z , δηλαδή:

$$F_X(x) = \Phi_Z[(x - \mu) / \sigma]. \quad (2.2)$$

Παραγωγίζοντας τη σχέση (2.2) ως προς x , η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της τυχαίας μεταβλητής X , $f'_X(x)$, εκφράζεται ως:

$$f'_X(x) = (1/\sigma) \Phi'_Z[(x - \mu) / \sigma] \quad (2.3)$$

$$\text{ή } f(x) = (1/\sigma) \varphi(z) \quad (2.4)$$

Από τις σχέσεις (2.2), (2.3) και (2.4) προκύπτει ότι, οι ιδιότητες εκείνων των κατανομών, που χαρακτηρίζονται από τις παραμέτρους θέσης και κλίμακας, μπορούν να προκύψουν άμεσα, από τις ιδιότητες της κατανομής της κανονικοποιημένης μεταβλητής Z . Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$, τότε η κανονικοποιημένη μεταβλητή Z ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή $N(0, 1)$, της οποίας η πιθανότητα $P(Z \leq z) = \Phi_Z(z)$ δίνεται από πίνακες.

2.2.2 Λογαριθμοκανονική κατανομή

Στην περίπτωση που η τυχαία μεταβλητή X ακολουθεί λογαριθμοκανονική κατανομή, τότε, όπως προκύπτει και από τον ορισμό της, η τυχαία μεταβλητή $Y = \ln(X)$, ακολουθεί κανονική κατανομή $N(\mu, \sigma^2)$. Το μ είναι η μέση τιμή των φυσικών λογαρίθμων της X και αντιστοιχεί στην παράμετρο κλίμακας της λογαριθμοκανονικής κατανομής της τυχαίας μεταβλητής X ή στην παράμετρο θέσης της κανονικής κατανομής της τυχαίας μεταβλητής Y και το σ είναι η τυπική απόκλιση των φυσικών λογαρίθμων της X και αντιστοιχεί στην παράμετρο σχήματος της λογαριθμοκανονικής κατανομής της X , ή στην παράμετρο κλίμακας της κανονικής κατανομής της Y . Χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό $Y = \ln(X)$, το πρόβλημα της μελέτης των ιδιοτήτων της λογαριθμοκανονικής κατανομής, απλοποιείται και μετατρέπεται στο πρόβλημα της μελέτης της κανονικής κατανομής των λογαρίθμων της τυχαίας μεταβλητής X , $Y = \ln(X)$, της οποίας οι ιδιότητες, όπως ειπώθηκε στην προηγούμενη παράγραφο προκύπτουν άμεσα από τις ιδιότητες της κατανομής της κανονικοποιημένης μεταβλητής Z , όπου:

$$Z = (\ln X - \mu) / \sigma = (Y - \mu) / \sigma \quad (2.5)$$

η κατανομή της οποίας είναι ανεξάρτητη των μ και σ .

2.3 Διερεύνηση κλιματικής μεταβολής στις χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής.

Για τον έλεγχο σημαντικής ή μη μεταβολής των παραμέτρων θέσης (μέση τιμή) και κλίμακας (τυπική απόκλιση) της κατανομής των δυο κλιματικών μεταβλητών, αρχικά, οι χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, διαιρέθηκαν σε ένα πλήθος μη επικαλυπτόμενων περιόδων μήκους 30 ετών. Προκύπτουν έτσι τέσσερις επιμέρους περίοδοι για τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της Αθήνας (1883-1912, 1913-1942, 1943-1972, 1973-2002) και τρεις για της Θεσσαλονίκης (1913-1942, 1943-1972, 1973-2002). Στις επιμέρους αυτές περιόδους, εφαρμόστηκε το κριτήριο Kolmogorov – Smirnov (K-S), προκειμένου να ελεγχθεί η προσαρμογή της κανονικής κατανομής (λογαριθμοκανονική για τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας) στα εμπειρικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα του ελέγχου K-S, όταν αυτό εφαρμόστηκε στις χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων της περιόδου 1961-1990 (Κεφάλαιο 1, Πίνακας 4), ήταν ιδιαίτερα ικανοποιητικά, τόσο σε ότι αφορά το σταθμό της Αθήνας, όσο και της Θεσσαλονίκης.

Στους Πίνακες 5 και 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του κριτηρίου Kolmogorov – Smirnov (D), σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, καθώς και η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των επιμέρους περιόδων, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα. Η προσαρμογή της κανονικής κατανομής (λογαριθμοκανονική για τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας), στις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις στους δύο υπό μελέτη σταθμούς είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, καθώς, οι τιμές του στατιστικού D, είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερη της κρίσιμης τιμής $D_0=0,248$. Σημειώνεται ότι, στον Πίνακα 5, η στήλη που αντιστοιχεί στις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας, περιλαμβάνει και τις τιμές των μ και σ , της λογαριθμοκανονικής κατανομής των θερινών βροχοπτώσεων (*).

Στην Αθήνα, σε ότι αφορά τη θερμοκρασία (Πίνακα 5), η μέση τιμή (ανά περίοδο 30 ετών) παρουσιάζει σταδιακή αύξηση σε όλες τις εποχές του έτους. Μάλιστα η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίζεται μεταξύ των δύο προσφάτων 30ετιών, 1943-1972 και 1973-2002. Χαρακτηριστική είναι επίσης και η αύξηση της τυπικής απόκλισης των θερινών θερμοκρασιών, μεταξύ των ίδιων περιόδων.

Πίνακας 5. Μέση τιμή (μ), τυπική απόκλιση (σ) ($^{\circ}\text{C}$ και mm για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, αντίστοιχα) και τιμές του D (K-S) της κανονικής κατανομής των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων (των φυσικών λογαρίθμων των θερινών υψών βροχής) των επιμέρους περιόδων, της Αθήνας.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ					ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1883-1912								
μ	9,6	15,2	25,7	18,8	165,0	75,2	2,9 (42,3)*	125,5
σ	1,1	0,9	0,7	0,9	73,8	34,7	1,3 (88,9)*	80,5
D	0,110	0,058	0,088	0,100	0,144	0,179	0,092	0,141
1913-1942								
μ	10,0	15,6	26,2	19,2	182,4	76,9	2,8 (27,1)*	121,4
σ	0,9	0,8	0,9	1,1	59,0	31,4	1,0 (35,5)*	57,5
D	0,120	0,105	0,092	0,129	0,086	0,114	0,142	0,146
1943-1972								
μ	10,1	15,6	26,4	18,9	150,1	76,9	2,1 (34,6)*	115,5
σ	0,9	0,9	0,7	0,9	46,9	31,2	1,7 (142,8)*	76,2
D	0,181	0,096	0,102	0,084	0,089	0,100	0,121	0,135
1973-2002								
μ	10,7	16,4	27,3	19,7	138,0	88,8	2,3 (35,8)*	106,5
σ	0,8	1,1	1,1	0,9	60,0	49,9	1,6 (123,9)*	81,9
D	0,115	0,094	0,114	0,081	0,069	0,156	0,136	0,213

(*: μέση τιμή και τυπική απόκλιση της λογαριθμοκανονικής κατανομής των θερινών υψών βροχής της Αθήνας).

Πίνακας 6. Μέση τιμή (μ), τυπική απόκλιση (σ) ($^{\circ}\text{C}$ και mm για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, αντίστοιχα) και τιμές του D (K-S) της κανονικής κατανομής των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων των επιμέρους περιόδων, της Θεσσαλονίκης.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ					ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1913-1942								
μ	7,0	15,0	25,4	17,4	122,3	123,8	78,3	132,1
σ	1,2	0,9	0,6	1,1	49,9	55,5	46,9	54,0
D	0,124	0,097	0,108	0,147	0,132	0,133	0,083	0,093
1943-1972								
μ	7,0	14,8	25,5	17,2	141,0	122,0	83,0	135,1
σ	1,1	0,9	0,8	0,9	58,8	43,7	41,9	55,4
D	0,154	0,154	0,107	0,098	0,166	0,102	0,100	0,110
1973-2002								
μ	6,8	14,4	25,1	16,5	110,1	122,	78,8	121,7
σ	0,8	1,0	0,8	0,9	52,2	39,1	41,2	56,3
D	0,130	0,122	0,098	0,136	0,122	0,092	0,109	0,114

Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση, παρατηρείται μια γενική ελάττωση της μέσης τιμής των χειμερινών και φθινοπωρινών υψών βροχής, κατά τη διάρκεια των τεσσάρων επιμέρους περιόδων, ενώ έντονη είναι και η αύξηση της τυπικής απόκλισης των θερινών βροχοπτώσεων μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου, καθώς και η ελάττωση της τυπικής

απόκλισης των φθινοπωρινών βροχοπτώσεων, μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} περιόδου. Στο σημείο αυτό, αξίζει να τονιστεί η επίδραση των παραμέτρων μ και σ της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας, στις αντίστοιχες παραμέτρους της λογαριθμοκανονικής κατανομής των θερινών βροχοπτώσεων στο σταθμό αυτό. Για παράδειγμα, η αύξηση της μέσης τιμής σε συνδυασμό με την ελάττωση της τυπικής απόκλισης, της κανονικής κατανομής, μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} περιόδου, αντιστοιχεί στην ελάττωση της μέσης τιμής και στην έντονη ελάττωση της τυπικής απόκλισης της λογαριθμοκανονικής κατανομής. Επιπλέον, η χαρακτηριστική ελάττωση της μέσης τιμής, της κανονικής κατανομής, μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου, σε συνδυασμό με την χαρακτηριστική αύξηση της τυπικής απόκλισης, αντιστοιχεί στην μικρή σχετικά αύξηση της μέσης τιμής της λογαριθμοκανονικής κατανομής, σε αντίθεση με την ιδιαίτερα έντονη αύξηση της τυπικής απόκλισης αυτής. Τα παραπάνω επιβεβαιώνουν τη δυσκολία στη μελέτη των μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης και κατ' επέκταση και των επιδράσεων αυτών στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων φαινομένων, όταν τα μεγέθη αυτά εξαρτώνται από τις παραμέτρους θέσης, κλίμακας (ή / και σχήματος), όπως συμβαίνει στους περισσότερους τύπους κατανομών, με εξαίρεση την κανονική κατανομή.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 6, στη Θεσσαλονίκη κατά τη διάρκεια των τριών επιμέρους περιόδων αξιοσημείωτη είναι η ελάττωση της μέσης τιμής των θερινών και κυρίως των φθινοπωρινών θερμοκρασιών μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου, όπως επίσης και η ελάττωση της τυπικής απόκλισης των χειμερινών θερμοκρασιών μεταξύ των ίδιων περιόδων. Σε ότι αφορά στη βροχόπτωση, χαρακτηριστική είναι η αύξηση της μέσης τιμής των χειμερινών υψών βροχής μεταξύ 1^{ης} και 2^{ης} επιμέρους περιόδου, αλλά κυρίως η ελάττωση αυτών μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης}.

Συγκρίνοντας τις μεταβολές μεταξύ των κοινών για τους δύο σταθμούς περιόδων, συμπεραίνεται ότι, οι μεταβολές που παρατηρούνται, σε ότι αφορά τη θερμοκρασία, είναι αντιθέτου φοράς. Στην περίπτωση των εποχιακών θερμοκρασιών της Αθήνας, από το 1913 έως το 2002, η μέση τιμή (ανά περίοδο 30 ετών) παρουσιάζει σταδιακή αύξηση, σε αντίθεση με την ελάττωση της μέσης τιμής των εποχιακών θερμοκρασιών της Θεσσαλονίκης, την ίδια χρονική περίοδο. Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση, παρατηρείται ελάττωση της μέσης τιμής των χειμερινών και φθινοπωρινών υψών βροχής και στους δύο σταθμούς. Η μέση τιμή των εαρινών και θερινών υψών βροχής παρουσιάζει μικρή σχετικά αύξηση στην Αθήνα, σε αντίθεση με τη Θεσσαλονίκη, όπου δεν παρατηρείται

κάποια αξιοσημείωτη μεταβολή κατά τη διάρκεια των κοινών, για τους δύο σταθμούς, περιόδων.

2.3.1 Στατιστική σύγκριση παραμέτρων μ και σ

Μετά τον έλεγχο καλής προσαρμογής της κανονικής κατανομής (λογαριθμοκανονική για τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας) στις επιμέρους χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, επόμενο βήμα αποτελεί η διερεύνηση της κλιματικής μεταβολής, τόσο ως προς τη μέση τιμή, όσο και ως προς την τυπική απόκλιση, μεταξύ συνεχόμενων επιμέρους περιόδων. Στην περίπτωση των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας, υπενθυμίζεται ότι, διερευνάται η μεταβολή της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων της κλιματικής μεταβλητής.

Σύμφωνα με τον Katz (1988), το πρόβλημα της εκτίμησης σημαντικής μεταβολής στη μεταβλητότητα / τυπική απόκλιση (ή γενικά στην παράμετρο κλίμακας), είναι σαφώς δυσκολότερο σε σχέση με το πρόβλημα της εκτίμησης σημαντικής μεταβολής στη μέση τιμή (ή γενικότερα στην παράμετρο θέσης), ειδικά όταν πρόκειται για ατμοσφαιρικές μεταβλητές, οι οποίες στην καλύτερη περίπτωση προσεγγίζουν την κανονική κατανομή. Παρότι, στη σχετική βιβλιογραφία, υπάρχουν ειδικοί μη παραμετρικοί έλεγχοι μεταβολής της μέσης τιμής, οι οποίοι δεν εξαρτώνται από την υπόθεση της κανονικότητας (π.χ. το κριτήριο Mann – Whitney), εντούτοις, τα τυπικά τεστ για το έλεγχο μεταβολής της μεταβλητότητας (F-τεστ, Levene τεστ, Brown – Forsythe τεστ) είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις αποκλίσεις από αυτήν. Εντούτοις, στη διεθνή κυρίως βιβλιογραφία, υπάρχουν σχετικές μελέτες που χρησιμοποιούν τυπικά τεστ για τον έλεγχο της μεταβλητότητας, παρά την υποκείμενη ευαισθησία αυτών. Οι Chervin (1980) και Hayashi (1982), για παράδειγμα χρησιμοποίησαν το F-τεστ για τον έλεγχο μεταβολής της μεταβλητότητας σε προσομοιωμένα δεδομένα. Η Rodrigo (2002), κατά τη μελέτη της μεταβολής των παραμέτρων θέσης και κλίμακας της κανονικής κατανομής των εποχιακών υψών βροχής, σε ένα σταθμό στην Ισπανία (San Fernando), χρησιμοποίησαν τα t – τεστ και F-τεστ, αντίστοιχα. Οι Ben-Gai et al. (1998), χρησιμοποιώντας την κατανομή γάμμα, για την μελέτη των ετήσιων και μηνιαίων υψών βροχής σε ένα δίκτυο σταθμών στο Ισραήλ, διερεύνησαν την μεταβολή των παραμέτρων κλίμακας και σχήματος αυτής, χρησιμοποιώντας το t – τεστ.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, έχοντας ελέγξει την κανονικότητα των δεδομένων, για τον έλεγχο στατιστικά σημαντικής μεταβολής της μεταβλητότητας / τυπικής απόκλισης,

μεταξύ συνεχόμενων επιμέρους περιόδων, εφαρμόζεται το F τεστ, ενώ για τον έλεγχο της μέσης τιμής, το t – τεστ, υπό την προϋπόθεση ίσης ή άνισης μεταβλητότητας (Κολυβά – Μαχαίρα και Μπόρα – Σέντα 1996). Σε ότι αφορά το F τεστ, η μηδενική υπόθεση $H_0: \sigma_1^2 / \sigma_2^2 = 1$ απορρίπτεται, όταν η τιμή του στατιστικού F είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή $F_{n-1, m-1; \alpha/2}$ ($=1,86$), σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Στην περίπτωση του ελέγχου t, η μηδενική υπόθεση $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$, υπό την υπόθεση ίσης μεταβλητότητας, απορρίπτεται, όταν η τιμή του στατιστικού $|t|$ είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή $t_{n+m-2; \alpha/2}$ ($=1,96$), σε επίπεδο σημαντικότητας 95%. Για την περίπτωση άνισης μεταβλητότητας, επειδή στη συγκεκριμένη μελέτη $n=m=30$ έτη, τότε η κρίσιμη τιμή του στατιστικού t είναι $t_{2(n-1); \alpha/2} = 1,96$, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%, δηλαδή είναι ίση με την κρίσιμη τιμή του t για την περίπτωση ίσης μεταβλητότητας. Στους Πίνακες 7 και 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης, ως προς τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, των επιμέρους χρονοσειρών των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα. Οι περιπτώσεις στατιστικά σημαντικής μεταβολής της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, παρουσιάζονται με έντονο κόκκινο και πράσινο χρώμα, αντίστοιχα.

Πίνακας 7. Τιμές των t και F, της διαφοράς των μέσων τιμών και του λόγου των διασπορών, των επιμέρους περιόδων, των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων της Αθήνας.

		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
		Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1883-1912	t	-1,678	-1,563	-2,218	-1,600	-1,009	-0,202	0,284	0,231
1913-1942	F	1,679	1,216	1,757	1,612	1,567	1,222	1,586	1,957
1913-1942	t	-0,502	-0,238	-1,071	1,021	2,348	0,005	2,097	0,337
1943-1972	F	1,040	1,335	1,539	1,541	1,579	1,016	2,654	1,757
1943-1972	t	-2,544	-3,161	-3,539	-3,447	0,866	-1,108	-0,611	0,438
1972-2002	F	1,226	1,397	2,316	1,068	1,635	2,566	1,062	1,155

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ελέγχων F και t, των Πινάκων 7 και 8, προκύπτει, αρχικά, το συμπέρασμα ότι, στατιστικά σημαντική μεταβολή, ως προς την τυπική απόκλιση, εντοπίστηκε σε ορισμένες περιπτώσεις μόνο της Αθήνας, σε αντίθεση με τη μέση τιμή, η οποία παρουσιάζει σημαντική μεταβολή και στους δύο σταθμούς. Αναλυτικότερα, σε ότι αφορά την Αθήνα, (Πίνακας 7), παρατηρείται στατιστικά σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, μεταξύ των περιόδων 1943-1972 και 1973-2002, σε κάθε εποχή, καθώς και των θερινών θερμοκρασιών μεταξύ των περιόδων 1883-

1912 και 1913-1942. Επιπλέον, παρατηρείται σημαντική αύξηση της μεταβλητότητας των θερινών θερμοκρασιών, μεταξύ των περιόδων 1943-1972 και 1973-2002. Σε ότι αφορά τη βροχοπτώση, παρατηρείται σημαντική ελάττωση των χειμερινών και θερινών βροχοπτώσεων μεταξύ των περιόδων 1913-1942 και 1943-1972, σε αντίθεση με τη μεταβλητότητα των εαρινών, θερινών και φθινοπωρινών βροχοπτώσεων, η οποία παρουσιάζει σημαντική αύξηση μεταξύ των περιόδων 1943-1972 και 1973-2002, 1913-1942 και 1943-1972, 1883-1912 και 1913-1942, αντίστοιχα.

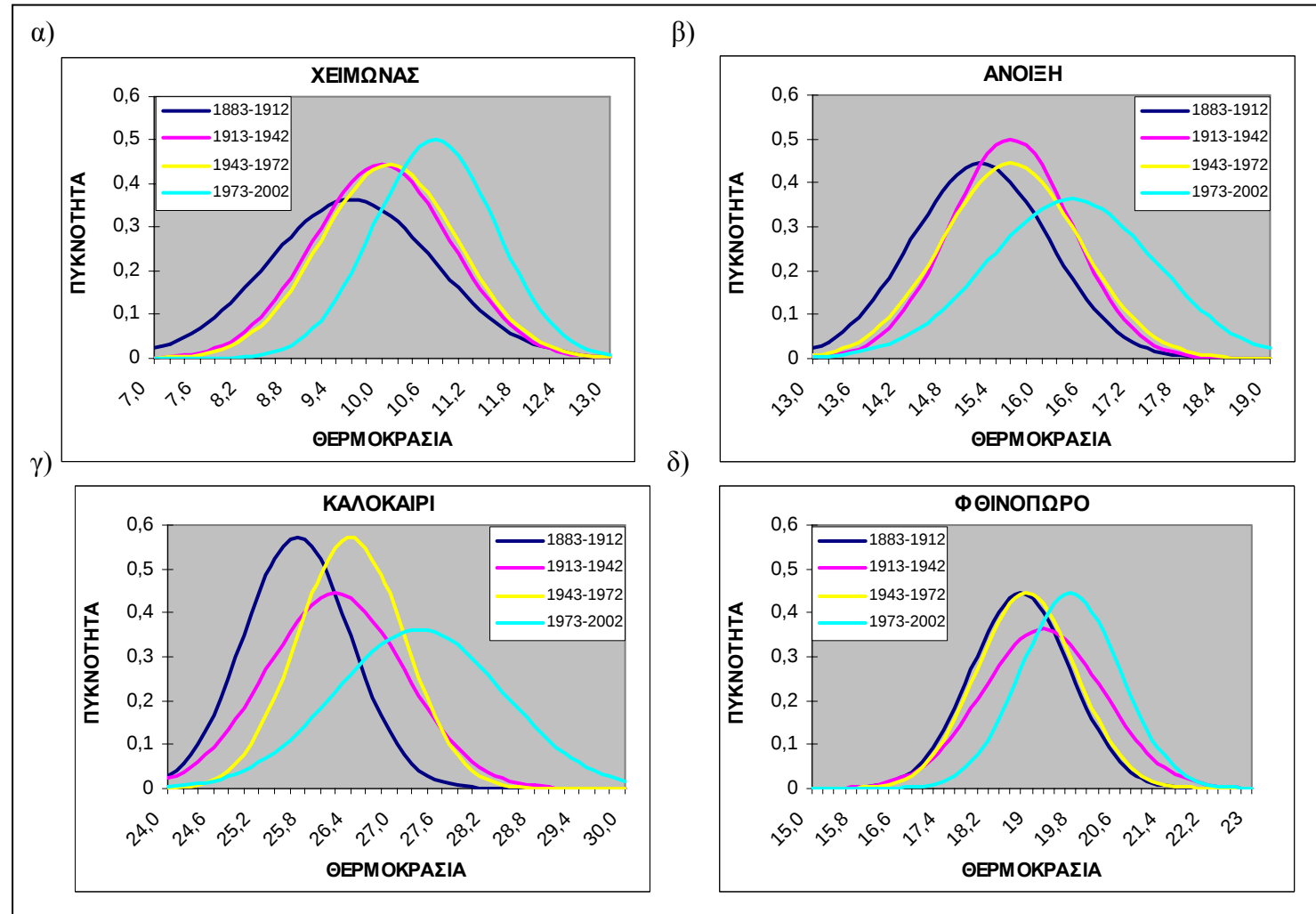
Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, λαμβάνοντας υπ' όψιν τα αποτελέσματα του ελέγχου t (Πίνακας 8), παρατηρείται στατιστικά σημαντική ελάττωση, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%, των θερινών και φθινοπωρινών θερμοκρασιών, αλλά και των χειμερινών βροχοπτώσεων, μεταξύ των περιόδων 1943-1972 και 1973-2002. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ελέγχου F, η μεταβλητότητα, όπως έχει ήδη ειπωθεί, δεν παρουσιάζει σε καμία περίπτωση στατιστικά σημαντική μεταβολή.

Πίνακας 8. Τιμές των t και F, της διαφοράς των μέσων τιμών και του λόγου των διασπορών, των επιμέρους περιόδων, των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων της Θεσσαλονίκης.

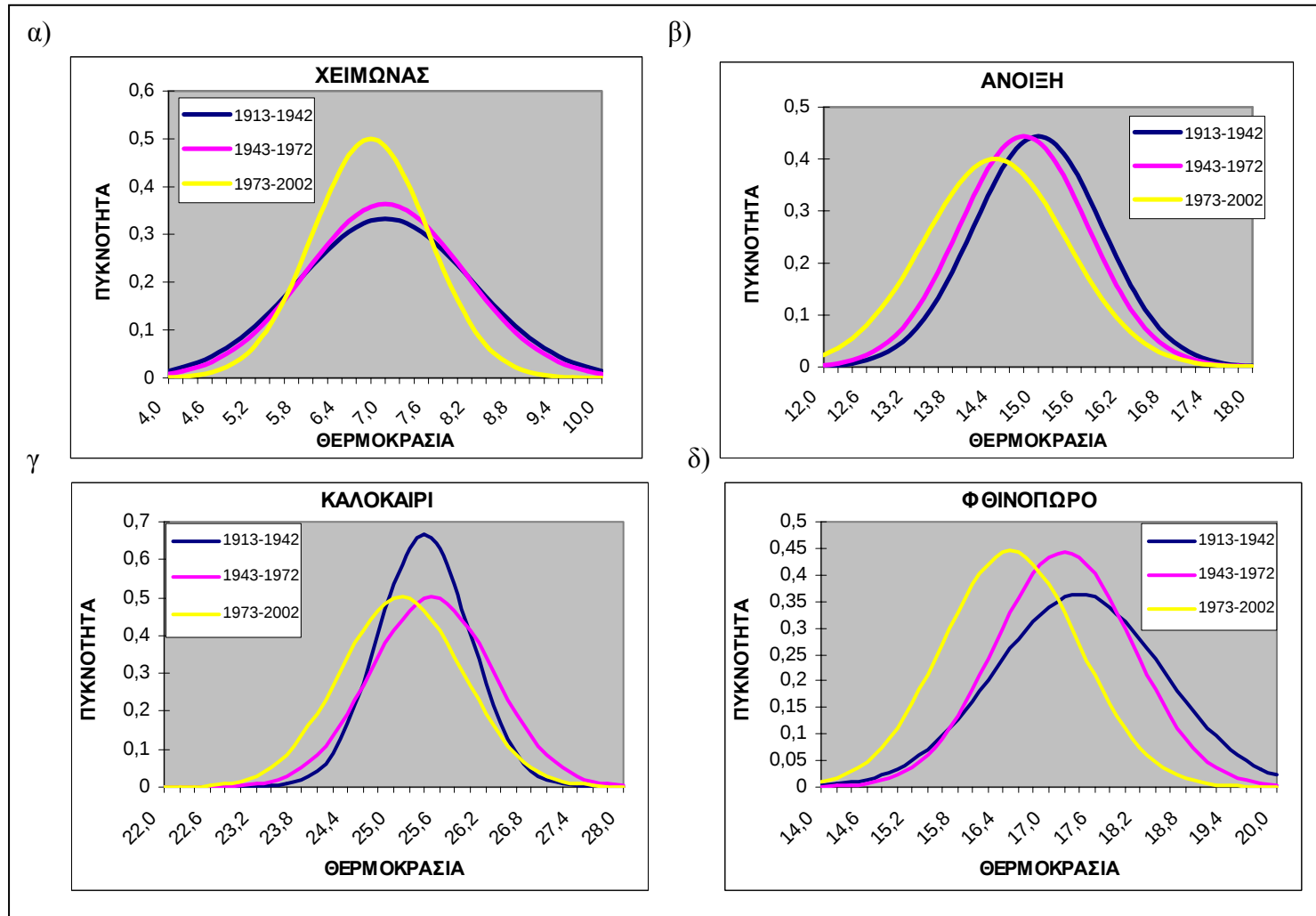
		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
		Χειμώνας	Ανοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Ανοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1913-1942	t	-0,08	0,65	-0,80	0,78	-1,33	0,14	-0,41	-0,21
1943-1972	F	1,18	1,06	1,70	1,50	1,39	1,62	1,25	1,05
1943-1972	t	0,59	1,52	2,32	2,92	2,15	-0,02	0,39	0,93
1973-2002	F	1,85	1,11	1,01	1,10	1,27	1,25	1,03	1,03

Στα Σχήματα 8 έως 11, απεικονίζεται η καμπύλη της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κανονικής κατανομής των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, των επιμέρους περιόδων στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Στην περίπτωση των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας (λογαριθμοκανονική κατανομή), οι καμπύλες αντιστοιχούν στην συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κανονικής κατανομής των φυσικών λογαρίθμων της κλιματικής μεταβλητής, γεγονός το οποίο δικαιολογεί την διαφορετική κλίμακα τιμών του άξονα x'x. Στα σχήματα αυτά απεικονίζεται χαρακτηριστικά η επίδραση των μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης στην καμπύλη της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας και κατ' επέκταση στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων φαινομένων. Για παράδειγμα, η σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας το φθινόπωρο στην Αθήνα (Σχήμα 8δ), από 18,9°C, την περίοδο 1943-1972, σε 19,7°C την περίοδο 1973-

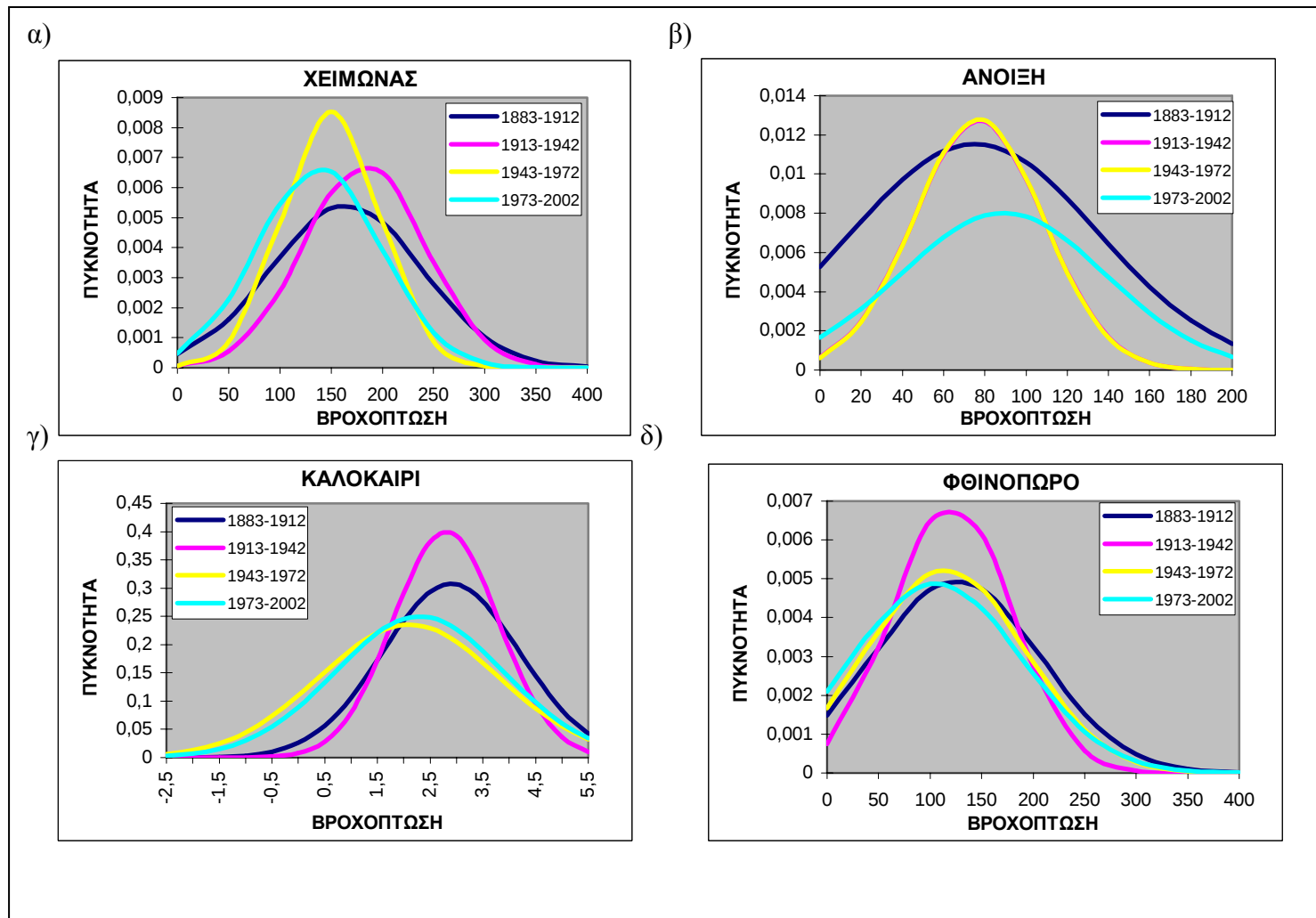
2002 (Πίνακας 5), έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση της καμπύλης της κατανομής προς τα δεξιά κατά μήκος του άξονα x'x, προκαλώντας ελάττωση της πιθανότητας των χαμηλών θερμοκρασιών και αύξηση της πιθανότητας των υψηλών θερμοκρασιών στο σταθμό. Στην περίπτωση των θερινών θερμοκρασιών (Σχήμα 8γ), παρατηρείται σημαντική αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 0,9°C, καθώς επίσης και σημαντική αύξηση της τυπικής απόκλισης κατά 0,4°C, μεταξύ των περιόδων 1943-1972 και 1973-2002. Οι μεταβολές αυτές προκαλούν, αφενός μετατόπιση της καμπύλης προς τα δεξιά κατά μήκος του άξονα x'x (αύξηση του μ), αφετέρου συμπίεση της καμπύλης της κατανομής (αύξηση του σ). Αποτέλεσμα των μεταβολών αυτών είναι, η ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης των χαμηλών θερινών θερμοκρασιών, η αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης των υψηλών θερινών θερμοκρασιών καθώς και η αύξηση των απολύτως μεγίστων θερινών θερμοκρασιών, στο σταθμό αυτό. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και για τις υπόλοιπες εποχές. Στο Σχήμα 9δ, η σημαντική ελάττωση των φθινοπωρινών θερμοκρασιών στη Θεσσαλονίκη, από 17,2°C την περίοδο 1943-1972 σε 16,5°C την περίοδο 1973-2002, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση (ελάττωση) της πιθανότητας εμφάνισης των χαμηλών (υψηλών) φθινοπωρινών θερμοκρασιών. Η σημαντική ελάττωση των χειμερινών βροχοπτώσεων από 182,4 mm, την περίοδο 1913-1942, σε 150,1 mm την περίοδο 1943-1972, στην Αθήνα, (Σχήμα 10α), έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση (αύξηση) της πιθανότητας των υψηλών (χαμηλών) χειμερινών υψών βροχής στο σταθμό αυτό. Στην περίπτωση των θερινών βροχοπτώσεων (Σχήμα 10γ) η σημαντική ελάττωση της μέσης τιμής των λογαρίθμων αυτών μεταξύ των περιόδων 1913-1942 και 1943-1972 (από 2,8 σε 2,1), σε συνδυασμό με την σημαντική αύξηση της τυπικής απόκλισης (από 1 σε 1,7) (Σχήμα 9γ), έχει σαν αποτέλεσμα, τόσο την αύξηση (ελάττωση) της πιθανότητας εμφάνισης των χαμηλών (υψηλών) υψών βροχής στο σταθμό αυτό, όσο και την ταυτόχρονη αύξηση (ελάττωση) των απολύτως ελαχίστων (μεγίστων) ολικών θερινών βροχοπτώσεων στο σταθμό αυτό. Στο Σχήμα 11α, η σημαντική ελάττωση των ολικών υψών βροχής το χειμώνα στο σταθμό της Θεσσαλονίκης, από 141,0 mm την περίοδο 1943-1972 σε 110,1 mm την περίοδο 1973-2002, έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης των υψηλών χειμερινών βροχοπτώσεων και ταυτόχρονα την αύξηση της πιθανότητας των χαμηλών χειμερινών βροχοπτώσεων, στο σταθμό αυτό.



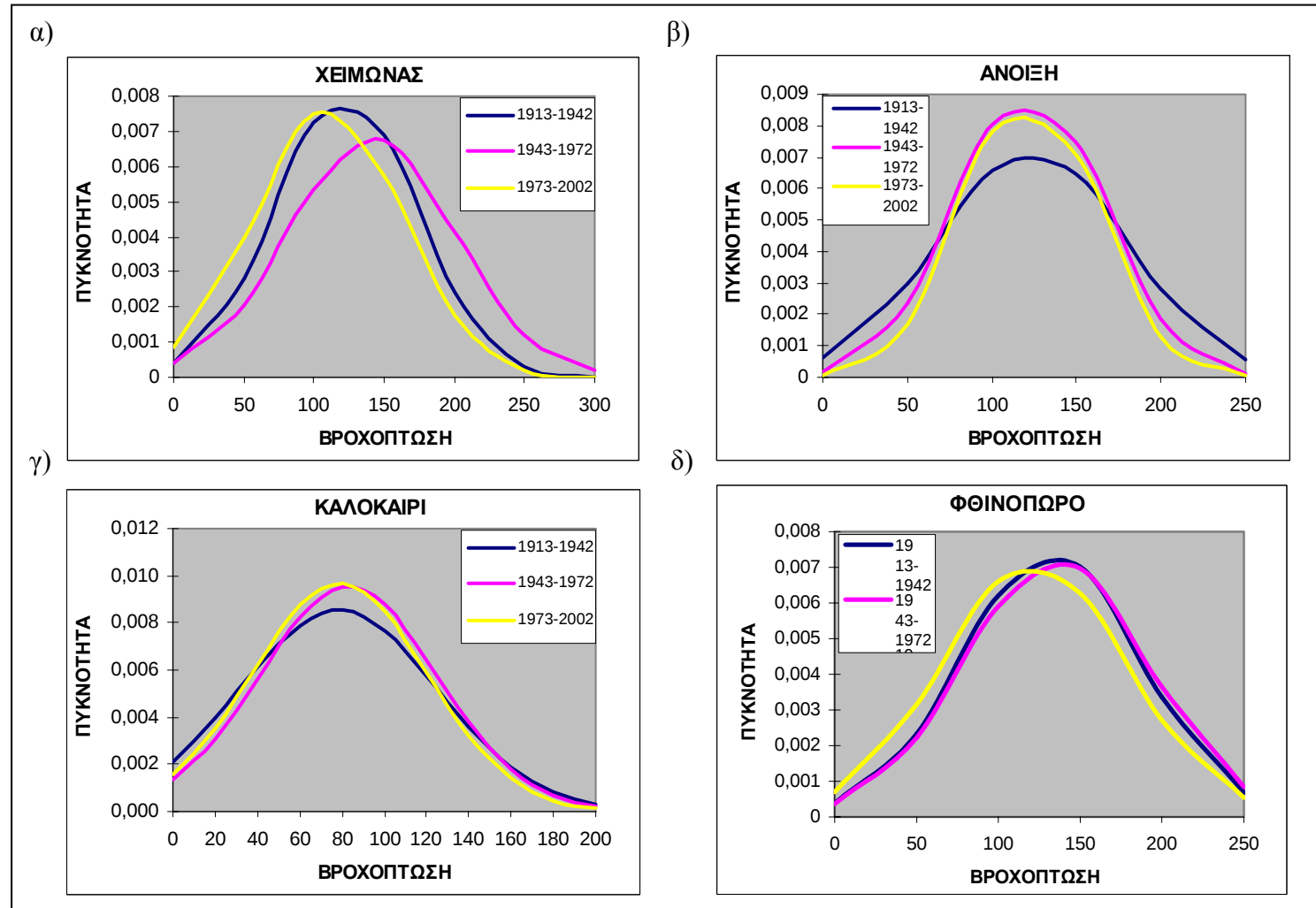
Σχήμα 8. Καμπύλη συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των εποχιακών θερμοκρασιών των επιμέρους περιόδων της Αθήνας.



Σχήμα 9. Καμπύλη συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των εποχιακών θερμοκρασιών των επιμέρους περιόδων της Θεσ/νίκης.



Σχήμα 10. Καμπύλη συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των εποχιακών βροχοπτώσεων, των επιμέρους περιόδων της Αθήνας.



Σχήμα 11. Καμπύλη συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας των εποχιακών βροχοπτώσεων, των επιμέρους περιόδων της Θεσ/νίκης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΕΠΟΧΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ

3.1 Εισαγωγή

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, μελετήθηκε η μεταβολή της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, των μέσων εποχιακών θερμοκρασιών και ολικών εποχιακών υψών βροχής, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, κατά τη διάρκεια των ετών 1883-2002 και 1913-2002, αντίστοιχα. Με την εφαρμογή κατάλληλων στατιστικών ελέγχων, εντοπίστηκαν περιπτώσεις στατιστικά σημαντικής μεταβολής, τόσο ως προς τη μέση τιμή, όσο και ως προς την τυπική απόκλιση (ή και συνδυασμός και των δύο περιπτώσεων), μεταξύ των τεσσάρων συνεχόμενων επιμέρους περιόδων της Αθήνας, και των αντίστοιχων τριών της Θεσσαλονίκης, σύμφωνα με τους Πίνακες 7 και 8 (Κεφάλαιο 2). Το ερώτημα που τίθεται στη συνέχεια και που επιχειρείται να απαντηθεί στο παρόν κεφάλαιο είναι πώς, οι παρατηρούμενες αυτές μεταβολές, σημαντικές ή μη, επηρέασαν την πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών και κατ' επέκταση, ποιας εκ των δύο στατιστικών παραμέτρων η επίδραση, διαδραμάτισε σημαντικότερο ρόλο, στη διαμόρφωση της πιθανότητας αυτών.

Πρόκειται, ουσιαστικά, για μια προσπάθεια προσδιορισμού του βαθμού συσχέτισης, μεταξύ των μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής και των μεταβολών της πιθανότητας εμφάνισης ακραίων εποχών, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής, οι μεταβολές στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων τιμών των δύο κλιματικών μεταβλητών (των φυσικών λογαρίθμων των θερινών υψών βροχής της Αθήνας), είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού των μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της κατανομής. Κατά συνέπεια, εάν υποθεθεί ότι, η μεταβολή της μέση τιμής επηρεάζει περισσότερο τη μεταβολή της πιθανότητας των ακραίων εποχών, σε σχέση με την μεταβολή της τυπικής απόκλισης, τότε, σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής, μια ενδεχόμενη αύξηση αυτής, μπορεί να αποτελεί ένδειξη της αύξησης της πιθανότητας εμφάνισης θερμής / υγρής εποχής, καθώς και της ελάττωσης της πιθανότητας

εμφάνισης ψυχρής / ξηρής εποχής στους σταθμούς αυτούς. Για την εκτίμηση της πρώτης υπάρχουν αξιόπιστες στατιστικές τεχνικές, σε αντίθεση με τη δεύτερη, η εκτίμηση της οποίας παρουσιάζει ιδιαίτερες δυσκολίες, εξαιτίας της εξ ορισμού σπανιότητας των φαινομένων αυτών και της έλλειψης επαρκών δεδομένων. Εντούτοις, μπορεί να αποτελέσει σημαντική ένδειξη κλιματικής μεταβολής, με επιπτώσεις υψίστης σημασίας για την κοινωνία και το περιβάλλον. Από μετεωρολογικής απόψεως, η αύξηση της μέσης εποχιακής θερμοκρασίας, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης μπορεί να οφείλεται στο φαινόμενο της θερμικής νησίδας, λόγω αύξησης της αστικοποίησης, το οποίο στις περιοχές των μέσων γεωγραφικών πλατών, εμφανίζεται ως θέρμανση. Η αύξηση του ολικού εποχιακού ύψους βροχής μπορεί να οφείλεται, είτε στην αύξηση της συχνότητας εμφάνισης (ή έντασης) των κυκλωνικών συστημάτων πάνω από την ευρύτερη Ελληνική περιοχή, είτε στην αύξηση της συχνότητας (ή έντασης) των μεμονωμένων καταιγίδων. Εάν υποτεθεί ότι, η μεταβολή της πιθανότητας των ακραίων εποχών επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή της μεταβλητότητας (τυπική απόκλιση), τότε, ως ένδειξη κλιματικής μεταβολής, μπορεί να αποτελέσει, τόσο η στατιστικά σημαντική μεταβολή της μεταβλητότητας, παρότι κατά κανόνα λαμβάνεται σταθερή, όσο και η εκτίμηση της σχετικής με αυτήν αύξησης της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων τιμών των δύο κλιματικών μεταβλητών και στα δύο άκρα της κατανομής, δηλαδή, τόσο των ψυχρών / ξηρών εποχών, όσο και των θερμών / υγρών εποχών.

Για το σκοπό αυτό, αρχικά, οι ακραίες εποχές, καθορίζονται χρησιμοποιώντας τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90 της περιόδου αναφοράς 1961-1990 (Κεφάλαιο 1, Πίνακες 2 και 3). Η πιθανότητα εμφάνισής τους υπολογίζεται σε κάθε μη επικαλυπτόμενη επιμέρους περίοδο, συναρτήσει της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, ως η σχετική συχνότητα εμφάνισης του γεγονότος εκείνου, κατά το οποίο, η μέση εποχιακή θερμοκρασία ή το ολικό εποχιακό ύψος βροχής, σε μια χρονοσειρά μήκους $n=30$ ετών, σημειώνει τιμή μικρότερη ή μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο κατώφλι (P10, P25 ή P75, P90). Χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά κατώφλια, τόσο για τις ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες / βροχοπτώσεις, όσο και τις ακραίες υψηλές, ώστε να διερευνηθεί εάν τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται, όταν μεταβάλλεται το κατώφλι. Μελετάται η μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών, κατά τη διάρκεια των επιμέρους περιόδων και κυρίως, οι μεταβολές αυτής σε σχέση με τις μεταβολές της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης.

3.2 Καθορισμός ακραίων εποχών

Τα ακραία φαινόμενα παρουσιάζουν αρκετές δυσκολίες στον καθορισμό τους (Folland *et al.* 1997, Easterling *et al.* 1999), εντούτοις, σε γενικές γραμμές, λαμβάνονται ως περίοδοι σημαντικών αποκλίσεων από τη μέση κατάσταση. Οι αποκλίσεις αυτές εξαρτώνται από την κλιματολογία κάθε σταθμού ή περιοχής και διαφοροποιούνται ανάλογα το αντικείμενο της μελέτης. Οι Μαχαίρας και Βαφειάδης (1992), μελέτησαν την ξηρασία στην Αθήνα κατά τη διάρκεια των ετών 1871-1990, ορίζοντας, ως ξηρό, το έτος εκείνο στο οποίο, το ολικό ύψος βροχής X_i είναι $(\bar{x} - \sigma) < x_i < (\bar{x} + \sigma)$, όπου $\bar{x}$ και σ , η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των ετήσιων υψών βροχής της αντίστοιχης περιόδου. Σε μελέτες που σχετίζονται με στοχαστικές διαδικασίες, όπως είναι οι ακολουθίες ξηρών (ή υγρών) ημερών, η ξηρή (υγρή) ημέρα, ορίζεται ως η ημέρα εκείνη κατά την οποία η βροχόπτωση είναι μικρότερη από 0,1 mm (μεγαλύτερη από 0,1 mm) (Pennas 2001, Anagnostopoulou *et al.* 2003). Οι Mearns *et al.* (1984), μελέτησαν τη συχνότητα των ακραίων υψηλών ημερήσιων θερμοκρασιών του Ιουλίου, σε ένα σταθμό της Αϊόβα, των Η.Π.Α. χρησιμοποιώντας ως κατώφλι τους 30°C, λαμβάνοντας υπόψη τα όρια 'αντοχής' των καλλιεργειών καλαμποκιού στην περιοχή.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, για τον καθορισμό των ακραίων εποχών, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιούνται τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90 της περιόδου αναφοράς 1961-1990 (Rodrigo 2002, Ben-Gai *et al.* 1998). Η συγκεκριμένη περίοδος προτείνεται από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO) για την εδραίωση βασικών στατιστικών χαρακτηριστικών και οριακών τιμών, των εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής. Μπορεί, η χρήση των ποσοστιαίων σημείων για τον καθορισμό των ακραίων εποχών, να απαιτεί μεγάλη χρονοσειρά δεδομένων, εντούτοις, αποτελεί ένα αντικειμενικό και ακριβές στατιστικό μέτρο των ακραίων τιμών των δύο κλιματικών μεταβλητών. Έτσι, όταν η μέση εποχιακή θερμοκρασία ή η ολική εποχιακή βροχόπτωση X είναι μικρότερη από P25, P10, τότε η εποχή χαρακτηρίζεται ως ψυχρή / ξηρή, πολύ ψυχρή / ξηρή. Αντίστοιχα, όταν η εποχιακή θερμοκρασία ή βροχόπτωση είναι μεγαλύτερη από P75, P90, τότε η εποχή χαρακτηρίζεται ως θερμή / υγρή, πολύ θερμή / υγρή.

Δηλαδή, όταν:

$$X \leq P_i, i = 25, 10 \rightarrow \text{ψυχρή / ξηρή, πολύ ψυχρή / ξηρή εποχή (3.1) και}$$

$$X > P_i, i = 75, 90, \rightarrow \text{θερμή / υγρή, πολύ θερμή / υγρή εποχή (3.2)}$$

Η κλιματική μεταβλητή X (π.χ. μέση εποχιακή θερμοκρασία ή ολικό εποχιακό ύψος βροχής) περιγράφεται από μια συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (σ.π.π.) $f(x)$, με συνάρτηση αθροιστικής κατανομής (σ.α.κ.) $F_X(x) = P\{X \leq x\}$, η οποία χαρακτηρίζεται από τις παραμέτρους θέσης και κλίμακας (Katz 1991, Katz and Brown 1992). Από τη μελέτη της κατανομής των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων (της κατανομής των φυσικών λογαρίθμων των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας) στους δύο σταθμούς (Κεφάλαιο 1), προέκυψε ότι, η κανονική κατανομή προσεγγίζει ικανοποιητικά τα εμπειρικά δεδομένα. Συνεπώς, η κατανομή της κανονικοποιημένης μεταβλητής

$$Z = (X - \mu) / \sigma \quad \text{ή} \quad (3.3)$$

$$Z = [(Y = \ln X) - \mu] / \sigma \quad (3.4)$$

είναι ανεξάρτητη των παραμέτρων θέσης μ (μέση τιμή) και κλίμακας σ (τυπική απόκλιση) της κανονικής κατανομής.

Η πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών, έτσι όπως αυτές ορίστηκαν προηγουμένως, υπολογίζεται, ως η σχετική συχνότητα εμφάνισης ενός γεγονότος με τιμή μικρότερη ή μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο κατώφλι. Δηλαδή, σύμφωνα με τις σχέσεις (3.1) και (3.3), η πιθανότητα εμφάνισης των ψυχρών / ξηρών και πολύ ψυχρών / ξηρών (P25 και P10) εποχών δίνεται από τη σχέση:

$$F_X(x) = P(X \leq P_{25,10}) = P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} \leq \frac{P_{25,10} - \mu}{\sigma}\right) = P\left(Z \leq \frac{P_{25,10} - \mu}{\sigma}\right) \Leftrightarrow$$

$$\boxed{P(X \leq P_{25,10}) = \Phi\left(\frac{P_{25,10} - \mu}{\sigma}\right)} \quad (3.5)$$

Ομοίως, σύμφωνα με τις σχέσεις (3.2) και (3.3), η πιθανότητα εμφάνισης των θερμών / υγρών και πολύ θερμών / υγρών (P75 και P90) εποχών δίνεται από τη σχέση:

$$1 - F_X(x) = P(X > P_{75,90}) = 1 - P\left(\frac{X - \mu}{\sigma} \leq \frac{P_{75,90} - \mu}{\sigma}\right) = 1 - P\left(Z \leq \frac{P_{75,90} - \mu}{\sigma}\right) \Leftrightarrow$$

$$\boxed{P(X > P_{75,90}) = 1 - \Phi\left(\frac{P_{75,90} - \mu}{\sigma}\right)} \quad (3.6)$$

Στην περίπτωση της λογαριθμοκανονικής κατανομής (θερινές βροχοπτώσεις Αθήνας), χρησιμοποιώντας το μετασχηματισμό $Y = \ln X$, όπου η Y ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή μ και τυπική απόκλιση σ , η πιθανότητα των χαμηλών / πολύ

χαμηλών (P25 και P10) και υψηλών / πολύ υψηλών (P75 και P90) υψών βροχής, τη θερινή εποχή στην Αθήνα είναι, σύμφωνα με τις σχέσεις (3.1), (3.2) και (3.4), αντίστοιχα:

$$F_X(x) = P(X \leq P_{25,10}) = P(Y = \ln X \leq \ln(P_{25,10})) = \Phi\left(\frac{\ln(P_{25,10}) - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.7)$$

και

$$= 1 - F_X(x)P(X > P_{75,90}) = P(Y = \ln X > \ln(P_{75,90})) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(P_{75,90}) - \mu}{\sigma}\right) \quad (3.8)$$

Η μεταβλητή $Z = (X-\mu)/\sigma$ ή $Z = [(Y=\ln X)-\mu]/\sigma$ ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή $N(0,1)$ της οποίας η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας $f(z)$ δίνεται από την καμπύλη του Gauss. Η συνάρτηση αθροιστικής κατανομής της τυπικής κανονικής κατανομής $N(0,1)$, συμβολίζεται με $\Phi(z)$, και η πιθανότητα $P(Z \leq z) = \Phi(z)$ δίνεται από πίνακες.

3.3 Πιθανότητα ακραίων εποχών επιμέρους περιόδων.

Στο υποκεφάλαιο αυτό, μελετάται η πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών, κατά τη διάρκεια των επιμέρους περιόδων, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Η πιθανότητα των ψυχρών / ξηρών και θερμών / υγρών εποχών υπολογίζεται, σε σχέση με τα ποσοστιαία σημεία P25,10 και P75,90 (της περιόδου αναφοράς 1961-1990), αντίστοιχα, σε κάθε επιμέρους περίοδο, συναρτήσει τη μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της αντίστοιχης περιόδου, σύμφωνα με τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7), (3.8). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 9 και 10, για το σταθμό της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα, ενώ για την ολοκληρωμένη παρουσίασή τους, παρατίθεται και η γραφική απεικόνιση αυτών (Σχήματα 12 και 13, αντίστοιχα). Το ενδιαφέρον κατά τη μελέτη των αποτελεσμάτων επικεντρώνεται στη σχέση μεταξύ των μεταβολών της πιθανότητας των ακραίων εποχών και των παρατηρούμενων μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης (Κεφάλαιο 2, Πίνακες 7 και 8).

3.3.1 Πιθανότητα ψυχρών / ξηρών και θερμών / υγρών εποχών στο σταθμό της Αθήνας.

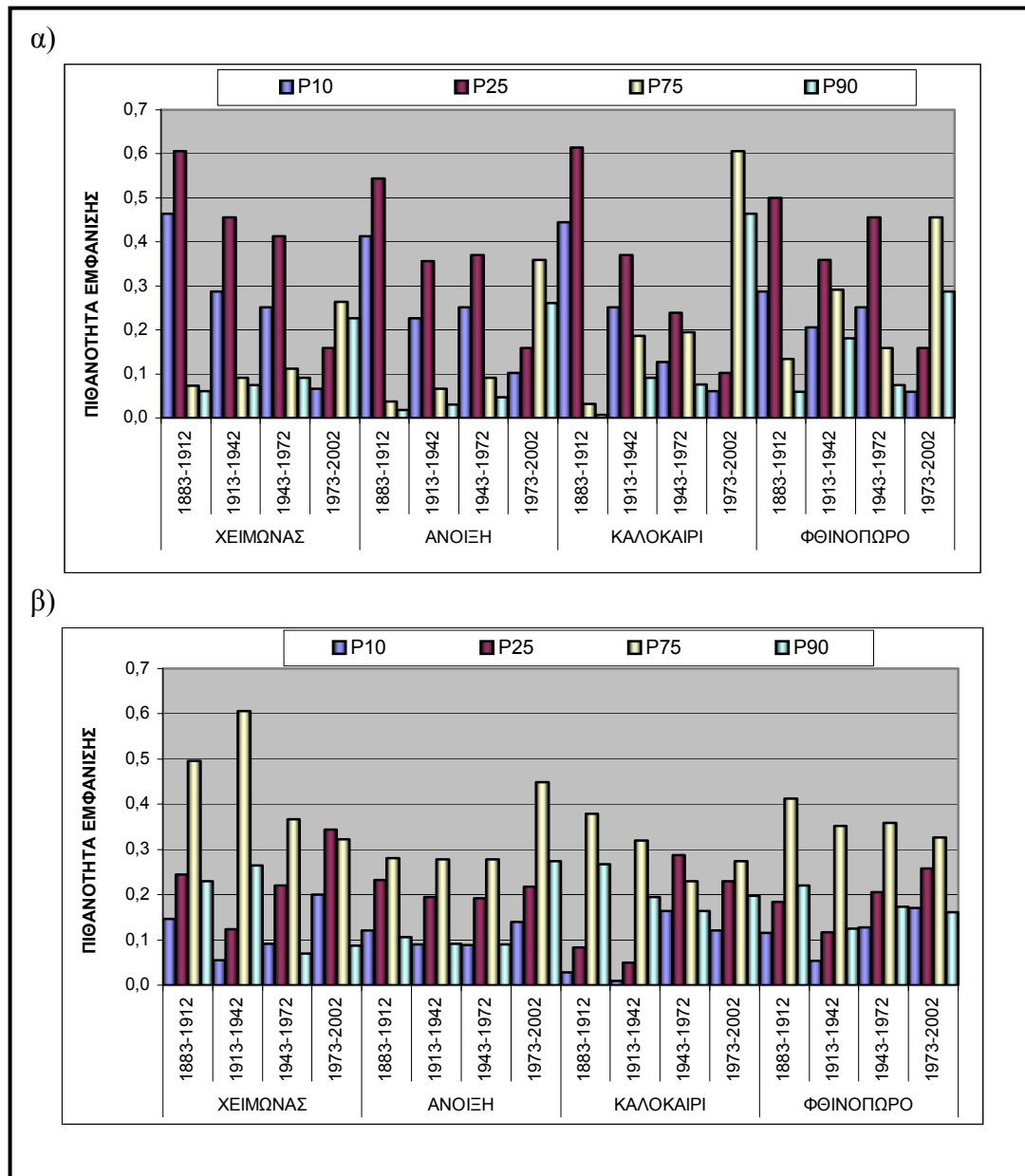
Στην Αθήνα, (Σχήμα 12α), κατά τη διάρκεια των τεσσάρων περιόδων, παρατηρείται, γενικά, συνεχής ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης των ψυχρών (P25) και πολύ ψυχρών (P10) εποχών και ταυτόχρονα, συνεχής αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης των θερμών (P75) και πολύ θερμών (P90) εποχών.

Πίνακας 9. Πιθανότητα εμφάνισης ψυχρών/ξηρών (P25), πολύ ψυχρών/ξηρών (P10), θερμών/υγρών (P75) και πολύ θερμών/υγρών (P90) εποχών, των επιμέρους περιόδων, στο σταθμό της Αθήνας.

ΕΠΟΧΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
		P10	P25	P75	P90	P10	P25	P75	P90
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	1883-1912	0,464	0,606	0,073	0,061	0,147	0,245	0,496	0,230
	1913-1942	0,288	0,456	0,092	0,075	0,055	0,123	0,606	0,264
	1943-1972	0,251	0,413	0,111	0,092	0,092	0,221	0,367	0,069
	1973-2002	0,067	0,159	0,264	0,227	0,200	0,345	0,323	0,087
ΑΝΟΙΞΗ	1883-1912	0,413	0,544	0,037	0,017	0,121	0,233	0,281	0,106
	1913-1942	0,227	0,356	0,067	0,030	0,090	0,195	0,278	0,092
	1943-1972	0,251	0,371	0,092	0,047	0,088	0,192	0,278	0,090
	1973-2002	0,102	0,159	0,359	0,261	0,140	0,218	0,448	0,274
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ	1883-1912	0,444	0,614	0,031	0,007	0,028	0,084	0,378	0,268
	1913-1942	0,251	0,371	0,187	0,092	0,001	0,049	0,319	0,195
	1943-1972	0,127	0,239	0,195	0,076	0,163	0,288	0,230	0,163
	1973-2002	0,061	0,102	0,606	0,464	0,121	0,230	0,274	0,198
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ	1883-1912	0,288	0,500	0,133	0,059	0,115	0,184	0,413	0,221
	1913-1942	0,206	0,359	0,291	0,181	0,054	0,117	0,352	0,125
	1943-1972	0,251	0,456	0,159	0,075	0,127	0,206	0,359	0,174
	1973-2002	0,059	0,159	0,456	0,288	0,171	0,258	0,326	0,161

Η παρατήρηση αυτή ισχύει για κάθε εποχή, με μια μικρή διαφοροποίηση στην περίπτωση του φθινοπώρου. Η πιθανότητα εμφάνισης ενός ψυχρού και πολύ ψυχρού (θερμού και πολύ θερμού) φθινοπώρου, παρουσιάζει αύξηση (ελάττωση) μεταξύ της 2^{ης} και της 3^{ης} περιόδου, για να ελαττωθεί (αυξηθεί) ξανά, μεταξύ των δύο προσφάτων 30ετιών. Η εντονότερη μεταβολή στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών εντοπίζεται μεταξύ των δύο προσφάτων 30ετιών. Μεταξύ των περιόδων αυτών, η παρατηρούμενη αύξηση της πιθανότητας των P75 και P90, είναι ανάλογης έντασης, εν συγκρίσει με την ελάττωση της πιθανότητας των P25 και P10,

στην περίπτωση των μεταβατικών εποχών, μικρότερης έντασης, στην περίπτωση του Χειμώνα και μεγαλύτερης, σε ότι αφορά το Καλοκαίρι.



Σχήμα 12. Απεικόνιση της μεταβολής της πιθανότητας εμφάνισης α) ψυχρών (P25), πολύ ψυχρών (P10), θερμών (P75), πολύ θερμών (P90) εποχών και β) ξηρών (P25), πολύ ξηρών (P10) υγρών (P75), πολύ υγρών (P90) εποχών, μεταξύ των επιμέρους περιόδων, στο σταθμό της Αθήνας.

Ειδικά για την περίπτωση του Καλοκαιριού, η αύξηση αυτή είναι πραγματικά αξιοσημείωτη. Γενικά, η πιθανότητα των θερμών (P75) εποχών, ακολουθεί την ίδια μεταβολή με αυτή των πολύ θερμών (P90), ενώ την αντίθετη μεταβολή ακολουθεί η πιθανότητα των ψυχρών (P25) και πολύ ψυχρών (P10) εποχών.

Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση (Σχήμα 12β), αξιοσημείωτη είναι η ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης υγρού (P75) και πολύ υγρού (P90) χειμώνα, μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου. Η ελάττωση της πιθανότητα των P75 συνεχίζει και μεταξύ 3^{ης} και 4^{ης} περιόδου, με σαφώς μικρότερη ένταση, σε αντίθεση με την πιθανότητα των P90, η οποία παρουσιάζει ασθενή αύξηση. Δηλαδή, στην περίπτωση αυτή οι μεταβολές της πιθανότητας των P75 και των P90 είναι αντίρροπες. Ταυτόχρονα, παρατηρείται μικρότερης έντασης συνεχής αύξηση της πιθανότητας ξηρού (P25) και πολύ ξηρού (P10) χειμώνα, με την πρώτη να παρουσιάζει τη μέγιστη απόλυτη τιμή της (0,34) την τελευταία 30ετία, ενώ αποτελεί και την επικρατέστερη, μεταξύ των πιθανοτήτων των υπολοίπων ακραίων τιμών της κλιματικής μεταβλητής την περίοδο αυτή. Η πιθανότητα η Άνοιξη να είναι ξηρή ή υγρή (και πολύ ξηρή ή υγρή), διατηρείται γενικά σταθερή, κατά τη διάρκεια των τριών πρώτων περιόδων. Τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης παρουσιάζει η υγρή (P75) άνοιξη και ακολουθεί η ξηρή (P25), με τιμές που κυμαίνονται γύρω στο 0,30 και 0,20 αντίστοιχα. Η πιθανότητα εμφάνισης πολύ ξηρής (P10) και υγρής (P90) άνοιξης, κυμαίνεται γύρω στο 0,15. Μεταξύ της 3^{ης} και της 4^{ης} περιόδου παρατηρείται αξιόλογη αύξηση της πιθανότητας των P75 και P90, σε σχέση με την μικρότερης έντασης αύξηση της πιθανότητας των P25 και P10. Αναφορικά με το Καλοκαίρι, μεταξύ των δύο πρώτων περιόδων, η πιθανότητα εμφάνισης υγρού (P75) και πολύ υγρού (P90) καλοκαιριού, είναι γενικά υψηλή (>0,20), σε αντίθεση με την πιθανότητα εμφάνισης ξηρού (P25) και πολύ ξηρού (P10) καλοκαιριού, η οποία κυμαίνεται σε χαμηλότερα, γενικά, επίπεδα (<0,08). Μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου παρατηρείται έντονη αύξηση της πιθανότητας των P25 και P10, σε αντίθεση με την πιθανότητα των P75 και κυρίως των P90, η οποία παρουσιάζει ασθενή ελάττωση. Μεταξύ 3^{ης} και 4^{ης} περιόδου, δεν παρατηρείται αξιόλογη μεταβολή στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων τιμών της κλιματικής μεταβλητής, την εποχή αυτή. Η πιθανότητα εμφάνισης υγρού (P75) και πολύ (P90) υγρού φθινοπώρου δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή, κατά τη διάρκεια των επιμέρους περιόδων και κυμαίνεται γύρω στο 0,30 και 0,15 αντίστοιχα. Αντίθετα, η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού (P25) και πολύ ξηρού (P10) φθινοπώρου, παρουσιάζει σταδιακή αύξηση, κατά τη διάρκεια των τριών προσφάτων περιόδων.

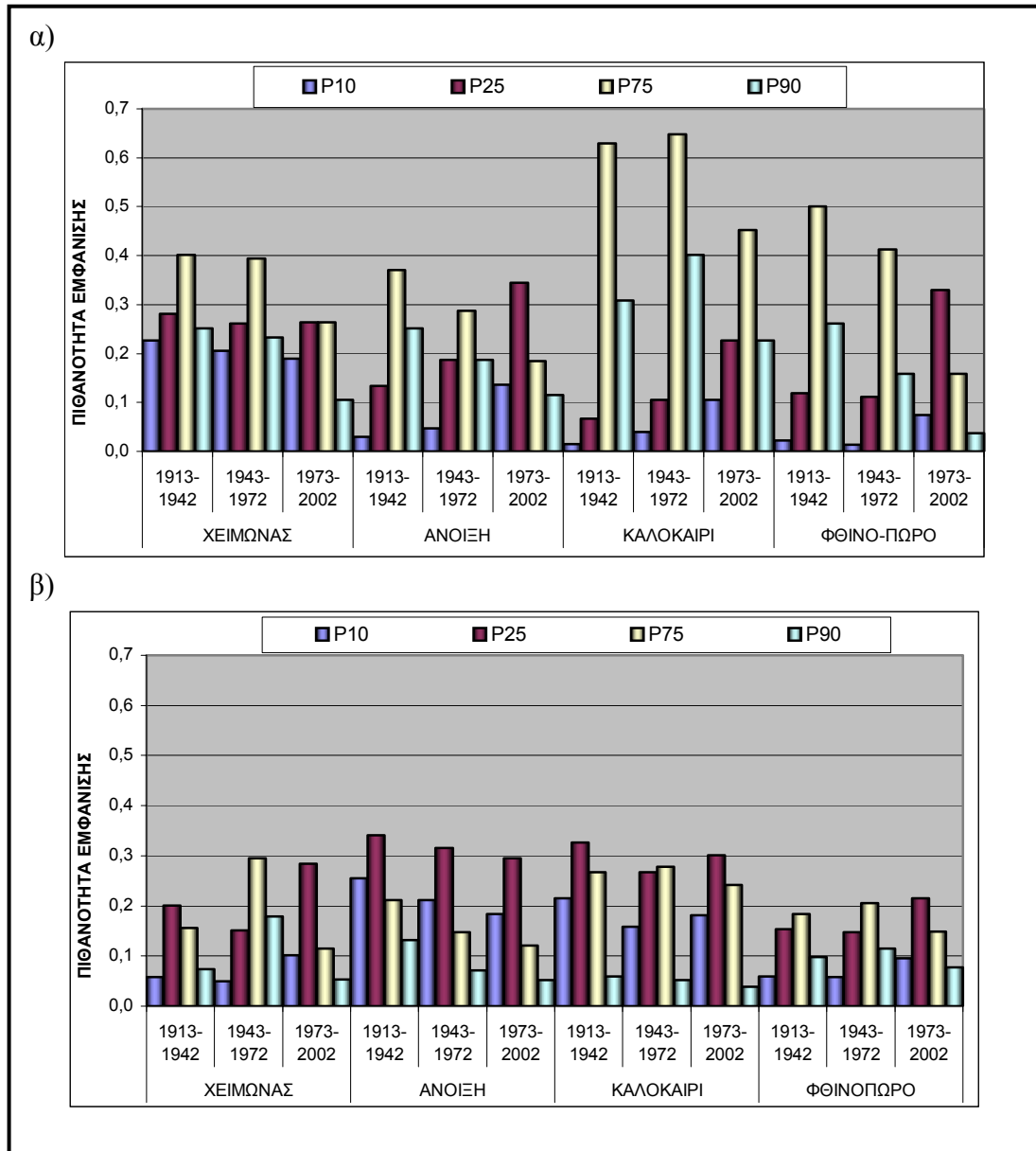
3.3.2 Πιθανότητα ψυχρών / ξηρών και θερμών / υγρών εποχών στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

Στη Θεσσαλονίκη και συγκεκριμένα, σε ότι αφορά στη θερμοκρασία (Σχήμα 13α), η πιθανότητα εμφάνισης ψυχρού (πολύ ψυχρού) και θερμού (πολύ θερμού) χειμώνα, δεν παρουσιάζει αξιόλογη μεταβολή. Οι θερμοί (P75) αλλά και οι πολύ θερμοί (P90) χειμώνες επικρατούν έναντι των ψυχρών (P25 και P10). Μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου, παρατηρείται μια σχετικά έντονη ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης των P75 και P90.

Πίνακας 10. Πιθανότητα εμφάνισης ψυχρών/ξηρών (P25), πολύ ψυχρών/ξηρών (P10), θερμών/υγρών (P75) και πολύ θερμών/υγρών (P90) εποχών, των επιμέρους περιόδων, στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

ΕΠΟΧΗ	ΠΕΡΙΟΔΟΣ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
		P10	P25	P75	P90	P10	P25	P75	P90
ΧΕΙΜΩ- ΝΑΣ	1913-1942	0,227	0,281	0,401	0,251	0,058	0,200	0,156	0,073
	1943-1972	0,206	0,261	0,394	0,233	0,049	0,151	0,295	0,179
	1973-2002	0,189	0,264	0,264	0,106	0,102	0,284	0,115	0,053
ΑΝΟΙΞΗ	1913-1942	0,029	0,133	0,371	0,251	0,255	0,341	0,212	0,131
	1943-1972	0,047	0,187	0,288	0,187	0,212	0,316	0,147	0,071
	1973-2002	0,136	0,345	0,184	0,115	0,184	0,295	0,121	0,052
ΚΑΛΟ- ΚΑΙΡΙ	1913-1942	0,015	0,067	0,629	0,308	0,215	0,326	0,268	0,059
	1943-1972	0,040	0,106	0,648	0,401	0,159	0,268	0,278	0,052
	1973-2002	0,106	0,227	0,452	0,227	0,181	0,301	0,242	0,039
ΦΘΙΝΟ- ΠΩΡΟ	1913-1942	0,023	0,119	0,500	0,261	0,059	0,154	0,184	0,098
	1943-1972	0,013	0,111	0,413	0,159	0,058	0,147	0,206	0,115
	1973-2002	0,075	0,330	0,159	0,037	0,095	0,215	0,149	0,078

Ίδια εικόνα με αυτή του Χειμώνα, παρατηρείται και στην περίπτωση του Καλοκαιριού, εντούτοις, τα μεγέθη διαφοροποιούνται σημαντικά. Τις δύο πρώτες περιόδους τα θερμά (P75) και πολύ θερμά (P90) καλοκαίρια, επικρατούν με σημαντικά μεγαλύτερη πιθανότητας εμφάνισης, σε αντίθεση με την πιθανότητα εμφάνισης των ψυχρών (P25) και πολύ ψυχρών (P10), η οποία διατηρείται σε επίσης σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα. Μεταξύ των δύο προσφάτων 30ετιών, η παρατηρούμενη ελάττωση των P75 και P90 είναι εντονότερη σε σχέση με την αντίστοιχη στην περίπτωση του Χειμώνα. Η ταυτόχρονη αύξηση της πιθανότητας των P25 και P10 είναι λιγότερο έντονη.



Σχήμα 13. Απεικόνιση της μεταβολής της πιθανότητας εμφάνισης α) ψυχρών (P25), πολύ ψυχρών (P10), θερμών (P75), πολύ θερμών (P90) εποχών και β) ξηρών (P25), πολύ ξηρών (P10) υγρών (P75), πολύ υγρών (P90) εποχών, μεταξύ των επιμέρους περιόδων, στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

Σε ότι αφορά την Άνοιξη και το Φθινόπωρο, η πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων τιμών των αντίστοιχων κλιματικών μεταβλητών, παρουσιάζει παρόμοια μεταβολή. Στην πρώτη περίπτωση, μεταξύ των τριών περιόδων, η πιθανότητα εμφάνισης θερμής (P75) και πολύ θερμής (P90) άνοιξης, ελαττώνεται σε αντίθεση με την πιθανότητα ψυχρής (P25) και πολύ ψυχρής (P10), η οποία παρουσιάζει αύξηση. Η αύξηση αυτή είναι εντονότερη μεταξύ των δύο προσφάτων περιόδων. Η πιθανότητα εμφάνισης θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) Φθινοπώρου, επίσης

ελαττώνεται, εντούτοις, η μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου ελάττωση, είναι εντονότερη, σε σχέση με την αντίστοιχη στην περίπτωση της Άνοιξης. Η μεταβολή αυτή λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ψυχρού (P25) και πολύ ψυχρού (P10) φθινοπώρου, η οποία είναι επίσης ιδιαίτερα έντονη.

Σχετικά με τη βροχόπτωση (Σχήμα 13β), αξιοσημείωτη είναι η αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ξηρού (P25) χειμώνα, μεταξύ 2^{ης} και 3^{ης} περιόδου, η οποία λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την έντονη ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης υγρού (P75) χειμώνα. Τόσο σε ότι αφορά τις μεταβατικές εποχές, όσο και το Καλοκαίρι, η πιθανότητα εμφάνισης ξηρής (P25) και πολύ ξηρής (P10) ή υγρής (P75) και πολύ υγρής (P90) εποχής, παρουσιάζει σταδιακή ελάττωση μεταξύ 1^{ης} και 3^{ης} περιόδου. Ειδικότερα, η πιθανότητα εμφάνισης ξηρής άνοιξης επικρατεί σε κάθε περίοδο και ακολουθεί η πιθανότητα εμφάνισης πολύ ξηρής άνοιξης. Σε ότι αφορά το Καλοκαίρι, την 1^η και 3^η περίοδο, τη μεγαλύτερη πιθανότητα σημειώνουν τα ξηρά και ακολουθούν τα υγρά καλοκαίρια. Τη 2^η περίοδο η πιθανότητα αυτών διαφέρει ελάχιστα, ενώ η πιθανότητα εμφάνισης υγρού καλοκαιριού βρίσκεται σε ελαφρώς χαμηλότερο επίπεδο. Η πιθανότητα εμφάνισης υγρού φθινοπώρου επικρατεί τις δύο πρώτες περιόδους και ακολουθεί η πιθανότητα ξηρού φθινοπώρου. Την πρόσφατη 30ετία η εικόνα αντιστρέφεται με υψηλότερη την πιθανότητα ξηρού φθινοπώρου.

Από τη σύγκριση των σχημάτων 12 και 13, διαπιστώνεται ότι, μεταξύ των κοινών, για τους δύο υπό μελέτη σταθμούς, περιόδων, οι μεταβολές στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών, διαφοροποιούνται, τόσο ως προς τον τύπο της μεταβολής, όσο και ως προς την ένταση αυτών. Για παράδειγμα, η πτωτική πορεία της πιθανότητας εμφάνισης ψυχρού και πολύ ψυχρού χειμώνα στην Αθήνα, λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με τη σταθερή γενικά πορεία της πιθανότητα εμφάνισης αυτών, στην Θεσσαλονίκη. Η χαρακτηριστική αύξηση της πιθανότητας θερμού και πολύ θερμού καλοκαιριού στην πρώτη, αντιστοιχεί στην μικρότερης έντασης ελάττωση της πιθανότητας αυτών, στη δεύτερη. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στην Αθήνα, η αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός θερμού καλοκαιριού, είναι τόσο έντονη, ώστε ένα καλοκαίρι με μέση θερμοκρασία 27°C, το οποίο θεωρείται ως θερμό, την περίοδο αναφοράς 1961-1990, την πρόσφατη 30ετία 1973-2002, είναι κανονικό και μάλιστα με πιθανότητα μεγαλύτερη από την πιθανότητα της μέσης τιμής (>50%). Η παρατηρούμενη έντονη αύξηση της πιθανότητας υγρής άνοιξης στην Αθήνα, λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την ασθενή ελάττωση αυτής στη Θεσσαλονίκη.

Σε κάθε περίοδο, διαφορετική είναι επίσης και η επικρατέστερη την κάθε εποχή πιθανότητα. Συγκεκριμένα, την πρόσφατη 30ετία (1973-2002), στην Αθήνα, πιθανότεροι είναι οι θερμοί και ξηροί χειμώνες, οι θερμές και υγρές μεταβατικές εποχές και τα θερμά και υγρά καλοκαίρια. Μια υγρή άνοιξη και ένα θερμό φθινόπωρο, της περιόδου 1961-1990, μπορούν επίσης να χαρακτηριστούν ως κανονικά την περίοδο 1973-2002, με τιμές ελάχιστα μικρότερες από την αντίστοιχη της μέσης τιμής. Στη Θεσσαλονίκη, την ίδια περίοδο, υψηλότερη είναι η πιθανότητα ψυχρού ή θερμού και ξηρού χειμώνα, ψυχρής και ξηρής Άνοιξης, θερμού και ξηρού Καλοκαιριού και θερμού και ξηρού Φθινοπώρου. Ένα καλοκαίρι με μέση θερμοκρασία 25,2°C, το οποίο θεωρείται ως θερμό, την περίοδο αναφοράς 1961-1990, την πρόσφατη 30ετία 1973-2002, μπορεί να θεωρηθεί κανονικό.

3.4 Μεταβολή πιθανότητας ακραίων εποχών σε σχέση με τις μεταβολές των μ και σ μεταξύ των επιμέρους περιόδων.

Λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρούμενες μεταβολές της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης (Πίνακες 5 και 6, Κεφάλαιο 2), καθώς και τα αποτελέσματα των ελέγχων t και F (Πίνακες 7 και 8), προκύπτει αρχικά το συμπέρασμα ότι, η πιθανότητα των ακραίων εποχών, ως προς τα ποσοστιαία σημεία P75 και P90 (P10 και P25) της περιόδου αναφοράς 1961-1990, παρουσιάζει γενικά την ίδια (αντίστροφη) μεταβολή, κατά τη διάρκεια των επιμέρους περιόδων, με αυτήν της μέσης τιμής. Μάλιστα, η μεταβολή αυτή είναι εντονότερη, μεταξύ εκείνων των περιόδων, στις οποίες, η μεταβολή της μέσης τιμής είναι στατιστικά σημαντική. Η μέγιστη τιμή πιθανότητας, σύμφωνα με τα P75 και P90, εντοπίζεται εκείνη την περίοδο με την υψηλότερη μέση τιμή και αντίστοιχα, η μέγιστη τιμή πιθανότητας, ως προς τα P25 και P10, εντοπίζεται την περίοδο με τη χαμηλότερη μέση τιμή, ανεξάρτητα την τιμή της τυπικής απόκλισης και στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Για παράδειγμα, στην Αθήνα, η πιθανότητα εμφάνισης θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) χειμώνα, παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή της, την 4η επιμέρους περίοδο (0,26 και 0,22 αντίστοιχα), της οποίας η μέση τιμή είναι επίσης η μεγαλύτερη (10,7°C), σε αντίθεση με την τυπική απόκλιση, η οποία είναι η μικρότερη σε σχέση με τις υπόλοιπες τρεις περιόδους (0,8°C). Στη Θεσσαλονίκη, η πιθανότητα ενός ξηρού (P25) και πολύ ξηρού (P10) φθινοπώρου, είναι μεγαλύτερη την 4^η περίοδο (0,21 και 0,9 αντίστοιχα), η οποία παρουσιάζει την ελάχιστη μέση τιμή (121,7 mm) και τη μέγιστη τυπική απόκλιση (56,3 mm).

Ένα ακόμη συμπέρασμα, το οποίο προκύπτει από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των Πινάκων 9 και 10, είναι το γεγονός ότι, οι μεταβολές της μέσης τιμής φαίνεται να προκαλούν εντονότερη μεταβολή στην πιθανότητα των ακραίων εποχών, σε σχέση με τις μεταβολές της τυπικής απόκλισης. Η παρατήρηση αυτή γίνεται αντιληπτή στις περιπτώσεις εκείνες όπου, η μεταβολή της πιθανότητας των ακραίων εποχών, λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με τη μεταβολή μιας μόνο εκ των δύο παραμέτρων. Για παράδειγμα, στην περίπτωση των φθινοπωρινών θερμοκρασιών μεταξύ των περιόδων 1943-1972 και 1973-2002, στο σταθμό της Αθήνας, παρατηρείται αύξηση της μέσης τιμής από 18,9°C σε 19,7°C (κατά 4% περίπου), σε αντίθεση με την τυπική απόκλιση, η οποία δεν μεταβλήθηκε (0,9°C). Η αύξηση της μέσης τιμής συνοδεύεται από την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης θερμού (κατά 180% περίπου) και πολύ θερμού (κατά 280% περίπου) φθινοπώρου και την ελάττωση της πιθανότητας ψυχρού (κατά 65% περίπου) και πολύ ψυχρού φθινοπώρου (κατά 75% περίπου).

Στην περίπτωση των εαρινών θερμοκρασιών μεταξύ των περιόδων 1913-1942 και 1943-1972, στον ίδιο σταθμό, η μέση τιμή δεν μεταβλήθηκε, σε αντίθεση με την τυπική απόκλιση, η οποία παρουσίασε αύξηση κατά 12,5%. Η μεταβολή αυτή συνοδεύεται από την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης, τόσο μιας θερμής (κατά 40% περίπου) και πολύ θερμής (κατά 60% περίπου) άνοιξης, όσο και μιας ψυχρής (κατά 4% περίπου) και πολύ ψυχρής (κατά 10% περίπου θερμοκρασιών). Οι μεταβολές αυτές, κυρίως στην περίπτωση των P75 και P90, είναι μεν αξιόλογες, εντούτοις, είναι αναλογικά σαφώς μικρότερες, σε σχέση με αυτές που προκλήθηκαν λόγω της μεταβολής της μέσης τιμής, στην προηγούμενη περίπτωση, παρότι η επί τοις εκατό μεταβολή της τελευταίας είναι σαφώς μικρότερη. Ανάλογα συμπεράσματα σχετικά με την σημασία της επίδρασης της μέσης τιμής, προκύπτουν και σε άλλες περιπτώσεις, όπως, για παράδειγμα, στις χειμερινές και εαρινές θερμοκρασίες της Θεσσαλονίκης των περιόδων 1913-1942 και 1943-1972 (ελάττωση της τυπικής απόκλισης και σταθερή μέση τιμή το χειμώνα, ελάττωση της μέσης τιμής και σταθερή τυπική απόκλιση την άνοιξη).

Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση, αντίστοιχα, συμπεράσματα δεν μπορούν να προκύψουν, καθώς δεν παρατηρούνται περιπτώσεις μεταβολής μιας μόνο εκ των δύο παραμέτρων, με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η άμεση σύγκριση των επιδράσεων αυτών, στην πιθανότητα των ακραίων τιμών της μεταβλητής. Επιπλέον, ακόμη και στην περίπτωση της θερμοκρασίας, το ερώτημα, ποιας παραμέτρου η μεταβολή επηρεάζει περισσότερο τη μεταβολή της πιθανότητας των ψυχρών / θερμών εποχών,

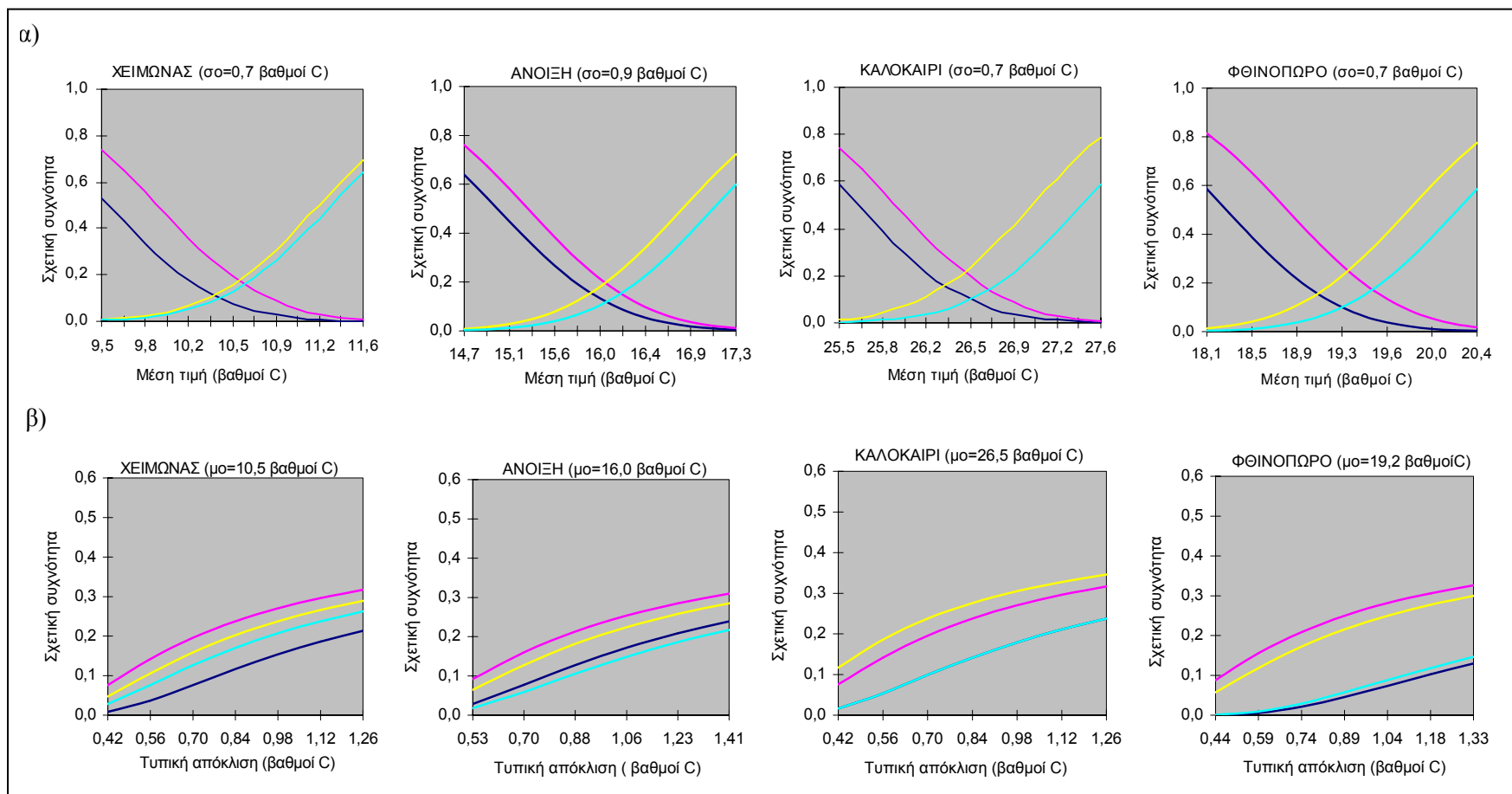
εξακολουθεί να παραμένει αναπάντητο. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, παρατηρείται συνδυασμός μεταβολών των μ και σ , με αποτέλεσμα η επίδραση της κάθε μεταβολής ξεχωριστά, να μην μπορεί να διαπιστωθεί άμεσα.

3.5 Θεωρητική μεταβολή πιθανότητας ακραίων εποχών

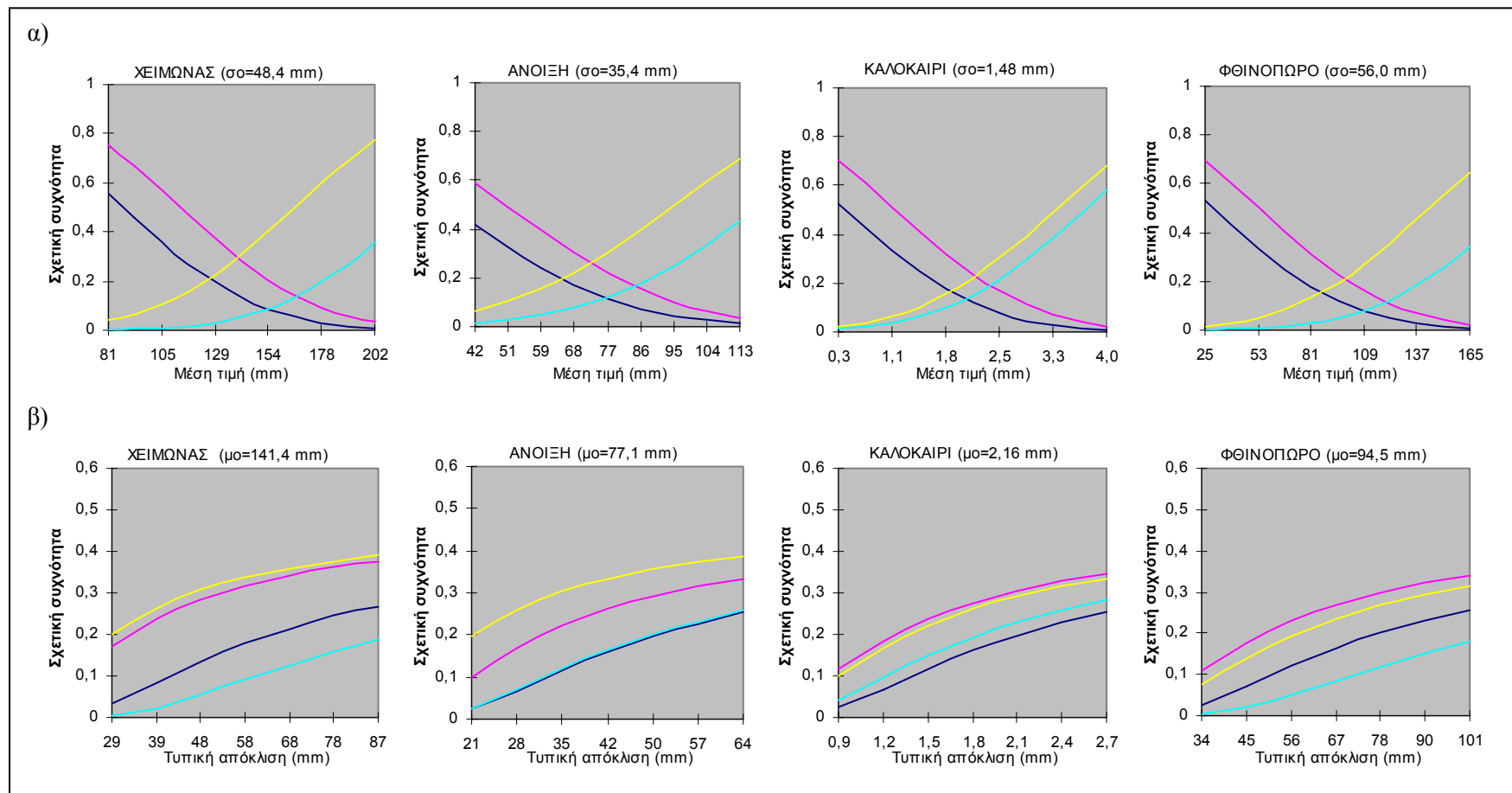
Σε μια προσπάθεια λεπτομερέστερης ανάλυσης των επιδράσεων των μεταβολών των μ και σ , στην πιθανότητα των ακραίων εποχών, οι δύο αυτές στατιστικές διαδικασίες ελήφθησαν ως δύο ανεξάρτητα γεγονότα και η πιθανότητα υπολογίστηκε θεωρώντας τη μεταβολή μιας μόνο εκ των δύο παραμέτρων και λαμβάνοντας την άλλη σταθερή. Στο Σχήμα 14 απεικονίζεται η θεωρητική συμπεριφορά της πιθανότητας των ψυχρών και θερμών εποχών (σε σχέση με τα ποσοστιαία σημεία της περιόδου αναφοράς) στο σταθμό της Αθήνας. Η πιθανότητα (σχετική συχνότητα) υπολογίζεται σαν συνάρτηση της μέσης τιμής και για σταθερή τυπική απόκλιση σ_0 (Σχ. 14α) και σαν συνάρτηση της τυπικής απόκλισης και για σταθερή μέση τιμή μ_0 (Σχ. 14β) (όπου μ_0 , σ_0 , η αντίστοιχη μέση τιμή και τυπική απόκλιση της περιόδου αναφοράς), σύμφωνα με τις σχέσεις (3.5) και (3.6). Ομοίως, παρουσιάζονται στα Σχήματα 15, 16 και 17, σε ότι αφορά τις εποχιακές βροχοπτώσεις της Αθήνας και τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι, το εύρος των τιμών των αξόνων x' , στα σχήματα 14 έως 17, επιλέχθηκε με βάση τις παρατηρούμενες μεταβολές στα πραγματικά δεδομένα. Όταν τα ποσοστιαία σημεία P25 και P75 (P10 και P90) απέχουν ίση απόσταση από τη μέση τιμή, τότε οι καμπύλες της πιθανότητας αυτών, για σταθερό σ , τέμνονται ακριβώς στην τιμή μ_0 (Σχ. 14α Καλοκαίρι), ενώ για σταθερό μ οι καμπύλες αλληλεπικαλύπτονται (Σχ. 14β Καλοκαίρι). Η περίπτωση της τομής των καμπύλων ακριβώς στη μέση τιμή μ_0 , για σταθερό σ , τόσο των P25 και P75, όσο και των P10 και P90 ή διαφορετικά, η πλήρης ταύτιση αυτών, για σταθερό μ , αντιπροσωπεύει την ιδανική περίπτωση της κανονικής κατανομής. Εντούτοις, επειδή στην προκειμένη περίπτωση τα δεδομένα προσεγγίζουν την κανονική κατανομή, η τομή των δύο καμπύλων, για σταθερό σ , βρίσκεται στις περισσότερες περιπτώσεις εκατέρωθεν της τιμής μ_0 , εντούτοις σε κοντινή απόσταση από αυτήν. Όταν το P75 απέχει μεγαλύτερη απόσταση από το P25, τότε οι καμπύλες αυτών τέμνονται για $\mu > \mu_0$. Αντίθετα, όταν το P75 απέχει μικρότερη απόσταση από το P25, τότε η τομή τους εντοπίζεται στο σημείο $\mu < \mu_0$. Τα ίδια ακριβώς συμπεράσματα ισχύουν και στην περίπτωση των P10 και P90.

Παρατηρώντας το Σχήμα 14, γίνεται άμεσα αντιληπτό ότι, η καμπύλη της πιθανότητας εμφάνισης των ψυχρών (πολύ ψυχρών) και θερμών (πολύ θερμών) εποχών, στην Αθήνα, για σταθερή τυπική απόκλιση (Σχ. 14α), παρουσιάζει την ίδια εκθετική μορφή σε κάθε εποχή, σε αντίθεση με τη σχεδόν ευθεία μορφή της καμπύλης της πιθανότητας αυτών, για σταθερή μέση τιμή (Σχ. 14β). Για παράδειγμα, στην περίπτωση των θερινών θερμοκρασιών, για μεταβολή της μέσης τιμής από 25,5°C σε 27,6°C, δηλαδή κατά 8% περίπου, η πιθανότητα των P75 (P90) παρουσιάζει αύξηση από 0 έως 0,8 (από 0 έως 0,6). Αντίθετα, για μεταβολή της τυπικής απόκλισης από 0,42°C σε 1,26°C, δηλαδή κατά 200% περίπου, η πιθανότητα των P75 (P90) παρουσιάζει αύξηση από 0 έως 0,35 (από 0 έως 0,23). Δηλαδή, μια μικρή μεταβολή της μέσης τιμής μπορεί να προκαλέσει σημαντική μεταβολή στην πιθανότητα των ακραίων εποχών, σε αντίθεση με την τυπική απόκλιση της οποίας ακόμη και οι έντονες μεταβολές διαφοροποιούν μεν την πιθανότητα των ακραίων εποχών, οι τιμές αυτής δε κυμαίνονται σε σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα. Η παρατήρηση αυτή ισχύει για όλες τις εποχές, τόσο σε ότι αφορά τη θερμοκρασία (Σχ. 14), όσο και τη βροχόπτωση (Σχ. 15). Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης (Σχ. 16 και 17). Στην περίπτωση της μέσης τιμής, η πιθανότητα είναι αύξουσα συνάρτηση του μ , για τις θερμές / υγρές (P75) και εξαιρετικά θερμές / υγρές (P90) εποχές και φθίνουσα για τις ψυχρές / ξηρές (P25) και εξαιρετικά ψυχρές / ξηρές (P10) εποχές. Στην περίπτωση της τυπικής απόκλισης, η πιθανότητα, τόσο των P75 και P90, όσο και των P25 και P10 είναι αύξουσα συνάρτηση του σ .

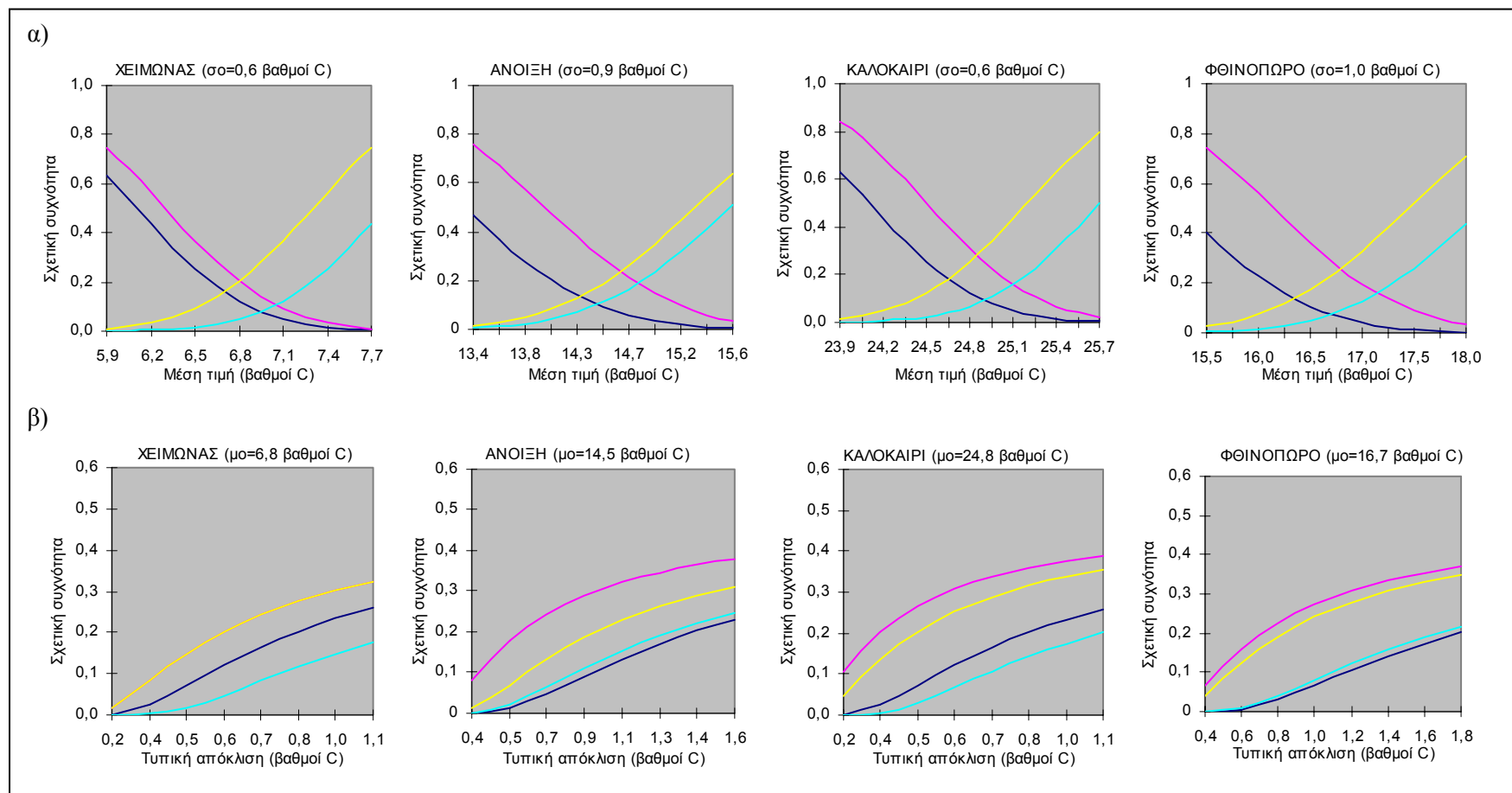
Συνεχίζοντας με το παράδειγμα των θερινών θερμοκρασιών της Αθήνας (Σχήμα 14) παρατηρείται ότι, όσο αυξάνει (ελαττώνεται) η μέση τιμή, η μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης θερμού (ψυχρού) καλοκαιριού είναι πιο απότομη, σε σχέση με τη μεταβολή της πιθανότητας ενός πολύ θερμού (ψυχρού) καλοκαιριού. Η διαφοροποίηση αυτή μεταξύ των καμπυλών των P75 και P90 (P25 και P10) παρατηρείται σε κάθε εποχή, τόσο σε ότι αφορά τις εποχιακές θερμοκρασίες της Αθήνας, όσο και τις εποχιακές βροχοπτώσεις (Σχ. 15). Η ίδια εικόνα απαντάται και στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης (Σχήματα 16 και 17). Η απόσταση μεταξύ των καμπυλών των P75 και P90 (P25 και P10) είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο περισσότερο απέχει το P90 από το P75 (το P10 από το P25), όπως για παράδειγμα στην περίπτωση των χειμερινών υψών βροχής της Αθήνας (Σχήμα 15α). Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει ότι, η επίδραση της μέσης τιμής, στην πιθανότητα εμφάνισης των



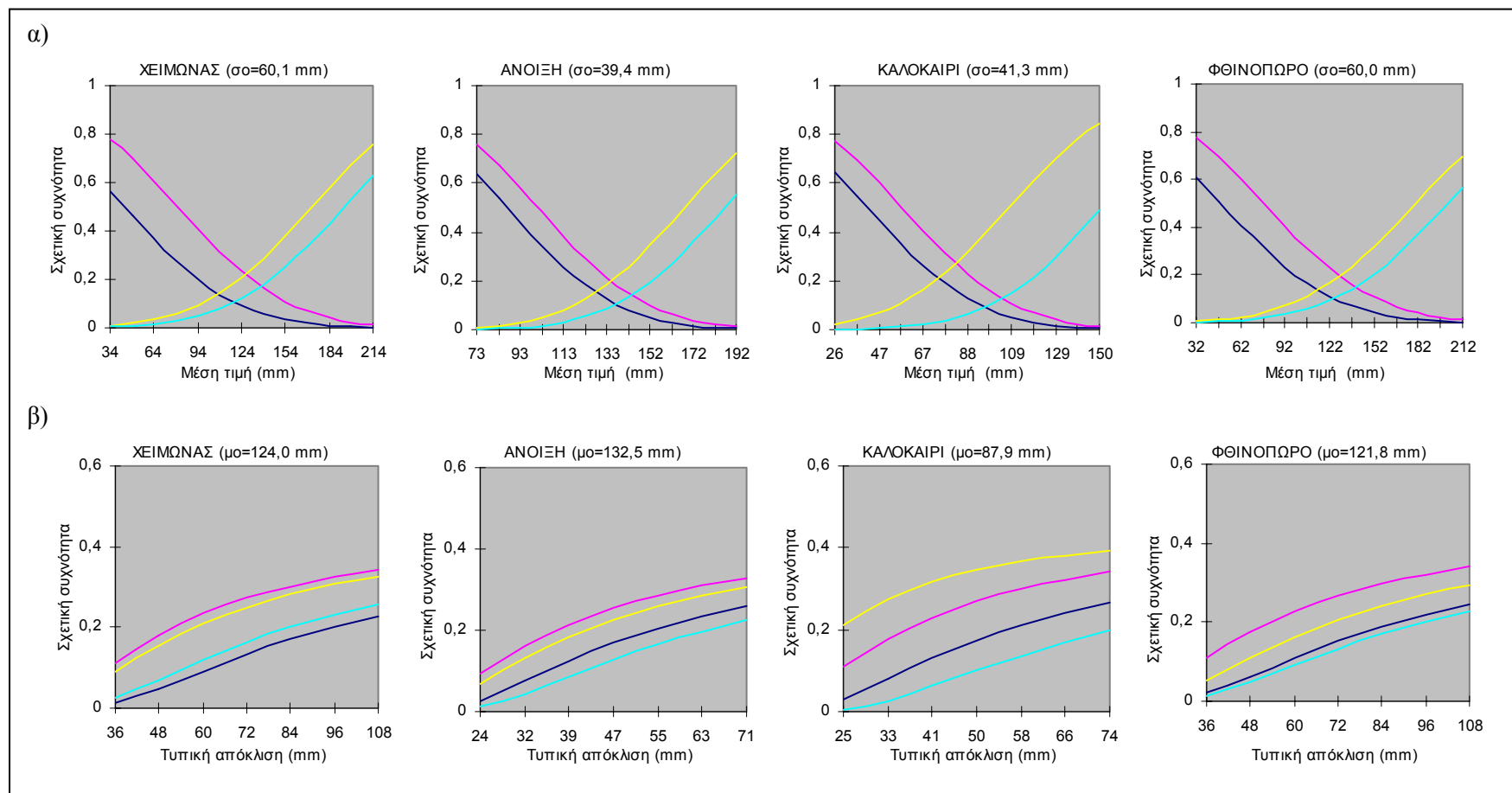
Σχήμα 14. Θεωρητική πιθανότητα (σχετική συχνότητα) εμφάνισης πολύ ψυχρών (—P10), ψυχρών (—P25), θερμών (—P75) και πολύ θερμών (—P90) εποχών, στην Αθήνα, για σταθερή τυπική απόκλιση (α) και για σταθερή μέση τιμή (β) και ίσες με τις αντίστοιχες της περιόδου 1961-1990 (μo, σo).



Σχήμα 15. Θεωρητική πιθανότητα (σχετική συχνότητα) εμφάνισης πολύ ξηρών (—P10), ξηρών (—P25), υγρών (—P75) και πολύ υγρών (—P90) εποχών, στην Αθήνα, για σταθερή τυπική απόκλιση (α) και για σταθερή μέση τιμή (β) και ίσες με τις αντίστοιχες της περιόδου 1961-1990 (μ ο, σ ο).

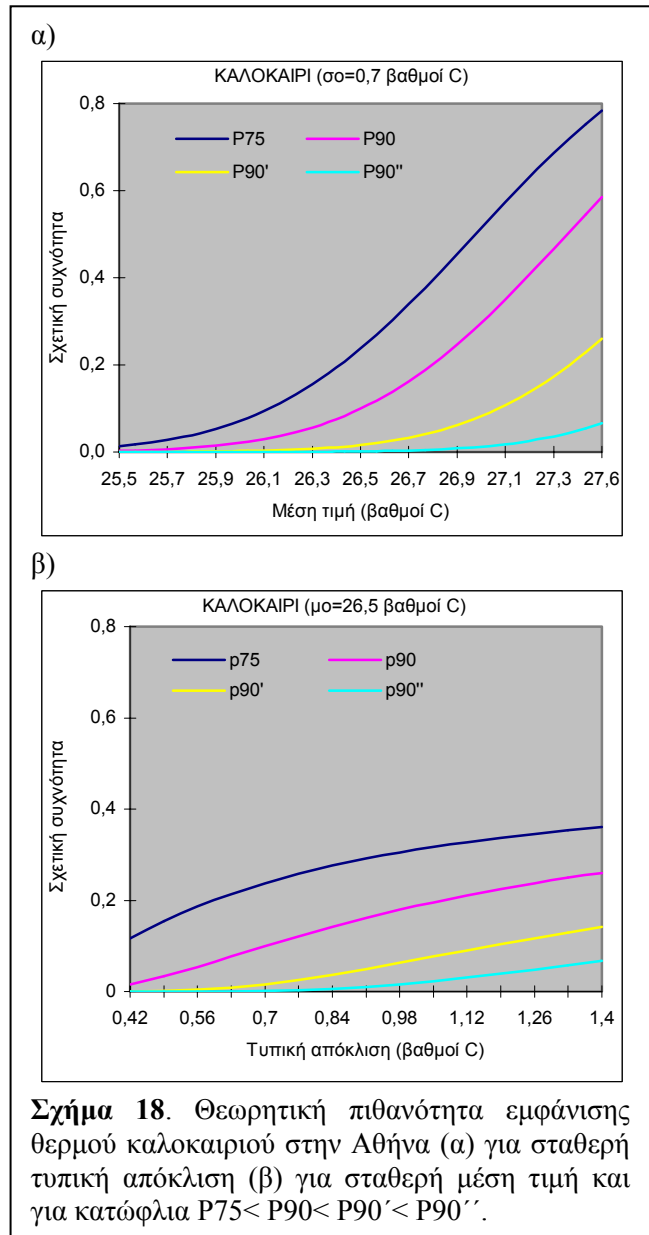


Σχήμα 16. Θεωρητική πιθανότητα (σχετική συχνότητα) εμφάνισης πολύ ψυχρών (—P10), ψυχρών (—P25), θερμών (—P75) και πολύ θερμών (—P90) εποχών, στη Θεσσαλονίκη, για σταθερή τυπική απόκλιση (α) και για σταθερή μέση τιμή (β) και ίσες με τις αντίστοιχες της περιόδου 1961-1990 (μ , σ).



Σχήμα 17. Θεωρητική πιθανότητα (σχετική συχνότητα) εμφάνισης πολύ ξηρών (—P10), ξηρών (—P25), υγρών (—P75) και πολύ υγρών (—P90) εποχών, στη Θεσσαλονίκη, για σταθερή τυπική απόκλιση (α) και για σταθερή μέση τιμή (β) και ίσες με τις αντίστοιχες της περιόδου 1961-1990 (μ_0 , σ_0).

ακραίων εποχών, είναι εντονότερη, όσο μικρότερη είναι η απόσταση του ποσοστιαίου σημείου από τη μέση τιμή.



Αν χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερο κατώφλι για τον καθορισμό θερμού καλοκαιριού στην Αθήνα ($P90'=28^{\circ}\text{C}$, $P90''=28,6^{\circ}\text{C}$) παρατηρούμε ότι, όσο αυξάνει το κατώφλι, δηλαδή όσο πιο ακραίο είναι το φαινόμενο, τόσο πιο ομαλή είναι η μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης αυτών, λόγω της μεταβολής της μέσης τιμής (Σχήμα 18α). Η μορφή της καμπύλης της πιθανότητας εμφάνισης θερμού καλοκαιριού, για σταθερή τυπική απόκλιση, τείνει να παρουσιάσει την ίδια εικόνα με την αντίστοιχη καμπύλη της πιθανότητας για σταθερή μέση τιμή, όσο αυξάνει το κατώφλι (Σχήμα 18β). Επιπλέον, για υψηλές γενικά τιμές της τυπικής απόκλισης, η αύξηση αυτής διαμορφώνει

υψηλότερες τιμές πιθανότητας, όσο αυξάνει το κατώφλι, σε σχέση με την αύξηση της μέσης τιμής, για επίσης υψηλές τιμές αυτής. Τα ίδια ακριβώς συμπεράσματα προκύπτουν αν ελαττωθεί το κατώφλι για τον καθορισμό ψυχρού καλοκαιριού.

Η παραπάνω διαπίστωση σχετικά με την επίδραση της τυπικής απόκλισης στην πιθανότητα εμφάνισης ακραίου καλοκαιριού, είναι αντιπροσωπευτική για κάθε εποχή και στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, τόσο σε ότι αφορά τη θερμοκρασία, όσο και στη βροχόπτωση. Εντούτοις, με τα συγκεκριμένα κατώφλια που επιλέχθηκαν, για τον καθορισμό των ακραίων εποχών, η μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης αυτών φαίνεται, ότι επηρεάζεται περισσότερο από τη μεταβολή της μέσης τιμής. Έτσι,

σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής, η πιθανότητα των θερμών (ψυχρών) εποχών ελαττώνεται (αυξάνει), όταν ελαττώνεται η μέση τιμή και αυξάνεται, όταν η τυπική απόκλιση αυξάνει. Κατά συνέπεια, όταν η μέση τιμή ελαττωθεί και η τυπική απόκλιση είναι σταθερή, τότε η πιθανότητα των θερμών / υγρών (ψυχρών / ξηρών) εποχών θα πρέπει να ελαττωθεί (αυξηθεί). Για παράδειγμα, στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, μεταξύ των περιόδων 1943-1972 και 1973-2002, εντοπίστηκε στατιστικά σημαντική ελάττωση της μέσης τιμής των χειμερινών υψών βροχής κατά 22% (από 141,0 mm σε 110,1 mm), σε αντίθεση με την τυπική απόκλιση η οποία δεν μεταβλήθηκε. Η μεταβολή αυτή συνοδεύεται, αφενός από την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ξηρού χειμώνα (από 0,16 σε 0,31, χρησιμοποιώντας το P25 ποσοστιαίο σημείο και από 0,05 σε 0,13 χρησιμοποιώντας το P10), αφετέρου από την ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης υγρού χειμώνα (από 0,30 σε 0,15 χρησιμοποιώντας το P75 ποσοστιαίο σημείο και από 0,19 σε 0,08 χρησιμοποιώντας το P90).

Στην περίπτωση των θερινών θερμοκρασιών της Αθήνας, μεταξύ των ίδιων περιόδων, εντοπίστηκε στατιστικά σημαντική αύξηση, της μέσης τιμής κατά 3% (από 26,4°C σε 27,3°C). Η μεταβολή αυτή, σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής, συνοδεύεται από την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης θερμού καλοκαιριού (από 0,19 σε 0,66 χρησιμοποιώντας το P75 ποσοστιαίο σημείο και από 0,07 σε 0,44 χρησιμοποιώντας το P90), καθώς και από την ελάττωση της πιθανότητας εμφάνισης ψυχρού καλοκαιριού (από 0,23 σε 0,02 χρησιμοποιώντας το P25 ποσοστιαίο σημείο και από 0,12 σε 0,01 χρησιμοποιώντας το P10). Μεταξύ των ίδιων περιόδων στην Αθήνα εντοπίστηκε, επίσης, στατιστικά σημαντική αύξηση της τυπικής απόκλισης από 0,7°C σε 1,1°C (57%). Σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής και για σταθερό μ , η μεταβολή αυτή συνοδεύεται από την αύξηση της πιθανότητας, τόσο των P75 (από 0,23 σε 0,32) και P90 (0,1 σε 0,20), όσο και των P25 (0,19 σε 0,29) και P10 (από 0,1 σε 0,20). Ο συνδυασμός και των δύο μεταβολών (Πίνακας 9) οδηγεί, αφενός, στην αύξηση της πιθανότητας των P75 (από 0,19 σε 0,60) και P90 (από 0,07 σε 0,46), αφετέρου, στην ελάττωση της πιθανότητας των P25 (από 0,23 σε 0,1) και P10 (από 0,12 σε 0,06). Από τη σύγκριση των τιμών της πιθανότητας των P10, P25, P75 και P90, επιβεβαιώνεται η σημασία της μεταβολής της μέσης τιμής στην μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης ακραίου καλοκαιριού στο σταθμό της Αθήνας, καθώς είτε ληφθεί υπόψη η μεταβολή της τυπικής απόκλισης,

είτε όχι, η πιθανότητα των ακραίων εποχών μεταβάλλεται κατά τέτοιο τρόπο και σε τέτοιο βαθμό «υπακούοντας» στην επίδραση της μεταβολής της μέσης τιμής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ μ ΚΑΙ σ ΚΑΙ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΕΠΟΧΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΟΜΕΝΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Η μελέτη της μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών, μεταξύ των επιμέρους περιόδων, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, έδειξε κάποια κοινά χαρακτηριστικά με την αντίστοιχη μεταβολή της μέσης τιμής. Επιπλέον, η εφαρμογή του απλού στατιστικού μοντέλου, για δύο διαφορετικές αρχικές συνθήκες (σταθερή μέση τιμή και σταθερή τυπική απόκλιση) ανέδειξε την έντονη επίδραση της μέσης τιμής στη μεταβολή της πιθανότητας των ακραίων εποχών. Η επίδραση της μέσης τιμής είναι μεγαλύτερη, όσο μικρότερη είναι η απόσταση του ποσοστιαίου σημείου, για τον καθορισμό των ακραίων εποχών, από αυτήν. Αντίθετα, η επίδραση της τυπικής απόκλισης φαίνεται να είναι εντονότερη, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του ποσοστιαίου σημείου από τη μέση τιμή, δηλαδή, όσο πιο ακραίο είναι το φαινόμενο.

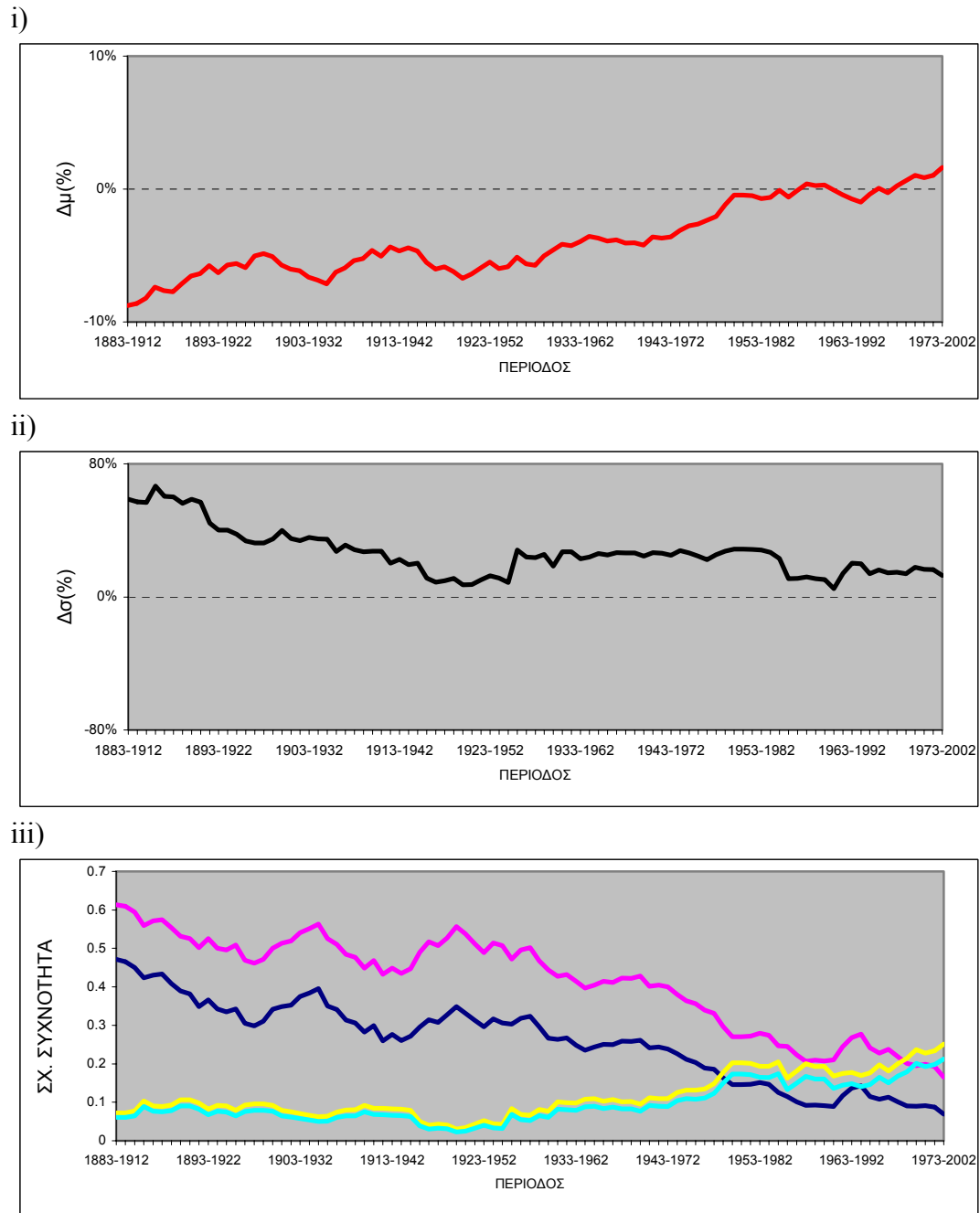
Η χρήση των ποσοστιαίων σημείων P10, P25, P75 και P90 της περιόδου αναφοράς 1961-1990 και της κανονικής (λογαριθμοκανονικής για τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας) κατανομής, αποτελούν μια αντικειμενική και ακριβή μέθοδο υπολογισμού της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών. Εντούτοις, ο αριθμός των επιμέρους περιόδων, στις οποίες διαχωρίστηκαν οι χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στους δύο σταθμούς, δεν επαρκεί, ώστε να μπορεί να ειπωθεί με μικρή πιθανότητα σφάλματος, ότι η επίδραση της μέσης τιμής είναι σημαντικότερη από την επίδραση της τυπικής απόκλισης, στη μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών. Η εφαρμογή της μεθόδου αυτής, προκειμένου για τη διεξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, προϋποθέτει μεγαλύτερο αριθμό επιμέρους περιόδων.

Αρχικά, για την κατασκευή μεγάλου δείγματος υποπεριόδων, τόσο σε ότι αφορά την πιθανότητα των ακραίων εποχών, όσο και τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση, οι

χρονοσειρές των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, διαχωρίστηκαν σε ένα πλήθος επικαλυπτόμενων περιόδων μήκους 30 ετών. Εν συνεχεία, σε κάθε επικαλυπτόμενη περίοδο, υπολογίστηκε η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η πιθανότητα των ακραίων εποχών, σύμφωνα με τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90. Τονίζεται ότι, το ενδιαφέρον κατά τη μελέτη των αποτελεσμάτων δεν επικεντρώνεται στη χρονική εξέλιξη των χρονοσειρών, αλλά στην διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των μεταβολών της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης και των μεταβολών της πιθανότητας των ακραίων εποχών.

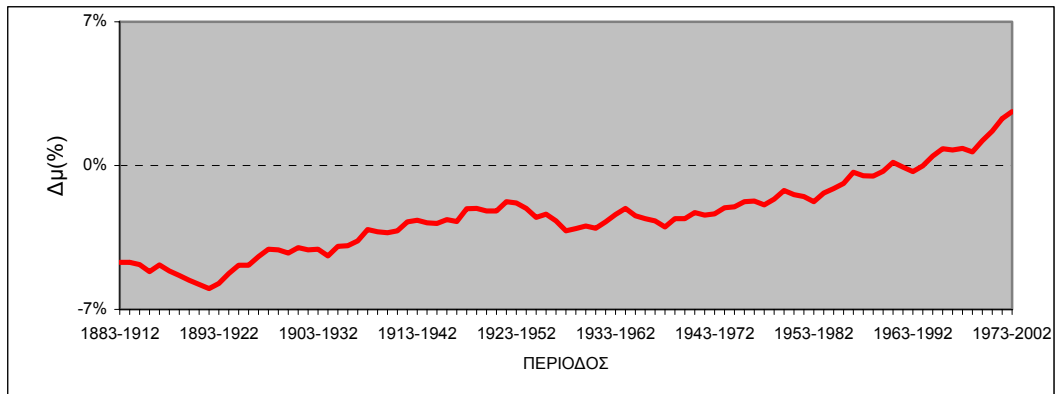
4.2 Μεταβολή πιθανότητας ακραίων εποχών σε σχέση με τις μεταβολές των μ και σ μεταξύ των επικαλυπτόμενων περιόδων.

Από το διαχωρισμό των χρονοσειρών σε επικαλυπτόμενες 30ετίες, προκύπτουν 91 περίοδοι για τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της Αθήνας και 61 περίοδοι για της Θεσσαλονίκης. Σε κάθε επιμέρους περίοδο, όπως ειπώθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο, υπολογίστηκε η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η πιθανότητα (σχετική συχνότητα) εμφάνισης των ακραίων (P10, P25, P75, P90) εποχών, σύμφωνα με τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7) και (3.8) (Κεφάλαιο 3). Τα αποτελέσματα της μεθόδου του κινούμενου μέσου, απεικονίζονται γραφικά στα Σχήματα 19 και 20 (Σχήματα 21 και 22) σε ότι αφορά τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις, αντίστοιχα, της Αθήνας (Θεσσαλονίκης). Στα σχήματα αυτά, προτιμήθηκε για λόγους σύγκρισης, η μέση τιμή μ και η τυπική απόκλιση σ , κάθε επιμέρους επικαλυπτόμενης περιόδου να εκφραστούν ως επί τοις εκατό αποκλίσεις από τις αντίστοιχες τιμές μ_0 και σ_0 της περιόδου αναφοράς 1961-1990.

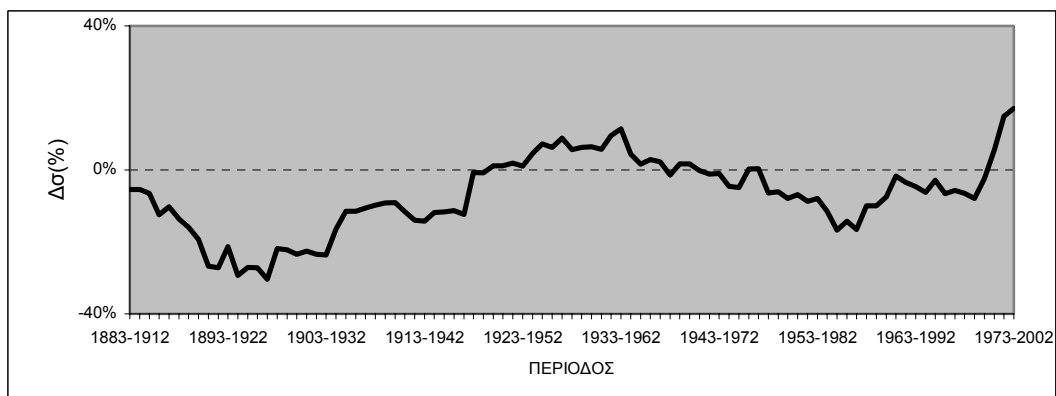


Σχήμα 19α. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρού (P10), ψυχρού (P25), θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) Χειμώνα (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

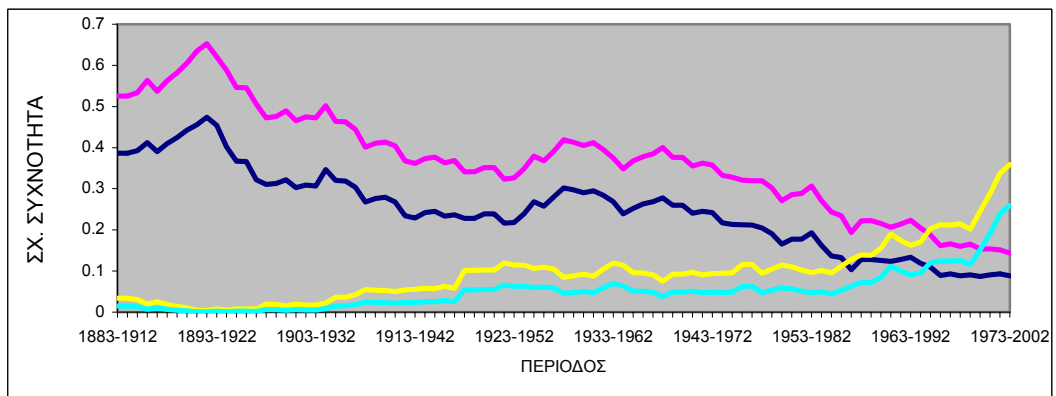
i)



ii)

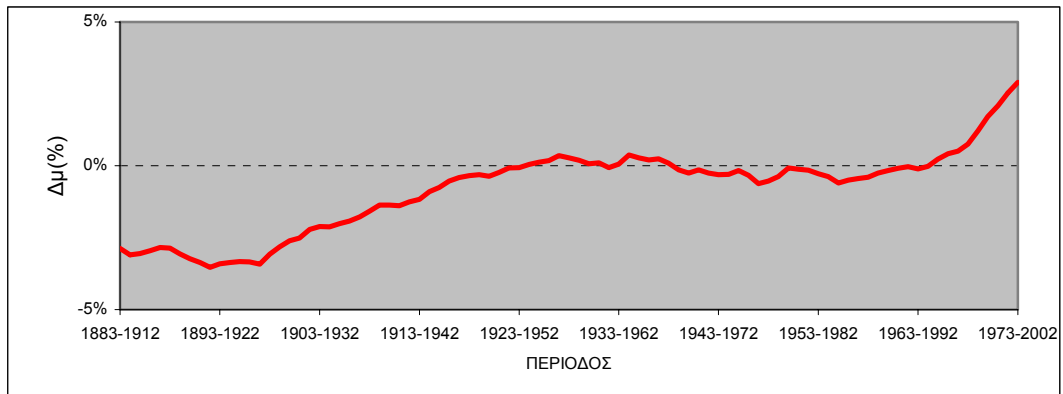


iii)

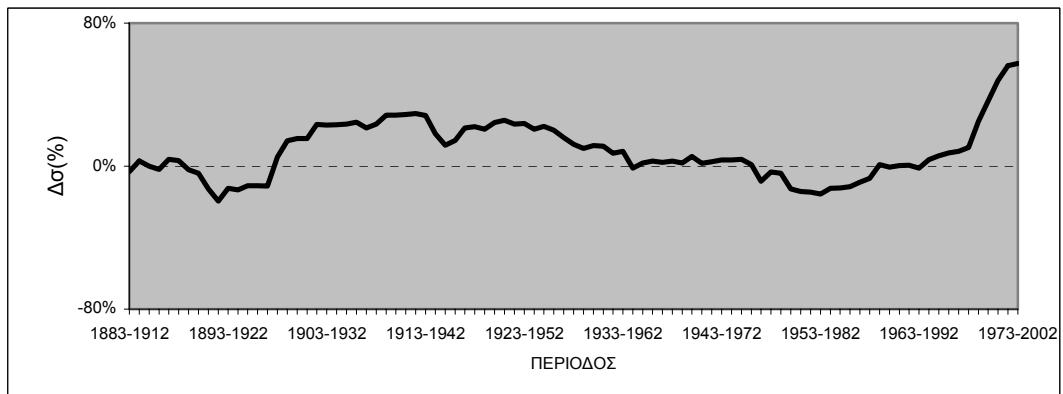


Σχήμα 19β. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρής (P10), ψυχρής (P25), θερμής (P75) και πολύ θερμής (P90) Άνοιξης (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

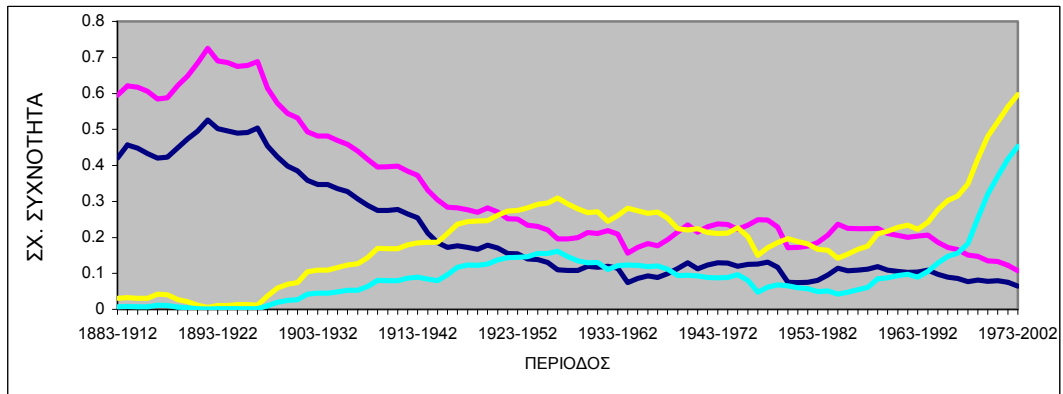
i)



ii)

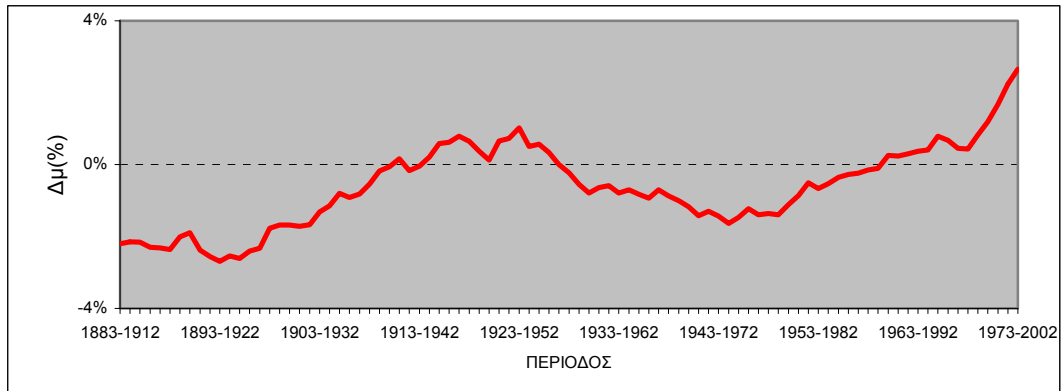


iii)

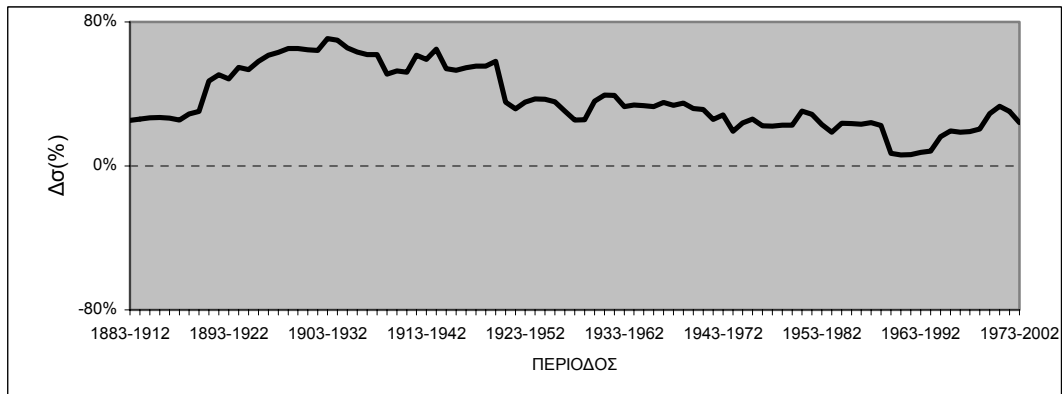


Σχήμα 19γ. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρού (P10), ψυχρού (P25), θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) Καλοκαιριού (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

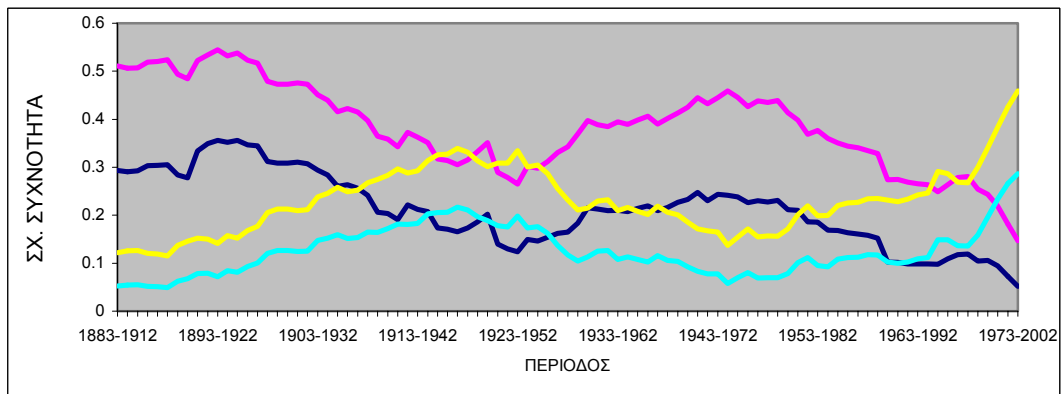
i)



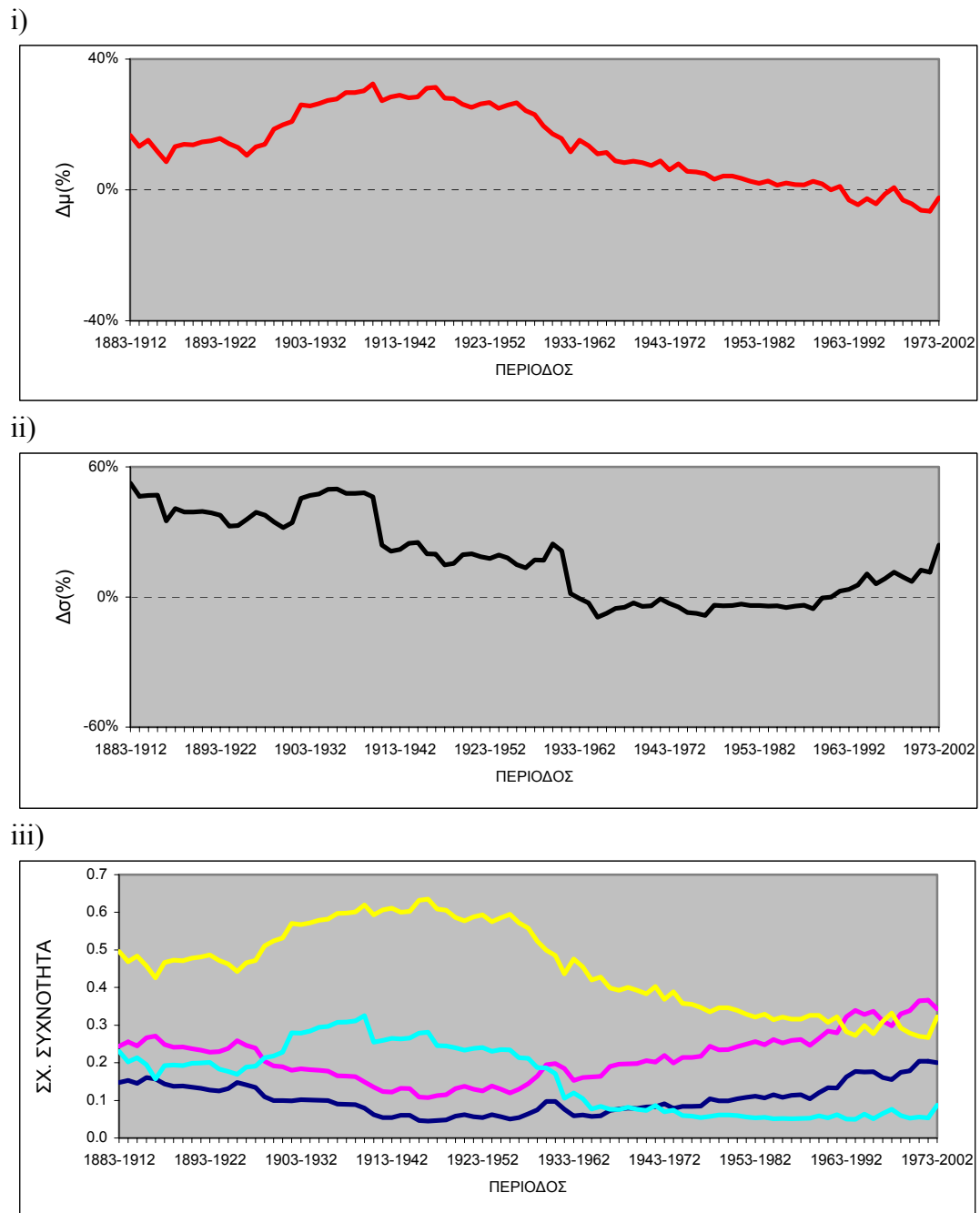
ii)



iii)

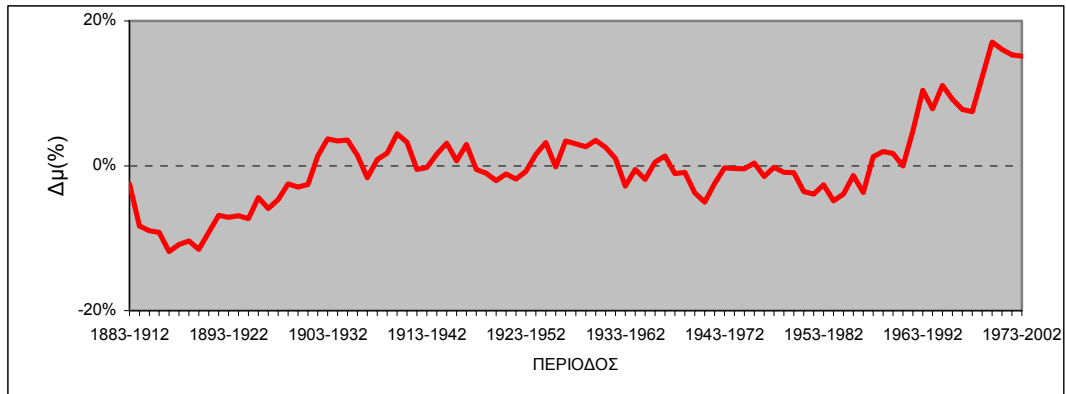


Σχήμα 19δ. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρού (P10), ψυχρού (P25), θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) Φθινοπώρου (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

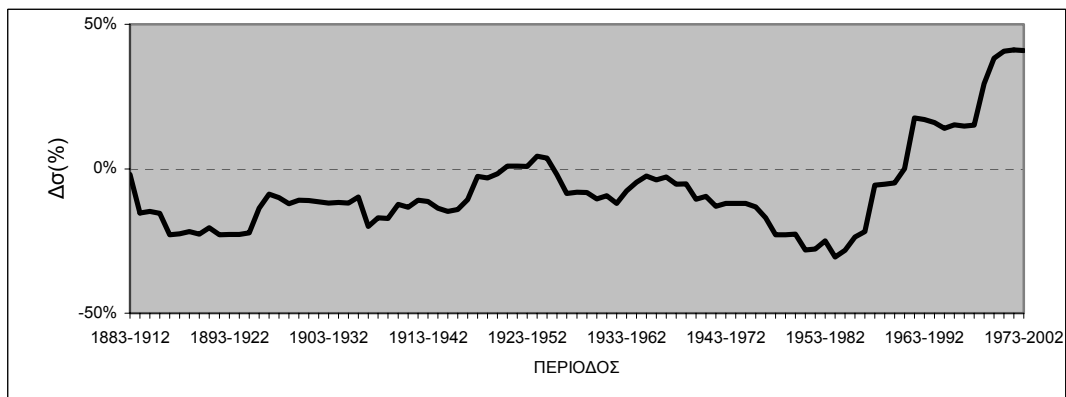


Σχήμα 20α. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ξηρού (P10), ξηρού (P25), υγρού (P75) και πολύ υγρού (P90) Χειμώνα (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

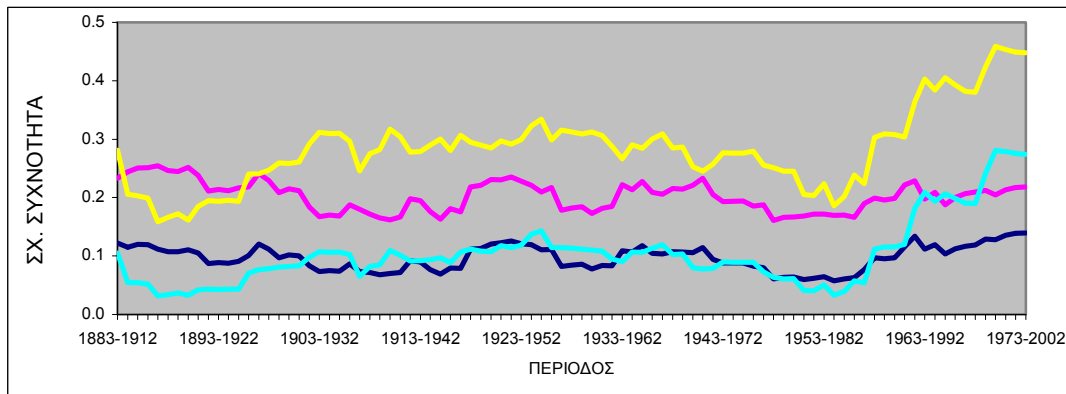
i)



ii)

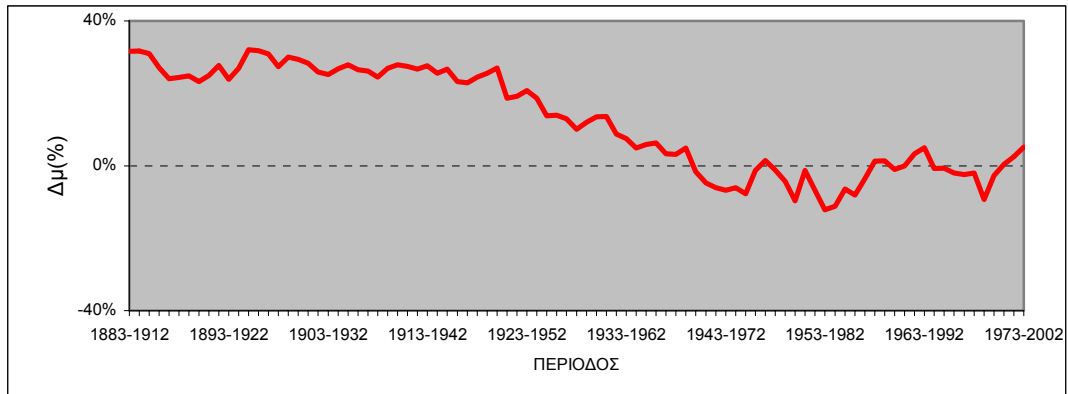


iii)

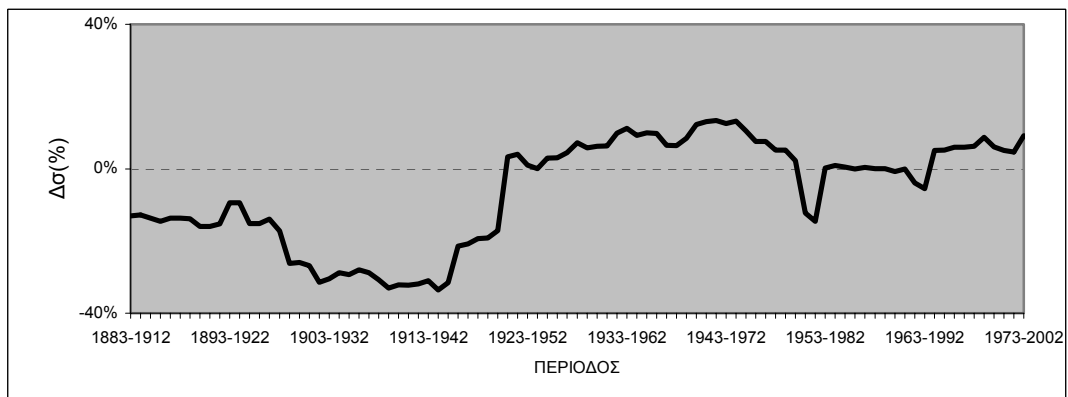


Σχήμα 20β. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ξηρής (P10), ξηρής (P25), υγρής (P75) και πολύ υγρής (P90) Άνοιξης (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

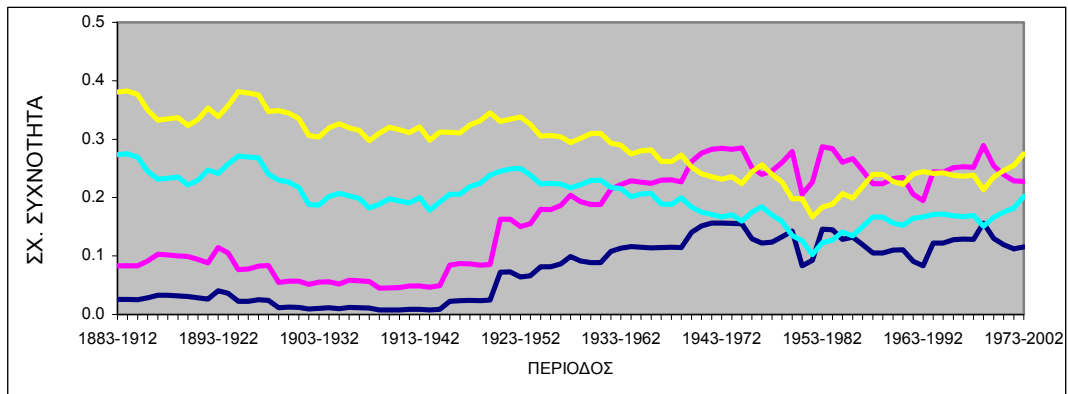
i)



ii)

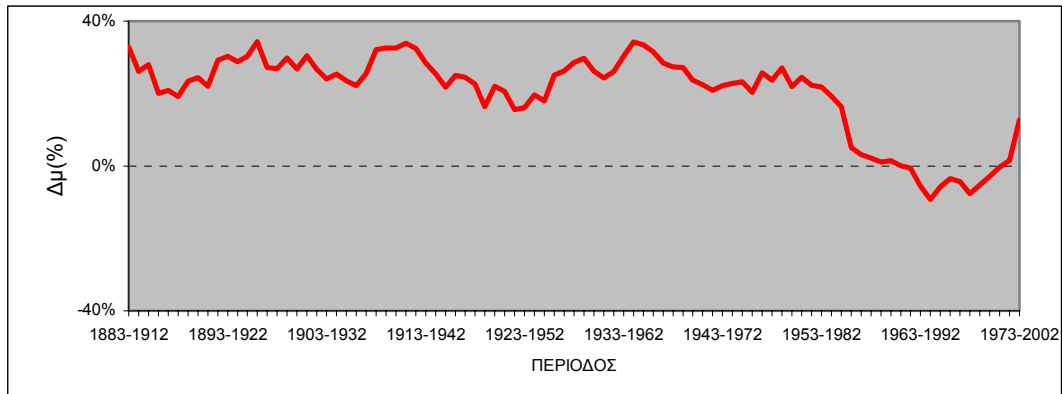


iii)

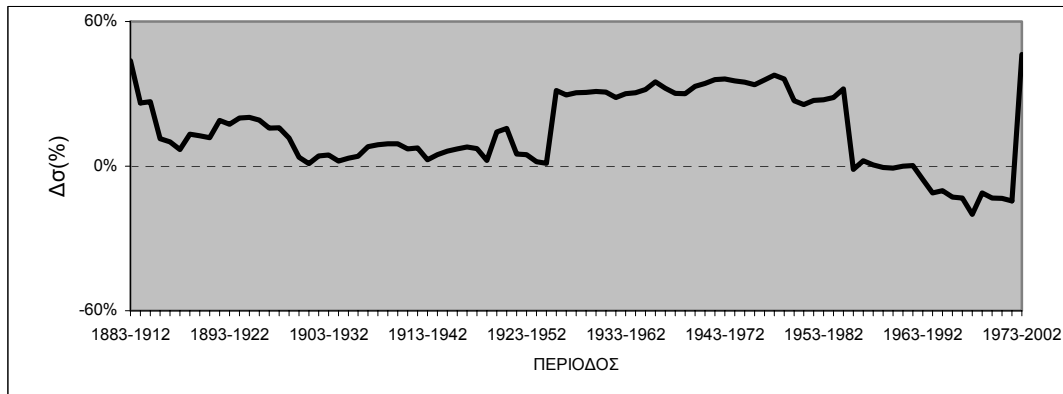


Σχήμα 20γ. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ξηρού (P10), ξηρού (P25), υγρού (P75) και πολύ υγρού (P90) Καλοκαιριού (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

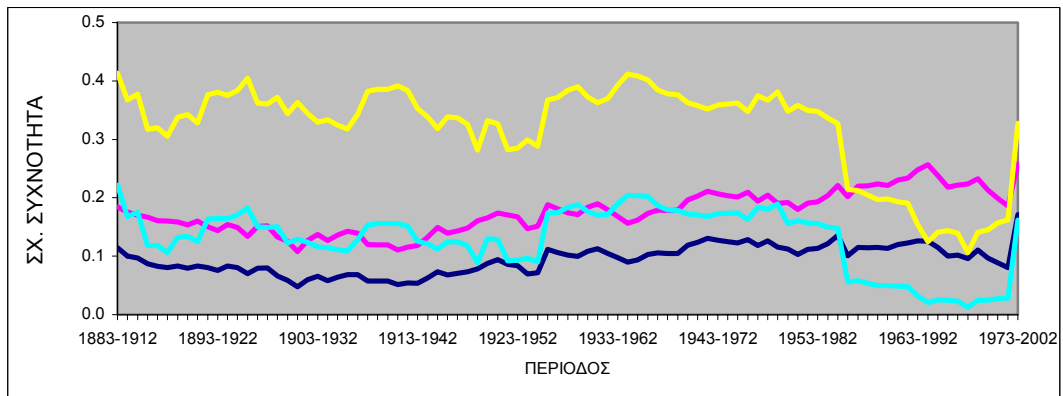
i)



ii)

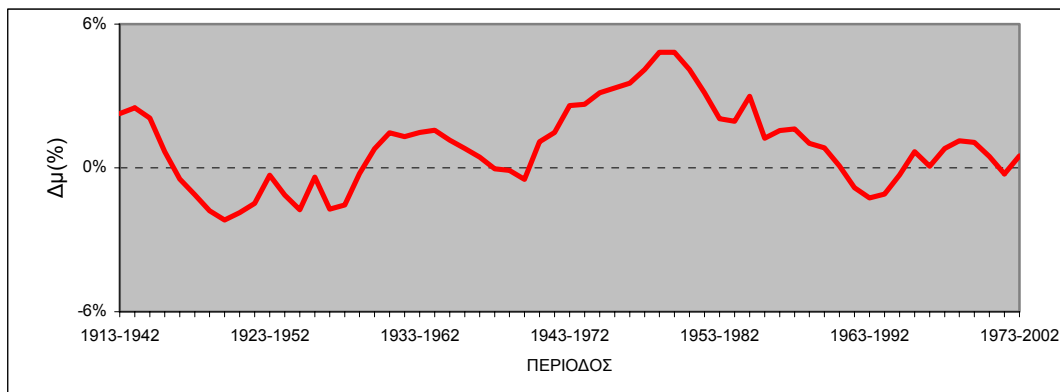


iii)

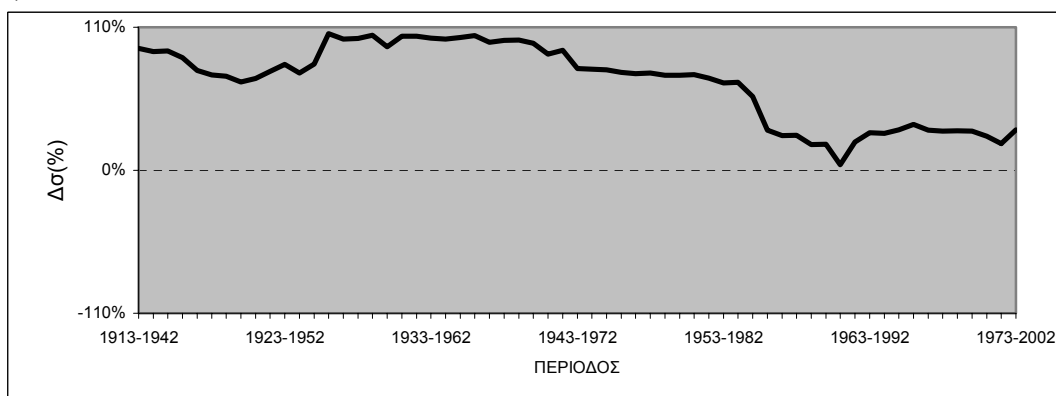


Σχήμα 20δ. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ξηρού (P10), ξηρού (P25), υγρού (P75) και πολύ υγρού (P90) Φθινοπώρου (iii), στο σταθμό της Αθήνας.

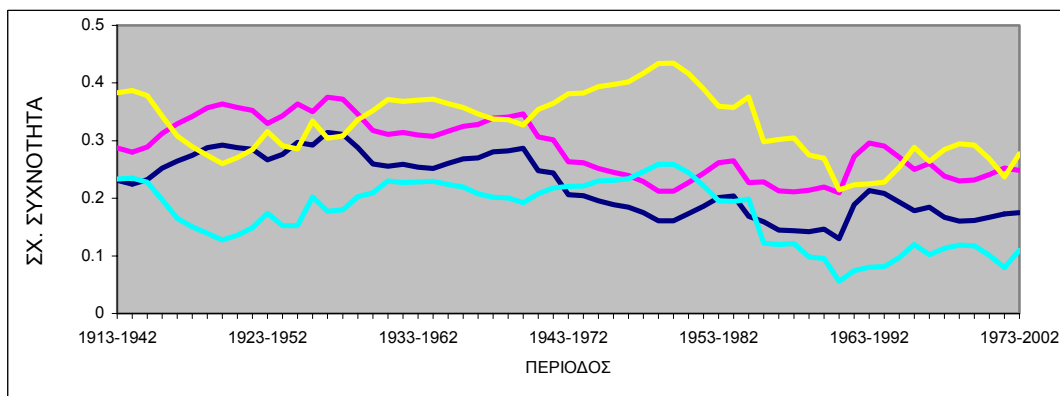
i)



ii)

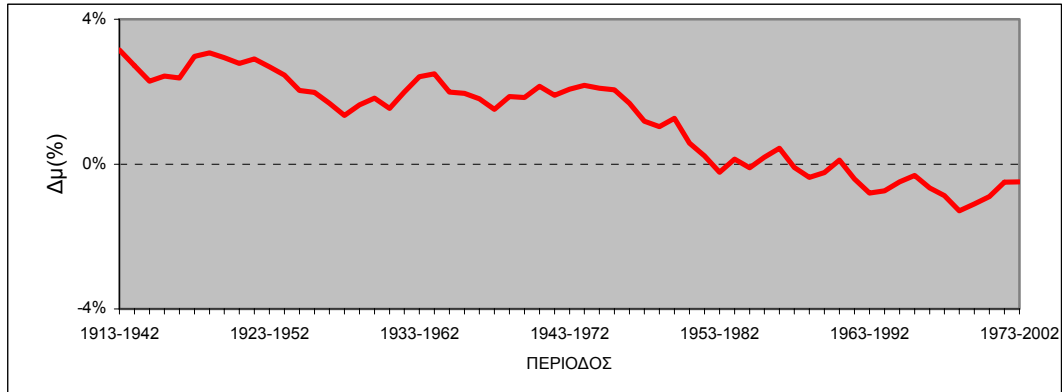


iii)

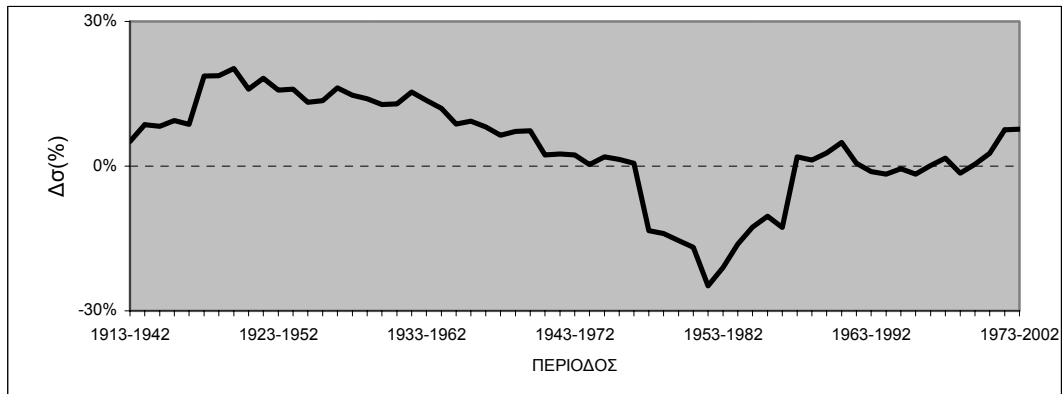


Σχήμα 21α. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρού (P10), ψυχρού (P25), θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) Χειμώνα (iii), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

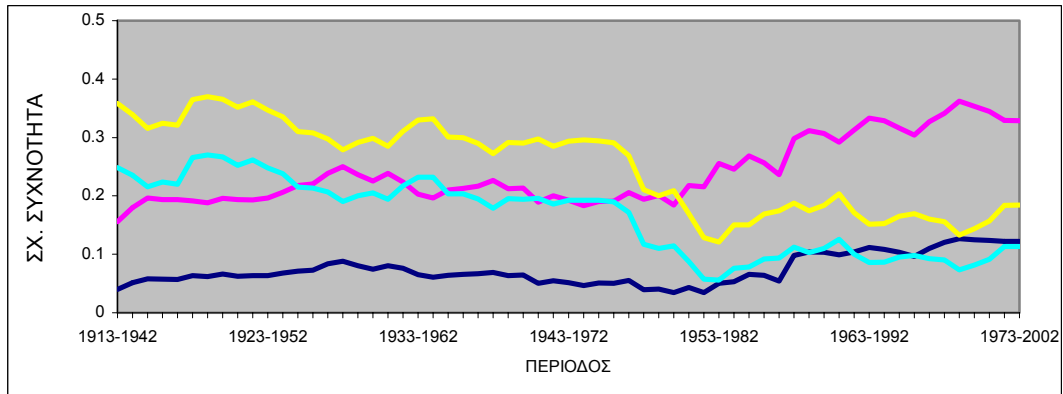
i)



ii)

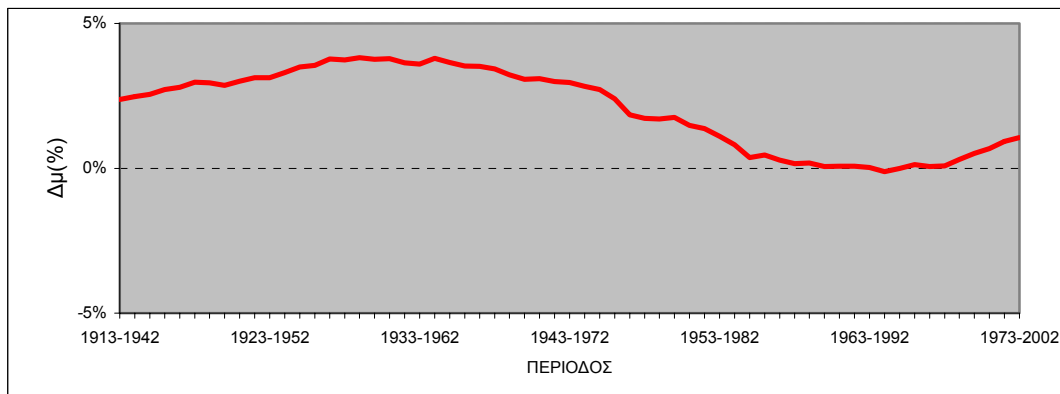


iii)

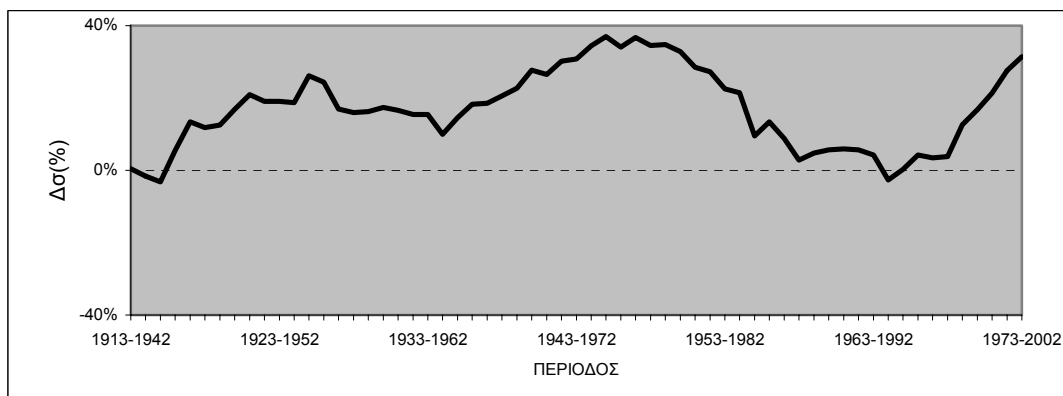


Σχήμα 21β. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρής (P10), ψυχρής (P25), θερμής (P75) και πολύ θερμής (P90) Άνοιξης (iii), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

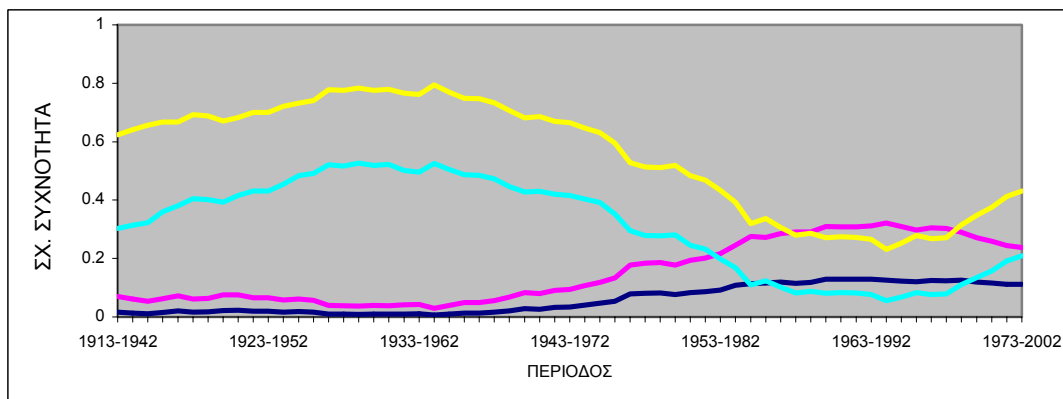
i)



ii)

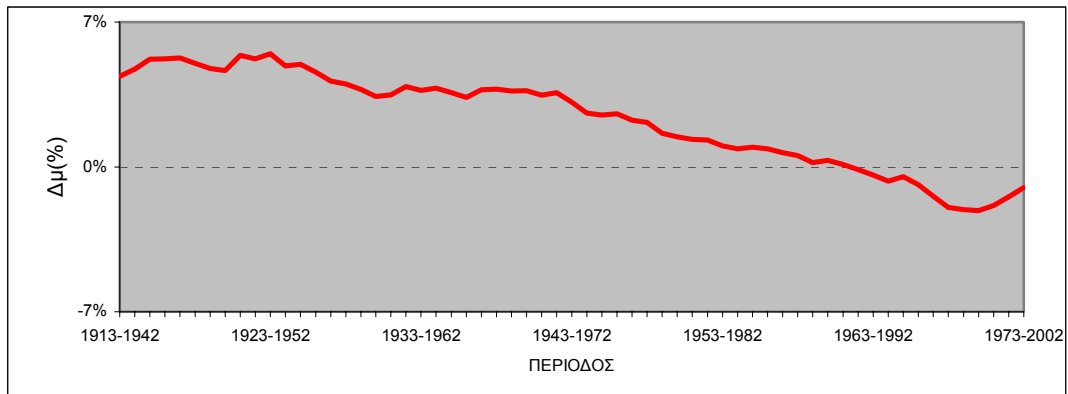


iii)

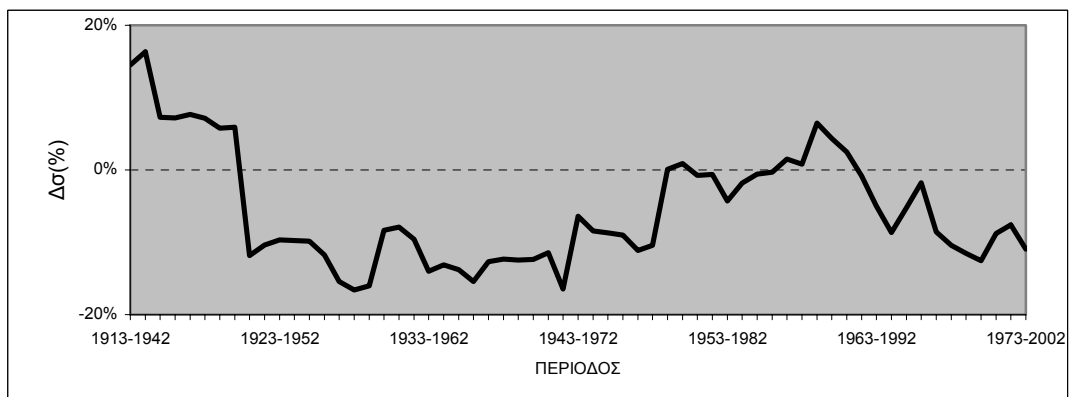


Σχήμα 21γ. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρού (P10), ψυχρού (P25), θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) Καλοκαιριού (iii), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

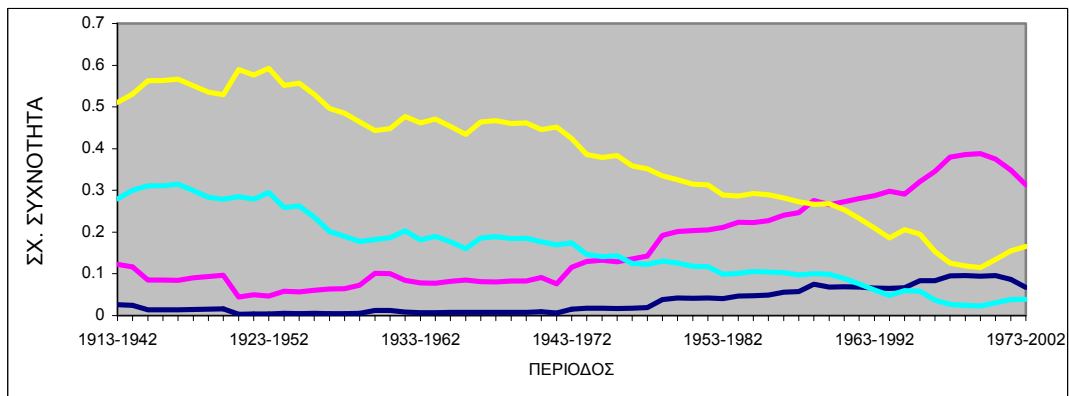
i)



ii)

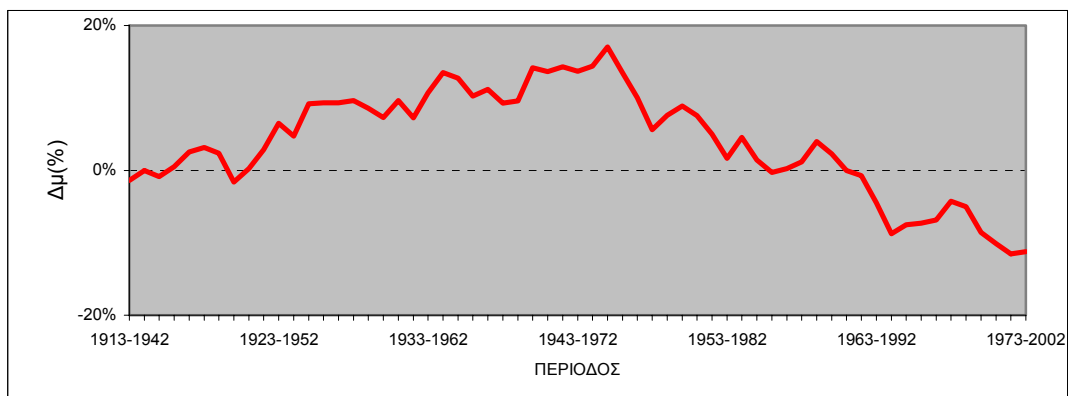


iii)

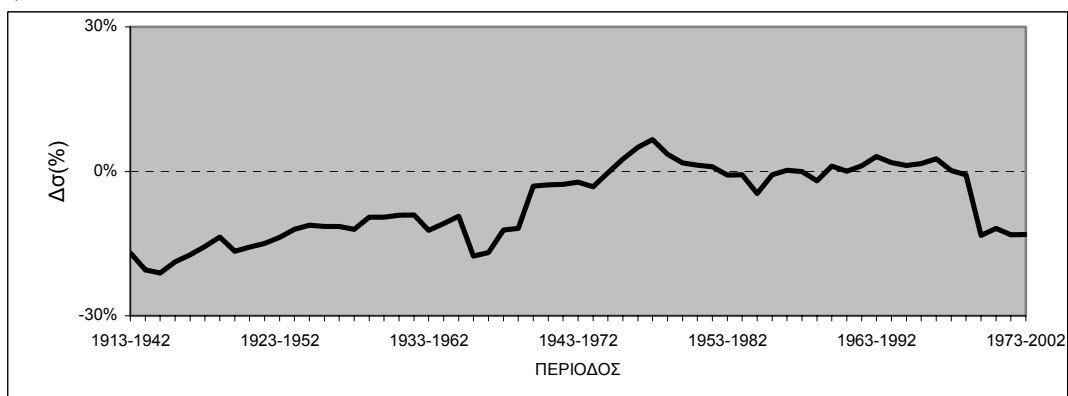


Σχήμα 21δ. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ψυχρού (P10), ψυχρού (P25), θερμού (P75) και πολύ θερμού (P90) Φθινοπώρου (iii), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

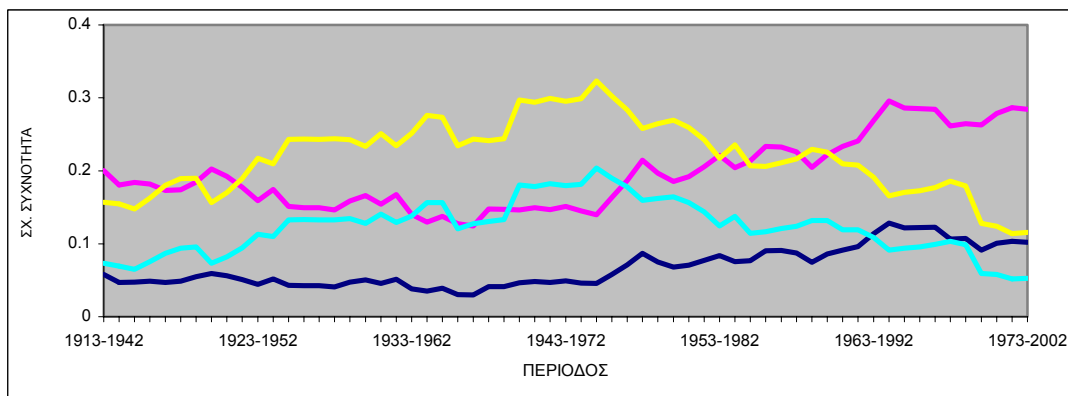
i)



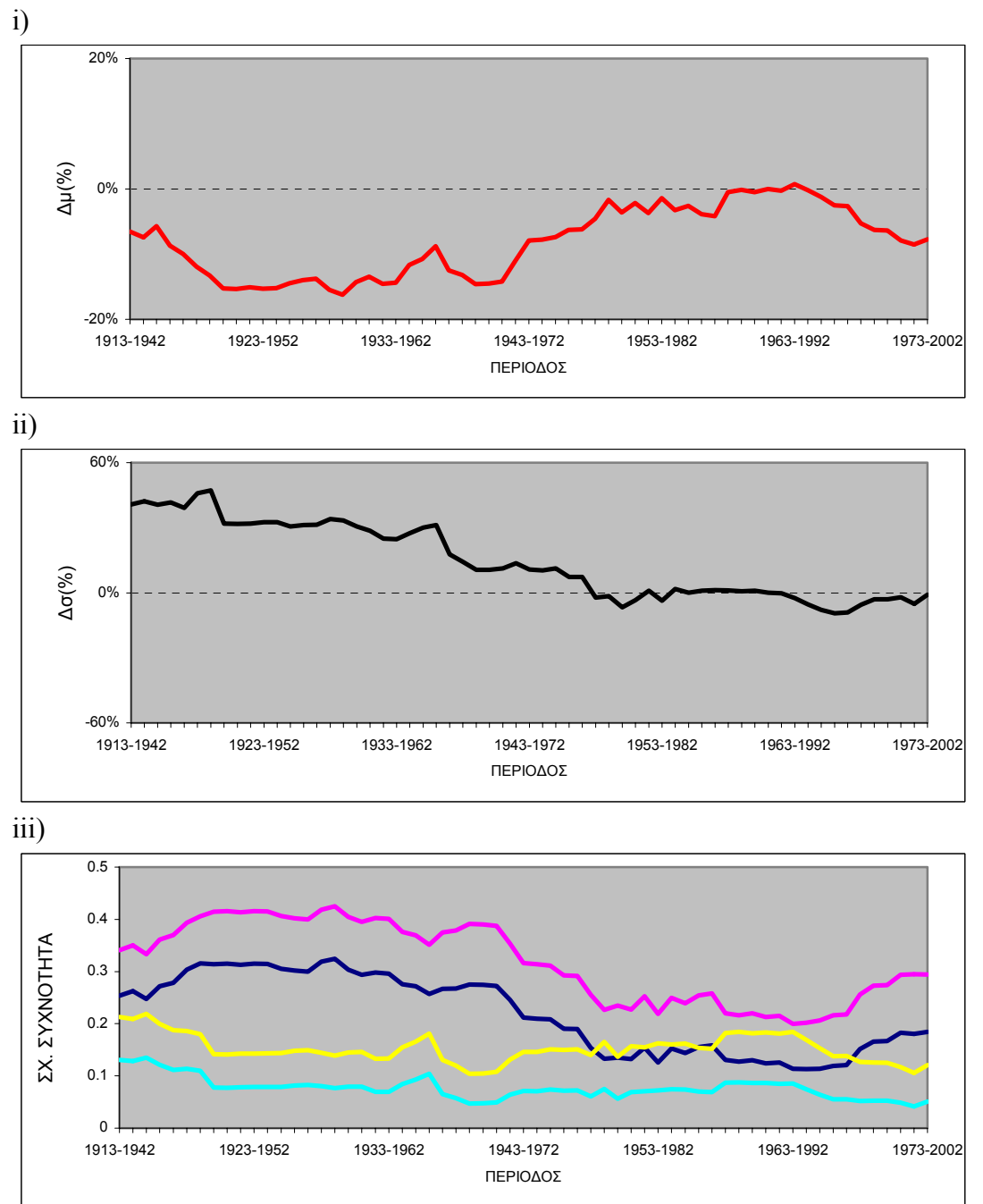
ii)



iii)

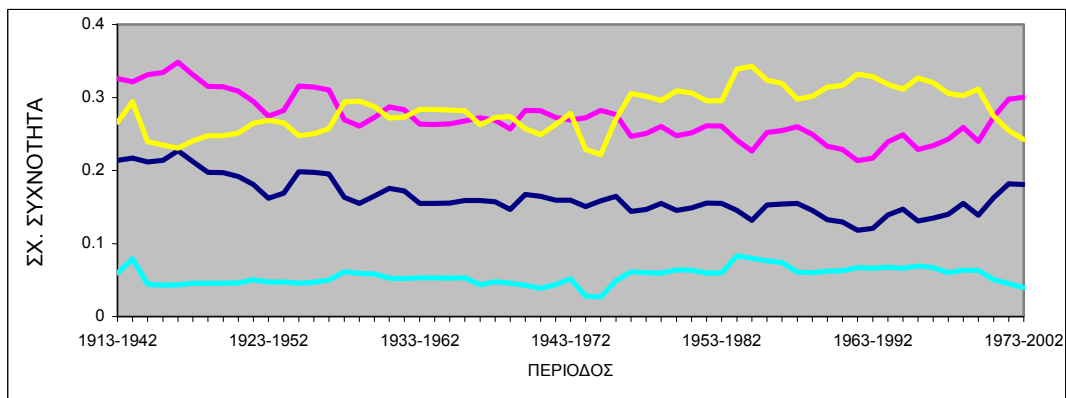
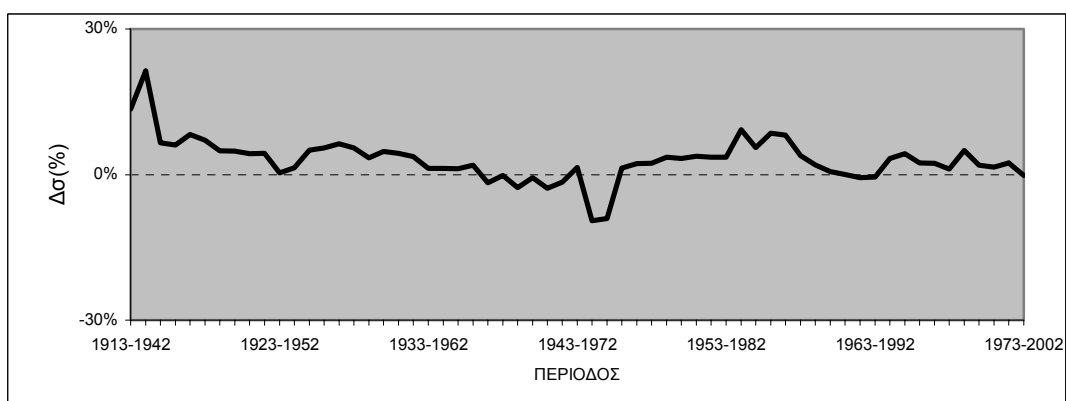
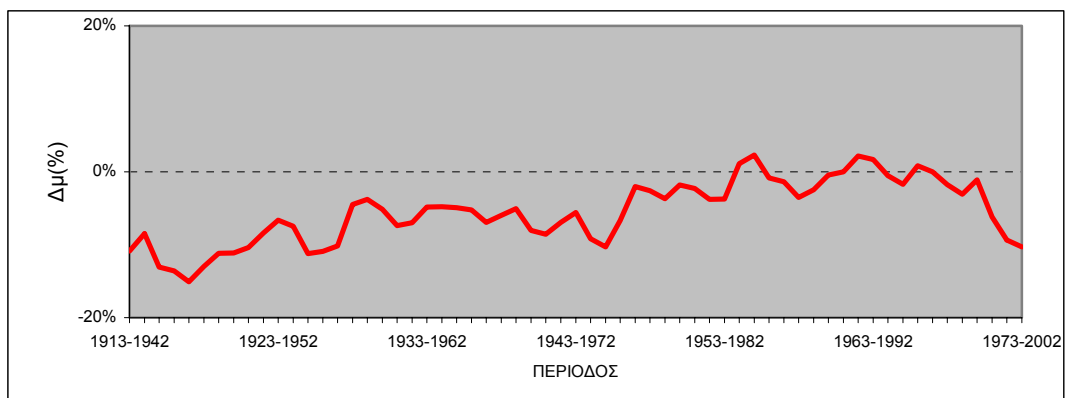


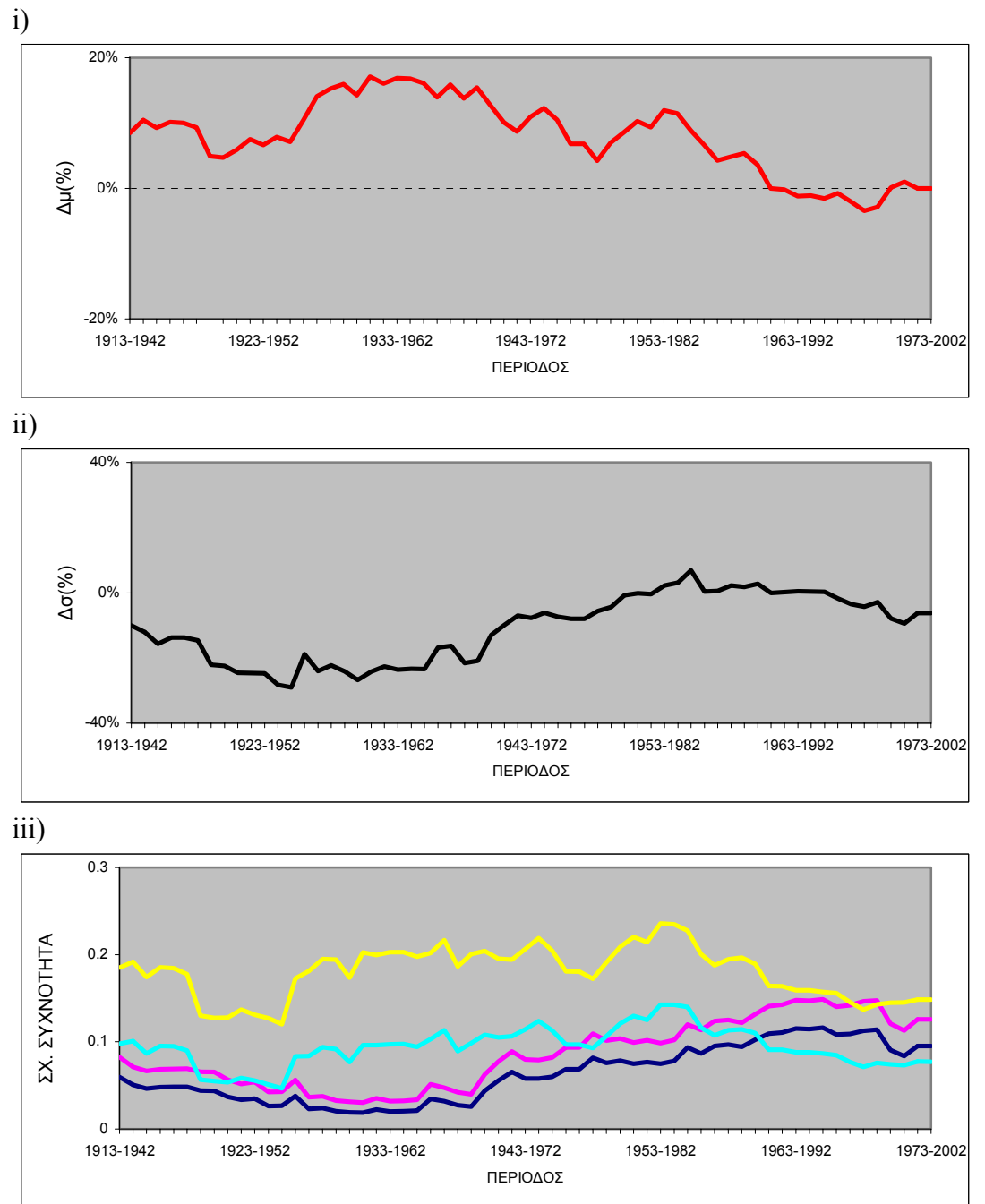
Σχήμα 22α. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ξηρού (P10), ξηρού (P25), υγρού (P75) και πολύ υγρού (P90) Χειμώνα (iii), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 22β. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ξηρής (P10), ξηρής (P25), υγρής (P75) και πολύ υγρής (P90) Άνοιξης (iii), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

Συσχέτιση μεταβολής παραμέτρων μ και σ και μεταβολής πιθανότητας ακραίων εποχών μεταξύ επικαλυπτόμενων περιόδων





Σχήμα 22δ. Διαχρονική μεταβολή της μέσης τιμής μ (i), της τυπικής απόκλισης σ (ii), σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (μ_0 , σ_0) και της πιθανότητας εμφάνισης πολύ ξηρού (P10), ξηρού (P25), υγρού (P75) και πολύ υγρού (P90) Φθινοπώρου (iii), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

Από τη μελέτη των Σχημάτων 19 έως 22, προκύπτει αρχικά το συμπέρασμα ότι, η μέση τιμή, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς, δεν ακολουθεί την ίδια μεταβολή με την τυπική απόκλιση. Εξαίρεση αποτελούν οι φθινοπωρινές βροχοπτώσεις της Αθήνας (Σχ. 20δ) και οι θερινές βροχοπτώσεις της Θεσσαλονίκης (Σχ. 22γ), όπου η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση ακολουθούν, σε γενικές γραμμές, την ίδια μεταβολή. Επιπλέον και κυρίως στην περίπτωση της θερμοκρασίας, η μεταβολή της τυπικής απόκλισης είναι εντονότερη σε σχέση με τη μεταβολή της μέσης τιμής. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση των θερινών βροχοπτώσεων της Αθήνας (Σχ. 20γ), όπου η μεταβολή της μέσης τιμής είναι της ίδιας έντασης με τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης ($\pm 40\%$ περίπου).

Σε ότι αφορά τη σχέση μεταξύ των μεταβολών των παραμέτρων μ και σ και των μεταβολών της πιθανότητας των ακραίων εποχών, σε γενικές γραμμές, παρατηρείται ταύτιση της καμπύλης της μέσης τιμής και των καμπυλών της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών και στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Ειδικότερα, η πιθανότητα των θερμών / υγρών (πολύ θερμών / πολύ υγρών) εποχών φαίνεται να ακολουθεί την ίδια μεταβολή με τη μέση τιμή, ενώ αντίθετη μεταβολή παρουσιάζει η πιθανότητα των ψυχρών / ξηρών (πολύ ψυχρών / πολύ ξηρών) εποχών, ανεξάρτητα τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης. Διακρίνονται όμως και περιπτώσεις, όπου π.χ. η αύξηση της μέσης τιμής, σε συνδυασμό με την αύξηση της τυπικής απόκλισης συνοδεύεται από την αύξηση της πιθανότητας των ψυχρών / ξηρών (πολύ ψυχρών / πολύ ξηρών) εποχών, αντανακλώντας έτσι την επίδραση της τυπικής απόκλισης. Κατ' ανάλογο τρόπο, η ελάττωση της μέσης τιμής, σε συνδυασμό με την αύξηση της τυπικής απόκλισης, συνοδεύεται από την αύξηση της πιθανότητας των θερμών / υγρών (πολύ θερμών / πολύ υγρών) εποχών, αναδεικνύοντας επίσης την επίδραση της τυπικής απόκλισης.

Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των εαρινών θερμοκρασιών της Αθήνας, μεταξύ των περιόδων 1933-1962 και 1955-1984, παρατηρείται αύξηση της μέσης τιμής σε αντίθεση με την ελάττωση της τυπικής απόκλισης (Σχ. 19β). Η πιθανότητα εμφάνισης ψυχρής (πολύ ψυχρής) άνοιξης παρουσιάζει ελάττωση «υπακούοντας» στην επίδραση της μέσης τιμής. Αντίθετα, η πιθανότητα εμφάνισης θερμής (πολύ θερμής) άνοιξης διατηρείται σταθερή, καθώς επηρεάζεται, τόσο από την αύξηση της μέσης τιμής, η οποία αυξάνει την πιθανότητα, όσο και από την ελάττωση της τυπικής απόκλισης, η οποία ελαττώνει την πιθανότητα. Την ίδια εποχή και στον ίδιο σταθμό, μεταξύ των περιόδων 1956-1985 και 1973-2002, παρατηρείται αύξηση, τόσο της μέσης τιμής,

όσο και της τυπικής απόκλισης των εαρινών υψών βροχής (Σχ. 20β). Η πιθανότητα εμφάνισης ξηρής και κυρίως πολύ ξηρής άνοιξης επηρεάζεται περισσότερο από τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης, καθώς μεταξύ των περιόδων αυτών, παρατηρείται αύξηση της πιθανότητας. Στην περίπτωση των χειμερινών θερμοκρασιών της Θεσσαλονίκης (Σχ. 21α), μεταξύ των περιόδων 1955-1984 και 1961-1990, παρατηρείται ελάττωση, τόσο της μέσης τιμής, όσο και της τυπικής απόκλισης. Η πιθανότητα εμφάνισης ψυχρού χειμώνα διατηρείται σταθερή, ως αποτέλεσμα του συνδυασμού των μεταβολών των παραμέτρων μ και σ , όπου, σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής, η πρώτη προκαλεί αύξηση της πιθανότητας, σε αντίθεση με τη δεύτερη, η οποία ελαττώνει την πιθανότητα. Σε ότι αφορά την πιθανότητα εμφάνισης πολύ ψυχρού χειμώνα, αυτή ελαττώνεται αντανακλώντας μόνο την επίδραση της τυπικής απόκλισης. Παρόμοια συμπεράσματα προκύπτουν και στην περίπτωση των εαρινών θερμοκρασιών της Θεσσαλονίκης (Σχ. 21β). Μεταξύ των περιόδων 1952-1981 και 1961-1990 παρατηρείται ελάττωση της μέσης τιμής σε αντίθεση με την αύξηση της τυπικής απόκλισης. Ο συνδυασμός των δύο αυτών μεταβολών, συνοδεύεται από την αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης θερμής και πολύ θερμής άνοιξης, αντανακλώντας την επίδραση της τυπικής απόκλισης.

4.3 Συσχέτιση πιθανότητας εμφάνισης ακραίων εποχών και παραμέτρων μ και σ .

Η υποκειμενική σύγκριση των καμπύλων της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και των καμπυλών της πιθανότητας των ακραίων εποχών έδειξε ότι, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η μεταβολή της μέσης τιμής επηρεάζει περισσότερο τη μεταβολή της πιθανότητας, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Για τον ποσοτικό προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των μεταβολών της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και των μεταβολών της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών, υπολογίστηκαν, στη συνέχεια, οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των θεωρητικών χρονοσειρών, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου του κινούμενου μέσου. Ειδικότερα, στους Πίνακες 11 και 12, παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman (r_s), σε ότι αφορά την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, αντίστοιχα, μεταξύ των θεωρητικών χρονοσειρών της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς) και της πιθανότητας εμφάνισης των ψυχρών (P25) / πολύ ψυχρών (P10) και θερμών (P75) / πολύ θερμών (P90) εποχών. Ομοίως, στους Πίνακες 13 και 14 παρουσιάζονται οι συντελεστές συσχέτισης κατά Spearman, της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα, μεταξύ των θεωρητικών

χρονοσειρών της μέσης τιμής και τυπικής απόκλισης και της πιθανότητας των ξηρών (P25) / πολύ ξηρών (P10) και υγρών (P75) / πολύ υγρών (P90) εποχών.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 11, παρατηρείται ότι, τόσο στο σταθμό της Αθήνας, όσο και της Θεσσαλονίκης, οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της μέσης τιμής μ και της πιθανότητας εμφάνισης των ψυχρών (πολύ ψυχρών) και θερμών (πολύ θερμών) εποχών, είναι στατιστικά σημαντικοί (σε επίπεδο σημαντικότητας 99%) σε κάθε εποχή. Η συσχέτιση του μ με τα P10 και P25 είναι αρνητική, σε αντίθεση με τη θετική συσχέτιση του μ με τα P75 και P90, γεγονός το οποίο έρχεται σε συμφωνία με την γενικότερη επίδραση της μέσης τιμής στην πιθανότητα των ακραίων τιμών της κλιματικής μεταβλητής, σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής. Επιπλέον, σε κάθε εποχή, οι τιμές του r_s είναι υψηλότερες στην περίπτωση του P25 σε σχέση με το P10 και υψηλότερες στην περίπτωση του P75 σε σχέση με το P90. Η παρατήρηση αυτή υποδηλώνει ότι, όσο πιο ακραίο είναι το φαινόμενο, τόσο ασθενέστερη είναι η επίδραση της μέσης τιμής στην πιθανότητα των ακραίων εποχών. Μεταξύ εποχών, οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης εντοπίζονται στην Αθήνα, το Χειμώνα, σε ότι αφορά στα P10, P25 και το Καλοκαίρι, σε ότι αφορά στα P75, P90. Οι χαμηλότερες τιμές του συντελεστή παρατηρούνται την Άνοιξη. Στην περίπτωση της Θεσσαλονίκης, οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται το Καλοκαίρι και οι χαμηλότερες το Χειμώνα.

Πίνακας 11. Συντελεστής συσχέτισης (κατά Spearman) της μέσης τιμής μ (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς) και της πιθανότητας εμφάνισης των πολύ ψυχρών (P10), ψυχρών (P25), θερμών (P75) και πολύ θερμών (P90) εποχών, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, σε επίπεδο σημαντικότητας 99%.

		P10	P25	P75	P90
ΑΘΗΝΑ	Χειμώνας	-0,992	-0,997	0,874	0,857
	Άνοιξη	-0,626	-0,626	0,565	0,555
	Καλοκαίρι	-0,851	-0,933	0,963	0,896
	Φθινόπωρο	-0,927	-0,981	0,914	0,800
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	Χειμώνας	-0,583	-0,718	0,823	0,665
	Άνοιξη	-0,581	-0,914	0,960	0,936
	Καλοκαίρι	-0,909	-0,969	0,996	0,998
	Φθινόπωρο	-0,839	-0,926	0,996	0,988

Πίνακας 12. Συντελεστής συσχέτισης (κατά Spearman) της τυπικής απόκλισης σ (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς) και της πιθανότητας εμφάνισης των πολύ ψυχρών (P10), ψυχρών (P25), θερμών (P75) και πολύ θερμών (P90) εποχών, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, σε επίπεδο σημαντικότητας 99%.

		P10	P25	P75	P90
ΑΘΗΝΑ	<i>Χειμώνας</i>	0,595	0,521	-0,124*	-0,093*
	<i>Άνοιξη</i>	-0,265*	-0,337	0,645	0,679
	<i>Καλοκαίρι</i>	0,046*	-0,065*	0,412	0,549
	<i>Φθινόπωρο</i>	0,503	0,352	0,160*	0,383
ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	<i>Χειμώνας</i>	0,739	0,604	0,576	0,716
	<i>Άνοιξη</i>	0,247*	-0,276*	0,751	0,798
	<i>Καλοκαίρι</i>	-0,065*	-0,223*	0,328	0,406
	<i>Φθινόπωρο</i>	0,473	0,305*	0,007*	0,098*

(*) Συντελεστής συσχέτισης μη σημαντικός σε επίπεδο 99%.

Στον Πίνακα 12, η συσχέτιση της τυπικής απόκλισης και της πιθανότητας των ψυχρών (πολύ ψυχρών) και θερμών (πολύ θερμών) εποχών, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, είναι ασθενέστερη, σε σχέση με τη συσχέτιση της τελευταίας με τη μέση τιμή (Πίνακας 11). Επιπλέον, οι τιμές του συντελεστή δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις στατιστικά σημαντικές. Συνεπώς, στις περιπτώσεις αυτές, η μεταβολή της τυπικής απόκλισης δεν επηρεάζει τη μεταβολή της πιθανότητας των ακραίων εποχών. Αναφορικά με τις υπόλοιπες, στατιστικά σημαντικές, περιπτώσεις του Πίνακα 12, παρατηρείται ότι, αφενός ο συντελεστής συσχέτισης είναι θετικός, γεγονός το οποίο έρχεται σε συμφωνία με την γενικότερη επίδραση της τυπικής απόκλισης, στην πιθανότητα των ακραίων τιμών της κλιματικής μεταβλητής, σύμφωνα με το μοντέλο της κανονικής κατανομής, αφετέρου οι τιμές του συντελεστή είναι υψηλότερες στην περίπτωση του P10 σε σχέση με το P25, καθώς και υψηλότερες στην περίπτωση του P90 σε σχέση με το P75. Άρα, η επίδραση της τυπικής απόκλισης στην πιθανότητα των ακραίων εποχών, είναι εντονότερη, όσο πιο ακραίο είναι το φαινόμενο. Οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης εντοπίζονται το Χειμώνα, σε ότι αφορά στα P10 και P25 και την Άνοιξη, σε ότι αφορά στα P75 και P90 και στους δύο υπό μελέτη σταθμούς.

Τόσο στο σταθμό της Αθήνας, όσο και της Θεσσαλονίκης, η συσχέτιση μεταξύ της μέσης τιμής μ και της πιθανότητας εμφάνισης των ξηρών (πολύ ξηρών) και υγρών (πολύ υγρών) εποχών, είναι στατιστικά σημαντική σε κάθε εποχή, με εξαίρεση την πιθανότητα εμφάνισης πολύ ξηρής άνοιξης στην Αθήνα και πολύ υγρής άνοιξης στη Θεσσαλονίκη (Πίνακας 13). Η συσχέτιση του μ με τα P10 και P25 είναι αρνητική, σε αντίθεση με τη θετική συσχέτιση του μ με τα P75 και P90. Σε κάθε εποχή, οι τιμές του συντελεστή είναι υψηλότερες στην περίπτωση του P25 σε σχέση με το P10 και υψηλότερες στην περίπτωση του P75 σε σχέση με το P90. Οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης εντοπίζονται, σε ότι αφορά στα P10 και P25, το Καλοκαίρι στην Αθήνα και την Άνοιξη στη Θεσσαλονίκη, ενώ σε ότι αφορά στα P75, P90, το Χειμώνα στην Αθήνα και το Χειμώνα και το Καλοκαίρι στη Θεσσαλονίκη.

Πίνακας 13. Συντελεστής συσχέτισης (κατά Spearman) της μέσης τιμής μ (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς) και της πιθανότητας εμφάνισης των πολύ ξηρών (P10), ξηρών (P25), υγρών (P75) και πολύ υγρών (P90) εποχών, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, σε επίπεδο σημαντικότητας 99%.

		P10	P25	P75	P90
ΑΘΗΝΑ	<i>Χειμώνας</i>	-0,655	-0,870	0,995	0,950
	<i>Άνοιξη</i>	0,034*	-0,440	0,940	0,847
	<i>Καλοκαίρι</i>	-0,911	-0,939	0,935	0,799
	<i>Φθινόπωρο</i>	-0,433	-0,676	0,937	0,756
ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	<i>Χειμώνας</i>	-0,785	-0,897	0,929	0,865
	<i>Άνοιξη</i>	-0,957	-0,980	0,462	-0,001*
	<i>Καλοκαίρι</i>	-0,930	-0,976	0,968	0,853
	<i>Φθινόπωρο</i>	-0,833	-0,867	0,672	0,403

(*) Συντελεστής συσχέτισης μη σημαντικός σε επίπεδο 99%.

Πίνακας 14. Συντελεστής συσχέτισης (κατά Spearman) της τυπικής απόκλισης σ (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς) και της πιθανότητας εμφάνισης των πολύ ξηρών (P10), ξηρών (P25), υγρών (P75) και πολύ υγρών (P90) εποχών, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, σε επίπεδο σημαντικότητας 99%.

		P10	P25	P75	P90
ΑΘΗΝΑ	<i>Χειμώνας</i>	0,175*	-0,175*	0,614	0,762
	<i>Άνοιξη</i>	0,723	0,343	0,823	0,921
	<i>Καλοκαίρι</i>	0,887	0,846	-0,537	-0,260*
	<i>Φθινόπωρο</i>	0,410	0,062*	0,729	0,919
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	<i>Χειμώνας</i>	0,554	0,394	0,354	0,471
	<i>Άνοιξη</i>	0,860	0,817	0,242*	0,629
	<i>Καλοκαίρι</i>	0,404	0,310*	0,027*	0,277
	<i>Φθινόπωρο</i>	0,887	0,849	0,255*	0,512

(*) Συντελεστής συσχέτισης μη σημαντικός σε επίπεδο 99%.

Στον Πίνακα 14, η συσχέτιση της τυπικής απόκλισης και της πιθανότητας των ξηρών (πολύ ξηρών) και υγρών (πολύ υγρών) εποχών, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, είναι ασθενέστερη, σε σχέση με τη συσχέτιση της τελευταίας με τη μέση τιμή (Πίνακας 13). Οι τιμές του συντελεστή δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις στατιστικά σημαντικές. Όσον αφορά τις στατιστικά σημαντικές περιπτώσεις παρατηρείται ότι, αφενός ο συντελεστής συσχέτισης είναι θετικός (με μοναδική εξαίρεση την πιθανότητα εμφάνισης υγρού καλοκαιριού στην Αθήνα), αφετέρου οι τιμές του συντελεστή είναι υψηλότερες στην περίπτωση του P10 σε σχέση με το P25, καθώς και υψηλότερες στην περίπτωση του P90 σε σχέση με το P75. Οι υψηλότερες τιμές του συντελεστή συσχέτισης εντοπίζονται, σε ότι αφορά στα P10 και P25, το Καλοκαίρι στην Αθήνα και το Φθινόπωρο στη Θεσσαλονίκη, ενώ σε ότι αφορά στα P75 και P90, την Άνοιξη στην Αθήνα και το Χειμώνα και την Άνοιξη στη Θεσσαλονίκη.

Σε μια προσπάθεια περαιτέρω αξιολόγησης των στατιστικά σημαντικών περιπτώσεων των Πινάκων 11 έως 14, χρησιμοποιήθηκε η κατηγοριοποίηση των Hinkle et al. (1994), σύμφωνα με την οποία για τιμές του συντελεστή συσχέτισης r_s από:

- 0,0 έως 0,3 η συσχέτιση θεωρείται πολύ ασθενής (έως καθόλου).

- 0,3 έως 0,5 η συσχέτιση θεωρείται ασθενής
- 0,5 έως 0,7 η συσχέτιση θεωρείται μέτρια.
- 0,7 έως 0,9 η συσχέτιση θεωρείται ισχυρή
- 0,9 έως 1,0 η συσχέτιση θεωρείται πολύ ισχυρή

Έτσι, η μεταβολή της μέσης τιμής ή / και της τυπικής απόκλισης μπορεί να θεωρηθεί, ότι διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών, όταν η τιμή του συντελεστή συσχέτισης είναι μεγαλύτερη από 0,7 (ισχυρή έως πολύ ισχυρή συσχέτισης). Δηλαδή, όταν η μεταβολή της μέσης τιμής ή / και της τυπικής απόκλισης ερμηνεύουν τουλάχιστον το 49% ($r_s^2=0,49$) της μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών. Συνεπώς, προκύπτει ότι, η μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης ψυχρού ή θερμού χειμώνα, καλοκαιριού και φθινοπώρου, στο σταθμό της Αθήνας, επηρεάζεται μόνον από τη μεταβολή της μέσης τιμής. Στην περίπτωση των εαρινών θερμοκρασιών, καμία εκ των δύο στατιστικών παραμέτρων η επίδραση δεν φαίνεται να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης ψυχρής ή θερμής άνοιξης. Σε ότι αφορά τη Θεσσαλονίκη, η μεταβολή της μέσης τιμής καθορίζει σημαντικά την πιθανότητα εμφάνιση ακραίου καλοκαιριού ή φθινοπώρου. Το χειμώνα, η μέση τιμή επηρεάζει την πιθανότητα μόνο στην περίπτωση των P25 και P75, σε αντίθεση με τα P10 και P90, των οποίων η πιθανότητα επηρεάζεται μόνο από την τυπική απόκλιση. Την άνοιξη, η πιθανότητα ως προς τα P75 και P90 καθορίζεται, τόσο από τη μέση τιμή, όσο και από την τυπική απόκλιση, ενώ σε ότι αφορά το P25, μόνο από τη μέση τιμή. Συμπερασματικά, στο σύνολο των 32 περιπτώσεων (εποχές) του Πίνακα 11, στις 25 από αυτές (12 και 13 για τους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα) βρέθηκε συσχέτιση της μέσης τιμής και της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών μεγαλύτερη του 0,7. Η αντίστοιχη συχνότητα για την περίπτωση της τυπικής απόκλισης ήταν πολύ μικρότερη, 4 περιπτώσεις στις 32 του Πίνακα 12, οι οποίες αφορούν στο σύνολό τους μόνο το σταθμό της Θεσσαλονίκης.

Σχετικά με τις εποχιακές βροχοπτώσεις και συγκεκριμένα στο σταθμό της Αθήνας, η πιθανότητα εμφάνισης ακραίου χειμώνα εξαρτάται κυρίως από τη μέση τιμή στην περίπτωση των P25 και P75, ενώ στην περίπτωση του P90, τόσο από τη μέση τιμή, όσο και από την τυπική απόκλιση. Η μεταβολή των παραμέτρων μ και σ διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη μεταβολή της πιθανότητας εμφάνισης ξηρής ή υγρής άνοιξης στην περίπτωση των P75 και P90, ενώ σε ότι αφορά το P10, η πιθανότητα επηρεάζεται μόνο από την τυπική απόκλιση. Το καλοκαίρι, η πιθανότητα

ως προς τα P10 και P25 εξαρτάται, τόσο από τη μέση τιμή, όσο και από την τυπική απόκλιση, σε αντίθεση με την πιθανότητα ως προς το P75, η οποία επηρεάζεται μόνο από τη μέση τιμή. Το φθινόπωρο, για την εκτίμηση της μεταβολής της πιθανότητας ως προς τα P75 και P90, θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν η μεταβολή και των δύο στατιστικών παραμέτρων. Σε ότι αφορά τις εποχιακές βροχοπτώσεις στο σταθμό της Θεσσαλονίκης, προκύπτει ότι, η πιθανότητα εμφάνισης ξηρού / υγρού χειμώνα ή καλοκαιριού επηρεάζεται μόνο από τη μέση τιμή. Την άνοιξη η μέση τιμή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην περίπτωση των P10 και P25, σε αντίθεση με το φθινόπωρο, όπου η πιθανότητα ως προς τα P10 και P25 επηρεάζεται, τόσο από τη μέση τιμή, όσο και από την τυπική απόκλιση. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις, οι οποίες δεν αναφέρθηκαν, καμία εκ των δύο στατιστικών παραμέτρων η μεταβολή δεν μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν, σύμφωνα με τα κριτήρια τα οποία ελήφθησαν, για την εκτίμηση της μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών. Συνοψίζοντας, στο σύνολο των 32 περιπτώσεων (εποχές) του Πίνακα 13, στις 23 από αυτές (11 και 12 για τους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα) βρέθηκε συσχέτιση της μέσης τιμής και της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών μεγαλύτερη του 0,7. η αντίστοιχη συχνότητα για την περίπτωση της τυπικής απόκλισης ήταν αισθητά μικρότερη, αν και σχετικά μεγαλύτερη από ότι στην περίπτωση της θερμοκρασίας και συγκεκριμένα 12 περιπτώσεις στις 32 του Πίνακα 14 (8 και 4 για τους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΕΠΟΧΩΝ ΣΤΟΥΣ ΣΤΑΘΜΟΥΣ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 2071-2100.

5.1 Εισαγωγή

Στο υποκεφάλαιο αυτό, το απλό στατιστικό μοντέλο, που αναπτύχθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια, εφαρμόζεται στα αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου, του Hadley Center, HadRM3H (Hudson και Jones 2002), με στόχο την εκτίμηση της μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών στους δύο σταθμούς, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, σύμφωνα με το A2-SRES κλιματικό σενάριο (IPCC 2001). Αρχικά, ελέγχεται η αξιοπιστία του μοντέλου μέσω της σύγκρισης των πραγματικών δεδομένων εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής της περιόδου 1961-1990 και των αντίστοιχων θεωρητικών του μοντέλου. Στη συνέχεια εφαρμόζεται το κριτήριο Kolmogorov – Smirnov για τον έλεγχο καλής προσαρμογής της κανονικής κατανομής στις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της περιόδου 2071-2100. Ακολουθεί ο έλεγχος στατιστικά σημαντικής μεταβολής, τόσο ως προς τη μέση τιμή, όσο και ως προς την τυπική απόκλιση, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, ως ένδειξη κλιματικής μεταβολής. Τέλος, υπολογίζεται η πιθανότητα των ακραίων εποχών, λαμβάνοντας υπ' όψιν, τόσο τη μεταβολή των παραμέτρων μ και σ , όσο και τις επιδράσεις αυτών, στην πιθανότητα των ακραίων εποχών, σύμφωνα με τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης των Πινάκων 11 έως 14 (Κεφάλαιο 4).

5.2 Μοντέλο HadRM3H

Το μοντέλο HadRM3H είναι ένα από τα πιο σύγχρονα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (Regional Circulation Model, RCM) του Hadley Center (Hudson και Jones, 2002). Πρόκειται για μια υψηλότερης ανάλυσης εκδοχή του ατμοσφαιρικού μοντέλου γενικής κυκλοφορίας HadAM3H, το οποίο από μόνο του, αποτελεί μια βελτιωμένη εκδοχή του HadAM3, που περιγράφηκε από τους Pope et al. (2000) και περιλαμβάνει όλες τις συνήθεις αναπαραστάσεις των φυσικών μηχανισμών της γήινης επιφάνειας και της

ατμόσφαιρας. Η οριζόντια ανάλυση του περιοχικού μοντέλου ήταν 0,44° προς Βορρά και Νότο, καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης, συμπεριλαμβανομένης της λεκάνης της Μεσογείου και τμήματος της Βορείου Αφρικής.

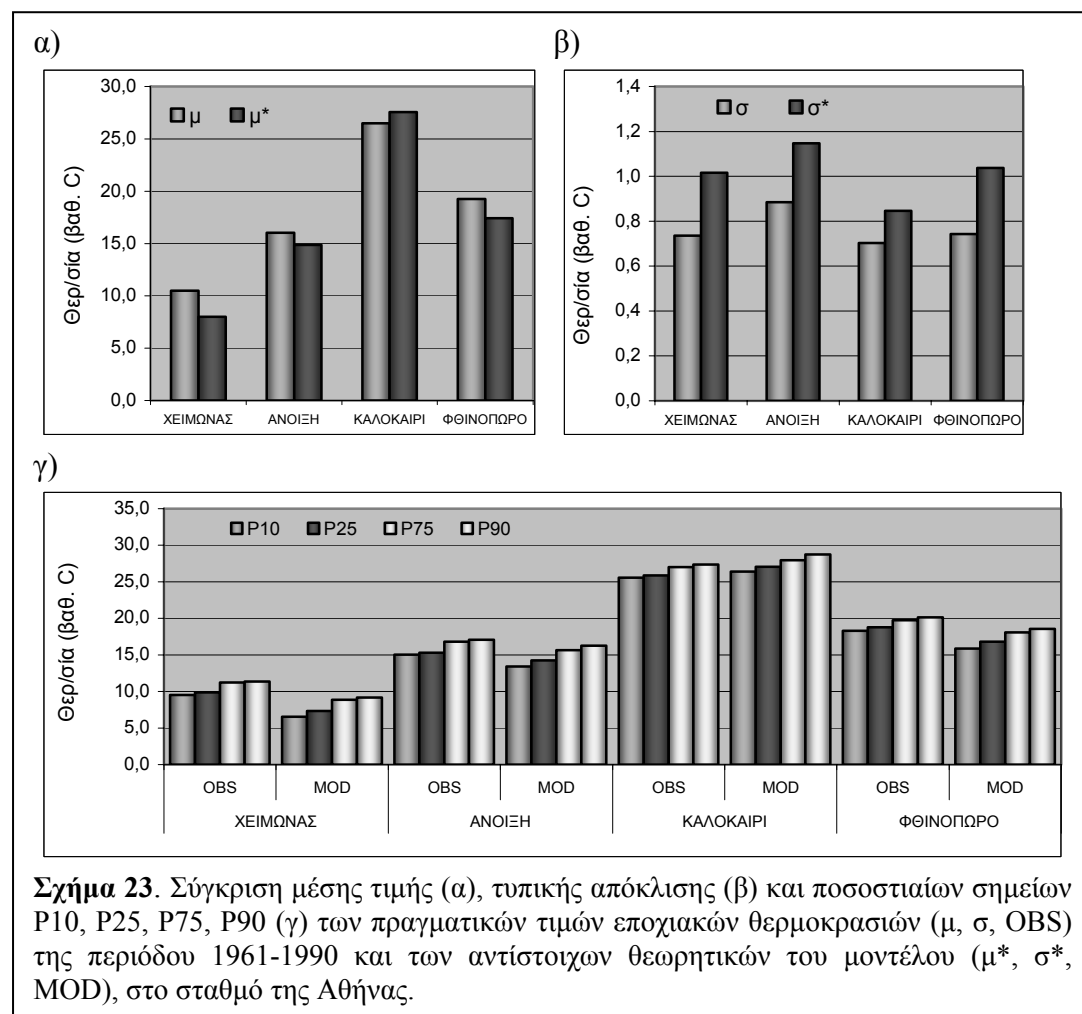
Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιούνται οι προσομοιώσεις δύο χρονικών περιόδων, ως αποτέλεσμα της ‘σύνδεσης’ του μοντέλου HadRM3H και του ‘παγκόσμιου’ μοντέλου HadAM3H. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται οι εποχιακές τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής της περιόδου 1961-1990, με τα παρατηρούμενα επίπεδα συγκέντρωσης θερμοκηπικών αερίων και της περιόδου 2071-2100, σύμφωνα το A2-SRES κλιματικό σενάριο εκπομπής (IPCC 2001). Σύμφωνα με την Ειδική Αναφορά στα σενάρια εκπομπής (Special Report on Emissions Senarios) που δημοσίευσε το IPCC το 2001, στο μελλοντικό κόσμο που προβλέπεται με βάση το σενάριο εκπομπής A2, τόσο η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού, όσο και η αύξηση της αγροτικής παραγωγικότητας, οδηγούν σε μια συνεχή άνοδο των εκπομπών. Σχετικά με τα πιο χαρακτηριστικά αέρια, η εκπομπή του CO₂ από όλες τις πηγές, θα παρουσιάζει αυξητική τάση από το 1990 έως το 2100, με αποτέλεσμα το 2100 η συνολική συγκέντρωση του άνθρακα να φτάσει περίπου τους 29 Gt. Όσον αφορά στην πορεία των εκπομπών του SO₂, αναμένεται να παρουσιάσει αρνητική τάση. Με άλλα λόγια, ενώ το 1990 καταγράφηκε συνολική συγκέντρωση θείου (S) 70,9 Mt, για το 2100, η συγκέντρωσή του προβλέπεται, με βάση το σενάριο A2, να είναι ίση με 60 Mt. Για τη συγκέντρωση του μεθανίου (CH₄), προβλέπεται αύξηση από τους 310 Mt CH₄ το 1990, στους 889 Mt CH₄ το 2100.

5.3 Αξιολόγηση μοντέλου HadRM3H

Ο έλεγχος αξιοπιστίας του μοντέλου HadRM3H, πραγματοποιήθηκε μέσω της σύγκρισης των πραγματικών δεδομένων εποχιακών θερμοκρασιών και υψών βροχής, της περιόδου 1961-1990 και των αντίστοιχων θεωρητικών του μοντέλου. Στο Σχήμα 23, απεικονίζεται η μέση τιμή (Σχ. 23α), η τυπική απόκλιση (Σχ. 23β) και τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90 (Σχ. 23γ), των εποχιακών θερμοκρασιών της περιόδου 1961-1990, στο σταθμό της Αθήνας, τόσο των πραγματικών δεδομένων, όσο και των θεωρητικών, βάσει των αποτελεσμάτων του μοντέλου HadRM3H. Ομοίως παρουσιάζονται στα Σχήματα 24, 25 και 26, σε ότι αφορά τις εποχιακές βροχοπτώσεις της Αθήνας και τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα.

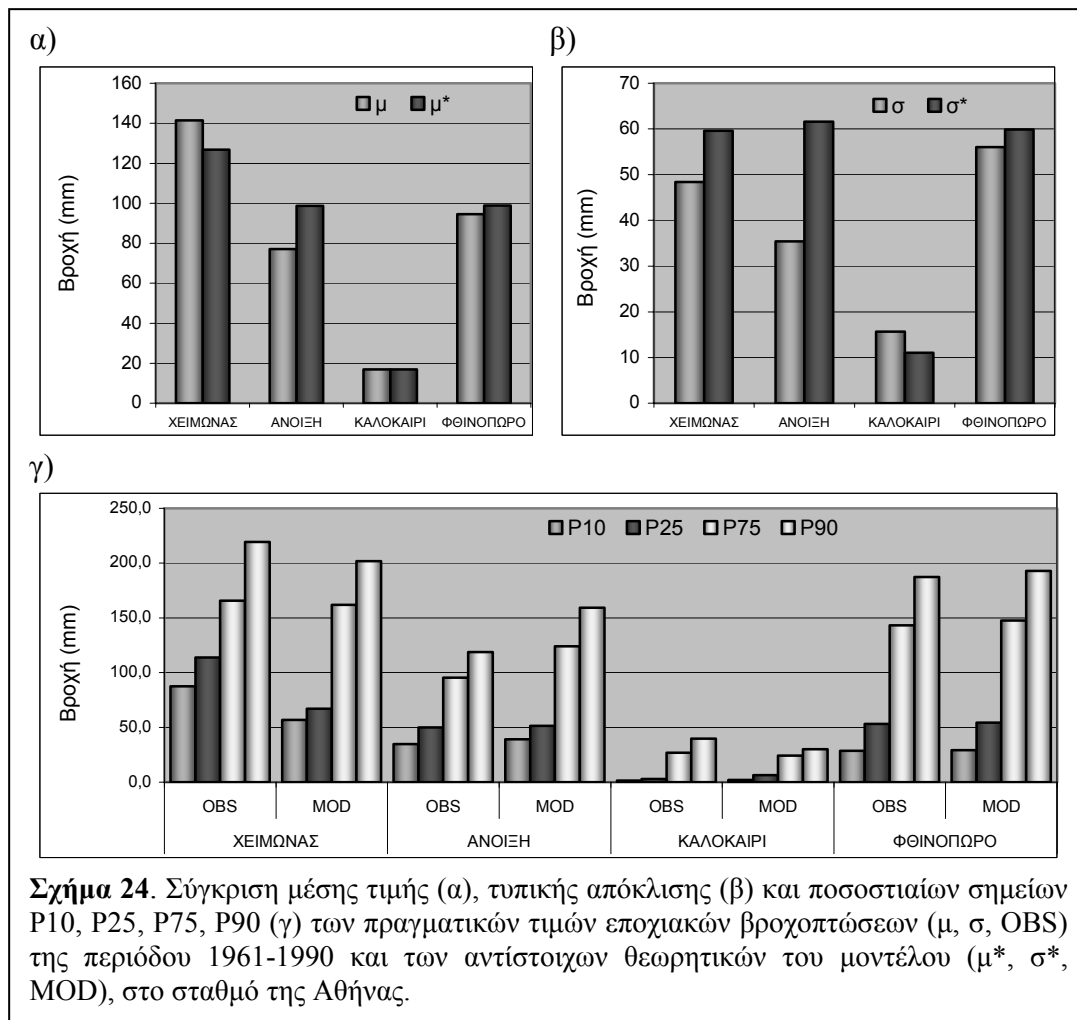
Σχετικά με τη θερμοκρασία στο σταθμό της Αθήνας (Σχ. 23), η προσαρμογή του μοντέλου στα πραγματικά δεδομένα, φαίνεται να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, σε κάθε εποχή. Οι αποκλίσεις είναι εξαιρετικά χαμηλές, κυρίως στην περίπτωση της μέσης τιμής

και των ποσοστιαίων σημείων. Γενικά, η μέση τιμή των εποχιακών θερμοκρασιών είναι χαμηλότερη στο μοντέλο, με εξαίρεση το καλοκαίρι (Σχ. 23α), όπου και παρατηρείται η βέλτιστη προσαρμογή. Αντίθετα, η μέγιστη διαφορά μεταξύ της μέσης τιμής του μοντέλου και των πραγματικών δεδομένων εντοπίζεται το χειμώνα. Σε ότι αφορά την τυπική απόκλιση (Σχ. 23β), υπερεκτιμάται, σε κάθε εποχή. Η προσαρμογή του μοντέλου είναι περισσότερο ικανοποιητική στην περίπτωση του καλοκαιριού και λιγότερο το φθινόπωρο. Σχετικά με τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90, οι τιμές αυτών αποκλίνουν ελάχιστα από τις πραγματικές (Σχ. 23γ). Το μοντέλο παρουσιάζει υψηλότερες τιμές το καλοκαίρι, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εποχές του έτους, οι οποίες υποεκτιμούνται.



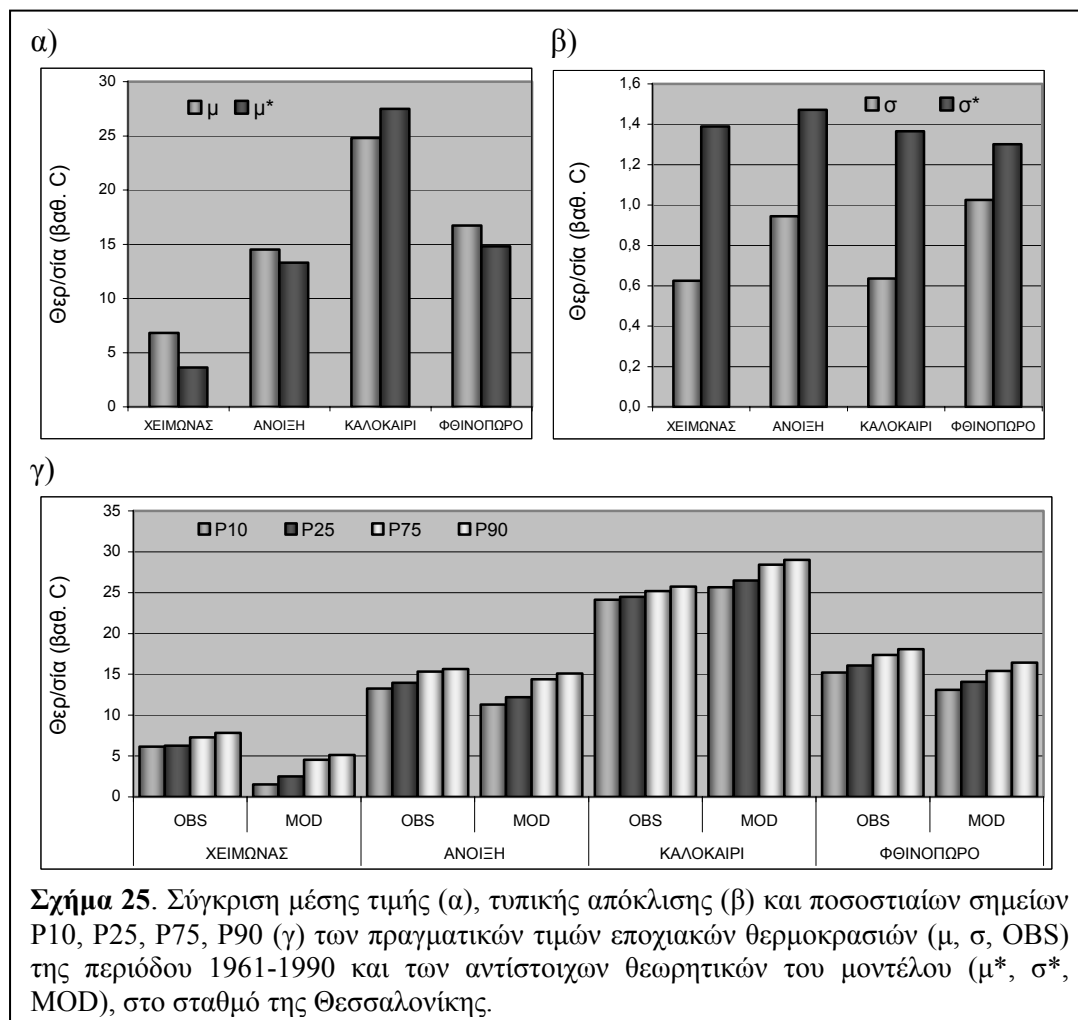
Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση, στο σταθμό της Αθήνας (Σχ. 24) το μοντέλο και στην περίπτωση αυτή φαίνεται να προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα πραγματικά δεδομένα. Η μέση τιμή των εποχιακών βροχοπτώσεων είναι χαμηλότερη, σε σχέση με την πραγματική, το χειμώνα και υψηλότερη την άνοιξη και το φθινόπωρο (Σχ. 24α). Στην περίπτωση του

καλοκαιριού το μοντέλο εκτιμά με απόλυτη ακρίβεια το πραγματικό ύψος βροχής και κατ' επέκταση παρουσιάζει την εποχή αυτή τη βέλτιστη προσαρμογή, σε αντίθεση με την λιγότερη ικανοποιητική στην περίπτωση της άνοιξης. Η τυπική απόκλιση (Σχ. 24β), γενικά υπερεκτιμάται σε κάθε εποχή, με εξαίρεση το καλοκαίρι. Η μικρότερη απόκλιση μεταξύ μοντέλου και πραγματικών δεδομένων εντοπίζεται το φθινόπωρο, ενώ η μεγαλύτερη την άνοιξη. Σχετικά με τα ποσοστιαία σημεία, η προσαρμογή του μοντέλου είναι και στην περίπτωση αυτή αρκετά ικανοποιητική, σε κάθε εποχή (Σχ. 24γ). Οι τιμές αυτών, στην πλειονότητά τους, υπερεκτιμώνται την άνοιξη και το φθινόπωρο, καθώς και το καλοκαίρι, εντούτοις, μόνο σε ότι αφορά τα P10 και P25. Στην περίπτωση των P75 και P90, ομοίως με τα ποσοστιαία σημεία του χειμώνα, οι τιμές αυτών, είναι μικρότερες των πραγματικών.



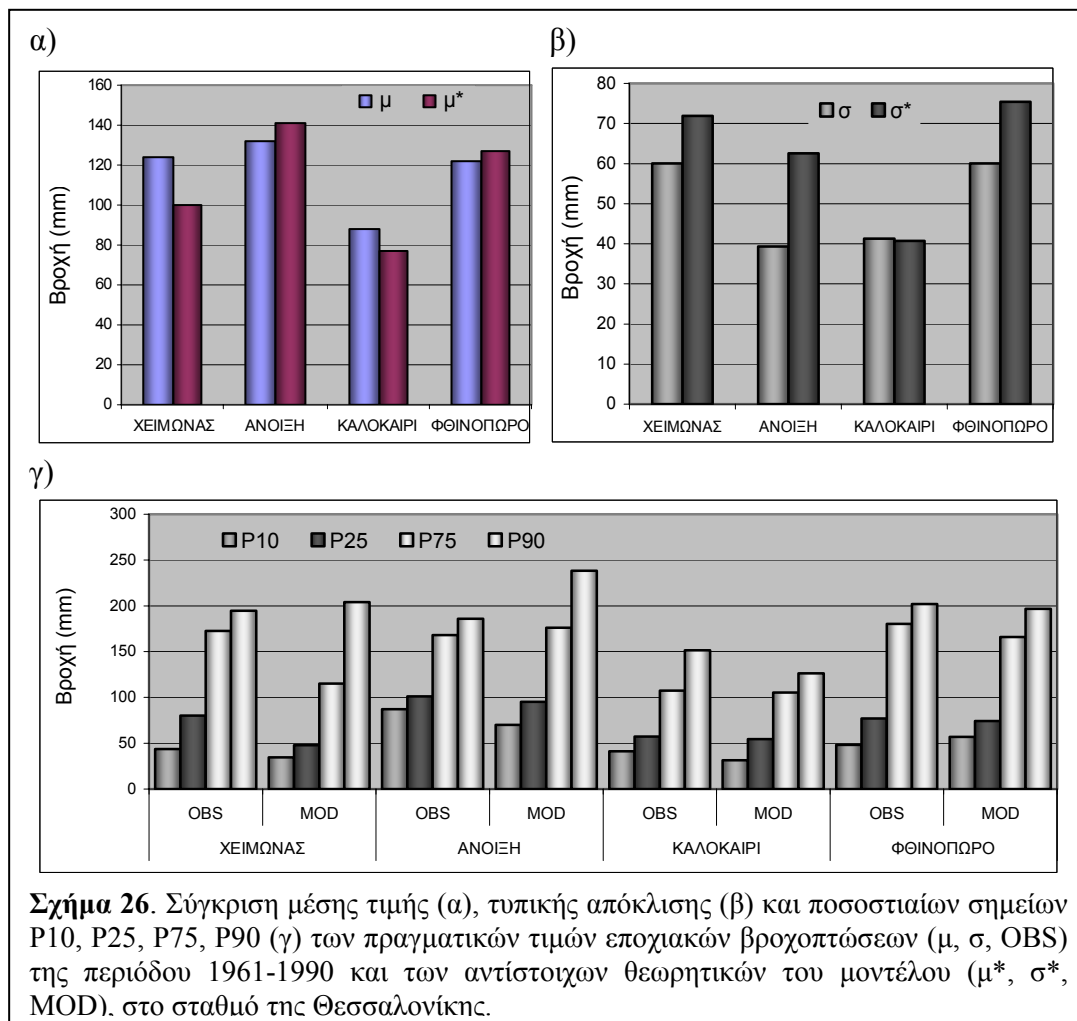
Αναφορικά με τη θερμοκρασία στο σταθμό της Θεσσαλονίκης (Σχ. 25), το μοντέλο παρουσιάζει ικανοποιητική προσαρμογή και κυρίως στην περίπτωση της μέσης τιμής και των ποσοστιαίων σημείων, σε αντιστοιχία με το σταθμό της Αθήνας. Η μέση τιμή των

εποχιακών θερμοκρασιών υπερεκτιμάται το καλοκαίρι, ενώ είναι μικρότερη της πραγματικής τις υπόλοιπες εποχές του έτους (Σχ. 25α). Το μοντέλο παρουσιάζει καλύτερη προσαρμογή την άνοιξη, παρά το χειμώνα. Σε ότι αφορά την τυπική απόκλιση, οι αποκλίσεις είναι υψηλότερες συγκριτικά με τη μέση τιμή, αλλά και σε σχέση με τις αντίστοιχες της Αθήνας. Η μέγιστη διαφορά εντοπίζεται το χειμώνα, σε αντίθεση με το φθινόπωρο, όπου και παρατηρείται η βέλτιστη προσαρμογή (Σχ. 25β). Σχετικά με τα ποσοστιαία σημεία P10, P25, P75 και P90, οι τιμές αυτών σύμφωνα με το μοντέλο προσεγγίζουν ικανοποιητικά τις πραγματικές και είναι γενικά χαμηλότερες στην περίπτωση του χειμώνα, της άνοιξης και του φθινοπώρου και υψηλότερες στην περίπτωση του καλοκαιριού.



Σε ότι αφορά τη βροχόπτωση στο σταθμό της Θεσσαλονίκης (Σχ. 26), η προσαρμογή του μοντέλου είναι και στην περίπτωση αυτή ιδιαίτερα ικανοποιητική. Η μέση τιμή των εποχιακών βροχοπτώσεων υπερεκτιμάται την άνοιξη και το φθινόπωρο, ενώ είναι

χαμηλότερη στο μοντέλο σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα, το χειμώνα και το καλοκαίρι (Σχ. 26α). Η μέγιστη διαφορά παρατηρείται το χειμώνα και η ελάχιστη το φθινόπωρο. Η τυπική απόκλιση των εποχιακών βροχοπτώσεων είναι υψηλότερη στο μοντέλο το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο, ενώ το καλοκαίρι υποεκτιμάται (Σχ. 26β). Η βέλτιστη προσαρμογή εντοπίζεται το καλοκαίρι, ενώ την άνοιξη είναι η λιγότερο ικανοποιητική. Οι τιμές των ποσοστιαίων σημείων P10, P25, P75 και P90 διαφέρουν ελάχιστα από τις πραγματικές και είναι γενικά χαμηλότερες το χειμώνα, την άνοιξη και το καλοκαίρι και υψηλότερες το φθινόπωρο, στην περίπτωση των P10 και P25 (Σχ. 26γ). Σε ότι αφορά το P75 υπερεκτιμάται την άνοιξη, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες εποχές, στις οποίες οι τιμές αυτού είναι χαμηλότερες σε σχέση με τις πραγματικές. Το ποσοστιαίο σημείο P90, εμφανίζει υψηλότερες τιμές το χειμώνα και την άνοιξη, σε αντίθεση με το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.



Σχήμα 26. Σύγκριση μέσης τιμής (α), τυπικής απόκλισης (β) και ποσοστιαίων σημείων P10, P25, P75, P90 (γ) των πραγματικών τιμών εποχιακών βροχοπτώσεων (μ, σ, OBS) της περιόδου 1961-1990 και των αντίστοιχων θεωρητικών του μοντέλου (μ*, σ*, MOD), στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

Σε γενικές γραμμές, τόσο σε ότι αφορά τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις της Αθήνας, όσο και της Θεσσαλονίκης, η προσαρμογή του μοντέλου είναι αρκετά ικανοποιητική με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την εκτίμηση της πιθανότητας των ακραίων εποχών στους δύο υπό μελέτη σταθμούς την περίοδο 2071-2100.

5.4 Στατιστική σύγκριση παραμέτρων μ και σ μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100.

Στο υποκεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται στατιστική σύγκριση, τόσο ως προς τη μέση τιμή, όσο και ως προς την τυπική απόκλιση, των πραγματικών τιμών των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων της περιόδου 1961-1990 και των αντίστοιχων θεωρητικών της περιόδου 2071-2100, ως ένδειξη κλιματικής μεταβολής. Για τον έλεγχο σημαντικής ή μη μεταβολής της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης εφαρμόστηκαν τα τεστ t και F , τα οποία περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 2 (§ 2.3.1). Υπενθυμίζεται ότι, οι κρίσιμες τιμές των στατιστικών t και F είναι 1,96 και 1,86, αντίστοιχα, σε επίπεδο σημαντικότητας 95%.

Στους Πίνακες 15 και 16 παρουσιάζεται η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση και η τιμή του στατιστικού D του κριτηρίου Kolmogorov – Smirnov (K-S) για τον έλεγχο καλής προσαρμογής της κανονικής (λογαριθμοκανονικής για τις θερινές βροχοπτώσεις της Αθήνας) των εποχιακών θερμοκρασιών / βροχοπτώσεων στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Η προσαρμογή της κανονικής (λογαριθμοκανονικής) κατανομής είναι ιδιαίτερα ικανοποιητική, καθώς οι τιμές του στατιστικού D , είναι μικρότερες της κρίσιμης τιμής $D_0=0,248$ (σε επίπεδο σημαντικότητας 95%), σε κάθε εποχή και στους δύο υπό μελέτη σταθμούς.

Πίνακας 15. Μέση τιμή (μ) και τυπική απόκλιση (σ) ($^{\circ}\text{C}$ και mm για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, αντίστοιχα) (και διαφορά /σχετική μεταβολή της θερμοκρασίας / βροχόπτωσης ως προς την περίοδο 1961-1990) και τιμές του D (K-S) της κανονικής κατανομής των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων (των φυσικών λογαρίθμων των θερινών βροχοπτώσεων) της περιόδου 2071-2100, της Αθήνας.

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
μ	10.8 (0.27)	17.8 (1.80)	31.3 (4.81)	15.7 (-3.51)	108.6 (-23.2%)	70.4 (-8.7%)	1.67 (-22.6%)	108.8 (15.1%)
σ	0.8 (0.07)	0.9 (0.0)	0.7 (0.01)	0.9 (0.12)	61.7 (27.3%)	32.8 (-7.4%)	1.99 (34.5%)	82.2 (46.7%)
D	0.103	0.108	0.107	0.12	0.16	0.109	0.177	0.166

Πίνακας 16. Μέση τιμή (μ) και τυπική απόκλιση (σ) ($^{\circ}\text{C}$ και mm για τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση, αντίστοιχα) (και διαφορά /σχετική μεταβολή της θερμοκρασίας / βροχόπτωσης ως προς την περίοδο 1961-1990) και τιμές του D (K-S) της κανονικής κατανομής των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων της περιόδου 2071-2100, της Θεσσαλονίκης.

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
μ	6.7 (-0.14)	16.2 (1.66)	31.6 (6.75)	18.3 (1.58)	117.4 (-5.3%)	137.6 (3.9%)	70.6 (-19.6%)	106.8 (-12.3%)
σ	1.0 (0.42)	1.0 (0.02)	1.1 (0.50)	1.0 (-0.02)	54.9 (-8.6%)	51.8 (31.7%)	50.6 (22.4%)	69.7 (16.1%)
D	0.088	0.093	0.08	0.074	0.144	0.125	0.162	0.125

Στους Πίνακες 17 και 18 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της στατιστικής σύγκρισης, ως προς τη μέση τιμή και την τυπική απόκλιση, των εποχιακών θερμοκρασιών / βροχοπτώσεων μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, αντίστοιχα. Οι περιπτώσεις στατιστικά σημαντικής μεταβολής της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης, παρουσιάζονται με έντονο κόκκινο και πράσινο χρώμα, αντίστοιχα.

Πίνακας 17. Τιμές των t και F, της διαφοράς των μέσων τιμών και του λόγου των διασπορών, αντίστοιχα, των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων της Αθήνας, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100.

		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
		Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1961-1990	t	-1.347	-7.903	-26.262	16.912	2.289	0.757	1.077	-0.788
2071-2100	F	1.197	1.005	1.041	1.345	1.620	1.165	1.810	2.152

Πίνακας 18. Τιμές των t και F, της διαφοράς των μέσων τιμών και του λόγου των διασπορών, αντίστοιχα, των εποχιακών θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων της Θεσσαλονίκης, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100.

		ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ				ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ			
		Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο
1961-1990	t	0.627	-6.714	-28.468	-6.031	0.442	-0.431	1.445	0.892
2071-2100	F	2.783	1.048	3.180	1.036	1.198	1.735	1.498	1.349

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ελέγχων t και F, εντοπίστηκε, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, στο σταθμό της Αθήνας, στατιστικά σημαντική αύξηση της μέσης τιμής των εαρινών και θερινών θερμοκρασιών (κατά 1.8°C και 4.81°C , αντίστοιχα), ελάττωση της μέσης τιμής των φθινοπωρινών θερμοκρασιών (κατά -3.5°C) και ελάττωση της μέσης τιμής των χειμερινών υψών βροχής (κατά -23.2% , ή κατά 32

mm). Επιπλέον, εντοπίστηκε στατιστικά σημαντική αύξηση της τυπικής απόκλισης των φθινοπωρινών υψών βροχής (κατά 46.7% ή κατά 26 mm). Σε ότι αφορά τη Θεσσαλονίκη, οι έλεγχοι t και F, υποδηλώνουν στατιστικά σημαντική αύξηση της μέσης τιμής των εαρινών, θερινών και φθινοπωρινών θερμοκρασιών (κατά 1.66°C, 6.75°C, και 1.58°C, αντίστοιχα), μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, καθώς και στατιστικά σημαντική αύξηση της τυπικής απόκλισης των χειμερινών και εαρινών θερμοκρασιών (κατά 0.42°C και 0.50°C, αντίστοιχα). Στην περίπτωση της βροχόπτωσης δεν εντοπίστηκε σημαντική μεταβολή, τόσο ως προς τη μέση τιμή, όσο και ως προς την τυπική απόκλιση, σε καμία εποχή.

5.5 Εκτίμηση πιθανότητας ακραίων εποχών στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, την περίοδο 2071-2100.

Η πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών, την περίοδο 2071-2100, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης (Πίνακες 19 και 20, αντίστοιχα), υπολογίστηκε συναρτήσει της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης της περιόδου, σύμφωνα με τις σχέσεις (3.5), (3.6), (3.7) και (3.8) (Κεφάλαιο 3, § 3.2). Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε λαμβάνοντας υπ' όψιν τις τιμές των συντελεστών συσχέτισης των Πινάκων 11 έως 14 (Κεφάλαιο 4, § 4.3). Δηλαδή, το μοντέλο της κανονικής κατανομής θεωρείται αξιόπιστο, για την εκτίμηση της μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών, στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, όταν η μεταβολή της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης ερμηνεύουν τουλάχιστον το 49% της μεταβολής της πιθανότητας. Οι περιπτώσεις αυτές αντιπροσωπεύουν τα κόκκινα κελιά στους Πίνακες 19 και 20 (7 και 6 περιπτώσεις, αντίστοιχα). Στο σημείο αυτό, αξίζει να αναφερθεί ότι, στο σταθμό της Αθήνας, οι περιπτώσεις αυτές αφορούν στο σύνολό τους αποκλειστικά τη βροχόπτωση. Αντίθετα, στο σταθμό της Θεσσαλονίκης, 2 από τις 6 περιπτώσεις αφορούν τη θερμοκρασία. Λιγότερο αξιόπιστη θεωρείται η μεταβολή της πιθανότητας, την οποία ερμηνεύει σε ποσοστό μεγαλύτερο του 49%, μόνο μία εκ των δύο παραμέτρων μ / σ (πράσινα / μπλε κελιά). Το μοντέλο της κανονικής κατανομής, που εφαρμόστηκε στη συγκεκριμένη μελέτη, δεν μπορεί να εντοπίσει ισχυρή συσχέτιση (γκρι κελιά) μεταξύ των μ / σ και των ακραίων εποχών σε 8 περιπτώσεις για την Αθήνα (4 εκ των οποίων αφορούν τις εαρινές θερμοκρασίες) και 5 για τη Θεσσαλονίκη (εκ των οποίων μόνο η μία αφορά τη θερμοκρασία). Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι, η επιλογή μιας άλλης κατανομής (π.χ. γάμμα, εκθετική) ακόμα και σε εποχιακή βάση θα μπορούσε να εντοπίσει μια ισχυρότερη συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων μ / σ και της

πιθανότητας των ακραίων εποχών, στο σταθμό της Αθήνας και των υγρών μεταβατικών εποχών, στο σταθμό της Θεσσαλονίκης.

Πίνακας 19. Πιθανότητα εμφάνισης ακραίων εποχών στο σταθμό της Αθήνας, την περίοδο 2071-2100 (και μεταβολή αυτής σε σχέση με την περίοδο 1961-1990).

		P10	P25	P75	P90
Θερμοκρασία	Χειμώνας	0.052 (-0.024)	0.130 (-0.065)	0.309 (0.150)	0.266 (0.139)
	Άνοιξη	0.001* (-0.133)	0.003* (-0.215)	0.867* (0.680)	0.782* (0.670)
	Καλοκαίρι	0.000* (-0.098)	0.000* (-0.195)	1.000* (0.761)	1.000* (0.901)
	Φθινόπωρο	0.998* (0.900)	1.000* (0.715)	0.000* (-0.195)	0.000* (-0.076)
Βροχόπτωση	Χειμώνας	0.367* (0.233)	0.534* (0.249)	0.177* (-0.125)	0.036* (-0.015)
	Άνοιξη	0.138 (0.023)	0.266 (0.045)	0.224 (-0.081)	0.070 (-0.049)
	Καλοκαίρι	0.254 (0.137)	0.385 (0.150)	0.208 (-0.013)	0.156 (0.007)
	Φθινόπωρο	0.165 ^s (0.046)	0.249 ^s (0.020)	0.338 ^s (0.146)	0.170 ^s (0.121)

(— $r_s(\mu)$ και $r_s(\sigma) \geq 0.7$, — $r_s(\mu) \geq 0.7$, — $r_s(\sigma) \geq 0.7$, — $r_s(\mu)$ και $r_s(\sigma) < 0.7$, (*) σημαντική μεταβολή του μ , (^s) σημαντική μεταβολή του σ .

Πίνακας 20. Πιθανότητα εμφάνισης ακραίων εποχών στο σταθμό της Θεσσαλονίκης, την περίοδο 2071-2100 (και μεταβολή αυτής σε σχέση με την περίοδο 1961-1990).

		P10	P25	P75	P90
Θερμοκρασία	Χειμώνας	0.274 ^s (0.153)	0.345 ^s (0.141)	0.274 ^s (0.071)	0.136 ^s (0.088)
	Άνοιξη	0.002* (-0.090)	0.014* (-0.274)	0.816* (0.629)	0.726* (0.615)
	Καλοκαίρι	0.000* ^s (-0.121)	0.000* ^s (-0.308)	1.000* ^s (0.749)	1.000* ^s (0.933)
	Φθινόπωρο	0.001* (-0.066)	0.014* (-0.260)	0.816* (0.574)	0.579* (0.498)
Βροχόπτωση	Χειμώνας	0.090 (0.000)	0.250 (0.017)	0.157 (-0.052)	0.079 (-0.040)
	Άνοιξη	0.165 (0.040)	0.241 (0.029)	0.279 (0.095)	0.175 (0.088)
	Καλοκαίρι	0.281 (0.151)	0.396 (0.166)	0.232 (-0.083)	0.055 (-0.006)
	Φθινόπωρο	0.199 (0.090)	0.336 (0.106)	0.145 (-0.018)	0.086 (-0.006)

(— $r_s(\mu)$ και $r_s(\sigma) \geq 0.7$, — $r_s(\mu) \geq 0.7$, — $r_s(\sigma) \geq 0.7$, — $r_s(\mu)$ και $r_s(\sigma) < 0.7$, (*) σημαντική μεταβολή του μ , (^s) σημαντική μεταβολή του σ .

Σε ότι αφορά την επίδραση της μεταβολής των παραμέτρων μ και σ στη πιθανότητα των ακραίων εποχών, προκύπτει το συμπέρασμα ότι, η στατιστικά σημαντική μεταβολή της μέσης τιμής (όπου αυτή εντοπίστηκε) επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών στους δύο υπό μελέτη σταθμούς, σε σχέση με τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης. Η αύξηση της μέσης τιμής των θερινών θερμοκρασιών στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, κατά $4,81^{\circ}\text{C}$ και $6,75^{\circ}\text{C}$, αντίστοιχα, έχει σαν αποτέλεσμα, ένα θερμό ή πολύ θερμό καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, να εμφανίζεται σε κάθε έτος της περιόδου 2071-2100, σε αντίθεση με ένα ψυχρό ή πολύ ψυχρό καλοκαίρι της περιόδου 1961-1990, το οποίο την περίοδο 2071-2100, θα απουσιάζει πλήρως. Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και στην περίπτωση των εαρινών και φθινοπωρινών θερμοκρασιών της Θεσσαλονίκης, με την πιθανότητα εμφάνισης θερμής ή πολύ θερμής άνοιξης / φθινοπώρου να είναι ελαφρώς χαμηλότερη της μονάδας και την πιθανότητα εμφάνισης ψυχρής ή πολύ ψυχρής άνοιξης / φθινοπώρου να βρίσκεται πολύ κοντά στο μηδέν. Στην περίπτωση των φθινοπωρινών θερμοκρασιών της Αθήνας, παρατηρείται η αντίστροφη εικόνα. Δηλαδή, λόγω της ελάττωσης της μέσης θερμοκρασίας κατά $-3,51^{\circ}\text{C}$, κάθε φθινόπωρο της περιόδου 2071-2100 θα είναι ψυχρό ή πολύ ψυχρό, ενώ σε κανένα έτος η εποχή αυτή δεν θα είναι θερμή ή πολύ θερμή. Σχετικά με την επίδραση της τυπικής απόκλισης, παρατηρείται ότι, η στατιστικά σημαντική αύξηση αυτής, στην περίπτωση των φθινοπωρινών υψών βροχής της Αθήνας, κατά 46,7%, δεν επηρέασε σημαντικά την πιθανότητα εμφάνισης ξηρού ή υγρού φθινοπώρου, τόσο ως προς τα P25 και P75, όσο και ως προς τα P10 και P90, η οποία δεν ξεπερνά την τιμή 0.35. Η ελάττωση της μέσης τιμής των χειμερινών υψών βροχής, στον ίδιο σταθμό, κατά -23,2% προκαλεί συγκριτικά μεγαλύτερη μεταβολή κυρίως στην πιθανότητα ως προς τα P10, P25. Επιπλέον, παρατηρείται ότι, όταν η ελάττωση της μέσης τιμής, προκαλεί χαρακτηριστική αύξηση στην πιθανότητα των P10 και P25, σε σχέση με τη σαφώς μικρότερη ελάττωση της πιθανότητας των P75 και P90. Η παρατήρηση αυτή δεν ισχύει μόνο στην περίπτωση των χειμερινών υψών της Αθήνας, αλλά γίνεται αντιληπτή σε όλες τις περιπτώσεις μεταβολής της μέσης τιμής των Πινάκων 19 και 20. Ομοίως, η αύξηση της μέσης τιμής, όπως π.χ. στην περίπτωση των εαρινών θερμοκρασιών στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, προκαλεί σημαντικά μεγαλύτερη αύξηση της πιθανότητας των P75 και P90, σε σχέση με την ασθενή ελάττωση της πιθανότητας των P10 και P75.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα μελέτη εφαρμόστηκε ένα απλό στατιστικό μοντέλο, με σκοπό τη διερεύνηση των επιδράσεων των μεταβολών του κλίματος, στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων (ψυχρών / ξηρών, θερμών / υγρών) εποχών, στους σταθμούς της Αθήνας (1883-2002) και της Θεσσαλονίκης (1913-2002). Η διερεύνηση της κλιματικής μεταβολής αντιμετωπίστηκε, ως το πρόβλημα της εκτίμησης στατιστικά σημαντικής μεταβολής (μεταξύ τεσσάρων συνεχόμενων 30ετιών στο σταθμό της Αθήνας και τριών στο σταθμό της Θεσσαλονίκης) των παραμέτρων θέσης ή / και κλίμακας της κατανομής που αντιπροσωπεύει τις εποχιακές θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις. Οι ακραίες εποχές μελετήθηκαν ως γεγονότα στις ουρές της κατανομής και καθορίστηκαν χρησιμοποιώντας τα ποσοστιαία σημεία P10 (πολύ ψυχρή / πολύ ξηρή εποχή), P25 (ψυχρή / ξηρή εποχή), P75 (θερμή / υγρή εποχή) και P90 (πολύ θερμή / πολύ υγρή εποχή) της περιόδου αναφοράς 1961-1990. Η πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών υπολογίστηκε, σε κάθε επιμέρους περίοδο, συναρτήσει της μέσης τιμής (παράμετρος θέσης) και της τυπικής απόκλισης (παράμετρος κλίμακας), χρησιμοποιώντας βασικούς τύπους της κανονικής κατανομής, η οποία βρέθηκε, ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την κατανομή των δύο κλιματικών μεταβλητών, τόσο της περιόδου αναφοράς, όσο και των επιμέρους περιόδων και στους δύο σταθμούς. Εξαιτίας της θετικής λοξότητας της κατανομής των θερινών υψών βροχής της Αθήνας, χρησιμοποιήθηκε η λογαριθμοκανονική κατανομή.

Η πιθανότητα των θερμών / υγρών (ψυχρών / ξηρών) εποχών παρουσιάζει την ίδια (αντίστροφη) μεταβολή, κατά τη διάρκεια των επιμέρους περιόδων, με αυτήν της μέσης τιμής και στους δύο σταθμούς. Μάλιστα, η μεταβολή της πιθανότητας είναι εντονότερη, μεταξύ εκείνων των περιόδων, στις οποίες η μεταβολή της μέσης τιμής είναι στατιστικά σημαντική. Η μέγιστη τιμή πιθανότητας, σύμφωνα με τα P75 και P90, εντοπίστηκε εκείνη την περίοδο με την υψηλότερη μέση τιμή και αντίστοιχα, η μέγιστη τιμή πιθανότητας, ως προς τα P25 και P10, εντοπίστηκε την περίοδο με τη χαμηλότερη μέση τιμή, ανεξάρτητα την τιμή της τυπικής απόκλισης.

Η εφαρμογή του μοντέλου της κανονικής κατανομής, για δύο διαφορετικές αρχικές συνθήκες (σταθερό μ και σταθερό σ), ανέδειξε την έντονη επίδραση της μέσης τιμής, σε σχέση με την επίδραση της τυπικής απόκλισης, καθώς μικρές μεταβολές της πρώτης προκαλούν σημαντική μεταβολή στην πιθανότητα των

ακραίων εποχών. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει, λόγω της εκθετικής μορφής της καμπύλης μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών, για σταθερή τυπική απόκλιση, σε αντίθεση με τη σχεδόν ευθεία μορφή της καμπύλης της πιθανότητας, για σταθερή μέση τιμή. Η ελάττωση (αύξηση) της μέσης τιμής προκαλεί εντονότερη αύξηση στην πιθανότητα ως προς το P25 (P75), σε σχέση με το P10 (P90). Σαν αποτέλεσμα, η επίδραση της μέσης τιμής είναι μεγαλύτερη, όσο λιγότερο απέχει το ποσοστιαίο σημείο για τον καθορισμό των ακραίων εποχών από αυτήν. Η αύξηση (ελάττωση) της τυπικής απόκλισης συνοδεύεται από την εντονότερη αύξηση (ελάττωση) της πιθανότητας των P10 και P90, σε σχέση με την αύξηση (ελάττωση) των P25 και P75. Ως συνέπεια, η επίδραση της τυπικής απόκλισης είναι μεγαλύτερη, όσο αυξάνει η απόσταση του ποσοστιαίου σημείου από τη μέση τιμή, δηλαδή, όσο πιο ακραίο είναι το φαινόμενο.

Η συγκριτική μελέτη των θεωρητικών χρονοσειρών (όπως προκύπτουν με την εφαρμογή της μεθόδου του κινούμενου μέσου 30 ετών) της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και της πιθανότητας των ακραίων εποχών, αν και υποκειμενική, επιβεβαιώνει τη σημαντικότητα της επίδρασης της μέσης τιμής στην πλειονότητα των περιπτώσεων. Η πιθανότητα των θερμών (πολύ θερμών) / υγρών (πολύ υγρών) εποχών ακολουθεί την ίδια μεταβολή με τη μέση τιμή, ενώ την αντίθετη μεταβολή παρουσιάζει η πιθανότητα των ψυχρών (πολύ ψυχρών) / ξηρών (πολύ ξηρών) εποχών, ανεξάρτητα τη μεταβολή της τυπικής απόκλισης.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της σχέσης μεταξύ των μεταβολών των παραμέτρων μ και σ και των μεταβολών της πιθανότητας των ακραίων εποχών πραγματοποιήθηκε μέσω του υπολογισμού του συντελεστή συσχέτισης κατά Spearman, μεταξύ των θεωρητικών χρονοσειρών της μέσης τιμής, της τυπικής απόκλισης και της πιθανότητας των ακραίων εποχών. Η συσχέτιση μεταξύ της μέσης τιμής και της πιθανότητας των ψυχρών και θερμών εποχών είναι στατιστικά σημαντική σε κάθε εποχή και στους δύο υπό μελέτη σταθμούς. Θετική συσχέτιση παρατηρείται στην περίπτωση των θερμών (P75) και πολύ θερμών (P90) εποχών και αρνητική στην περίπτωση των ψυχρών (P25) και πολύ ψυχρών (P10) εποχών. Επιπλέον, οι τιμές του συντελεστή είναι υψηλότερες στην περίπτωση του P25 σε σχέση με το P10 και υψηλότερες στην περίπτωση του P75 σε σχέση με το P90. Η συσχέτιση μεταξύ της τυπικής απόκλισης και της πιθανότητας των ψυχρών / θερμών (ξηρών / υγρών) εποχών κυμαίνεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σχέση με τη συσχέτιση με τη μέση τιμή, ενώ αρκετές είναι οι περιπτώσεις μη σημαντικής συσχέτισης. Γενικά, ο

συντελεστής είναι θετικός και οι τιμές του είναι υψηλότερες στην περίπτωση του P10 (P90) σε σχέση με το P25 (P75).

Το απλό στατιστικό μοντέλο, που αναπτύχθηκε, εφαρμόστηκε στα αποτελέσματα του HadRM3H κλιματικού μοντέλου, του Hadley Center, για την εκτίμηση της μεταβολής της πιθανότητας των ακραίων εποχών, στους σταθμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, μεταξύ των περιόδων 1961-1990 και 2071-2100, σύμφωνα με το A2-SRES σενάριο. Λόγω της αύξησης της μέσης τιμής των θερινών θερμοκρασιών, κάθε καλοκαίρι της περιόδου 2071-2100, στους δύο σταθμούς, θα είναι θερμότερο από το πιο θερμό της περιόδου 1961-1990. Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν και σε ότι αφορά τις εαρινές και φθινοπωρινές θερμοκρασίες της Θεσσαλονίκης, ενώ η αντίστροφη εικόνα, αναμένεται σε ότι αφορά το φθινόπωρο στην Αθήνα. Δηλαδή, λόγω της ελάττωσης της μέσης τιμής, κάθε φθινόπωρο της περιόδου 2071-2100, θα είναι ψυχρότερο από το πιο ψυχρό της περιόδου 1961-1990. Σχετικά με τη βροχόπτωση, οι παρατηρούμενες μεταβολές είναι μικρότερης έντασης σε σχέση με τη θερμοκρασία και αφορούν μόνο το σταθμό της Αθήνας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, στην περίπτωση των χειμερινών υψών βροχής της Αθήνας, η ελάττωση της μέσης τιμής, οδηγεί στην αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης ξηρού και πολύ ξηρού χειμώνα, κατά 23% και 25%, αντίστοιχα, σε σχέση με την περίοδο 1961-1990, ενώ, εξαιτίας της αύξησης της τυπικής απόκλισης των φθινοπωρινών υψών βροχής, αναμένονται αυξημένες πιθανότητες εμφάνισης υγρού και πολύ υγρού φθινοπώρου, κατά 14% και 12%, αντίστοιχα.

Το στατιστικό μοντέλο που περιγράφηκε και εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη, θεωρείται αρκετά αξιόπιστο στο να αποδώσει τη σημασία των επιδράσεων των μεταβολών του κλίματος στην πιθανότητα εμφάνισης των ακραίων εποχών, στους δύο σταθμούς. Ο αντικειμενικός τρόπος καθορισμού των ακραίων εποχών, μέσω των ποσοστιαίων σημείων της περιόδου αναφοράς και η χρησιμοποίηση της κανονικής κατανομής, αφενός για τον υπολογισμό της πιθανότητας εμφάνισης αυτών, αφετέρου για τον εντοπισμό σημαντικής μεταβολής των παραμέτρων μ και σ (μέσω των ελέγχων t και F), αποτελούν τα βασικότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου.

Τα συνήθη προβλήματα τα οποία αντιμετωπίζονται κατά την εφαρμογή της μεθόδου του κινούμενου μέσου (π.χ. για επικάλυψη $n=11$ ετών, 'χάνονται' $(n-1)/2$ τιμές στην αρχή και στο τέλος της χρονοσειράς), δεν θεωρήθηκαν σημαντικά, καθώς η μέθοδος αποσκοπούσε στην αύξηση του μεγέθους του δείγματος και όχι στη διαχρονική ανάλυση των χρονοσειρών.

Στις περιπτώσεις εκείνες, όπου το μοντέλο της κανονικής κατανομής δεν μπορεί να εντοπίσει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων μ / σ και της πιθανότητας εμφάνισης των ακραίων εποχών (π.χ. θερμής / ψυχρής άνοιξης στην Αθήνα ή υγρού φθινοπώρου στη Θεσσαλονίκη), η επιλογή μιας άλλης κατανομής ενδεχομένως να αποδώσει καλύτερα αποτελέσματα. Με την ίδια λογική, η βασική ιδέα της χρησιμοποίησης κατανομών για τη διερεύνηση των επιδράσεων των μεταβολών του κλίματος στην πιθανότητα των ακραίων φαινομένων, μπορεί να επεκταθεί, τόσο σε μηνιαία, όσο και σε ημερήσια βάση. Μια τέτοια μελέτη, παρουσιάζει σαφώς μεγαλύτερο ενδιαφέρον, εντούτοις τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται είναι περισσότερα. Για παράδειγμα, η μηνιαία βροχόπτωση στον ελλαδικό χώρο ακολουθεί συνήθως την κατανομή γάμμα, της οποίας η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση εξαρτώνται από τις παραμέτρους κλίμακας και σχήματος.

Οι αλληλεπιδράσεις της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης στα άκρα της κατανομής θα μπορούσαν να μελετηθούν διατηρώντας κάθε φορά μια εκ των δύο παραμέτρων κλίμακας / σχήματος σταθερή και μεταβάλλοντας την άλλη. Εντούτοις, η διερεύνηση σημαντικής μεταβολής των μ και σ , ως ένδειξη κλιματικής μεταβολής, εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα, εξαιτίας της ευαισθησίας των σχετικών στατιστικών ελέγχων στις αποκλίσεις από την κανονικότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αρσένη – Παπαδημητρίου Α., 1994: Επανεκτίμηση της Ενδοετήσιας Μεταβολής των Βροχοπτώσεων στον Ελληνικό Χώρο. 2^ο Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, 369-381.
- Κανδύλης Ι, 1991: Τάση υψών νετού στον Ελλαδικό χώρο την τελευταία 30ετία 1960-1989. Δημοσιεύματα Εργαστηρίου Κλιματολογίας Πανεπιστημίου Αθηνών.
- Κολυβά – Μαχαίρα Φ., Μπόρα – Σέντα Ε., 1996: Στατιστική Θεωρία – Εφαρμογές, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Μακρογιάννης Τ., Μπόρα – Σέντα Ε., Φίλανδρος Θ. 1998: Ανάλυση των χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα στη Θεσσαλονίκη. Εφαρμογή των ARIMA(p,d,q) Μοντέλων. 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Αθήνα 22-25 Σεπτεμβρίου 1998.
- Μαχαίρας Π., Βαφειάδης Μ. 1992: Η ξηρασία στην Αθήνα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 120 ετών (1871-1990). 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Θεσσαλονίκη, 1992.
- Σακελλαρίου Ν., Ζουμπουλίδου Β., Τσελεπιδάκη Η. και Ασημακόπουλος Δ. 1992: Μεταβλητότητα Βροχοπτώσεων σε Παράκτιους Σταθμούς της Ελλάδας. 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, 147-153.
- Σαχσαμάνογλου Χ και Μακρογιάννης Τ, 1995: Οι βροχοπτώσεις στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια. 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Θεσσαλονίκη, 213-220,
- Φείδας Χ., Μακρογιάννης Τ., Μπόρα – Σέντα Ε. 2002: Ανάλυση των τάσεων των χρονοσειρών της θερμοκρασίας του αέρα στην Ελλάδα και η σχέση τους με την κυκλοφορία. 6^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας. Ιωάννινα 22-25 Σεπτεμβρίου 2002.
- Φλόκας Α. Α., 1985: Διακυμάνσεις των Μηνιαίων Τιμών της Θερμοκρασίας του Αέρα Κατά τη Διάρκεια της Περιόδου 1892 – 1981 στη Θεσσαλονίκη. Συνέδριο Δήμου Θεσσαλονίκης, με θέμα: Περιβάλλον και Ποιότητα Ζωής στη Θεσσαλονίκη, Θεσσαλονίκη, 341-348.
- Anagnostopoulou C., Maheras P., Karacostas T., Vafiadis M. 2003: Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece. Ther. Appl. Climatol. 74, 77-91.

- Arseni – Papadimitriou A., 1973: On the Annual Variation of Air Temperature in Athens (1858 - 1972). *Meteorologika*, No.31, Inst. of Meteorol. And Climat., and Sci.Annals, Fac.Phys. And Mathem., Univ. of Thessaloniki, 13, 325-346.
- Arseni – Papadimitriou A., 1974: Contribution to the Study of Air Temperature in Thessaloniki. *Meteorologika*, No.40, Inst. of Meteorol. And Climat., and Sci.Annals, Fac.Phys. And Mathem., Univ. of Thessaloniki, 151-165.
- Arseni – Papadimitriou A., Maheras P. 1991: Some statistical characteristics of air temperature variations at four Mediteranean stations. *Ther. Appl. Climatol.* 43, 105-112.
- Arseri – Papadimitriou A., Maheras P., Cuniac P. 1998: The urban effect on the daily min air temperature in Thessaloniki. *Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Physica* 3.
- Balafoutis Ch., Arseni – Papadimitriou A., 1992: Analyse en composantes principales des temperatures moyennes maximales et minimales en Grece. *Publ. De l Ass. Int. Clim.*, 5, 213-219.
- Ben-Gai T, Bitan A, Manes A, Alpert P, Rubin S, 1998: Spatial and Temporal Changes in Rainfall Frequency Distribution Patterns in Israel, *Theor. Appl. Climatol.* 61 177-190.
- Brunetti M., Buffoni L., Maugeri M. and Nunni T., 2000a: Precipitation Intensity Trends in Northern Italy. *Int. J. Climatology.* 20, 1017-1031.
- Brunetti M., Maugeri M. and Nunni T., 2000b: Variations of Temperature and Precipitation in Italy from 1866 to 1995. *Theor. Appl. Climatology.* 65, 165-174.
- Buffoni, L., M. Maugeri, and T. Nanni, 1999: Precipitation in Italy from 1833 to 1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 63, 33–40.
- Chervin R. 1980: On the simulation of climate and climate change with general circulation models. *J. Atmos. Sci.*, 37, 1903-1913.
- Colombo F. A. 1998: Climate Variability and the Frequency of Extreme Temperature Events for Nine Sites across Canada: Implications for Power Usage. *Journal of Climate.* 12, 2490-2502.
- Cubasch, U, von Storch H, Waszkewith J, Zorita E 1996: Estimates of climate change in southern Europe derived from dynamical climate model output. *Climate Research* 7. 124-149
- December Press Release 2005. www.cru.uea.ac.uk

- Easterling DR., Diaz HF., Douglas AV., Hogg WD., Kunkel KE., Rogers JC., Wilkinson JF. 1999: Long - term observations for monitoring extremes in the Americas. *Climate Change* 42, 285-308.
- Easterling DR, Meehl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO 2000: Climate extremes: observations, modeling and impacts. *Science* 289, 2068-2074.
- European Climate Support Network (ECSN, 1995). *Climate of Europe: Recent Variation, Present State and Future Prospects*. KNMI, De Bilt.
- Fidas H., Lalas D. 2000: Climate Change in the Mediterranean. Technical Report in the Frame of the Project 'Climate Changes'. Hellenic Ministry for the Environment Physical Planning and Public Works / National Observatory of Athens.
- Folland C., Miller C., Bader D., Crowe M., Jones P., Plummer N., Richman M., Parker D., Rogers J., Scholefield P. 1997: Workshop on indices and indicators for climate extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997. Breakout group C: temperature indices for climate extremes. *Climatic Change* 42, 31-43.
- Founda, D, Papadopoulos, K.H., Petrakis, M., Diannakopoulos, C., Good, P., 2004. Analysis of mean, maximum and minimum temperature in Athens from 1897 to 2001 with emphasis on the last decade: trends, warm events and cold events. *Global and Planetary Change* 44, 27-38.
- Giles B., Flocas A. 1984: Air temperature variations in Greece: Part 1. Persistence, trend and fluctuations. *Inter. J. Climatology* 4, 531-539.
- Groisman, P.Ya., T.R. Karl, D.R. Easterling, R.W. Knight, P.B. Jamason, K.J. Hennessy, R. Suppiah, C.M. Page, J. Wibig, K. Fortuniak, V.N. Razuvaev, A. Douglas, E. Førland and P.M. Zhai, 1999: Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Clim. Change*, **42**, 243-283.
- Hansen J, Rind F, Delgenio A, Lebedeff S, Prather M, Ruedy R, Karl T, 1989: Regional Greengouse Climate Effects. 2nd North American Conference on Preparing for Climate Change, Climate Institute, Washington, D.C., 1989, 211-227.
- Hayashi Y. 1982: Confidence intervals of a climate signal. *J. Atmos. Sci.*, 39, 1895-1905.
- Hinkle, D., W. Wiersma, and S. Jurs. 1994. *Applied statistics for the behavioral sciences* (3rd ed.). Houghton Mifflin Company, Boston.

- Houghton J., Jenkins G., Ephraums E. 1990: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, 366 pp.
- Houghton J., Ding Y., Noguer M. 2001: Climate Change 2001: The scientific basis, Cambridge University Press, 881 pp.
- Hudson DA, Jones RG. 2002. Regional climate model simulations of present-day and future climates of southern Africa, Tech. Note 39, Hadley Cent. for Clim. Predict. and Res., Met Off., Bracknell, England.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001a. Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York. 881 pages
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001c. Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York. 1032 pages.
- Kalkstein L. Smoyer K. 1993: The impact of climate change on human health: Some international perspectives. *Experientia*, 49, 969-979.
- Karl T., Easterling D. 2000: Climate extremes: selected review and future research directions. *Clim. Change* 42, 309-325.
- Katz R.W. 1988: Statistical procedures for making inferences about Climate Variability. *J. Climate* 1, 1057-1064.
- Katz, R. W., 1991: Towards a statistical paradigm for climate change. Preprints, 7th Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston.
- Katz R. W, Brown B. G., 1992: Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climate Change* 21, 289-302.
- Katz RW and Carrido J, 1994: Sensitivity analysis of extreme precipitation events. *Inter. Journal of Climatology* 14 985-999.
- Kunkel K., Pielke R., Changnon S. 1999: Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts: a review. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 80, 89-95.
- Maheras P. 1987: Temporal fluctuations of annual precipitation in Palma and Thessaloniki, *J. Meteorol.* 12, 305-308.
- Maheras P., 1988: The Synoptic Weather Types and Objective Delimitation of the Winter Period in Greece. *Weather*. Vol. 43 No 2, pg. 40.

- Maheras P. 1988a. Changes in precipitation conditions in the Western Mediterranean over the last century, *J. Climatol.*, 8 179-189
- Maheras P. and Kolyva – Mahera F. 1990: Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over the Balkans in the 20th century. *Inter. Journal of Climatology*. 10. 495-504.
- Maheras P., Balroutis C., Vafiadis M. 1992: Precipitation in the Central Mediterranean During the last Century. *Theor. Appl. Climatol.* 45, 209-216.
- Maheras P., Anagnostopoulou C. 2003: Circulation Types and their Influence on the Interannual variability and precipitation changes in Greece, *Mediterranean Climate – Variability and Trends*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 215-239.
- Maugeri, M. and T. Nanni, 1998: Surface air temperature variations in Italy: recent trends and an update to 1998. *Theoretical and Applied Climatology*, 61, 191–196.
- Mearns, LO, Katz RW, Schneider SH, 1984: Extreme high temperature events: changes in their probabilities with changes in mean temperature. *J. Climate Appl. Meteorol.* 23 1601-1613.
- Meehl, G.A., T. Karl, D.R. Easterling, S. Changnon, R. Pielke, Jr., D. Changnon, J. Evans, P.Ya. Groisman, T.R. Knutson, K.E. Knukel, L.O. Mearns, C. Parmesan, R. Pulwarty, T. Root, R.T. Sylves, P. Whetton and F. Zwiers, 2000: An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bull. Am. Met. Soc.*, **81**, 413-416.
- Metaxas D., Bartzokas A., Vitsas A. 1991: Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the 120 last years. *Inter. J. Climatol.* 11, 897-908.
- Milly P., Wetherald R., Dunne K., Delworth T. 2002: Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415, 514-517.
- Mitchell JFB, Manabe S, Meleshko V, Tokioka T, 1990: ‘Equilibrium Climate Change and its implications for the future’, in Houghton JT, Jenkins GJ and Ephraums JJ (eds.), *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 131-172.
- Nicholls, N., G.V. Gruza, J. Jouzel, T.R. Karl, L.A. Ogallo, and D.E. Parker, 1996: Observed climate variability and change. In: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.)].

- Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 133–192.
- Onate, J.J. and A. Pou, 1996: Temperature variations in Spain since 1901: a preliminary analysis. *International Journal of Climatology*, 16, 805–815.
- Palmer T., Raisanen J. 2002: Quantifying the risk of extreme seasonal precipitation events in a changing climate. *Nature* 415, 512-514.
- Palutikof, J.P., S. Subak, and M.D. Agnew, 1997: Economic Impacts of the Hot Summer and Unusually Warm Year of 1995. Department of the Environment, University of East Anglia, Norwich, United Kingdom, 196 pp.
- Palutikof J.P., Trigo R.M., Adock S.T., 1999: Scenarios of future rainfall over the Mediterranean: is the region drying? In: Balabanis P., Ghazi A., Tsogas M. (eds) *Mediterranean desertification. Research results and policy implications*. Brussels: European Communities, 33-39.
- Parmesan C. Root TL. Willig MR, 2000: Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bull. Ame. Meteorol. Soc.* 81. 443-450
- Parry M. L. 2000. Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich.
- Pennas P. 2001: Lengths of wet – spells over Greece. Conference on Applications of Meteorology. Budapest, Hungary, CD Rom 2001.
- Perry A.H. 1987: Why Greece melted. *Geographical Magazine* 59, 199-203.
- Philandras C., Metaxas D., Nastos P. 1999: Climate variability and urbanization in Athens. *Theor. Applied Climatol.* 63, 65-72.
- Pope V.D, Gallani M, Rowntree PR, Stratton RA. 2000, The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model - HadAM3, *Climate Dyn.* 16: 123-146.
- Rind D. Goldberg R. Ruedy R. 1989: Change in climate variability in the 20th century. *Climate Change*. 14. 5-37.
- Rodrigo F.S., 2002: Changes in Climate Variability and Seasonal Rainfall Extremes: A Case Study from San Fernando (Spain), 1821-2000. *Theor. Appl. Climatology*. 72, 193-207.
- Romero, R., C. Ramis, and J.A. Guijarro, 1999: Daily rainfall patterns in the Spanish Mediterranean area: an objective classification. *International Journal of Climatology*, 19, 95–112.

- Schneider, S.H.1989: The Greenhouse effect: Science and Policy, Science 243, 771-781.
- Solomon A. and West D. 1985: Potential Responses of forests to CO₂ – induced Climate Change, in M.R. White (ed.), Characterization of information requirements for studies of CO₂ effects: Water Resources, Agriculture, Fisheries, Forests and Human Health, United States Department of Energy, DOE/ER-0236, 145-170.
- STARDEX 2001: STATistical and Regional dynamical Downscaling of Extremes for European regions. EVK2-CT-2001-00115, 5th Framework European programme project (2002-2005). <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/stardex/>.
- Unkasenic M. 1991: Evidence of the urban heat island in Belgrade (Yugoslavia). Beitr. Phys. Atmosph. 1, 55-63.
- Unkasenic M., Vujovic D., Tosic L. 2005: Trends in extreme summer temperature at Belgrade. Theor. Appl. Climatol.
- Watson, RT, Zinyowera MC, Moss RH, Dokkeu DJ (eds), 1996: Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific – Technical Analyses. Published for Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 878 p.p.
- Wigley TML, 1985: ‘Impact of Extreme Events’, Nature 316, 106-107.
- Wigley TML, 1988: ‘The effect of Changing Climate on the Frequency of Absolute Extreme Events’, Climate Monitor 17, 44-55.
- WMO (World Meteorological Organization), 2002. WMO statement on the status of the global climate in 2002: Global surface temperatures second warmest on record. WMO, Geneva.
- Yonetani T. and Gordon, HB, 2001: Simulated changes in the frequency of extremes and regional features of seasonal/annual temperature and precipitation when atmospheric CO₂ is doubled. J. Climate 14, 1765-1779.
- Zwiers F., Kharin V. 1998: Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO₂ doubling. J. Climate, 11, 2200-2222.