

**ΑΘΗΝΑ Β. ΚΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΟΣ**

176

ΜΠΛΕ

Μ.Ε.

2

**ΤΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ**  
**ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών**  
**Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας και**  
**Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος**  
**Τμήμα Φυσικής**  
**Σχολή Θετικών Επιστημών**  
**Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων**



Χρ.  
546

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2006



1

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ  
026000132980

2

M.F.

3

X6

272



Η Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά την διάρκεια του ακαδημαϊκού έτους 2004-2005 στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας και Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, υπό την επίβλεψη του Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Αριστείδη Μπαρτζώκα.

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**Αριστείδης Μπαρτζώκας, Αναπληρωτής Καθηγητής Τμήματος Φυσικής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων**

**Πάυλος Κασσωμένος, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Φυσικής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων**

**Ιωάννης Πνευματικός, Λέκτορας Τμήματος Φυσικής Πανεπιστημίου Ιωαννίνων**



Η εργασία με τίτλο «Το καθεστώς της εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων» εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας και Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων κατά το ακαδημαϊκό έτος 2004-2005.

Την επίβλεψη της εργασίας είχε ο αναπληρωτής καθηγητής κ. Αριστείδης Μπαρτζώκας τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την καλή και εποικοδομητική συνεργασία όπως και για τις χρήσιμες υποδείξεις του. Τον ευχαριστώ επίσης διότι ήταν κάθε στιγμή πρόθυμος και διαθέσιμος να συζητήσει οποιοδήποτε θέμα αφορούσε την εργασία, πάντα σε ένα θετικό κλίμα συνεργασίας.

Ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Βασίλειο Κατσούλη για την συμβολή του στην απόφαση να συνεχίσω τις σπουδές μου στο συγκεκριμένο μεταπτυχιακό καθώς επίσης και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις του αλλά και το συνεχές ενδιαφέρον του για την πρόοδό μου.

Από τη θέση αυτή, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα δυο μέλη της 3μελούς επιτροπής, κ. Παύλο Κασσωμένο, επίκουρο καθηγητή και κ. Ιωάννη Πνευματικό, λέκτορα, διότι δέχτηκαν να κρίνουν αυτή τη δουλειά.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω το λέκτορα, Χατζηαναστασίου Νικόλαο για τις πολύτιμες γνώσεις που μου μετέφερε στα πλαίσια των μαθημάτων του προγράμματος των μεταπτυχιακών σπουδών.

Τα χρόνια που πέρασα στο εργαστήριο Μετεωρολογίας, είχα την τύχη να συνυπάρξω με συναδέλφους, κάποιοι από τους οποίους έγιναν φίλοι και συνέβαλαν στο να δημιουργηθεί ένα πολύ ευχάριστο κλίμα στο χώρο εργασίας, ιδιαίτερα, με τους Καρανδεινό Χαράλαμπο και Κωλέτση Ιωάννη..

Στο χώρο του εργαστηρίου μπόρεσα να επωφεληθώ της παρουσίας παλαιότερων μεταπτυχιακών φοιτητών και σήμερα διδασκόντων και υποψηφίων διδασκόντων, όπως η Αγγελική Φωτιάδη, ο Χρήστος Λώλης, η Μαρίνα Μάρκου, ο Ηλίας Χούσος και ο Χρήστος Παπαδήμας, οι οποίοι μου μετέφεραν την εμπειρία και τη γνώση τους και αποδείχτηκαν χρήσιμοι σε διάφορα επιστημονικά και πρακτικά θέματα.

Την εργασία αυτή αφιερώνω στους γονείς μου Βασίλειο και Ευφροσύνη και τα αδέρφια μου Στέφανο και Γεώργιο για την πολύτιμη ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν κατά την διάρκεια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Αθηνά Β. Κοντογιάννη, 2006



*Αφιερώνεται  
στους γονείς μου.*





5.3 Κατανομή Συχνοτήτων Ημερησίων Τιμών Εξάτμισης το έτος	85
5.4 Κατανομή Συχνοτήτων των Μεταβολών της Εξάτμισης από μέρα σε μέρα για κάθε εποχή	86
5.4.1 Χειμώνας	87
5.4.2 Άνοιξη	90
5.4.3 Καλοκαίρι	91
5.4.4 Φθινόπωρο	94
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b>	
6.1 Γενικά Περί Ακραίων Περιστατικών Εξάτμισης	95
6.2 Μέγιστες – Ελάχιστες Τιμές Ημερήσιας Εξάτμισης	95
6.2.1 Κλιματικά χαρακτηριστικά της εξάτμισης στα Ιωάννινα	95
6.3 Συχνότητα Εμφάνισης Ακραίων Καταστάσεων Εξάτμισης	97
6.3.1 Χειμώνας	97
6.3.2 Άνοιξη	100
6.3.3 Καλοκαίρι	104
6.3.4 Φθινόπωρο	108
6.4 Επεισόδια Συνεχόμενων Ημερών με Ακραίες Τιμές Εξάτμισης	112
6.4.1 Ακραία επεισόδια εξάτμισης τον χειμώνα	112
6.4.2 Ακραία επεισόδια εξάτμισης την άνοιξη	114
6.4.3 Ακραία επεισόδια εξάτμισης το καλοκαίρι	116
6.4.4 Ακραία επεισόδια εξάτμισης το φθινόπωρο	117
6.5 Τάσεις Απολύτως Μεγίστων – Ελαχίστων Τιμών Εξάτμισης	120
6.6 Συνοπτικές Καταστάσεις Σχετιζόμενες με Ακραίες Καταστάσεις Εξάτμισης	123
6.6.1 Παραγοντική ανάλυση τον χειμώνα	123
6.6.2 Παραγοντική ανάλυση το καλοκαίρι	128
6.6.2.1 Παραγοντική ανάλυση το καλοκαίρι (άνω δεκατημόριο)	128
6.6.2.2 Παραγοντική ανάλυση το καλοκαίρι (κάτω δεκατημόριο)	132
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b>	
7.1 Συσχέτιση Εξάτμισης με Άλλες Μετεωρολογικές Παραμέτρους	136
7.2.1 Χειμώνας	136
7.2.2 Άνοιξη	140
7.2.3 Καλοκαίρι	145
7.2.4 Φθινόπωρο	150
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>	155
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	157
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>	162



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

#### 1.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ

Χιλιάδες χρόνια τώρα, ο άνθρωπος ζει και κινείται πάνω στη γη, σε ένα φυσικό περιβάλλον, αρμονικό και περίπλοκο μαζί. Τα χαρακτηριστικά αυτού του φυσικού περιβάλλοντος και ειδικότερα της ατμόσφαιρας επηρεάζουν άμεσα την ανθρώπινη επιβίωση και διαβίωση. Η άμεση εξάρτηση από τον καιρό, αλλά και το εντυπωσιακό των φαινομένων τον έκανε από νωρίς να τα παρατηρήσει και να προσπαθήσει να τα ερμηνεύσει.

Μεταξύ των λαών της αρχαιότητας, οι Έλληνες είναι διάσημοι για τη μεγάλη προσπάθεια των φυσικών φιλοσόφων να φθάσουν σε μια λογική εξήγηση του φυσικού κόσμου στον οποίο έζησαν. Δεν έχουν μείνει πολλά από τα πρωτότυπα γραπτά τους, αν και όσα έχουν σωθεί δεν είναι εύκολο να ερμηνευτούν, όχι μόνο επειδή μεγάλο μέρος των σημερινών θεωριών είναι αποτέλεσμα δευτερευουσών πηγών, αλλά επειδή οι έννοιες, ακόμη και των πιο στοιχειωδών εννοιών έχουν στο μεταξύ εξελιχθεί. Η εξέταση αυτών των εργασιών και των θεωριών, δείχνει ότι η εξάτμιση πρέπει να είχε μια κεντρική θέση στην κοσμολογία των αρχαίων Ελλήνων (Gilbert, 1907). Πράγματι, γήινες εκπνοές από ύδωρ και γη, αποτέλεσαν την βάση για την κατανόηση όλων των μετεωρολογικών φαινομένων. Αυτή η εκπνοή αναφέρεται ως «*αναθυμιάσις*» ή «*άτμις*», παρέχοντας τη σύνδεση και την αλληλεπίδραση μεταξύ των χαμηλότερων στοιχείων γης και νερού, με τα υψηλότερα του αέρα και της φωτιάς.

Ήδη στους προ φιλοσοφικούς χρόνους ο Ησίοδος τον όγδοο αιώνα π.Χ. σχολίασε το σχηματισμό της υδρονέφωσης. Σε ένα γραπτό του που δίνει συμβουλές στους αγρότες για τον τρόπο που πρέπει να ντυθούν στην δουλειά τους, ο Ησίοδος έγραψε: «*Το πρωί έχουμε κρύο, όταν πνέει βόρειος άνεμος, από τον έναστρο ουρανό πάνω από την γη και μια υδρονέφωση λίπανσης είναι εξαπλωμένη στις καλλιέργειες, αυτή η υδρονέφωση, προέρχεται από τους ποταμούς και ανυψώνεται ψηλά, πάνω από τη γη από ένα δυνατό άνεμο. Μερικές φορές πέφτει σαν βροχή κατά την διάρκεια της νύχτας ή μερικές φορές πνέει σαν άνεμος, ενώ ο Θρακικός Μπόρα χαράσσει τα σύννεφα*».

Αυτή η γραπτή μαρτυρία πιθανόν απεικονίζει τη διαίσθηση των περισσότερων απλών ανθρώπων. Περιέχει δύο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά γνωρίσματα: Ένας υπαινιγμός για την ατμοσφαιρική φάση του υδρολογικού κύκλου και ένα υπονοούμενο ότι η εξάτμιση μπορεί να είναι η αιτία και το αποτέλεσμα του ανέμου.

Η επίσημη έρευνα στην πραγματικότητα, είχε αρχίσει με τον Θαλή τον Μηλίσιο στην Ιωνία, που άκμασε περίπου το 585 π.Χ. Πιθανότατα, δεν κατέγραψε τις ιδέες του και καμία πραγματική αναφορά του δεν έχει σωθεί, αλλά υπάρχουν στοιχεία ότι σύνδεσε μερικές σημαντικές έννοιες με την εξάτμιση. Υποστήριζε ότι το νερό είναι η αρχή των πάντων και για να δώσει έναν από τους τρεις λόγους που συμβαίνει αυτό είπε ότι ακόμη και η φωτιά του ήλιου και όλων των αστεριών εξαρτώνται από την εξάτμιση των υδάτων.

Άλλος γνωστός Έλληνας φιλόσοφος ήταν ο Αναξίμανδρος από την Μίλητο, που γεννήθηκε το 610 π.Χ. Οι ιδέες του Αναξίμανδρου καταγράφηκαν από τον Ιππόλυτο στην δοξογραφία του, όπως ακολουθεί (Diels, 1879): «*Οι άνεμοι δημιουργούνται όταν λεπτότεροι ατμοί του αέρα χωρίζονται και όταν τίθενται σε*





κίνηση και συγκεντρώνονται από κοινού. Η βροχή δημιουργείται από την αναθυμίαση η οποία ανυψώνεται προς τον ήλιο».

Πάνω στο ίδιο θέμα, ο Αέτιος περιγράφει την ιδέα του Αναξίμανδρου ως εξής: «ο άνεμος είναι μια ροή αέρα, λεπτή και υγρή, η οποία κινείται ή διαλύεται εξαιτίας του ήλιου». Ο Αέτιος ήταν ένας δοξογράφος που πιθανότητα έζησε τον δεύτερο αιώνα μ.Χ. Αυτός έλαβε τις πληροφορίες του από μια χαμένη εργασία του Θεόφραστου. Ακόμη, ο Ιππόλυτος, ο οποίος πέθανε το 235 μ.Χ, αναζήτησε πληροφορίες από έμμεσες πηγές, ανεξάρτητες από αυτές του Αέτιου. Και τα δυο γραπτά συμφωνούν μεταξύ τους. Γι' αυτό το λόγο, παρόλο που παρέμειναν κάποιες αβεβαιότητες, αυτές πιθανότατα διασφαλίζουν την απεικόνιση της φιλοσοφίας του Αναξίμανδρου. Δηλώνουν ότι ο Αναξίμανδρος σκέφτηκε την υγρή αναθυμίαση, η οποία προκλήθηκε από τον ήλιο και η μεταφορά της οποίας προκαλεί τελικά τον άνεμο. Η εξάτμιση είναι αιτία παρά αποτέλεσμα του ανέμου.

Ο Ξενοφάνης, ο οποίος άκμασε γύρω στα 530 π.Χ είπε ότι: «Το τι συμβαίνει στον ουρανό, προκαλείται από την θερμότητα του ήλιου. Γι' αυτό όταν η υγρασία προκαλείται από τη θάλασσα, το καθαρό μέρος διακρίνεται από τη λεπτή σύστασή του και διαμορφώνει ένα σύννεφο το οποίο πέφτει ως βροχή από την συμπίεση και οι άνεμοι διαχέονται γύρω από αυτό». Ακόμη έγραψε ότι: «Η θάλασσα είναι η πηγή του νερού, η πηγή του ανέμου. Για τα σύννεφα, ούτε η δύναμη από τον άνεμο, ο οποίος εξασθενεί όταν δεν προέρχεται από την θάλασσα, ούτε η ροή των ανέμων, ούτε το νερό της βροχής από τον ουρανό, αλλά η θάλασσα είναι η πηγή των νεφών, ανέμων και ροών...».

Ο Διογένης ο Λαέρτιος, έδωσε μια παρόμοια περιγραφή με τον Ξενοφάνη για το φαινόμενο της εξάτμισης. Όλα αυτά δείχνουν ότι ο Ξενοφάνης είχε την ίδια ιδέα για τον υδρολογικό κύκλο, ο οποίος είχε ολοκληρωθεί από τον Ησίοδο και τον Αναξίμανδρο. Αλλά η εξάτμιση που εξαρτάται από τον ήλιο, παίζει κεντρικό ρόλο.

Η σκέψη για την διπλή φύση της αναθυμιάσης προφανώς παρουσιάστηκε πρώτα από τον Ηράκλειτο από την Έφεσο που άκμασε γύρω στα 500 π.Χ. Με άλλα λόγια ο Ηράκλειτος παραδέχτηκε ότι τα στοιχεία μπορούν να μετασχηματιστούν από την μια μορφή στην άλλη και διευκρίνισε ότι η εξάτμιση είναι η σημαντικότερη διαδικασία. Ωστόσο την ίδια στιγμή σκεφτόταν μια άλλη μορφή αναθυμιάσης: «οι αναθυμιάσεις προκύπτουν από τη γη καθώς επίσης και από τη θάλασσα, τα πρώτα είναι φωτεινά και καθαρά, τα τελευταία είναι σκοτεινά, η πυρκαγιά ευνοείται από τα φωτεινά, ενώ η υγρασία από τα άλλα... Μέρα και νύχτα, μήνες, εποχές, χρόνια, βροχές, άνεμοι και παρόμοια φαινόμενα προκαλούνται από ποικίλες αναθυμιάσεις. Η φωτεινή αναθυμίαση ανάβει από τον κύκλο του ήλιου, προκαλεί την ημέρα και όταν επικρατούν τα αντίθετα, προκαλείται η νύχτα. Η αύξηση της θερμότητας από την φωτεινή αναθυμίαση προκαλεί το καλοκαίρι, ενώ το αντίθετο προκαλεί τον χειμώνα».

Σε αυτό το γραπτό παρουσιάζεται ότι ο ήλιος είναι η αρχή της επικράτησης της φωτεινής ή της σκοτεινής αναθυμιάσης και αυτό οδηγεί στη μεταφορά των στοιχείων. Για τον Ηράκλειτο οι αναθυμιάσεις δεν ήταν μόνο κάποια φυσικά φαινόμενα αλλά η ψυχή των πάντων : «η ψυχή του κόσμου προέρχεται από την αναθυμίαση του νερού, και η ψυχή της ζωής προέρχεται από την ανώτερη αναθυμίαση και από αυτή λαμβάνει χώρα σε αυτή».

Ο Ιπποκράτης από την Κω, γνωστός σαν ο γιατρός της αρχαιότητας, είχε επίσης κάποιες ιδέες για την εξάτμιση. Γράφοντας για τις ιδιότητες και για την ποιότητα του νερού της βροχής ανέφερε : « ξεκινώντας με την ανατολή του ηλίου και πλησιάζοντας το λεπτότερο και ελαφρύτερο μέρος του ύδατος, όπως αποδεικνύεται από το σχηματισμό του άλατος ..... το λεπτότερο μέρος, εξ αιτίας της ελαφρότητάς του, καταρτίζεται από τον ήλιο. Όχι μόνο από τις λίμνες που λόγω του ήλιου αυξάνει



αυτό το μέρος, αλλά και από τη θάλασσα και από οτιδήποτε έχει υγρασία. Ακόμη και από τους ανθρώπους αυξάνεται το λεπτότερο και ελαφρύτερο μέρος. Τα εμφανή στοιχεία επ' αυτού είναι ότι όταν περπατά ένα άτομο ή κάθεται στον ήλιο και φορά ένα ένδυμα, τα μέρη του δέρματός του που είναι καλυμμένα δεν θα ιδρώσουν από τον ήλιο».

Η ανάπτυξη της φιλοσοφίας στην Ελλάδα, κορυφώνεται με τον Αριστοτέλη (384-332 π.Χ). Αν και επέκρινε τις απόψεις πολλών προκατόχων του, επηρεάστηκε έντονα από τους παλιότερους τρόπους σκέψης. Στο βιβλίο του «Μετεωρολογικά», ο Αριστοτέλης ανέπτυξε περαιτέρω τις αρχές του Ηράκλειτου για την διπλή φύση της αναθυμιάσης και το έκανε κεντρικό σημείο των φυσικών θεωριών του. Οι ακόλουθες αναφορές επεξηγούν τις απόψεις του σχετικά με την εξάτμιση (Αριστοτέλης, 1994,340b 3):

«...αυτή η αρχή, λόγω του ότι χωρίζει και ενώνει, ανάλογα με το αν βρίσκεται κοντά ή μακρύτερα, είναι η αιτία της γένεσης και της φθοράς...(346b 24). Αφού η γη είναι ακίνητη, η υγρασία που την περιβάλλει, υπό την επήρεια των ακτίνων του ηλίου και της άλλης θερμότητας που προέρχεται από τον ουρανό, εξατμίζεται και φέρεται προς τα άνω. Όταν όμως η θερμότητα που την έκανε να ανυψώνεται, εκλείπει, είτε επειδή διαχέεται στις ανώτερες περιοχές είτε επειδή χάνεται, για τον λόγο ότι παρασύρεται μακρύτερα στον αέρα πάνω από την έλλειψη θερμότητας και την περιοχή στην οποία βρίσκεται, συμπυκνώνεται πάλι και από αέρας γίνεται ύδωρ. Το ύδωρ που σχηματίζεται με τον τρόπο αυτό φέρεται και πάλι προς τη γη. Η αναθυμιάση από το ύδωρ είναι ο υδρατμός και η συμπύκνωση του αέρα σε ύδωρ το νέφος».

Αυτή η εξάτμιση συνδέεται με μια ακαθόριστη έννοια λανθάνουσας θερμότητας (347a 22):

«Γλάχνη λέγεται, όταν ο υδρατμός παγώσει προτού μετατραπεί σε ύδωρ, κάτι που γίνεται τον χειμώνα και κυρίως σε ψυχρές περιοχές· δρόσος, όταν ο υδρατμός συμπυκνώνεται σε ύδωρ και δεν κάνει αρκετή ζέστη, ώστε να στεγνώσει τον υδρατμό που σηκώνεται, ούτε αρκετό κρύο, ώστε να παγώσει, επειδή η εποχή ή η περιοχή είναι αρκετά θερμή».

Επιπρόσθετα, υπάρχει ένας δεύτερος τύπος αναθυμιάσης (360a 6):

Υπάρχει όμως μέσα στη γη πολλή φωτιά και πολλή θερμότητα και ο ήλιος δεν αναρροφά μόνο την υγρασία, που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, αλλά επειδή ξηραίνει τη γη, θερμαίνοντάς την. Επειδή η αναθυμιάση, όπως είπαμε, έχει διπλή φύση, μια ατμώδη και μια καπνώδη, πρέπει απαραίτητα να παράγονται και οι δύο. Από τις δύο αναθυμιάσεις, εκείνη, στην οποία κυριαρχεί υγρασία, είναι η αρχή του βρόχινου νερού, όπως αναφέραμε πιο πάνω, ενώ η ξηρή είναι αιτία και φυσικό στοιχείο όλων των ανέμων...Επειδή κάθε μια από τις αναθυμιάσεις είναι διαφορετική, είναι προφανές πως ο άνεμος και η βροχή είναι διαφορετικά και δεν έχουν την ίδια φύση, αντίθετα με τα λεγόμενα διαφόρων συγγραφέων, οι οποίοι υποστηρίζουν ότι πρόκειται για τον ίδιο αέρα, ο οποίος, όταν κινείται, είναι άνεμος και όταν συμπυκνώνεται, γίνεται πάλι ύδωρ.

Ξεκάθαρα, ο Αριστοτέλης όπως και πολλοί προκατόχοί του, συνειδητοποίησαν ότι η υγρή αναθυμιάση απαιτεί ηλιακή ακτινοβολία ή κάποια άλλη θερμότητα, ωστόσο αρνήθηκε οποιαδήποτε άμεση σχέση μεταξύ εξάτμισης και ανέμου γιατί και τα δύο, σαν χωριστές αναθυμιάσεις, προκαλούνται από τον ήλιο. Ήταν αδύνατο για τον Αριστοτέλη να παραδεχτεί οποιαδήποτε σχέση αιτίας - αποτελέσματος, μεταξύ εξάτμισης και ανέμου, γιατί διαφωνούσε έντονα με την ιδέα ότι ο άνεμος είναι τμήμα αέρα σε κίνηση. Δεδομένου ότι αυτή η άποψη είχε προταθεί ήδη, περίπου 200 έτη νωρίτερα από τον Αναξίμανδρο.



Ίσως ο Ηράκλειτος, ο οποίος μίλησε αρχικά για τις δυο αναθυμιάσεις, αλλά και ο Ξενοφάνης να είχαν τις ίδιες ιδέες για την φύση του ανέμου με τον Αριστοτέλη, αλλά αυτό δεν μπορεί να εξακριβωθεί από διαθέσιμα στοιχεία.

Ο Θεόφραστος (372-287π.Χ), υπήρξε διάδοχος του Αριστοτέλη διευθύνοντας την Αριστοτέλειο Σχολή στην Αθήνα. Μια από τις εργασίες του είναι «Περί ανέμων», στην οποία έκανε αναφορές για την περιγραφή και την γένεση των ανέμων. Αυτές οι συνεισφορές έχουν αγνοηθεί συχνά στο παρελθόν κυρίως λόγω της στενής ένωσης και του παραλληλισμού σε άλλα θέματα με τον Αριστοτέλη. Παρόλο που ήταν μαθητής του Αριστοτέλη, ο Θεόφραστος δεν απέδωσε μεγάλη σημασία στην ξηρή αναθυμίαση κατά την θεωρία του για τους ανέμους και επανήλθε στην παλιότερη ιδέα ότι ο άνεμος είναι αέρας σε κίνηση. Υποστήριζε ότι αν ο άνεμος προκαλείται από έναν μόνο παράγοντα, τότε αυτός είναι ο άνεμος.

Και τελικά βεβαίωσε: «Αλλά η μετακίνηση του αέρα είναι άνεμος». Επειδή υπέθεσε ότι ο άνεμος δεν οφείλεται αποκλειστικά σε κάποια ξηρά και καπνώδες αναθυμίαση. Ο Θεόφραστος μπόρεσε να εξηγήσει την παρατήρηση ότι ο άνεμος μπορεί να είναι ψυχρός και ατμώδης. Αυτές οι καινοτομίες του επέτρεψαν να δει μια πιο σωστή σχέση μεταξύ του ανέμου και της εξάτμισης. Όπως και οι προκάτοχοί του πήρε σαν σημαντικότερο παράγοντα τον ήλιο χωρίς να είναι και ο μοναδικός παράγοντας «Ο λόγος που οι άνεμοι είναι τις πιο πολλές φορές ψυχροί και ξηροί, παρότι ο ήλιος είναι θερμός, είναι ότι δημιουργείται ατμός και τους μετακινεί, ενώ στον ήλιο οφείλεται ο ατμός».

Αυτή είναι μια αξιοσημείωτη αναφορά, γιατί ίσως για πρώτη φορά καταγράφηκε από τους Έλληνες επιστήμονες ευκρινώς ότι από τον ήλιο, ο άνεμος έχει μια ξηρά επίδραση και δημιουργεί την εξάτμιση. Είναι δύσκολο να εξακριβωθεί, αν η Αριστοτελική ή η Θεοφραστική τάση επικράτησε στην Αριστοτελική Σχολή. Πάντως φαίνεται ότι τα «Μετεωρολογικά» του Αριστοτέλη ήταν περισσότερο γνωστά και πιθανώς αποδεκτά.

## 1.2 Η ΡΩΜΑΪΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΚΑΙ Ο ΜΕΣΑΙΩΝΑΣ

Οι Ρωμαίοι είναι λιγότερο γνωστοί για τους φυσικούς φιλοσόφους σε σχέση με τις εργασίες εφαρμοσμένης μηχανικής και τις συνεισφορές στο νόμο και την διοίκηση. Δεδομένου ότι οι απόψεις τους σχετικά με τα επιστημονικά θέματα επηρεάστηκαν πολύ από τους Έλληνες, οι συγγραφείς τους επιδίωκαν συχνά να κάνουν αναθεωρήσεις στις ελληνικές εργασίες (Brutsaert, 1982).

Αυτό φαίνεται από την εξήγηση που έδωσε ο Λουκρέτιος στην εργασία του «Για τη φύση». Στο ερώτημα, γιατί το επίπεδο της θάλασσας δεν αυξάνεται, ο Λουκρέτιος έγραψε:

*«Κατόπιν οι άνεμοι μπορούν να ανυψώσουν μια μερίδα της υγρασίας σαρώνοντας την επιφάνεια, δεδομένου ότι κάτω από τους ανέμους βλέπουμε πολύ συχνά οι δρόμοι γίνονται ξηροί σε μια νύχτα και μαλακή λάσπη μαζεύεται σε κρούστες. Εκτός από αυτά, έχω δείξει ότι τα σύννεφα ανυψώνουν επίσης πολλή υγρασία από τη μεγάλη επιφάνεια και ψεκάζουν παντού πάνω από ολόκληρο τον κόσμο. Τελικά η γη είναι ένα πορώδες σώμα...».*

Ο Λουκρέτιος άντλησε τη φιλοσοφία του πρώτιστα από τον Επίκουρο που επέμενε στην ατομική θεωρία του Δημόκριτου και του Λεύκιππου και η άποψή του σχετικά με την εξάτμιση φαίνεται να απεικονίζει αυτό. Δυστυχώς, δεν έχει μείνει τίποτα που να προβλέπει κάποια ένδειξη, όπως το τι πίστευαν οι Έλληνες ατομιστές για το πρόβλημα. Η περιγραφή του Λουκρέτιου για τη εξάτμιση είναι σίγουρα σαφέστερη από αυτήν του Θεόφραστου. Είναι αξιοσημείωτο ότι η αναφορά στη



συγκεκριμένη παρατήρηση, δίνοντας δύο παραδείγματα για να υποστηρίξει τις δηλώσεις του για την επίδραση του ήλιου και του αέρα.

Οι απόψεις του Σενέκα (4π.Χ-65 μ.Χ), παρέχουν ένα διαφορετικό παράδειγμα της γενικής θέσης της φυσικής φιλοσοφίας κατά τη διάρκεια της ρωμαϊκής περιόδου. Στο βιβλίο του «*Φυσικές Ερωτήσεις*», περιέχονται μερικές νέες ερμηνείες, οι οποίες όμως ήταν έντονα επηρεασμένες από τις προηγούμενες ελληνικές θεωρίες και ήταν κορεσμένες με ηθικολογικά συμπεράσματα και αναλογίες. Όσον αφορά την εξάτμιση, εξήγησε ότι ο ήλιος τρέφεται από τις αναθυμιάσεις από τα έλη και τους ποταμούς, καταρτίζει το γλυκό νερό από τη θάλασσα επειδή είναι ελαφρύτερο, ο άνεμος είναι ρέοντας αέρας προς μια κατεύθυνση, η εξάτμιση από το έδαφος και το ύδωρ είναι μερικές φορές η μόνη αιτία του ανέμου, αλλά επιπλέον η ατμόσφαιρα έχει επίσης μια έμφυτη ικανότητα για τη μετακίνηση χωρίς εξωτερικό παράγοντα.

Ο Πλίνιος, σύγχρονος του Σενέκα, στην ενεργό σταδιοδρομία του στη δημόσια ζωή, συνέχισε να μελετά, με αποτέλεσμα την γιγαντιαία εγκυκλοπαίδεια «*Φυσική Ιστορία*» 37 τόμων. Για να συζητήσει το φαινόμενο της εξάτμισης, ο Πλίνιος έδωσε μια σύνθεση των προηγούμενων ελληνικών θεωριών. Ανέφερε τη φύση της διπλής αναθυμιάσης, την επίδραση του ήλιου και του ανέμου ως αέρα σε κίνηση. Σε μια ενδιαφέρουσα περιγραφή του Chauci, άνθρωποι που έζησαν κατά μήκος της Βόρειας Θάλασσας μεταξύ του EMS και του Elbe παρατήρησαν: «...σκάπτοντας πάνω στη λάσπη, τα χέρια ξηραίνονται με τον αέρα περισσότερο απ' ό,τι με την ηλιοφάνεια, και με τη γη ως καύσιμο για να θερμαίνουν τα τρόφιμά τους και τους οργανισμούς τους από τον παγωμένο βόρειο άνεμο». Κατά συνέπεια ο Πλίνιος το συμπέρανε αυτό, επειδή λόγω των συχνά νεφελωδών καταστάσεων στη βορειοδυτική Ευρώπη, ο ήλιος δεν θα μπορούσε να είναι ο μόνος παράγοντας και επομένως ο άνεμος έπρεπε να διαδραματίσει τον σημαντικότερο ρόλο.

Το τέλος της ρωμαϊκής εποχής συνδέεται με την άνοδο του χριστιανισμού. Οι γραφές των πρώτων πατέρων της εκκλησίας απεικονίζουν ένα εκλεκτισμό μεταξύ της βιβλικής ερμηνείας και των ειδωλολατρικών φιλοσοφιών. Παράδειγμα αυτού είναι το σύνολο κηρυγμάτων «*Κατά το εξάήμερο*» που γράφτηκε από τον Βασίλειο τον Καππαδόκη. Ο Βασίλειος είχε εκπαιδευτεί στην Καισαρεία, την Κωνσταντινούπολη και την Αθήνα και φυσικά σε αυτήν την εργασία του επηρεάστηκε από τους κλασικούς έλληνες φιλοσόφους, μεταξύ αυτών ήταν ο Ηρόδοτος, ο Πλάτωνας, ο Αριστοτέλης και ο Θεόφραστος. Θεώρησε τον ήλιο ως μόνη αιτία της εξάτμισης.

«...και η θάλασσα είναι καλή επειδή όντας δοχείο των ποταμών, λαμβάνει τα ρεύματα από όλες τις πλευρές αλλά παραμένει μέσα στα όριά της. Είναι καλό επίσης επειδή είναι μια ορισμένης προέλευσης και μια πηγή για τα εναέρια ύδατα. Θερμασμένη από τις ακτίνες του ήλιου, δίνει εμπρός μέσω των ατμών μια καθαρισμένη μορφή ύδατος, που συρμένοι σε ανώτερες περιοχές που είναι κατεψυγμένες επειδή είναι ψηλότερα από την αντανάκλαση των ακτινών του ήλιου από το έδαφος και επίσης επειδή η σκιά από το σύννεφο αυξάνει την ψύξη, γίνονται βροχή και εμπλουτίζουν τη γη».

Ακριβώς όπως στη ρωμαϊκή περίοδο και ο Μεσαίωνας χαρακτηρίζεται ως περίοδος υποτροπής στη μακροχρόνια ανάπτυξη της φυσικής επιστήμης. Αυτό μπορεί να φανεί, παραδείγματος χάριν, στην εργασία «*Περί φύσης*» γραμμένη περίπου το 613 από τον Ισίδωρο της Σεβίλλης (560-636) για τον Sisebut, βασιλιά της Ισπανίας, στο Τολέδο. Ο τίτλος της εργασίας, είναι ο ίδιος με αυτόν του Λουκρέτιου. Η περίληψή της είναι σε μερικά σημεία παρόμοια με εκείνες του Αριστοτέλη, του Λουκρέτιου και του Πλίνιου, αλλά είναι πολύ κοντά και σε αυτή του Αέτιου (Isidore, 1960). Έτσι, για να οργανώσει το υλικό του, ο Ισίδωρος έπρεπε να έχει στη διάθεσή του κάποια δοξογραφική πραγματεία, ή τουλάχιστον μοναστηριακά χειρόγραφα.

Ο Ισίδωρος (1960), εξηγώντας γιατί η θάλασσα έχει το πικρό ύδωρ, έκανε αναφορά στην εξάτμιση:

*«Είναι πάλι γνωστό από τις διδασκαλίες του Αμβρόσιου: ο λόγος για το γιατί, η θάλασσα έχει αλμυρά και πικρά ύδατα, είναι ότι οποιεσδήποτε ροές από διαφορετικά ρεύματα, απορροφώνται με τη θερμότητα του ήλιου και τη ροή των ανέμων, και όσο πιο πολύ καταναλώνονται από την ημερήσια εξάτμιση, έτσι παρουσιάζονται μέσα από όλες τις ροές των ποταμών κατά τη διάρκεια έστω και μία ημέρας. Λέγεται ότι αυτό συμβαίνει δυνάμει του ήλιου, ο οποίος ανυψώνει ότι είναι καθαρό και ελαφρύ, αλλά αφήνει ότι είναι βαρύ ή χωματένιο, επειδή είναι επίσης πικρό και μη πόσιμο».*

Αυτές οι απόψεις του Ισίδωρου για την εξάτμιση, με μια πρόταση για τον υδρολογικό κύκλο, είναι πολύ παρόμοιες με εκείνες του Λουκρέτιου, και είναι καλύτερες από εκείνες του Αριστοτέλη ή ακόμη και του Θεόφραστου. Ακριβώς όπως ο Λουκρέτιος, έτσι και ο Ισίδωρος χρησιμοποίησε πρακτικά παραδείγματα για να υποστηρίξει τις δηλώσεις του.

Η εργασία του Ισίδωρου άσκησε απέραντη επίδραση κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα. Έναν περίπου αιώνα αργότερα, ο Bede (673-735) ένας Βενεδικτίνος μοναχός στο Jarrow της Αγγλίας, γνωστός κυρίως για τις ιστορικές γραφές του, έγραψε επίσης ένα βιβλίο «Περί φύσης», κατά το οποίο ακολούθησε μάλλον στενά τον Ισίδωρο σχετικά με τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Η επιρροή του Ισίδωρου είναι επίσης εμφανής στην εργασία του Hrabanus Maurus του Mainz (776-856). Το βιβλίο με τίτλο «Περί φύσης» ή «Ο κόσμος», που γράφτηκε περίπου το 844 και σχεδιάστηκε ως ενίσχυση για την προετοιμασία των κηρυγμάτων, περιέχει τις πολυάριθμες χριστιανικές εξηγήσεις, αλληγορίες, και βιβλικές αναφορές. Ο Hrabanus εμφανίζεται ως μορφωμένος συντάκτης, αλλά η αρχική πηγή του ήταν σαφώς ο Ισίδωρος. Οι περιγραφές του για τον άνεμο και στο γιατί η θάλασσα δεν αυξάνεται, πάρθηκαν σχεδόν αυτούσιες από τις παραγράφους 13, 11 και 13, 14 του Ισίδωρου.

Αυτά τα παραδείγματα διευκρινίζουν ότι από τις αρχές του Μεσαίωνα διάφορες έννοιες της ελληνικής και ρωμαϊκής επιστήμης ήταν καλά γνωστές στη δυτική Ευρώπη μέσω των γραφών Ισίδωρου. Εάν ο Ισίδωρος αξίζει μια θέση στην ιστορία της δυτικής σκέψης, δεν είναι δυνάμει της πρωτοτυπίας ή της ακρίβειας - από τα σημερινά πρότυπα αλλά λόγω της γενικής άποψής του για τον κόσμο. Όσον αφορά την εξάτμιση, ήταν μέρος μιας παράδοσης που έχει επιστημονική αξία. Οι περιγραφές του Ισίδωρου για την εξάτμιση εμπνεύστηκαν έμμεσα από εκείνες του Λουκρέτιου, και συσχετίζονται έτσι με τις απόψεις των προηγούμενων ατομιστών, Δημόκριτου και Λεύκιππου, παρά εκείνες του Αριστοτέλη. Το πιο ξεχωριστό χαρακτηριστικό γνώρισμα της θεωρίας της εξάτμισης στις αρχές του Μεσαίωνα είναι ότι και η ηλιακή θερμότητα και ο άνεμος λήφθηκαν ως ενεργοί αλλά ευδιάκριτοι παράγοντες.

Οι γενικές περιγραφές της διαδικασίας της εξάτμισης παρέμειναν κατά προσέγγιση οι ίδιες μέχρι την αρχή του δέκατου τρίτου αιώνα. Ο Thomas Cantimpratis (1201 - 1270) του St Pieters-Leeuw στη Βραβάνδη ήταν ένας ξεχωριστός συγγραφέας εκείνης της περιόδου. Στο βιβλίο του «Περί φύσης», ολοκληρωμένο πριν από το 1244, ήταν ακόμα της άποψης ότι ο άνεμος είναι μόνο μια ροή του αέρα και στα πλαίσια του γνωστού προβλήματος γιατί ο ωκεανός δεν αυξάνεται από την εισροή των ρευμάτων, έδωσε έναν από τους μηχανισμούς εκείνους των γλυκών νερών «...λαμβάνεται από τον αέρα ή με την πυράκτωση του ήλιου...».

Αλλά η περιγραφή από τον Thomas ήταν πιθανώς μια από τις τελευταίες περιπτώσεις που η εξάτμιση εξετάστηκε κατ' αυτό τον τρόπο. Περίπου τον ίδιο χρόνο, οι φιλοσοφικές εργασίες του Αριστοτέλη γίνονταν γνωστές στη δυτική



Ευρώπη. Οι λατινικές μεταφράσεις αυτών των εργασιών προήλθαν από τα ελληνικά πρωτότυπα, ως αποτέλεσμα των ενταμένων επαφών με την Κωνσταντινούπολη κατά τη διάρκεια των σταυροφοριών, και από τις αραβικές μεταφράσεις συνήθως στη μαυριτανική Ισπανία.

Ο αραβικός κόσμος εξοικειώθηκε με τις εργασίες των αρχαίων Ελλήνων μέσω των μεταφράσεων των συριακών μελετητών στο τέλος του όγδοου και αρχή του ένατου αιώνα. Μια από τις νεώτερες φιγούρες μεταξύ αυτών ήταν ο Ayyub al-Ruhawi al- Abras, ένας Νεστοριανός, ο οποίος μετέφρασε στα Συριακά και στα Αραβικά. Έγραψε επίσης το «Βιβλίο των θησαυρών», μια εγκυκλοπαίδεια που περιέχει όλη τη γνώση για τη Βαγδάτη περίπου το 817 μ.Χ. Ο Ayyub είχε προφανώς μια λεπτομερή γνώση των μετεωρολογικών φιλοσοφιών Αριστοτέλη, αλλά δεν τις δέχτηκε όλες απερίσκεπτα. Πραγματικά, απέρριψε κατηγορηματικά τη θεωρία του Αριστοτέλη για τον άνεμο, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη διάψευση για την προέλευση του ξηρού-ατμού:

*«Δεδομένου ότι υπάρχουν μερικές φορές άνεμοι και μερικές φορές όχι, ενώ εκείνος ο ατμός αυξάνεται συνεχώς από τη γη, σε μεγάλη ή μικρή ποσότητα, δεν φαίνεται πιθανό ότι αποτελεί την προέλευση των ανέμων ή του μέτρου (της δύναμής τους)».*

Θεώρησε τον άνεμο ως αέρα σε κίνηση, και είχε επίσης μια ιδέα για την επίδραση της μετατόπισης από τον αέρα, στη μετακίνηση και την πτώση των σύννεφων. Είναι εκπληκτικό επομένως ότι εξέτασε μόνο τον ήλιο και άλλες πηγές θερμότητας όπως αιτίες της εξάτμισης. Για την εξάτμιση έγραψε,

*«Ακόμη περισσότερο, το ύδωρ που βρίσκεται σε μια νότια χώρα είναι γενικά υφάλμυρο, εξ αιτίας της κοντινής απόστασης με τον ήλιο. Αυτό συμβαίνει επειδή ο ήλιος απορροφά από το επεκταθέν και λεπτό μέρος».*

και πάλι,

*«Η θερμότητα που το χειμώνα είναι μέσα στη γη θερμαίνει το ύδωρ που είναι σε αυτήν, και αυτό το ύδωρ αυξάνεται προς τα πάνω υπό μορφή ατμών και στηρίζεται επάνω στον αέρα, με τον ίδιο τρόπο όπως το ύδωρ που είναι σε ένα δοχείο, όταν θερμανθεί από την φωτιά, το αφήνει και αυξάνεται προς τα πάνω στον αέρα».*

Μόλις οι θεωρίες του έγιναν προσιτές για μετάφραση, ο Αριστοτέλης κρατήθηκε προφανώς σε υψηλή εκτίμηση από τους Άραβες. Αυτό βεβαιώνεται από το γεγονός ότι οι διάσημοι φιλόσοφοι Al- Farabi από το Τουρκιστάν και ο Ibn-Sina από το Ιράν κλήθηκαν σαν ο δεύτερος και ο τρίτος, αντίστοιχα, μετά από Αριστοτέλη.

Οι διαθέσιμες περιγραφές της εξάτμισης και των σχετικών φαινομένων στην αραβική λογοτεχνία προτείνουν έντονα τη θεωρία της διπλής αναθυμιάσης του Αριστοτέλη. Ένα παράδειγμα αυτού βρίσκεται στη μεγάλη εγκυκλοπαίδεια «Rasail» που γράφτηκε το δέκατο αιώνα από τους αδελφούς Ikhwan Al- safa, της Βασόρας στο Ιράκ. Η επεξεργασία τους για τον άνεμο αποκαλύπτει την άποψή τους σχετικά με την εξάτμιση.

*«Μια αιτία της κίνησης του αέρα είναι η αύξηση των ατμών από τη θάλασσα και του καπνού από τη γη. Όταν ο ήλιος λάμπει στην επιφάνεια μιας θάλασσας, σε ένα χωράφι ή μια έρημο, ανακατώνει επάνω τους λεπτούς υγρούς ατμούς, αλλά ένας ξηρός καπνός από τις ξηρές γήινες επιφάνειες. Η θερμότητά της κάνει και τα δύο να αυξηθούν στον αέρα, κατόπιν ένα μέρος του αέρα ωθεί το άλλο προς διαφορετικές κατευθύνσεις, προκειμένου να δημιουργηθεί το διάστημα για τα δύο είδη αυξανόμενων ατμών. Όταν υπάρχει πολύς ξηρός καπνός, οι άνεμοι προέρχονται από αυτόν, για αυτά τα μέρη όταν φθάσουν στην ανώτερη άκρη μιας θυελλώδους περιοχής, γίνονται κρύοι, και το κρύο της παγωμένης περιοχής τους αποτρέπει από την αύξηση και την ανύψωση. Έπειτα επιστρέφουν συνεχώς και ωθούν τον αέρα στις τέσσερις κατευθύνσεις, και από αυτό προέρχονται οι διαφορετικοί άνεμοι».*



Τα πρώτα τρία βιβλία των «*Μετεωρολογικών*» μεταφράστηκαν από τα Αραβικά (στα λατινικά) από τον Gerardus Cremonensis, που πέθανε το 1187, και το τέταρτο άμεσα από τα ελληνικά από τον Henricus Aristippus, που πέθανε το 1162. Κατά συνέπεια, κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του δέκατου τρίτου αιώνα, τα αντίγραφα αυτών των λατινικών μεταφράσεων, εμφανίζονταν στη δυτική Ευρώπη. Μια καταφανής ένδειξη ότι η θεωρία της διπλής φύσης της αναθυμιάσης άρχισε να καθιστά την παρουσία της αισθητή, έγινε από ένα εφήμερο σχόλιο, ότι ο άνεμος προέρχεται από τον «*ξηρό ατμό*» που εμφανίστηκε σε μια εργασία «*Για τους επαίνους της θείας φρόνησης*» που γράφτηκε από τον Neckam [1157-1217] και από τον St Albans. Αλλά η πλήρης διείσδυση των θεωριών του Αριστοτέλη δεν πραγματοποιήθηκε εύκολα. Κατά τη διάρκεια της αρχικής περιόδου, το 1210 και το 1215, η διδασκαλία των εργασιών Αριστοτέλη στη φυσική φιλοσοφία έγινε το θέμα των επίσημων απαγορεύσεων στο Παρίσι, που παρέμεινε πραγματικά μέχρι τουλάχιστον το 1241 και επίσημα μέχρι το 1255. Αυτό επεκτάθηκε αργότερα στην Τουλούζη, αλλά δεν ίσχυσε ποτέ για την Οξφόρδη. Δεδομένου ότι ο Thomas Cantimpratus ήταν σπουδαστής στο Παρίσι, η απαγόρευση για τις θεωρίες του Αριστοτέλη πιθανώς εξηγεί γιατί, περίπου το 1240, περιέγραψε ακόμα την εξάτμιση με Ισιδωριανούς όρους. Οπωσδήποτε, οι συγγραφείς μετά από τον Thomas υιοθέτησαν βαθμιαία τη θεωρία Αριστοτέλη.

Μεταξύ των Λατίνων, ένας από τους πρώτους συγκεκριμένους και επίσημους απολογισμούς της θεωρίας της διπλής φύσης της αναθυμιάσης του Αριστοτέλη δόθηκε από τον Vincent του Beauvais στα πλαίσια της προέλευσης του ανέμου. Επιπλέον, ο Vincent ασχολήθηκε εκτενώς με την εξάτμιση, την απόσταξη και σχετικά φαινόμενα με τα πετρέλαια και άλλες ουσίες εκτός από το ύδωρ.

Οι θεωρίες του Αριστοτέλη διαπερνιούνται γρήγορα σε άλλες γλώσσες και ιδιωτισμούς, περίπου το 1273 ένας άγνωστος ποιητής από τη Γάνδη στη Φλαμανδική περιοχή δημοσίευσε ένα διδακτικό ποίημα «*Η φυσική του κόσμου*» σε μέσο-ολλανδικό στίχο. Σε αυτό ταυτόχρονα οι υγρές και οι ξηρές αναθυμιάσεις του Αριστοτέλη αναφέρονται επανειλημμένα σχετικά με τη γένεση του ανέμου, την βροχόπτωση και τα νέφη. Η επιρροή του Αριστοτέλη είναι σαφώς εμφανής στην «*Πύλη του ουρανού*», γραμμένη στα εβραϊκά, στο δεύτερο μισό του δέκατου τρίτου αιώνα από τον Gershon Ben Shlomo (1953), έναν ραβίνο στην Arles της επαρχίας: Υπάρχουν δύο είδη ατμών, ο ένας είναι υγρός: το υλικό των βροχών, το χιόνι, ο παγετός, το χαλάζι, και το άλλο είναι ξηρό και θερμό: το υλικό των ανέμων ενώ ο ήλιος είναι η μόνη αιτία της εξάτμισης.

Το μονοπώλιο του Αριστοτέλη συνεχίστηκε για τους επόμενους 3 αιώνες και στο ύψος της αναγέννησης η ευρωπαϊκή λογοτεχνία εμποτίστηκε πλήρως με τη θεωρία του για την διπλή φύση της αναθυμιάσης. Αυτή η θεωρία που χρησιμεύει όχι μόνο ως μια φυσική εξήγηση, αλλά χρησιμοποιήθηκε και ως πηγή μεταφορών και ποιητικών καλολογικών στοιχείων. Παραδείγματος χάριν, ο Heninger (1960) είχε δώσει μια εκτενή αναφορά για εργασίες τέτοιων άγγλων συγγραφέων της αναγέννησης όπως ο Spenser, ο Marlowe, ο Jonson, ο Chapman, ο Donne και προ πάντων ο Shakespeare.

Η πληρότητα του φιλοσοφικού συστήματος του Αριστοτέλη παρείχε αναμφισβήτητα ένα μεγάλο ερέθισμα από το δέκατο τρίτο αιώνα για την ανάπτυξη της ευρωπαϊκής σκέψης, που οδήγησε τελικά στην επιστημονική επανάσταση. Ωστόσο, η άποψη για την θεωρία της εξάτμισης, με την έννοια της διπλής φύσης της αναθυμιάσης, αντιπροσώπευσε για δεύτερη φορά μια οπισθοδρόμηση, που είχε ακόμη σοβαρότερες επιπτώσεις από όταν αναπτύχθηκε αρχικά στην αρχαιότητα. Όπως σημειώνεται, ακόμη και αυτή τη στιγμή πολύ λίγα είναι γνωστά για τις



μετεωρολογικές θεωρίες των ελληνικών ελλήνων ατομιστών Δημόκριτου και Λεύκιππου. Πολλές από τις φυσικές έννοιές τους ήταν πιο στενές με τις τωρινές από αυτές του Αριστοτέλη.

### 1.3 Ο ΔΕΚΑΤΟΣ ΕΒΔΟΜΟΣ ΚΑΙ ΔΕΚΑΤΟΣ ΟΓΔΟΟΣ ΑΙΩΝΑΣ: ΑΡΧΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΣΜΟΙ

Ο Καρτέσιος (1637) ήταν ένας από τους πρώτους φυσικούς φιλοσόφους που απομακρύνθηκε από τις έννοιες του Αριστοτέλη. Στο βιβλίο του "Περί μετεωριτών", άρχισε με την υπόθεση ότι όλοι οι οργανισμοί στο περιβάλλον αποτελούνται από μικρά μόρια, και ότι τα διαστήματα μεταξύ αυτών των μορίων δεν είναι κενά αλλά γεμισμένα με μια λεπτή ουσία, μέσω της οποίας γίνεται η δράση του φωτός. Η αίσθηση του θερμού ή του ψυχρού απέδωσε την ένταση της αναταραχής αυτών των μικρών μορίων. Επισήμανε όμως, ότι δεν έλαβε αυτά τα μόρια ως αδιαίρετα άτομα, αλλά μάλλον θεώρησε ότι είναι της ίδιας κατηγορίας. Με αυτά τα προκαταρκτικά είναι εύκολο να ακολουθηθεί η περιγραφή του Καρτέσιου για την εξάτμιση:

*«Θεωρήστε ότι η λεπτή ουσία που υπάρχει στους πόρους των γήινων οργανισμών, τα οποία ταρασσονται εντονότερα στον χρόνο σε σχέση με άλλα, είτε από την παρουσία του ήλιου είτε από κάποια άλλη αιτία, επίσης ταρασσονται εντονότερα τα μικρά μόρια αυτών των οργανισμών. Εύκολα θα καταλάβετε ότι αυτό πρέπει να επηρεάσει εκείνα τα μόρια, που είναι μικρότερα και που έχουν τέτοιες μορφές ή είναι σε μια τέτοια κατάσταση που μπορούν εύκολα να χωριστούν από τα γειτονικά τους, ο χώρος μεταξύ τους και η άνοδος στον αέρα δεν γίνεται επειδή έχουν οποιαδήποτε τάση να αυξηθούν, ούτε επειδή ο ήλιος έχει μια δύναμη που τα προσελκύει, αλλά απλώς επειδή δεν βρίσκουν κανένα άλλο διάστημα στο οποίο θα συνέχιζαν εύκολα τη μετακίνησή τους».*

Από τον Αριστοτέλη η θεωρία είχε απολαύσει μια τέτοια καθολική αποδοχή, που ήταν αναπόφευκτο ότι μερικά στοιχεία της θεωρίας της διπλής φύσης της αναθυμιάσης διατηρήθηκαν στις έννοιες που προτάθηκαν από τον Καρτέσιο. Έδειξε ότι τα περισσότερα από τα μόρια που αυξάνονται στον αέρα έχουν την ίδια μορφή με εκείνα του ύδατος, επειδή μπορούν εύκολα να χωριστούν, και αναφέρθηκε σε αυτά ως «ατμούς». Και εκείνα με τις πιο ανώμαλες μορφές τα κάλεσε «αναθυμιάσεις» ελλείψει ενός καταλληλότερου ονόματος. Εντούτοις, έδωσε πολύ λίγη σημασία στις ξηρές αναθυμιάσεις, μεταξύ των οποίων περιέλαβε τα μόρια της γης, τα πτητικά άλατα, τα καμένα πετρέλαια, και τους καπνούς.

Εν περιλήψει, ο Καρτέσιος προσπάθησε να εξηγήσει την εξάτμιση και τον άνεμο, θεωρώντας ως αξίωμα την ύπαρξη των μικρών μορίων. Η εξάτμιση προκαλείται από τη θερμότητα του ήλιου και η θερμότητα είναι ισοδύναμη με την αναταραχή των μορίων. Ο άνεμος είναι αέρας σε κίνηση, αλλά είναι το αποτέλεσμα της εξάτμισης, παρά μια από τις αιτίες του. Βλέποντας ενάντια στη μακροχρόνια κυριαρχία των αριστοτελικών θεωριών από το δέκατο τρίτο αιώνα, οι προτάσεις του Καρτεσίου είναι ριζικές.

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, εν μέρει ως αποτέλεσμα των γραφών του Καρτέσιου, η γενική προσέγγιση στην επιστήμη είχε αρχίσει να αλλάζει και βαθμιαία ο πειραματισμός έγινε ουσιαστικό μέρος.

Ένα από τα πιο πρόωρα πειράματα εξάτμισης, οργανώθηκε από τον Perrault (1733). Κατά τη διάρκεια του κρύου χειμώνα 1669-1670, «...εκθέτοντας 7 λίβρες (παγωμένου) ύδατος στον κρύο αέρα, το βρήκε μειωμένο σε 18 ημέρες από σχεδόν μια λίβρα, που είναι μια καταπληκτική εξάτμιση για αυτήν την εποχή». Εξέτασε επίσης την εξάτμιση για τα διάφορα είδη πετρελαίων. Αυτό το πειραματικό αποτέλεσμα τον



οδήγησε στο να θεωρητικολογήσει. "Αν και ο Αριστοτέλης και όλοι οι άλλοι φιλόσοφοι δίνουν μόνο μια αιτία για την εξάτμιση του ύδατος, δηλαδή τη θερμότητα, θα ήμουν σε θέση να βρω δύο περισσότερες, πρώτον το κρύο, και δεύτερον τη μετακίνηση των μορίων του αέρα". Μετά την περιγραφή του ανωτέρω πειράματος, συνέχισε, παρουσιάζοντας κάποιον δισταγμό για τον βαθμό της επίδρασης του κρύου.

«Όπως είναι σίγουρο ότι η θερμότητα προκαλεί την εξάτμιση, θα μπορούσε κάποιος να αμφιβάλλει ότι το κρύο, μπορεί να παράγει μια παρόμοια επίδραση. Δεν βλέπω οποιαδήποτε δυσκολία στην απόδοση της εξάτμισης στη δράση των μορίων αέρα, ... Αυτό που με κάνει να χρησιμοποιήσω αυτήν την ιδέα είναι ότι βλέπω ότι η εξάτμιση εμφανίζεται ακόμη και χωρίς την ενίσχυση της θερμότητας ή του κρύου. ... Η επίδραση αυτής της εξάτμισης, εάν προκαλείται από τη θερμότητα ή από το κρύο, ή μόνο από την αναταραχή των μορίων του αέρα, είναι πάντα παρόμοια. Επισημαίνω ότι το εξατμισμένο ύδωρ παραμένει πάντα σαν εξατμισμένο ύδωρ και είναι πάντα ύδωρ, και η εξάτμισή του, που είναι μόνο ένας χωρισμός των μερών του, δεν θα αποτύχει να γίνει ύδωρ πάλι μόλις παύει αυτός ο χωρισμός...».

Εκτός από τη διστακτική πρόταση της επίδρασης του κρύου, αυτές οι ιδέες εμφανίζονται ήδη μάλλον σύγχρονες και ακόμα πρέπει να επισημανθεί ότι παρόμοιες έννοιες είχαν τεθεί εμπρός ήδη από τους συγγραφείς όπως ο Λουκρέτιος, ο Vuilhelmus ή ίσως ακόμη και ο Thomas Cantimpratensis τον Μεσαίωνα. Στην πραγματικότητα, στο δωδέκατο αιώνα ο Vuilhelmus εξέταζε το πρόβλημα του κρύου ως αιτία της εξάτμισης κατά κάποιο τρόπο πιο ικανοποιητικό. Αλλά αυτό που ήταν σίγουρα νέο εδώ, ήταν η εμπιστοσύνη του Perrault στο πείραμα.

Μερικά έτη αργότερα (1687) ο Halley παρουσίασε τα πειραματικά στοιχεία. Από τις αλλαγές βάρους κατά τη διάρκεια της εξάτμισης του ύδατος από ένα μικρό δοχείο συνήγαγε ότι, τις θερμές ημέρες, η εξάτμιση ανήλθε σε περίπου 0,1 ίντσες σε 12 ώρες, που υπολόγισε «...θα είναι άφθονα επαρκής για να εξυπηρετήσει για όλες τις βροχές, και τις δροσιές...». Απέδωσε αυτήν την εξάτμιση με την έννοια κυρίως του ήλιου ..για να υπολογίσω την ποσότητα του ατμού από τη θάλασσα, σκέφτομαι να το εξετάσω μόνο για το χρόνο που ο ήλιος είναι επάνω, για αυτό η επιστροφή της δροσιάς γίνεται τη νύχτα, και όλοι εάν όχι οι περισσότεροι ατμοί εκπέμπονται έπειτα». Συνειδητοποίησε επιπλέον, ότι ο άνεμος έχει μια επίδραση.

«Και αυτή η ποσότητα ατμού, αν και πολύ μεγάλη, είναι τόσο μικρή για να μπορεί να ολοκληρωθεί το πείραμα: και όμως παραμένει μια άλλη αιτία, που δεν μπορεί να μειώσει τον κανόνα. Εννοώ τους ανέμους, με τους οποίους η επιφάνεια του ύδατος είναι μερικές φορές γρηγορότερη να αναδίνει από τη θερμότητα του ήλιου όπως είναι ευρέως γνωστό από εκείνους που έχουν εξετάσει εκείνους τους ξηρούς ανέμους που φυσούν μερικές φορές».

Σε ένα δεύτερο έγγραφο, ο Halley (1691) διαμορφώνει μια θεωρία για το είδος του μορίου, αρκετά διαφορετικό από εκείνου του Καρτεσιού.

«Έχω προσπαθήσει στο παρελθόν να εξηγήσω τον τρόπο της αύξησης του ατμού από τη θερμότητα, με ότι εάν ένα άτομο του ύδατος επεκτάθηκε πάνω σε ένα κοχύλι ή μια φυσαλίδα ώστε να είναι δέκα φορές μεγαλύτερο στη διάμετρο όπως όταν ήταν ύδωρ, ένα τέτοιο άτομο θα γινόταν συγκεκριμένα ελαφρύτερο από τον αέρα, και θα ανερχόταν εφ' όσον θα συνεχίζει να είναι αέριο ή το θερμό ρεύμα που το χώριζε αρχικά από τη μάζα του ύδατος να το διαστέλλει στον ίδιο βαθμό και εκείνη η θερμότητα που μειώνεται».

Σε ένα τρίτο έγγραφο, ο Halley (1694) έδειξε ότι ήξερε για την εργασία του Perrault, διαμορφώνοντας περαιτέρω τον ήλιο και τον αέρα ως κύριες αιτίες της εξάτμισης και παρουσιάζοντας πρόσθετα πειραματικά στοιχεία.



Κατά συνέπεια, ο πειραματισμός είχε γίνει ένα αναπόσπαστο τμήμα της επιστημονικής μεθόδου. Αυτό το νέο πνεύμα απεικονίζεται στην εισαγωγή του εγγράφου για την εξάτμιση που ο Sedileau (1730) παρουσίασε στο ακαδημαϊκό Royale το 1692:

*Υπάρχουν ορισμένα θεμελιώδη πειράματα στα οποία η όλη φυσική είναι βασισμένη, και που κάποιος πρέπει απαραίτητως να κάνει, όσο ενοχλητικά μπορούν να είναι, εάν κάποιος θέλει να διαλογιστεί σωστά σε αυτήν την επιστήμη, διαφορετικά όλοι οι συλλογισμοί που γίνονται στα φυσικά πράγματα είναι κερδοσκοπίες στον αέρα.*

Το κίνητρο της μελέτης του Sedileau ήταν ο σχεδιασμός των δεξαμενών που χρειάστηκαν για να διατηρηθούν οι τεχνητές πηγές και τα σιντριβάνια στο πάρκο των Βερσαλλιών του Louis XIV Colbert, σαν επιθεωρητής των κτηρίων του βασιλιά. Πραγματοποίησε μετρήσεις για την βροχή και την εξάτμιση που είχαν διάρκεια τριών ετών. Χρησιμοποίησε δύο λεκάνες από κασσίτερο, για να μετρήσει την βροχή, και μια άλλη για να παρατηρήσει την εξάτμιση. Και οι δύο λεκάνες τοποθετήθηκαν στο πεζούλι του βασιλικού παρατηρητήριου. Διαπίστωσε ότι από τον Ιούνιο του 1688 μέχρι τον Δεκέμβριο του 1690 η μέση ετήσια βροχόπτωση ήταν περίπου 19 ίντσες. Η μέση ετήσια εξάτμιση βρέθηκε για να είναι 32,5 ίντσες. Επίσης κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η εξάτμιση από ένα μικρότερο δοχείο είναι μεγαλύτερη από ένα μεγάλο, ενώ όλοι οι άλλοι παράγοντες παραμένουν ίδιοι. Επιπλέον, έκανε μερικές παρατηρήσεις για το χιόνι και τον πάγο. Σε μια εργασία που παρουσιάστηκε το 1693 εξέτασε την ισχύ της έννοιας του υδρολογικού κύκλου που είχε προταθεί από τον Perrault και τον Mariotte, και προσπάθησε να εξηγήσει γιατί η εξάτμιση ήταν σχεδόν δύο φορές η βροχόπτωση. Διαλογίστηκε ότι μέρος του ύδατος βροχής διαρρέει στο έδαφος και συντηρείται εκεί με λίγη εξάτμιση το υπόλοιπο τρέχει στις χαμηλότερες θέσεις όπου συλλέγεται σε έναν μεγάλο όγκο με μικρή εκτεθειμένη περιοχή. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το αποτέλεσμα του Sedileau δεν είναι προς έκπληξη: η εξάτμιση από το δοχείο είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από την εξατμισοδιαπνοή, ακόμη και οι βροχοπτώσεις είναι εμφανώς δύσκολο να μετρηθούν, και είναι πολύ πιθανό ότι το αποτέλεσμα του Sedileau ήταν άνευ ουσίας.

Η ίδια ερώτηση σχετικά με τον υδρολογικό κύκλο και την προέλευση των ποταμών ήταν το κίνητρο για την πειραματική μελέτη από τον de La Hire (1703). Ενώ σε αυτό το πείραμα δεν ασχολήθηκε άμεσα με τη θεωρία της εξάτμισης, είναι ενδιαφέρον επειδή ήταν πρόδρομος του λυσιμέτρου. Περιγράφηκε ως εξής:

*«Επέλεξα μια θέση στο χαμηλότερο πεζούλι του παρατηρητήριου, και το 1688 είχα μια μολύβδινη λεκάνη με μια περιοχή επιφάνειας 4 ποδιών που εγκαταστάθηκαν στο έδαφος σε ένα βάθος 8 ποδιών. Αυτή η λεκάνη είχε τους πλευρικούς τοίχους του ύψους 6 ίντσες, και το έκλιναν ελαφρώς προς μια από τις γωνίες του, όπου συγκόλλησα ένα μακρύ μολύβδινο σωλήνα, που είχε μια ιδιαίτερη κλίση και που εισήχθη σε μια μικρή ανασκαφή. Αυτή η λεκάνη κρατήθηκε μακριά από τον τοίχο της ανασκαφής, για να περιβαλλόταν από μια μεγαλύτερη ποσότητα χώματος παρόμοια με αυτήν που ήταν στην κορυφή, και δεν θα στέγνωνε από την εγγύτητα του τοίχου».*

Αυτή η οργάνωση είχε σοβαρές ανεπάρκειες: προφανώς, οι πλευρικοί τοίχοι των λεκανών δεν επεκτάθηκαν στην επιφάνεια του εδάφους έτσι ώστε το διηθημένο ύδωρ της βροχής να μπορεί να απομακρυνθεί πλευρικά. Πραγματοποίησε επίσης μερικά πειράματα με μια λεκάνη σε πιο ρηχά βάθη και υπό όρους ελάχιστης εξάτμισης, αλλά εδώ κάποιο ύδωρ θα συλλεγόταν μόνο μετά από βαριές βροχοπτώσεις και αρκετό λιώσιμο χιονιού. Από αυτά τα πειράματα διείσδυσης, συνήγαγε ότι το ύδωρ της βροχής δεν μπορεί να διαπεράσει τη γη πολύ βαθιά. Συνέχισε έπειτα με ένα πείραμα για να καθορίσει την εξατμιστική απώλεια από δύο μεμονωμένα φύλλα σύκων που παρεμβλήθηκαν στο ύδωρ, και αυτό τον οδήγησε να

συμπεράνει ότι η βροχή δεν είναι μόνο επαρκής για να υποστηρίξει τη βλάστηση το καλοκαίρι, πόσο μάλλον για να εμπλουτίσει τους ποταμούς. Ο de LaHire κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η θεωρία του Perrault και του Mariotte δεν ισχύει γενικά και ότι άλλες αιτίες πρέπει να βρεθούν για να εξηγηθεί η προέλευση των παλιρροιών.

Αναπόφευκτα υποκινημένος από την πειραματική σκέψη, οδήγησε σε διάφορες υποθέσεις και θεωρητικά πρότυπα ώστε να εξηγήσει το φαινόμενο της εξάτμισης. Συχνά αυτές οι εξηγήσεις, ήταν αντανακλάσεις των εξελίξεων που πραγματοποιήθηκαν σε άλλους κλάδους των φυσικών επιστημών. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν, τα κύρια σημεία της συζήτησης, που γινόταν γύρω στο δέκατο ένατο αιώνα, και περιλήφθηκαν ήδη στο έγγραφο του Halley (1691) που αναφέρθηκε ανωτέρω. Η συζήτηση περιστράφηκε γύρω από τις ακόλουθες ερωτήσεις. Είναι η εξάτμιση μια διαδικασία λύσης, όπως αυτή του άλατος στο ύδωρ, υπονοώντας ότι χωρίς αέρα δεν μπορεί να υπάρξει οποιαδήποτε εξάτμιση, ή είναι μόνο ένας χωρισμός στα μόρια; Αυτά τα μόρια διατηρούνται επειδή είναι φυσαλιωειδή, ή επειδή αποκρούουν το ένα το άλλο ως αποτέλεσμα της θερμότητας; Από τα μόρια ατμού και τη φύση της θερμότητας, ήταν λάθος ορισμός και ανεπαρκώς κατανοητός ενώ προέκυψαν πολλά πρόσθετα σημεία αβεβαιότητας.

Στο χρόνο, η θεωρία του διαχωρισμού των μορίων θεωρήθηκε πιθανώς η παλαιότερη και καθιερωμένη άποψη που κατείχε στοιχεία των εννοιών του Καρτέσιου και ακόμη των ελλήνων ατομικιστών. Οι υποστηρικτές των διάφορων εκδόσεων αυτής της θεωρίας ήταν μεταξύ των άλλων ο Gravesande, ο Desaguliers, και ο Van Mus-schenbroek. Τα τελευταία που αναφέρονται για τις μετρήσεις της εξάτμισης που λαμβάνονται μια τετραγωνική λεκάνη που τοποθετείται στον κήπο στην Ουτρέχτη κατά τη διάρκεια μιας δεκαετούς περιόδου, η μέση ετήσια εξάτμιση ήταν περίπου 29 rhenish ίντσες (μια rhenish ίντσα - "Rijnlandse duim" ή "rouce Rhenan" – αντιστοιχεί με 2.618 εκατ.). Όπως αναφέρεται, ο μηχανισμός διαχωρισμού μορίων υποτίθεται ότι περιείχε κάποια μορφή θερμότητας.

Αργότερα, σαν μια άλλη πιθανότητα, ο Desaguliers επικαλέστηκε ηλεκτροστατικά αποτελέσματα για να εξηγήσει την εξάτμιση: μικρά μόρια ύδατος πηδάνε προς τα μόρια του αέρα, όπου η ειδική πυκνότητα είναι κάπως μεγαλύτερη, και εμμένουν σε αυτά. Εντούτοις, ο αέρας σε κίνηση αποκρούει αυτά τα μόρια ύδατος μόλις γίνουν ηλεκτρικά, αυτά τα ηλεκτρικά μόρια αποκρούουν το ένα το άλλο και τα μόρια του αέρα. Ο υδρατμός είναι λιγότερο πυκνός έτσι ώστε να αυξάνεται. Αυτή η ίδια ιδέα εκφράστηκε από τον Van Musschenbroek ο οποίος διευκρίνισε ότι η εξάτμιση είναι το αποτέλεσμα όχι μόνο της θερμότητας, αλλά και της ηλεκτρικής ενέργειας, που είναι οι αιτίες των μορίων. για να αποκρούει το ένα το άλλο. Ο άνεμος έχει μια διπλή επίδραση: κατ' αρχάς, παίρνει μαζί τους ατμούς που έχουν ήδη κάποια τάση να αυξηθούν και δεύτερον, ειδικά όταν είναι ξηρός, περιέχει ένα μεγάλο ποσό ρευστής ηλεκτρικής ενέργειας και ενισχύει το διαχωρισμό των μορίων.

Η θεωρία της λύσης για την εξάτμιση, που δεν είχε εμφανιστεί ξανά, πρέπει να ήταν πιο καινοτόμος και σύγχρονη. Μεταξύ των υποστηρικτών ήταν ο Bouillet (1742) που εξήγησε ότι ο αέρας απορροφά και «πίνει» τα μόρια του ύδατος στην επιφάνειά του με την οποία είναι σε επαφή. Κατ' αυτό τον τρόπο μόρια ύδατος, που αποσυνδέονται συνεχώς, ενώνονται με τον αέρα με την αποθήκευση, έτσι ώστε αυτά τα μόρια να ακολουθούν όλες τις μετακινήσεις του αέρα. Παρομοίασε το φαινόμενο με τη διάλυση του χαλκού ή του ασημιού σε νιτρικό οξύ, ομοίως ο Bouillet είδε την απορρόφηση του αέρα στο ύδωρ ως κάποια εξάτμιση που πραγματοποιείται με έναν ανάλογο τρόπο. Η αναλογία της λύσης για τα άλατα, υποστηρίχθηκε από τον LeRoy (1751) και από τον Franklin (1765). Ο Hamilton, αναθεωρώντας τις προηγούμενες απόψεις, στις οποίες περιλαμβάνονταν κάποιο αραιοποίηση από κάποια μορφή



θερμότητας, θεώρησε ότι αυτό δεν είναι ο πραγματικός μηχανισμός, επειδή το ύδωρ σε ένα κλειστό δωμάτιο δεν εξατμίζεται γρηγορότερα από όταν εκτίθεται σε μια πιο ψυχρή θέση με ένα ρεύμα αέρα, και επειδή η εξάτμιση συνεχίζεται ακόμα και μετά που το ύδωρ είναι συμπυκνωμένο σε πάγο, ελλείψει της θερμότητας. Ομοίως, Ο Dobson (1777) και ο Achard (1780) υποστήριξαν τη θεωρία της λύσης βάσει των πειραμάτων τους που έδειχναν ότι η εξάτμιση του ύδατος κάτω από ένα κενό είναι πιο αργή απ'ό,τι στον εξωτερικό αέρα.

Διάφορες έννοιες που υποβάλλονταν ήταν σημαντικές για την ανάπτυξη της θεωρίας της εξάτμισης. Παραδείγματος χάριν, ο Le Roy (1751) εισήγαγε την έννοια «του βαθμού του κορεσμού» του αέρα, που αντιστοιχεί στην παρούσα θερμοκρασία του σημείου δρόσου, σε μία προσπάθεια να χαρακτηριστεί η περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία. Διαπίστωσε ότι αυτός ο βαθμός αυξάνεται με το περιεχόμενο θερμότητας του αέρα, και ότι εξαρτάται από τον αέρα και την κατεύθυνσή του. Σε μια άλλη σχετική με τη θερμοκρασία ανάπτυξη, είχε γίνει γνωστό ότι η εξάτμιση προκαλεί κάποια ψύξη. Περίπου το 1757 ο Franklin (1887) σε αναφορά του για την επίδραση της ψύξης, που υποδεικνύεται από το γεγονός ότι «το βρέξιμο του θερμομέτρου με οινόπνευμα έφερε τον υδράργυρο κάτω από πέντε ή έξι βαθμούς». Προφανώς, όπως σημειώνεται από τον Lavoisier (1777), παρόμοιες ποιοτικές παρατηρήσεις είχαν γίνει ήδη από προηγούμενους, όπως ο Richmann το 1748, ο de Mairan το 1749, και από διάφορους άλλους. Αυτές οι παρατηρήσεις συνέβαλαν αναμφισβήτητα στην ανακάλυψη της έννοιας της λανθάνουσας θερμότητας από τον Black (1803) περίπου το 1760, και μετά η επίδραση ψύξης θα μπορούσε να μελετηθεί με έναν πιο ποσοτικό τρόπο.

Η θεωρία, που υποστηρίζει ότι η εξάτμιση απαιτεί την παρουσία αέρα για να διαλύσει το ύδωρ, προφανώς είχε πολλούς υπερασπιστές στον δέκατο όγδοο αιώνα. Αλλά προς το τέλος του αιώνα, τα θεμέλιά της έγιναν μάλλον αδύναμα, κυρίως ως αποτέλεσμα της εργασίας του De Luc. Από τη στενή εξοικείωσή του με την εργασία των Watt και από τα πειράματά του, έφθασε στα ακόλουθα συμπεράσματα. Όταν το ύδωρ εξατμίζεται, ένα διασταλτό ρευστό παράγεται και μπορεί να κληθεί ατμός ενώ αποτελείται από ύδωρ και φωτιά ("ελεύθερη πυρκαγιά" ή "η αιτία της θερμότητας"). Η πίεση που ασκείται από αυτό το ρευστό έχει ένα σταθερό μέγιστο σε μια δεδομένη θερμοκρασία, η οποία αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Αυτό το ρευστό, ανεξάρτητα από την παρουσία αέρα, έχει επιπτώσεις στο μανόμετρο από την πίεση και το υγρόμετρο από την υγρασία, όταν αυτό το ρευστό και ο αέρας αναμιγνύονται, ενεργούν στο μανόμετρο ή το βαρόμετρο σύμφωνα με την αντίστοιχη «δύναμή τους».

Τα συμπεράσματα του De Luc περιέχουν σαφώς την ουσία του νόμου των μερικών πιέσεων στα αέρια μίγματα, που τώρα συνδέονται με το όνομα Dalton. Αν και το απέδειξε ίσως πιο σαφές και πειστικά, ο Dalton (1801) προσέγγισε το ίδιο συμπέρασμα. Κατά συνέπεια, η πίεση ή η πυκνότητα του αερίου είναι ανεξάρτητη από το ποσό άλλων αερίων ή την παρουσία ατμών, και το καθένα από αυτά πιέζει χωριστά, σαν να ήταν το μόνο ελαστικό ρευστό που αποτελεί την ατμόσφαιρα. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η «τάση του ατμού» που παράγεται από ένα υγρό εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία, και ότι είναι το ίδιο σε έναν «εξαντλημένο δέκτη» όπως είναι στην ατμόσφαιρα. Οπωσδήποτε, η απόδειξη και η αποδοχή του νόμου των μερικών πιέσεων προκάλεσαν τη διαμάχη, εάν ο αέρας απαιτείται ή όχι για να διαλυθεί ο υδρατμός. Ο δρόμος ήταν τώρα ανοικτός για περισσότερες ποσοτικές θεωρίες της εξάτμισης.

## 1.4 ΘΕΜΕΛΙΑ ΤΩΝ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΘΕΩΡΙΩΝ ΤΩΝ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ ΑΙΩΝΑ

Αναμφισβήτητα η δημοσίευση του εγγράφου του Dalton το 1802 ήταν ένα από τα σημαντικότερα γεγονότα για την ανάπτυξη της θεωρίας της εξάτμισης. Σε αυτό ανακεφαλαίωσε αρχικά τις απόψεις του σχετικά με τα αέρια μίγματα και έδωσε έναν πίνακα της κορεσμένης τάσης ατμού ως εξίσωση της θερμοκρασίας. Κατόπιν, στο δοκίμιο για την εξάτμιση, ο Dalton (1802) συνόψισε τη συναίνεση μεταξύ των επιστημόνων στο τέλος του δέκατου όγδοου αιώνα, ως εξής:

*Οι ακόλουθες θέσεις έχουν καθιερωθεί από άλλους και πρέπει επομένως να αναφερθούν εδώ.*

*(1) Μερικά ρευστά εξατμίζονται γρηγορότερα από άλλα.*

*(2) Η ποσότητα που εξατμίζεται είναι ευθέως ανάλογη με την επιφάνεια που εκτίθεται, όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν ίδιες.*

*(3) Μια αύξηση της θερμοκρασίας στο υγρό προκαλεί μια αύξηση της εξάτμισης, όχι άμεσα ανάλογη.*

*(4) Η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη εκεί που υπάρχει ένα ρεύμα αέρα σε αντίθεση με την περίπτωση που ο αέρας είναι στάσιμος.*

*(5) Η εξάτμιση από το ύδωρ είναι μεγαλύτερη όσο λιγότερη υγρασία υπάρχει στην ατμόσφαιρα, όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν οι ίδιες.*

Μια πιο καθορισμένη διατύπωση των θέσεων 1, 2 και 4 δόθηκαν από τον Dalton. Στην πραγματικότητα, είναι γνωστό ότι, όπως παρατηρείται ήδη από τον Sedileau (1730), η θέση 2 δεν είναι αρκετά σωστή. Και οι θέσεις 1 και 4 έχουν διευκρινιστεί μόνο σχετικά πρόσφατα. Ο Dalton συνέβαλε στον προσδιορισμό της ποσότητας των θέσεων 3 και 5. Από τα πειράματά του κατέληξε στο συμπέρασμα ότι *"η ποσότητα οποιουδήποτε υγρού που εξατμίζεται στην ύπαιθρο εξαρτάται άμεσα από την τάση του ατμού και από την θερμοκρασία του, ενώ όλες οι άλλες παράμετροι παραμένουν οι ίδιες"*. Και εξήγησε τα συμπεράσματά του, «... εν ολίγοις, η τάση της εξάτμισης πρέπει να είναι παγκοσμίως ίση με αυτήν του ύδατος, μειωμένη από αυτήν που ήδη υπάρχει στην ατμόσφαιρα». Όταν η τάση της εξάτμισης είναι η ίδια σε διαφορετικές περιπτώσεις, τα διαφορετικά ποσοστά εξάτμισης είναι *«...ρυθμισμένα απλώς από τη δύναμη του αέρα»*. Από αυτά τα σχόλια, ακολουθεί ότι τα αποτελέσματα του Dalton μπορούν να γραφτούν στην παρούσα εξίσωση:

$$E = f_D(\bar{u})(e_s^* - e_a)$$

όπου το  $E$  είναι το ποσοστό εξάτμισης ως ύψος του ύδατος σε δεδομένο χρόνο,  $e_s^*$  η κορεσμένη τάση ατμού στη θερμοκρασία της επιφάνειας ύδατος,  $e_a$  η τάση του ατμού στον αέρα και  $f_D(\bar{u})$  είναι μια συνάρτηση της μέσης ταχύτητας αέρα  $\bar{u}$ . (Σημειώνεται ότι ο Dalton δεν έδωσε αυτήν την εξίσωση).

Για πρακτική χρήση, ο Dalton παρουσίασε έναν πίνακα για το ρυθμό εξάτμισης του ξηρού αέρα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του ύδατος, για τρεις διαφορετικές κατηγορίες ταχύτητας του ανέμου. Περιέγραψε αυτές τις κατηγορίες ως εξάτμιση στον ήρεμο αέρα στη μέση ενός δωματίου με κλειστές τις πόρτες και τα παράθυρα, εξάτμιση στο δωμάτιο με ανοικτά παράθυρα και τον ισχυρό αέρα έξω, και εξάτμιση στην ύπαιθρο που εκτίθεται σε ισχυρούς ανέμους. Κάθε κατηγορία χαρακτηρίστηκε από το ποσοστό εξάτμισης, και οι τιμές στον πίνακα υπολογίστηκαν με τον πολλαπλασιασμό της εξάτμισης με την πίεση του αέρα ( $e_s^* \cdot p$ ). Ο Dalton βρήκε μια καλή σχέση μεταξύ των τιμών αυτού του πίνακα και των πολυάρθρων πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν υπό διαφορετικούς όρους.

Ο Soldner (1804) επισήμανε ότι ο Dalton είχε αποτύχει να περιλάβει την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης θεωρητικά και εκείνη η εξάτμιση δεν εξαρτάται απλώς από τη θερμοκρασία του ύδατος και τον άνεμο όπως υπονοείται στον πίνακά



του. Ο Dalton είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι στο σημείο βρασμού τους όλα τα υγρά εξατμίζονται εξίσου γρήγορα σε ένα ποσοστό  $E_b$  που εξαρτάται μόνο από την ταχύτητα του ανέμου. Συνεπώς, ο Soldner θεώρησε ότι μια πιο κατάλληλη περιγραφή των συμπερασμάτων του Dalton από τον πίνακά του, θα ήταν ο ακόλουθος:

$$E = E_b \frac{(e_s^* - e_a)}{p} \quad (2.1)$$

όπου  $E_b$  είναι το ποσοστό εξάτμισης στον ξηρό αέρα με ατμοσφαιρική πίεσης  $p$ , αυτή είναι η κορεσμένη τάση των υδρατμών. Για να εφαρμόσει ο Soldner την παραπάνω εξίσωση, πρότεινε μια μαθηματική έκφραση για τα πειραματικά αποτελέσματα του Dalton για την κορεσμένη τάση του :

$$e^* = p \exp \left[ -(250 + T_b - T)(T_b - T) / 6976 \right] \quad (2.2)$$

όπου  $T$  είναι η θερμοκρασία (K) και  $T_b$  η θερμοκρασία στο σημείο βρασμού σε ατμοσφαιρική πίεση  $p$ . Περίπου τον ίδιο χρόνο, ο Laplace πρότεινε μια παρόμοια εξίσωση.

Εκτός από μερικούς σκεπτικιστές οι περισσότεροι από τους συγχρόνους του Dalton αναγνώρισαν γρήγορα τη συμβολή του. Τα σχόλια του Soldner (1807) επεξηγούν:

*[Dalton] οι νόμοι σχετικά με την εξάτμιση είναι υπό αυτήν τη μορφή πολύ σωστοί αλλά η πρακτική εφαρμογή μετά βίας θα πετύχει. Έχω εξετάσει τις παρατηρήσεις του [Dalton, 1802b] για την εξάτμιση, την θερμοκρασία, το σημείο δρόσου και τη βαρομετρική πίεση αλλά τίποτα δεν συμφωνεί, εκτός από το μήνα Αύγουστο, που ο Dalton ο ίδιος έχει επιλέξει για παράδειγμα. Αλλά όταν κάποιος εξετάζει, πόσο ακανόνιστος είναι ο άνεμος, πόσο γρήγορα και αρκετά αλλάζει η θερμοκρασία του μέσω των νεφών και μέσω της έκτασης, πάνω από το οποίο έχει προέλθει από τη στιγμιαία κατεύθυνσή του, αυτό δεν είναι εκπληκτικό... Είμαι πεπεισμένος ότι υπό αυτήν τη μορφή το θέμα είναι σωστό, και ότι συμφωνεί σε ένα δωμάτιο όπου ο αέρας είναι απολύτως ήρεμος αλλά για την ύπαιθρο δεν θα το επιλύσει ποτέ.*

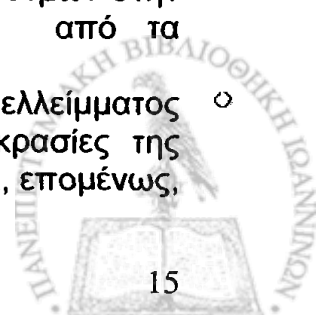
Με τη βοήθεια ενός πρόσφατα σχεδιασμένου «εξατμισίμετρου», ο Tate (1862) έφθασε στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό της εξάτμισης είναι σχεδόν ανάλογο προς την ταχύτητα του ανέμου. Δεν διευκρίνισε την αναλογικότητα, αλλά η δήλωσή του ήταν σαφής. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το ποσοστό εξάτμισης είναι σχεδόν αντιστρόφως ανάλογο προς την ατμοσφαιρική πίεση και ότι είναι σχεδόν ανάλογο προς τη διαφορά των θερμοκρασιών που υποδεικνύονται από το υγρό και το ξηρό θερμόμετρο. Το προηγούμενο συμπέρασμα θυμίζει την ερμηνεία του Soldner για τα αποτελέσματα του Dalton και το τελευταίο αντιπροσωπεύει μια οπισθοδρόμηση σχετικά με τον Dalton (2.1), δεδομένου ότι απομακρύνει οποιαδήποτε άμεση επίδραση της θερμοκρασίας του ύδατος.

Η περαιτέρω διορατικότητα δόθηκε από την εργασία του Weilenmann. Με την εξέταση του αέρα σε επαφή με την επιφάνεια του ύδατος, εξέφρασε το ποσοστό εξάτμισης ως γραμμική συνάρτηση της μέσης ταχύτητας του ανέμου. Εντούτοις, διαλογίστηκε ότι μπορεί να ληφθεί να είναι ανάλογο προς το έλλειμμα του κορεσμού του αέρα. Εξέτασε την ακόλουθη εξίσωση με πειραματικά στοιχεία:

$$E = (A_w + B_w \bar{u})(e_a^* - e_a) \quad (2.4)$$

όπου  $A_w$ ,  $B_w$  είναι οι σταθερές και το  $e^*$  είναι η κορεσμένη τάση των υδρατμών στην θερμοκρασία του αέρα. Προφανώς, ο Weilenmann εμπνεύστηκε από τα συμπεράσματα του Tate για την παραγωγή της εξίσωσής του.

Λαμβάνοντας υπόψη το νόμο του Dalton (2.1), η χρήση του ελλείμματος κορεσμού (2.4) είναι ισοδύναμη με το να υποθέσει ότι οι θερμοκρασίες της επιφάνειας του ύδατος και του αέρα είναι οι ίδιες. Δεν υπάρχει αμφιβολία, επομένως,



ότι η εξίσωση (2.4) παρήγαγε τα καλύτερα αποτελέσματα στη σκιά απ' ό,τι στην ηλιοφάνεια. Ως ένα ορισμένο βαθμό ο Weilenmann γνώριζε αυτόν τον περιορισμό, και για αυτό βεβαίωσε ότι το έλλειμμα κορεσμού πρέπει πραγματικά να υπολογιστεί με τη χρησιμοποίηση της θερμοκρασίας στην επαφή αέρα-ύδατος, δεδομένου ότι δεν είχε διαθέσιμες οποιεσδήποτε θερμοκρασίες ύδατος, αισθάνθηκε δικαιολογημένος να χρησιμοποιήσει τις θερμοκρασίες αέρα προσεγγιστικά. Στη συνέχεια μειώνοντας τους παράγοντες, πρέπει να επισημανθεί ότι με τα πειραματικά στοιχεία, αυτή η προσέγγιση δεν ήταν πολύ κρίσιμη: οι περισσότερες από τις μετρήσεις εξάτμισης που είχε διαθέσιμες είχαν ληφθεί σε κάποιο τύπο καταφυγίου. Στην πραγματικότητα, ακόμη και ο Dalton στον υπολογισμό μερικών παραδειγμάτων για τους πίνακές του, έκανε την ίδια υπόθεση ότι η θερμοκρασία αέρα και ύδατος είναι η ίδια.

Το θέμα παρουσιάστηκε τελικά σωστά από τον Stelling (1882). Ο συνδυασμός της σχέσης του αέρα του Weilenmann με του Dalton (2.1), ήταν πιθανώς ο πρώτος για να διατυπώσει τα εξής:

$$E = (A_s + B_s \bar{u})(e_s^* - e_a) \quad (2.5)$$

όπου  $A_s$  και  $B_s$  είναι εμπειρικές σταθερές, με τη βοήθεια των δεδομένων εξάτμισης που λαμβάνονται από το εξατμισόμετρο WILD που εκτίθεται σε 1 μ. επάνω από την επιφάνεια στο Nukus του Ουζμπεκιστάν και εξέτασε αυτήν την εξίσωση εκτενώς και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι  $A_s = 0.0702$  και  $B_s = 0.00319$  όταν το  $E$  είναι σε mm,  $e$  σε mmHg και το  $u$  στα 7,5m επάνω από το έδαφος σε km/h. Η εξίσωση του Stelling, με διάφορες τιμές για το  $A_s$  και  $B_s$ , σύντομα έγινε πολύ δημοφιλής. Εφαρμόστηκε από τον Fitzgerald (1886) στη Μασαχουσέτη και από τον Carpenter (1889, 1891) στο Κολοράντο. Ακόμα χρησιμοποιείται ευρέως στην πρακτική της εφαρμοσμένης μηχανικής σήμερα.

Η εξίσωση (2.5) προσεγγίστηκε με έναν εμπειρικό τρόπο. Οι αμέτρητες διαφορετικές τιμές  $A_s$  και  $B_s$  έχουν εμφανιστεί στη βιβλιογραφία και ακόμη και τώρα γίνονται προσπάθειες για να καθοριστούν οι βέλτιστες τιμές τους για τους διάφορους όρους. Εντούτοις, μερικές φορές συμβαίνει ένας τύπος να είναι επιτυχής στην περιγραφή των πειραματικών στοιχείων για πρακτικούς λόγους, εμποδίζοντας την περαιτέρω πρόοδο στις πιο θεμελιώδεις πτυχές του φαινομένου. Υπό αυτήν τη μορφή, επομένως, η εξίσωση του Stelling αντιπροσώπευσε ένα αδιέξοδο από τη θεωρητική άποψη.

Η επόμενη πρόοδος στη θεωρία της εξάτμισης έχει βγει από διαφορετικές κατευθύνσεις, και έχει παρακολουθήσει γενικά τις εξελίξεις στα φαινόμενα της μηχανικής των ρευστών και της μεταφοράς στην τυρβώδη ροή. Εντούτοις, αυτή η ένωση δεν ήρθε πολύ γρήγορα. Μια κρίσιμη συμβολή στην κατανόηση της μαζικής μεταφοράς στα ρευστά έγινε από τον Fick (1855). Βρήκε πειραματικά ότι η τοπική ειδική ροή μιας μίξης ενός ήρεμου ρευστού, ως αποτέλεσμα της μοριακής δράσης μόνο, είναι ανάλογη προς την κλίση της συγκέντρωσής του. Αυτό ήταν μόνο μια επιβεβαίωση ότι αυτό το φαινόμενο πρέπει να προχωρήσει «... σύμφωνα με τους ίδιους νόμους, που ο Fourier είχε καθορίσει για τη διάδοση της θερμότητας σε έναν αγωγό, και που ο Ohm είχε επεκτείνει με τέτοιες θαυμάσιες επιτυχίες στη διάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας...». Στην πραγματικότητα, ο νόμος του Fick ήταν επίσης ανάλογος, από αυτή την άποψη, με το νόμο του Newton για την ιξώδη διάτμηση. Αυτός ο νόμος της ιξώδους διάτμησης επεκτάθηκε στην τυρβώδη ροή από τον Boussinesq (1877). Υπέθεσε ότι οι πιέσεις διάτμησης σε μια τυρβώδη ροή είναι ανάλογες προς τις κλίσεις της ταχύτητας, και διευκρίνισε ότι ο συντελεστής της αναλογικότητας «... πρέπει να εξαρτάται σε κάθε σημείο, όχι μόνο στη θερμοκρασία



και από την πίεση  $p$ , αλλά και ειδικά από την ένταση της μέσης αναταραχής που τυχαίνει να παραχθεί εκεί».

Ο Reynolds (1874), στα πλαίσια των εξισώσεων μεταφοράς για τη θερμότητα και την ειδική αντίσταση, παρόμοια με την εξίσωση (2.5), υποθέτει ότι ήταν αντίστοιχα των  $A$  και του  $B$ , υπονοώντας ότι οι μηχανισμοί της μεταφοράς της θερμότητας και της ορμής στην τυρβώδη ροή είναι παρόμοιοι. Θα ήταν ένα μικρό βήμα να επεκτείνει αυτήν την "αναλογία του Reynolds", και για τους υδρατμούς. Κατά συνέπεια, με το ενδιαφέρον που αναπτύσσεται για την περιγραφή της κάθετης μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου πάνω από τη γήινη επιφάνεια ως δύναμη ανύψωσης, η βαθμίδα τέθηκε για μια πιο θεμελιώδη προσέγγιση. Οι δημιουργικές ιδέες του Fick, του Boussinesq και του Reynolds ήρθαν τελικά σε πλήρη πραγματοποίηση από την εργασία του Schmidt (1917). Η πρότασή του για τον ίδιο "συντελεστή διάχυσης" για την ορμή και οποιαδήποτε άλλη διάχυση επεσήμανε την αναγνώριση της εξάτμισης ως κανονικό πρόβλημα της τυρβώδους ροής και οδήγησε άμεσα στην ανάπτυξη των παρόντων θεωριών ομοιότητας για την τυρβώδη μεταφορά του υδρατμού και σε άλλες κλίμακες στη χαμηλότερη ατμόσφαιρα.

Λίγα έχουν ειπωθεί σε αυτήν την αναθεώρηση μέχρι τώρα για την ανάπτυξη των ενεργητικών πτυχών της εξάτμισης στο δέκατο ένατο αιώνα. Όπως σημειώνεται ανωτέρω, από τα μέσα του δέκατου όγδοου αιώνα ήταν γνωστό ότι η εξάτμιση από μια υγραμένη λεκάνη ενός θερμομέτρου θα μείωνε τη θερμοκρασία της. Κατά συνέπεια, έγινε κατανοητό ότι η εξάτμιση προκαλεί την ψύξη και απαιτεί θερμότητα. Αν και η φύση της θερμότητας ήταν άγνωστη και θέμα διαμάχης, μέχρι το τέλος του αιώνα η θερμότητα εκφραζόταν σε ποσοτικούς όρους. Η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης είχε ανακαλυφθεί από τον Black γύρω στο 1760. Δύο έτη αργότερα ο Black έχοντας κάνει τα πρώτα πειράματά του και βρίσκοντας ότι η λανθάνουσα θερμότητα του ύδατος για να βράσει είναι ισοδύναμη σε περίπου 810 βαθμούς, αυτό είναι το ποσό που θα απαιτούταν για να θερμανθεί το ύδωρ στους  $810^\circ \text{F}$ . Αυτό είναι περίπου  $810 \times 5/9 = 450 \text{ cal/gr}$ , που είναι εκπληκτικά κοντά προς την παρούσα-αποδεκτή τιμή  $539,1 \text{ cal/gr}$ . Σύντομα, αλλά πιθανώς πριν από το 1765, αυτή η εκτίμηση βελτιώθηκε περαιτέρω μεταξύ των  $900^\circ$  και  $950^\circ$  από τον Watt, έναν συνεταίρο του Black στη Γλασκόβη, κατά τη διάρκεια των μελετών του για τη μηχανή του ατμού. Επίσης, κατά τη στροφή του αιώνα, τα σημαντικότερα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας, όπως διεξαγωγή, μεταφορά, και ακτινοβολία, ήταν προσδιορισμένα. Εντούτοις, η αβεβαιότητα ήταν ακόμα αρκετά μεγάλη και θα έπαιρνε αρκετό χρόνο προτού να μπορέσουν όλες αυτές οι έννοιες που αφορούν την εξάτμιση που πραγματοποιείται στην υπαίθρια ατμόσφαιρα, να επικρατήσουν.

Ότι υπάρχει μια ισχυρή σχέση μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της εξάτμισης ήταν φυσικά, γνωστό από τα προϊστορικά χρόνια. Είναι εκπληκτικό, επομένως, ότι από τις πρώτες έρευνες στοχεύτηκε η ανακάλυψη αυτής της σχέσης. Παραδείγματος χάριν, ο Heller (1800), παρατηρώντας ότι για την ίδια θερμοκρασία, η εξάτμιση αυξάνεται με το φως του ήλιου, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι, εκτός από τη θερμοκρασία, οι μετρήσεις ακτινοβολίας θα ήταν χρήσιμες. Πιθανώς η πρώτη ποσοτική μελέτη, σε μια παγκόσμια κλίμακα, έγινε από τον Daubree (1847). Υπολόγισε από τα διαθέσιμα στοιχεία ότι οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις σε όλη την υδρόγειο ανέρχονται σε περίπου 1,379 m, αυτό δεν είναι πολύ διαφορετικό από την τρέχουσα συναίνεση περίπου 1,0 m. Περίπου δέκα έτη νωρίτερα, ο Pouillet έχοντας ήδη υπολογίσει με την βοήθεια ενός πυριλιόμετρου ότι η ηλιακή ακτινοβολία στο ανώτερο όριο της ατμόσφαιρας είναι  $1,7633 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ , επίσης εντυπωσιακά κοντά στην παρούσα τιμή 1,98. Ο Pouillet είχε προσθέσει ότι σε ένα έτος αυτή η θερμότητα θα ήταν σε θέση να λιώσει ένα στρώμα πάγου με πάχος 31m που



καλύπτει ομοιόμορφα τη γη. Οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις είναι επίσης η μέση ετήσια εξάτμιση. Κατά συνέπεια βάσει της εκτίμησης του Pouillet και του Daubree (1847) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η εξάτμιση καταναλώνει περίπου το ένα τρίτο της ηλιακής ενέργειας που παραλαμβάνεται στο εξωτερικό όριο της ατμόσφαιρας. Κατά τρόπο ενδιαφέροντα, επίσης παρατήρησε ότι η ετήσια καύση των καυσίμων στη Γαλλία εκείνη την περίοδο, ήταν περίπου ισοδύναμη με την τήξη μιας κρούστας πάχους 0,0017m του πάγου που καλύπτει ολόκληρη τη χώρα, που αντιστοιχούσε σε  $1,6 \times 10^{-4}$  φορές τη μέση θερμότητα που χρησιμοποιήθηκε στην εξάτμιση.

Το πιο σημαντικό, εν τούτοις, στην περιγραφή του για την διανομή της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη επιφάνεια, ήταν η εισαγωγή της έννοιας των ενεργειακών ισοζυγίων με όρους αποδεκτούς ακόμη και σήμερα.

*«Καθώς η θερμότητα προέρχεται από τον ήλιο, μέρος της απορροφάται από την ατμόσφαιρα, αλλά η μεγαλύτερη μερίδα από αυτή φτάνει επάνω στο έδαφος και το ύδωρ. Από αυτό, μια μερίδα περνά μακριά στην ατμόσφαιρα από τη διεξαγωγή, ενώ μια άλλη μερίδα ακτινοβολείται άμεσα μακριά στη σφαίρα του διαστήματος... Το υπόλοιπο αυτής της θερμότητας... απορροφάται στο στάδιο της εξάτμισης. Παραδίδεται έπειτα στην ατμόσφαιρα, λανθάνουσα θερμότητα στον ατμό, για να τεθεί ελεύθερα στην περιοχή νεφών, κατεστημένος λογικός και στον ανώτερο αέρα, από όπου στέλνεται μακριά από την ακτινοβολία στο "κενό του διαστήματος". Κατά συνέπεια ο αέρας, με την ακτινομετρία του, παρουσιάζεται λαμβάνοντας υπόψη μια θερμική ρύθμιση, από την οποία το έδαφος και η θάλασσα αποτρέπονται από να γίνουν συνταραγμένα καυτά....».*

Η σχέση μεταξύ της εξάτμισης, της ηλιακής ακτινοβολίας και άλλων τμημάτων ροής θερμότητας σε ένα πλαίσιο ενεργειακών ισοζυγίων, ήταν επίσης γνωστές στις εργασίες τέτοιων συγχρόνων, όπως ο Wollny (1877) στην αγρονομία και ο Woeikoff (1887) στην κλιματολογία. Σαφώς, η έννοια των ενεργειακών ισοζυγίων γινόταν αποδεκτή βαθμιαία εκείνη την περίοδο. Εν τούτοις, η πρώτη ποσοτική και λεπτομερής ανάλυση του ενεργειακού ισοζυγίου στη γήινη επιφάνεια πραγματοποιήθηκε πιθανώς από το Homen (1897). Καθόρισε την καθημερινή ροή εδαφολογικής θερμότητας από μετρήσεις της εδαφολογικής θερμοκρασίας σε 10cm φτάνοντας κάτω από τα 60cm και από την θερμοχωρητικότητα του χώματος και μέτρησε την ακτινοβολία με την προσαρμογή της μεθόδου του K. Angstrom που δημοσιεύτηκε το 1893. Η εξάτμιση καθορίστηκε από τις αλλαγές βάρους ενός μεταλλικού κυλίνδρου, 35cm στη διάμετρο και 30cm βαθύ, γεμισμένο με χώμα και κρατημένο στο ίδιο επίπεδο με τα περιχώματα. Η ροή της αισθητής θερμότητας στην ατμόσφαιρα λήφθηκε ως μόνος άγνωστος όρος στην εξίσωση του ισοζυγίου. Η συμβολή του Homen ήρθε σε μία εποχή που γίνονταν ταχείες πρόοδοι στην κατανόηση της ακτινοβολίας ως αποτέλεσμα των ανακαλύψεων του Stefan (1879) και του Boltzmann (1884). Κατά συνέπεια η προκαταρκτική εργασία είχε γίνει, για τις περαιτέρω εξελίξεις των διαδικασιών για το ενεργειακό ισοζύγιο μέσω της εργασίας του Schmidt (1915), του Bowen (1926) και άλλων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### 2.1 ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΑΠΟΨΕΙΣ ΠΕΡΙ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα και με τη βοήθεια σύγχρονων μεθόδων υπολογισμού (τεχνολογίες- πληροφορική), πραγματοποιήθηκαν διάφορες εκτεταμένες και μεγίστης σημασίας μελέτες, όσον αφορά τα φαινόμενα της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής. Οι περισσότερες βέβαια, αναφέρονται στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής (εξάτμιση από έδαφος και διαπνοή από τα φυτά) αλλά και σε αυτό της εξάτμισης από μια εξωτερική δεξαμενή  $E_{pan}$ , λόγω του ότι συνδέονται άμεσα με το περιβάλλον του ανθρώπου.

Ο Neuwirth (1978), προσπάθησε να υπολογίσει την εξάτμιση σε μια ανοιχτή επιφάνεια, χρησιμοποιώντας μέσους όρους χρονοσειρών, ενώ το 1980 θέλησε να υπολογίσει την εξάτμιση της λίμνης Neusiel με την βοήθεια απλών κλιματικών δεδομένων, όπως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και ο άνεμος. Το 1981, ο ίδιος έκανε μια ανάλυση πάνω σε μετρήσεις δυνητικής εξάτμισης από τα εξατμισόμετρα WILD και Class-A, με σκοπό να τις συγκρίνει με τις προβλεπόμενες τιμές εξάτμισης, οι οποίες έχουν εξαχθεί από τις μεθόδους Penman, Thornthwaite και Turc. Σημαντικό βήμα για τον υπολογισμό της εξάτμισης, πραγματοποιήθηκε και από τον Kahlig (1990), ο οποίος προσπάθησε να βρει μια φόρμουλα υπολογισμού χρησιμοποιώντας τη διαστατική ανάλυση. Οι Cahoon et al (1991), βασιζόμενοι στις ιδέες των προηγούμενων, προσπάθησαν να υπολογίσουν την εξάτμιση μιας εξωτερικής δεξαμενής, χρησιμοποιώντας περιορισμένες ή όσο το δυνατόν λιγότερες μετεωρολογικές παρατηρήσεις. Υποστηρίζουν ότι η  $E_{pan}$  είναι ανάλογη δυο παραγόντων, της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής και της εξάτμισης λίμνης, με μια σταθερά η οποία εξαρτάται από τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Το 2004 οι Liu et al, μελέτησαν την τάση της εξάτμισης (χρησιμοποιώντας δεδομένα από εξωτερικές δεξαμενές), για το χρονικό διάστημα 1955-2000, στην περιοχή της Κίνας. Διαπίστωσαν ότι η  $E_{pan}$  μειώθηκε και η μείωση είναι στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 99%, στις περισσότερες περιοχές της μελέτης. Στην προσπάθειά τους να εξηγήσουν την παρατηρούμενη μείωση, θεώρησαν ότι η μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας και η αύξηση των αερολυμάτων κατέχουν κυρίαρχο λόγο (η πτωτική τάση βρέθηκε 29,3mm/δεκαετία).

Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου μισού αιώνα, παρατηρήθηκε ότι η  $E_{pan}$  εμφάνισε πτωτικές τάσεις πάνω από περιοχές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η πρώην Σοβιετική Ένωση (Peterson et al, 1995), η Ινδία, η Ευρώπη και η Σιβηρία (Brutsaert, W, Parlange, M, (1998). Η μείωση αυτή έρχεται σε αντίθεση με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου, η οποία θα έπρεπε να έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της δυνητικής εξάτμισης. Υπάρχουν δυο ερμηνείες για τις πιθανές αιτίες της παρατηρηθείσας πτώσης. Η μια εξήγηση σχετίζεται με τη μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη γη, ως αποτέλεσμα των αυξανόμενων αερολυμάτων και της νεφοκάλυψης. Μια άλλη ερμηνεία, υποστηρίζει ότι υπάρχει μια συμπληρωματική σχέση μεταξύ της πραγματικής εξάτμισης και της  $E_{pan}$ . Βάσει αυτού, η μείωση της  $E_{pan}$  είναι ένδειξη της αυξανόμενης γήινης εξάτμισης: Η αυξανόμενη γήινη εξάτμιση θα αυξήσει τον υγρό αέρα πάνω από την λεκάνη, μειώνοντας κατά συνέπεια την εξάτμιση από αυτή.

Τελευταία, οι Molina-Martínez et al (2005), έκαναν μια προσπάθεια να σχεδιάσουν ένα μοντέλο προσομοίωσης, ώστε να προβλέπουν ωριαίες τιμές  $E_{pan}$ , χρησιμοποιώντας μετεωρολογικά δεδομένα. Λαμβάνοντας υπόψιν, εξισώσεις ενεργειακού - υδάτινου ισοζυγίου και την επίδραση του ανέμου, δημιούργησαν ένα

πολυεπίπεδο μοντέλο, τα αποτελέσματα του οποίου αποδείχτηκαν ρεαλιστικά σε σύγκρισή τους με τις πραγματικές παρατηρηθείσες τιμές. Έτσι, με τον τρόπο αυτό, είναι εφικτός ο προσδιορισμός της  $E_{pan}$  σε περιοχές οι οποίες δεν διαθέτουν μετεωρολογικούς σταθμούς.

Στον Ελλαδικό χώρο, οι έρευνες για το φαινόμενο της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής είναι σχετικά περιορισμένες. Αρχικά, οι Livadas and Mahairas (1972), ασχολήθηκαν με την εξάτμιση στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η μελέτη τους αφορά τις χρονικές περιόδους 1930-1940 και 1946-1970, με δεδομένα από τα εξατμισίμετρα WILD και PICHÉ. Το 1973 ο Mahairas, μελετά τιμές μέσης ημερήσιας εξάτμισης στην πόλη της Θεσσαλονίκης, κατά τις χρονικές περιόδους 1931-1939 και 1951-1970, τόσο εκ των ενδείξεων του εξατμισιμέτρου WILD όσο και του PICHÉ, σε σχέση με τους τύπους καιρού που επικρατούν στον Ελλαδικό χώρο. Ο Metaxas (1977), υπολογίζει την εξάτμιση στην Μεσόγειο, για την χρονική περίοδο 1850-1969, διαπιστώνοντας ότι μέγιστες τιμές εξάτμισης παρατηρούνται κυρίως στο ΝΑ Αιγαίο (2,0m/έτος).

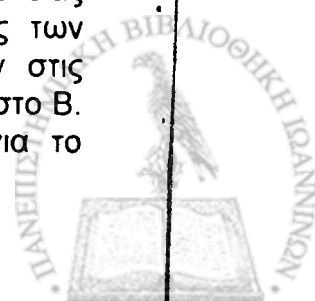
Στη συνέχεια, οι Papaioannou et al (1996), προσπαθούν να αντικαταστήσουν τον αεροδυναμικό όρο στην εξίσωση Penman, με δεδομένα του εξατμισιμέτρου PICHÉ. Πιο συγκεκριμένα, οι ρυθμοί εξάτμισης από το PICHÉ, συγκρίνονται με τον αεροδυναμικό όρο της εξίσωσης Penman, χρησιμοποιώντας μετεωρολογικές μετρήσεις που λαμβάνονται από την Αθήνα κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 60 ετών. Η μέθοδος της παλινδρόμησης των μηνιαίων ομαδοποιημένων δεδομένων, ενάντια στον αεροδυναμικό όρο, έδειξε ότι η εξάτμιση από το PICHÉ, σε αυτή την αστική περιοχή, είναι ανάλογη με τον δεύτερο όρο της εξίσωσης Penman.

Το 2002 οι Dalezios et al, χρησιμοποιώντας γεωστατικές μεθόδους, υπολόγισαν τη χωρική μεταβλητότητα της εξατμισοδιαπνοής στην Ελλάδα, τονίζοντας ότι η γνώση της είναι ουσιαστική για τις κλιματολογικές αναλύσεις, ειδικά για τα πιθανά σενάρια αλλαγής του κλίματος όπως είναι οι ξηρασίες και η ερήμωση. Την πιο πρόσφατη μελέτη διεξήγαγαν οι Loukas et al (2005), προσπαθώντας να εκτιμήσουν την πραγματική εξατμισοδιαπνοή κάνοντας χρήση μαθηματικών μοντέλων και της τηλεπισκόπησης, για την περιοχή της κεντρικής Θεσσαλίας.

## 2.2 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Εξάτμιση, καλείται η διεργασία, κατά την οποία τα μόρια του νερού διαφεύγουν από την επιφάνειά τους στον ελεύθερο αέρα υπό τη μορφή των αόρατων υδρατμών (Λεξικό Μετεωρολογικών Όρων, 1998). Ειδικά στην περίπτωση του πάγου, το φαινόμενο ονομάζεται εξάχνωση, ενώ η εξάτμιση του ύδατος από τα στόματα των φύλλων, καλείται διαπνοή και επειδή είναι δύσκολο να γίνει ξεχωριστά ο υπολογισμός της εξάτμισης από τα φυτά και από το έδαφος, έχει καθιερωθεί ο όρος της εξατμισοδιαπνοής.

Ο φυσικός ρυθμός εξάτμισης καθορίζεται από τρεις θεμελιώδεις παράγοντες: α) τη φυσική διαθεσιμότητα του ύδατος στην υγρή φάση, β) τη διαθεσιμότητα ενέργειας στην επιφάνεια του ύδατος για την πραγματοποίηση της εξάτμισης και γ) την ευκολία με την οποία διαχέονται οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα (Κυριαζόπουλος και Λιβαδάς, 1974). Βέβαια, σημαντικό ρόλο στον ρυθμό της εξάτμισης κατέχει, η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και το είδος της επιφάνειας (Strangeways, 2001). Υψηλοί ρυθμοί εξάτμισης εμφανίζονται στις ερήμους των μικρών γεωγραφικών πλατών, ενώ χαμηλοί ρυθμοί εξάτμισης επικρατούν στις τροπικές δασικές περιοχές και στις περιοχές των δυτικών ακτών των ηπείρων στο Β. Ημισφαίριο. Η εξάτμιση είναι ένας παράγοντας πρωταρχικής σημασίας για το



ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος Γη-Ατμόσφαιρα, εφόσον απαιτούνται μεγάλα ποσά ενέργειας για την πραγματοποίηση της αλλαγής φάσης από την υγρή στην αέρια κατάσταση. Το ενδιαφέρον του φαινομένου, παρουσιάζεται στο γεγονός ότι αποτελεί την κύρια πηγή τροφοδοσίας της ατμόσφαιρας με υδρατμούς. Η εξάτμιση εκφράζεται με το ύψος του εξατμιζόμενου ύδατος σε χιλιοστά, ενώ η ταχύτητα εξάτμισης είναι το ποσό του εξατμιζόμενου ύδατος στη μονάδα του χρόνου.

Από φυσικής απόψεως, το φαινόμενο μπορεί να εξηγηθεί ως εξής: Μέσα στο νερό υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός μορίων που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη της μέσης κινητικής ενέργειας σε μια δεδομένη θερμοκρασία. Τα μόρια αυτά είναι δυνατόν να υπερνικήσουν τις δυνάμεις συνοχής των άλλων μορίων οπότε αποσπώνται συνεχώς από την επιφάνεια του υγρού. Άρα, τα ταχύτερα κινούμενα μόρια διαφεύγουν από την επιφάνεια του υγρού, ενώ τα βραδύτερα μένουν πίσω. Η απώλεια αυτή της κινητικής ενέργειας, λόγω της κινητικής ενέργειας των μορίων στο εξατμιζόμενο υγρό, εμφανίζεται ως απώλεια θερμότητας και λέγεται λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης.

Η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης κυμαίνεται από 600 cal/gr (2,51J/Kgr) στους 0 °C μέχρι 540 cal/gr (2,26J/Kgr) στους 100 °C . Αυτό συμβαίνει γιατί όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, η διαφορά μεταξύ κινητικής ενέργειας των αποσπώμενων μορίων και της μέσης κινητικής ενέργειας όλων των μορίων ελαττώνεται. Για το λόγο αυτό αυξάνεται και η μερική πίεση των υδρατμών με την θερμοκρασία. Λόγω της διαφυγής των μορίων του ύδατος από την επιφάνεια του εξατμιζόμενου ύδατος, ο χώρος που βρίσκεται πάνω από το εξατμιζόμενο ύδωρ, εμπλουτίζεται συνεχώς με μόρια υδρατμών. Ορισμένα από αυτά τα μόρια μεταφέρονται με διάχυση στις γύρω περιοχές και μερικά ξαναγυρίζουν στην εξατμιζόμενη επιφάνεια.

Εφόσον η εξάτμιση συνεχίζεται, η συγκέντρωση των μορίων του ύδατος άρα και η τάση των υδρατμών, αυξάνεται πάνω από την επιφάνεια του ύδατος. Όταν η τάση των υδρατμών αυξηθεί σε τέτοιο σημείο, ώστε ο ρυθμός συμπυκνώσεως των υδρατμών να είναι ίσος με το ρυθμό εξάτμισης, η κατάσταση έχει φτάσει στον λεγόμενο κορεσμό. Αυτή η οριακή τιμή της τάσης των υδρατμών είναι η μέγιστη τάση αυτών στη θερμοκρασία του εξατμιζόμενου ύδατος. Στην περίπτωση που αυξηθεί η θερμοκρασία του ύδατος, τότε αυξάνεται η μέγιστη τάση των υδρατμών και το φαινόμενο της εξάτμισης ξαναρχίζει. Επομένως, η ταχύτητα εξάτμισης είναι ανάλογη προς την διαφορά  $F-f$  όπου  $F$  είναι η μέγιστη τάση των υδρατμών στη θερμοκρασία του εξατμιζόμενου ύδατος και  $f$  η πραγματική τάση των υδρατμών πάνω από την επιφάνεια του ύδατος (Καραπιπέρης, 1966).

Η λειτουργία της εξάτμισης, επηρεάζεται και από την ατμοσφαιρική πίεση, γιατί η μετάβαση από την υγρή στην αέρια κατάσταση συνεπάγεται σημαντική αύξηση του όγκου που κατά ένα τρόπο εμποδίζεται από την ατμοσφαιρική πίεση. Άρα, η ταχύτητα εξάτμισης  $V$  θα είναι ανάλογη με τη διαφορά  $F-f$  και αντιστρόφως ανάλογη με την ατμοσφαιρική πίεση  $P$ .

$$V = \kappa \frac{F - f}{P}$$

Επειδή όμως, οι μεταβολές της πίεσης σε μια ορισμένη στάθμη είναι μικρές, δεν επηρεάζουν αισθητά την ταχύτητα εξάτμισης και ως εκ τούτου, κύριος παράγοντας της εξάτμισης είναι η διαφορά  $F-f$ , που είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο το  $F$  είναι μεγαλύτερο και το  $f$  μικρότερο. Δηλαδή η ταχύτητα εξάτμισης είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας του εξατμιζόμενου ύδατος και όσο μικρότερη είναι η ποσότητα των υδρατμών πάνω από αυτή την επιφάνεια.

Εάν πάνω από την εξατμιζόμενη επιφάνεια επικρατεί νηνεμία, τότε ο μόνος τρόπος για να ελαττωθεί το  $f$  είναι η μεταφορά των υδρατμών μακριά από την επιφάνεια του εξατμιζόμενου ύδατος με μοριακή διάχυση. Αν η θερμοκρασία του εξατμιζόμενου ύδατος αυξηθεί, τότε αυξάνει το  $F$ , οπότε αυξάνει και η εξάτμιση, αλλά πρόσκαιρα. Αυτό συμβαίνει γιατί η ατμόσφαιρα στο άμεσο περιβάλλον της εξατμιζόμενης επιφάνειας τείνει να κορεστεί και πάλι με υδρατμούς.

Όταν πνέει άνεμος, η ταχύτητα εξάτμισης αυξάνει σημαντικά κυρίως λόγω της ελάττωσης της τάσης των υδρατμών  $f$ . Η ελάττωση αυτή οφείλεται αφενός στην κατακόρυφη μεταφορά των υδρατμών λόγω αναταρακτικών κινήσεων και αφετέρου λόγω της οριζόντιας μεταφοράς των υδρατμών όπως και της διέλευσης ξηρότερου αέρα στην περιοχή πάνω από το εξατμιζόμενο ύδωρ. Η ταχύτητα εξάτμισης εξαρτάται κυρίως από την μεταφορά των υδρατμών λόγω αναταρακτικών κινήσεων. Ο ρυθμός αυτής της μεταφοράς εξαρτάται από την ένταση της κατακόρυφης αναταρακτικής κίνησης και από την κατακόρυφη βαθμίδα της τάσης των υδρατμών. Κατά την διάρκεια της ημέρας και όταν ο ήλιος δεν καλύπτεται από νέφη, η ταχύτητα εξάτμισης αυξάνει, γιατί αυξάνει η θερμοκρασία του εξατμιζόμενου ύδατος. Κατά την διάρκεια της νύχτας, η γήινη ακτινοβολία ελαττώνει τη θερμοκρασία και έχει σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της ταχύτητας εξάτμισης.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η εξάτμιση εξαρτάται κυρίως από:

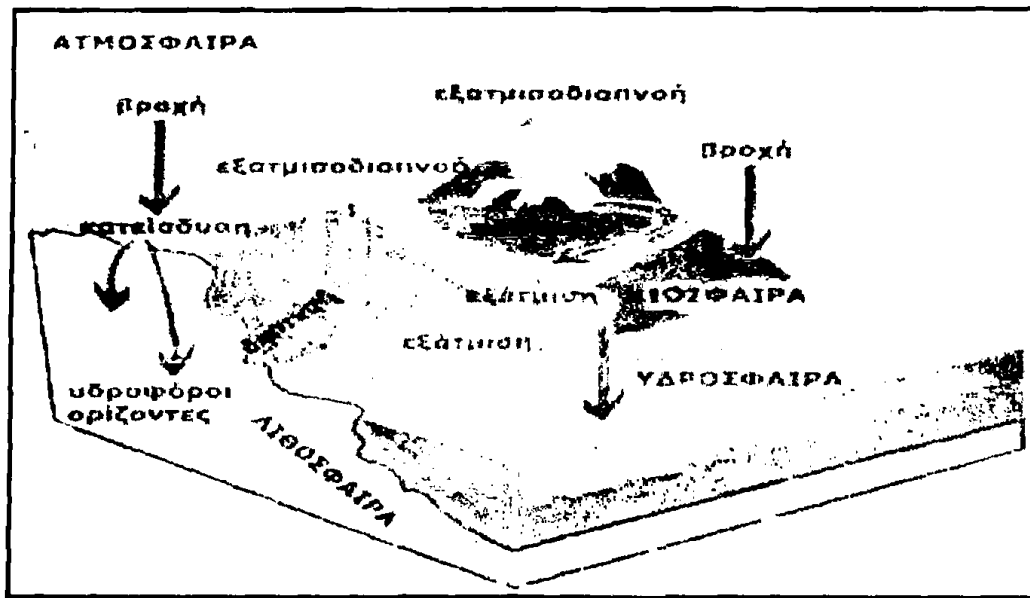
- 1) τη θερμοκρασία του εξατμιζόμενου ύδατος αλλά και του υπερκείμενου αέρα
- 2) τη διαφορά της μέγιστης τάσης των υδρατμών στη θερμοκρασία της επιφάνειας του νερού και της πραγματικής τάσης αυτών στον αέρα
- 3) την ταχύτητα του ανέμου και την ένταση των αναταρακτικών κινήσεων
- 4) τη φύση της επιφάνειας εξάτμισης
- 5) την σχετική υγρασία του αέρα
- 6) την ατμοσφαιρική πίεση

Σύμφωνα με όλα αυτά, η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη την ημέρα παρά τη νύχτα και μεγαλύτερη το καλοκαίρι παρά το χειμώνα. Δηλαδή ακολουθεί απλή ημερήσια και ετήσια πορεία και μάλιστα είναι ανάλογη της ημερήσιας και ετήσιας πορείας της θερμοκρασίας του αέρα. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η ταχύτητα εξάτμισης είναι κατά μέσο όρο ελάχιστη περί την ανατολή του ηλίου και μέγιστη λίγο μετά την μεσουράνηση του ηλίου. Στην διάρκεια του έτους είναι μικρότερη τον Δεκέμβριο-Ιανουάριο και μεγαλύτερη τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούλιο-Αύγουστο.



## 2.3 ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΔΑΤΟΣ

Η εξάτμιση του ύδατος στο φυσικό περιβάλλον, πραγματοποιείται από ελεύθερες υδάτινες επιφάνειες ή από το έδαφος που είναι καλυμμένο με βλάστηση και είναι μια από τις κύριες φάσεις του υδρολογικού κύκλου. Αυτός ο υδρολογικός ή υδάτινος κύκλος, αποτελείται από τη διαρκή μεταφορά του ύδατος από την ατμόσφαιρα στην γήινη επιφάνεια με την βροχή, απ' όπου καταλήγει σε ποτάμια, λίμνες ή θάλασσες ή ακόμη και σε υπόγειες δεξαμενές. Ο κύκλος κλείνει όταν το ύδωρ εξατμίζεται και επιστρέφει πίσω στην ατμόσφαιρα (Wiesner, 1970).



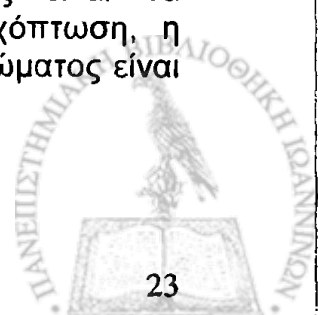
Σχήμα 2.1 Υδρολογικός Κύκλος

Τα διάφορα στάδια του υδρολογικού κύκλου φαίνονται στο παραπάνω σχήμα (2.1) και μπορούν να εκφραστούν από μια εξίσωση, η οποία εκφράζει την διατήρηση της μάζας σε ένα μέσο υδρολογικό σύστημα και μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$P = E + Q + D + \Delta S$$

Έτσι, η εισροή ή αλλιώς η βροχόπτωση  $P$ , ισοδυναμεί με την εκροή συν την μεταβολή του συστήματος. Οι παράγοντες εκροής είναι η εξάτμιση  $E$ , συν την επιφανειακή ροή  $Q$ , συν την ενδοεπιφανειακή αποχέτευση  $D$ , ενώ η μεταβολή οφείλεται στην αποθήκευση  $\Delta S$ . Η  $Q$  και η  $D$ , είναι καθαρές ποσότητες που εκφράζουν την διαφορά μεταξύ της εισροής και της εκροής του εξεταζόμενου κύκλου.  $\Delta S$  είναι η μεταβολή στο ποσό της αποθήκευσης και αυτό μπορεί να είναι, επιφανειακή αποθήκευση ή αποθήκευση καναλιών ή αποθήκευση εδαφολογικής υγρασίας, ή αποθήκευση υπόγειου ύδατος.

Ένας προφανής τρόπος για να καθοριστεί η εξάτμιση  $E$ , είναι να υπολογίσουμε τους υπόλοιπους όρους της παραπάνω εξίσωσης. Αυτό όμως δεν είναι πρακτικό γιατί υπεισέρχονται λάθη όπως πχ στην μέτρηση της βροχόπτωσης, οπότε αυτό μεταφέρεται και στον υπολογισμό της εξάτμισης. Αυτό εξηγεί το γεγονός ότι ο υπολογισμός της εξάτμισης δεν προσεγγίζεται από το υδάτινο ισοζύγιο, αλλά από μετεωρολογικά δεδομένα. Ένας άμεσος και απλός τρόπος είναι να χρησιμοποιήσουμε τα εξατμισίμετρα ή τα λυσίμετρα, όπου η βροχόπτωση, η υπερχειλίση και η αλλαγή στον εσωκλειόμενο όγκο του ύδατος ή του χώματος είναι γνωστές και η εξάτμιση ή η διαπνοή συνάγονται.



## 2.4 ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε οποιοδήποτε σύστημα στην επιφάνεια της γης (σχήμα 2.2), η εξάτμιση συνδέεται με το υδάτινο και το ενεργειακό ισοζύγιο (Wiesner, 1970). Η προσέγγιση της ενεργειακής ισορροπίας απαιτεί τη γνώση, όχι της διαδικασίας της μεταφοράς ατμού, αλλά των παραγόντων που συμβάλλουν στη θερμική ισορροπία στην επιφάνεια της εξάτμισης. Αυτοί είναι:

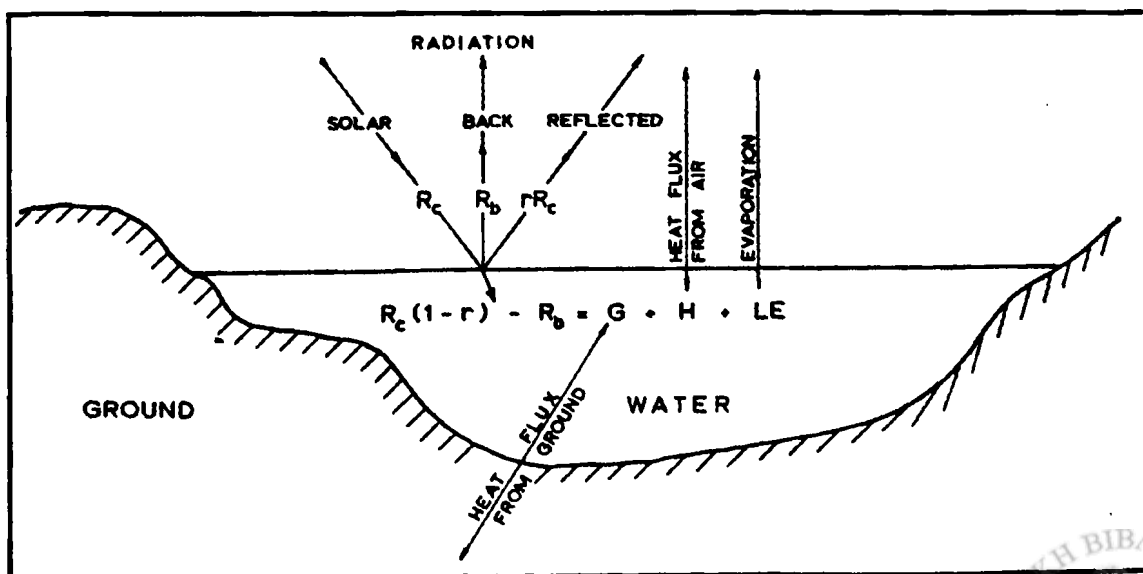
- $R_c$  η εισερχόμενη ακτινοβολία η οποία είναι άμεση, σκεδάζουσα ή ανακλώμενη μικρού μήκους και μεγάλου μήκους από την ατμόσφαιρα και τα νέφη.
- $R_c (1-r)$  η εισερχόμενη ακτινοβολία σε επιφάνεια με λευκαύγεια  $r$ .
- $R_b$  η εξερχόμενη ακτινοβολία από την επιφάνεια και ίσως η ανακλώμενη μικρού ή μεγάλου μήκους κύματος.
- $H$  η αισθητή θερμότητα μεταφοράς από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια ή το αντίθετο.
- $\beta$  η αναλογία μεταξύ των ροών αισθητής θερμότητας και εξάτμισης, που καλείται αναλογία Bowen.
- $LE$  η θερμότητα που χρησιμοποιείται για την μετατροπή του ύδατος σε ατμό, που ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα και  $E$  η εξάτμιση.
- $G$  η ροή θερμότητας στο έδαφος ή τη βλάστηση.
- $R_s$  η θερμότητα που αποθηκεύεται στο ύδωρ.
- $R_p$  η εσωτερική ενέργεια των φυτών
- $R_i$  η ενέργεια που προστίθεται ή αφαιρείται σε ένα σύστημα από την εισροή ή την εκροή του ύδατος σε αυτό.
- $R_n$  η καθαρή ακτινοβολία που φτάνει σε μια επιφάνεια και  
 $R_n = R_c (1-r) - R_b$

Στην εξατμιζόμενη επιφάνεια η αρχή διατήρησης της ενέργειας δίνει:

$$R_n = H + LE + G + R_s + R_p + R_i$$

ή

$$R_n = H + LE + G \quad \text{αν δεν λάβουμε υπόψιν τους όρους αποθήκευσης.}$$



Σχήμα 2.2 Ενεργειακό Ισοζύγιο Επιφανείας.



## 2.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

### 2.5.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΠΟ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ – ΜΕΘΟΔΟΣ PENMAN

Ένας άλλος τρόπος προσδιορισμού της ποσότητας του εξατμιζόμενου ύδατος γίνεται με τύπους βασιζόμενους σε διάφορα μετεωρολογικά και κλιματολογικά στοιχεία, όπως είναι η ηλιακή και η γήινη ακτινοβολία, η ηλιοφάνεια, η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα ανέμου και η ατμοσφαιρική πίεση.

Ο Penman (1948), ήταν ο πρώτος που συνδύασε δυο τρόπους εκτίμησης της εξάτμισης: 1) από την εξίσωση μεταφοράς, προϋποθέτοντας την μέτρηση της θερμοκρασίας σε δύο επίπεδα, (επιφάνεια και ατμόσφαιρας) και της ταχύτητας του ανέμου και 2) από την εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου και την γνώση της σχετικής υγρασίας, ώστε να καταλήξει σε μια εξίσωση. Ταυτόχρονα, με το συνδυασμό των εξισώσεων, απάλειψε τη θερμοκρασία της επιφάνειας που εξατμίζει και έτσι έκανε εφικτή την εκτίμηση της εξάτμισης από μετρήσεις θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου σε μια μόνο στάθμη της ατμόσφαιρας. Κατά σύμβαση, η στάθμη αυτή βρίσκεται σε ύψος 2m από την επιφάνεια. Αυτό το ύψος ενδιαφέρει ιδιαίτερα στην ταχύτητα του ανέμου, η οποία ως γνωστόν μεταβάλλεται σημαντικά με το ύψος, ενώ δεν είναι απαραίτητο να τηρείται το ίδιο σχολαστικά για τη θερμοκρασία. Ένα άλλο δεδομένο που απαιτεί η μέθοδος Penman είναι η σχετική ηλιοφάνεια, η οποία υπεισέρχεται στην εκτίμηση της διαθέσιμης ενέργειας.

Η εξίσωση του Penman κανονικά εφαρμόζεται για την εκτίμηση της εξάτμισης από μια υδάτινη επιφάνεια. Μια βασική παραδοχή για την ανάπτυξή της, η οποία ευσταθεί για υδάτινη επιφάνεια, είναι ότι οι υδρατμοί κοντά στην επιφάνεια είναι κορεσμένοι.

### 2.5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Αν το  $G$  δεν ληφθεί υπόψιν ή περιλαμβάνεται στις αποθήκες θερμότητας  $R_s$ , και η ενεργειακή ροή  $R_i$  στο  $R$ , έτσι ώστε  $R_n = G + R_s - R_i$ , τότε η εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου απλοποιείται :

$$R = H + LE$$

και χρησιμοποιώντας την αναλογία του Bowen  $\beta = \frac{H}{LE} = \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d}$

$$E = \frac{R}{L(1 + \beta)}$$

$$E = \frac{R}{L} \frac{1}{1 + \gamma \left( \frac{T_s - T_a}{e_s - e_d} \right)}$$

το  $R$ , μπορεί να βρεθεί από το ακτινόμετρο και από μετρήσεις ροής ακτινοβολίας ή από υπολογισμό από κατάλληλες εξισώσεις.



### 2.5.3 ΕΞΑΤΜΙΣΙΜΕΤΡΑ

Η εξάτμιση και η εξατμισοδιαπνοή, όπως και η βροχόπτωση, είναι μετεωρολογικές μεταβλητές με μεγάλο υδρολογικό ενδιαφέρον και επομένως είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η συστηματική μέτρηση και καταγραφή τους. Ωστόσο, αντίθετα από την βροχόπτωση, η εξάτμιση όπως και η εξατμισοδιαπνοή είναι πολύ δύσκολο να μετρηθούν με αξιόπιστο τρόπο. Τα υγρά και στερεά κατακρημνίσματα είναι εύκολο να συλλεγούν και να μετρηθούν ενώ αντίθετα οι υδρατμοί της εξάτμισης διαχέονται στον αέρα και δεν μπορούν να μετρηθούν με τον ίδιο τρόπο.

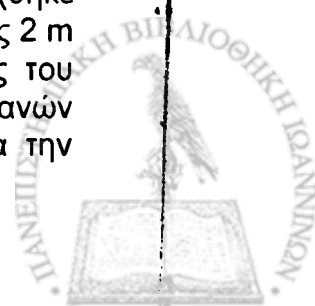
Έμμεση μέτρηση της εξάτμισης προκύπτει αν, αντί της μάζας των υδρατμών που προστίθενται στην ατμόσφαιρα, μετρηθεί η απώλεια νερού από μια υδάτινη επιφάνεια που αποτελεί την αρχή λειτουργίας των εξατμισιμέτρων. Στους μετεωρολογικούς σταθμούς, η εξάτμιση προσδιορίζεται με τα ειδικά όργανα που ονομάζονται εξατμισίμετρα. Αυτά διακρίνονται αφ' ενός στις συσκευές από τις οποίες το ύδωρ εξατμίζεται από την ελεύθερη επιφάνεια (π.χ WILD) και αφετέρου σε όργανα εκ των οποίων η εξάτμιση λαμβάνει χώρα μέσω της συνεχώς διαβρεχόμενης πορώδους επιφάνειας (PICHÉ). Η μέτρηση του εξατμιζόμενου ύδατος γίνεται είτε σταθμικά είτε ογκομετρικά· οι εξατμιζόμενες ποσότητες όμως εκφράζονται πάντοτε σε χιλιοστόμετρα ύψους υδάτινου στρώματος.

Ωστόσο, με τον τρόπο αυτό είναι σαφές ότι δεν μετράμε πλέον τη φυσική εξάτμιση, αλλά την εξάτμιση από το συγκεκριμένο όργανο, το οποίο προφανώς τροποποιεί, στην περιοχή του, τη φυσική διεργασία της εξάτμισης. Έτσι, η μέτρηση από μια μικρή λεκάνη δεν είναι αντιπροσωπευτική πχ της εξάτμισης από μια φυσική λίμνη. Στο ίδιο συντείνει και η διαφορά κλίμακας στον όγκο του νερού. Ο μικρός όγκος νερού του εξατμισιμέτρου με τη μικρή θερμοχωρητικότητά του, το καλοκαίρι υπερθερμαίνεται με αποτέλεσμα την αύξηση της εξάτμισης. Για το λόγο αυτό, η εξάτμιση της λίμνης είναι μικρότερη από την εξάτμιση του εξατμισιμέτρου, δηλαδή

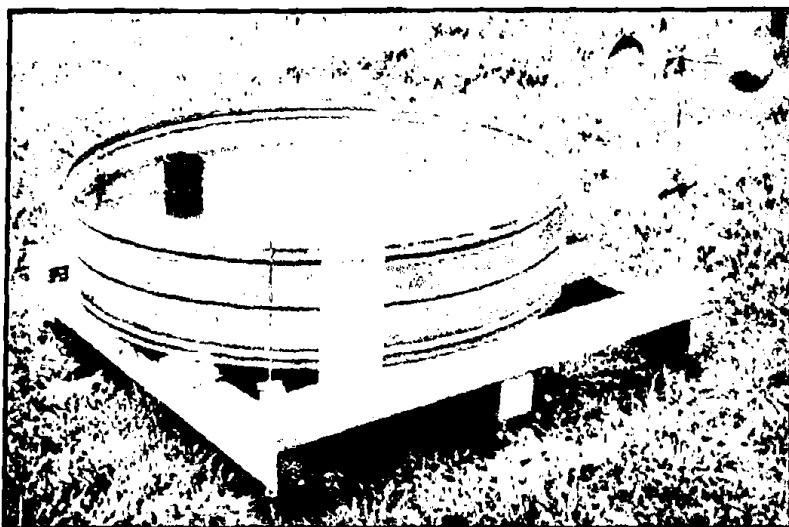
$$E = k E_m$$

όπου  $k (< 1)$  είναι ο λεγόμενος συντελεστής εξατμισιμέτρου, ο οποίος εξαρτάται από τη γεωμετρία του οργάνου αλλά και από τις συνθήκες του περιβάλλοντα χώρου και τις μετεωρολογικές συνθήκες (υγρασία, ταχύτητα ανέμου κ.α) (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999).

Διάφοροι τύποι εξατμισιμέτρων έχουν χρησιμοποιηθεί διεθνώς. Ο πιο διαδεδομένος είναι η λεκάνη τύπου A (class pan A) του U.S Weather Bureau, μια κυλινδρική λεκάνη από γαλβανισμένο σίδηρο διαμέτρου 121,9 cm και ύψους 25,4 cm (εσωτερικές διαστάσεις), η οποία τοποθετείται πάνω σε ξύλινη σχάρα σε απόσταση 10-20 cm από το έδαφος (σχήμα 2.3). Η βυθισμένη λεκάνη τύπου Colorado (Colorado sunken pan) είναι τετραγωνική, με πλευρά 91,5 cm και βάθος 45,7cm και τοποθετείται μέσα στο έδαφος με τα χείλη της να προεξέχουν κατά 10 cm. Η τυποποιημένη Βρετανική λεκάνη (UK British standard pan), η οποία αρχικώς χρησιμοποιήθηκε στις Η.Π.Α, είναι κυκλική διαμέτρου 1,83 m και ύψους 61 cm και τοποθετείται μέσα στο έδαφος με τα χείλη της να προεξέχουν κατά 10 cm. Η λεκάνη GGI-3000 που αναπτύχθηκε στην πρώην Σοβιετική Ένωση και χρησιμοποιείται κυρίως στην Ανατολική Ευρώπη, είναι κυλινδρική με κωνική βάση και διάμετρο 61,8 cm το ύψος της είναι 60 cm στο όριο και 68,5 cm στο κέντρο και τα χείλη της τοποθετούνται 7,5 cm έξω από το έδαφος. Τέλος η λεκάνη 20 m<sup>2</sup> αναπτύχθηκε επίσης στην πρώην Σοβιετική Ένωση, είναι κυλινδρική με διάμετρο 5 m και ύψος 2 m και τα χείλη της τοποθετούνται 7,5 cm έξω από το έδαφος. Τυπικές τιμές του συντελεστή εξατμισιμέτρου, σε ετήσια βάση, για τους παραπάνω τύπους λεκανών είναι: 0,70 για τη λεκάνη τύπου A, 0,80 για την λεκάνη Colorado, 0,92 για την



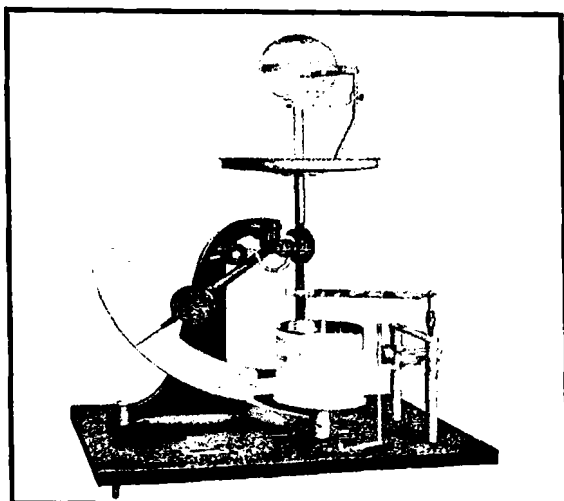
τυποποιημένη Βρετανική λεκάνη, 0,82 για τη λεκάνη GGI-3000 και σχεδόν 1 για λεκάνη 20 m<sup>2</sup> (Brutsaert, 1982). Έχει παρατηρηθεί ότι οι μεγαλύτερες λεκάνες όπως και αυτές που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος είναι πιο αξιόπιστες. Οι τιμές του συντελεστή  $k$  δεν είναι σταθερές στη διάρκεια του έτους αλλά μεταβάλλονται σημαντικά ανάλογα με τις μετεωρολογικές συνθήκες.



Σχήμα 2.3 Εξωτερικός σταθμός εξάτμισης τύπου Class A, με ενσωματωμένο ανεμόμετρο.

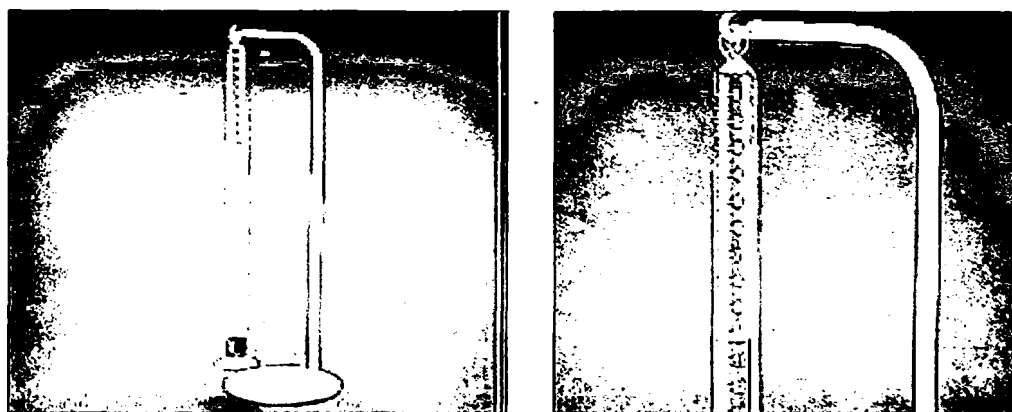
Αντίστοιχο όργανο με το εξατμισίμετρο για την μέτρηση της εξατμισοδιαπνοής είναι το λυσίμετρο. Πρόκειται για στεγανή λεκάνη διαμέτρου 0,50-2m, γεμάτη με χώμα, στο οποίο έχουν φυτευτεί φυτά. Με μέτρηση του βάρους του περιεχομένου είναι δυνατή η εκτίμηση της διαφοράς της περιεκτικότητας σε ύδωρ και συνεπώς της εξατμισοδιαπνοής. Το όργανο είναι αρκετά πολύπλοκο, ευαίσθητο (λόγω της ανάγκης για ακριβή προσδιορισμό των μεταβολών βάρους) και ακριβό.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το εξατμισίμετρο WILD σχήμα (2.4). Αυτό το όργανο αποτελείται από ένα δοχείο που περιέχει ύδωρ. Στο δοχείο αυτό είναι προσαρτημένο ένα σύστημα που μοιάζει με ζυγό επιστολών. Ο δείκτης του ζυγού κινείται μπροστά από την βαθμολογημένη κλίμακα που έχει υποδιαιρέσεις σε χιλιοστά ύψους εξατμιζόμενου ύδατος από την ελεύθερη επιφάνεια του δοχείου. Το εξατμισίμετρο τοποθετείται μέσα στον μετεωρολογικό κλωβό και γεμίζεται με ύδωρ μέχρι ο δείκτης του ζυγού να φτάσει στο 0 της κλίμακας. Όταν αυτό εξατμίζεται, όλο το σύστημα γίνεται πιο ελαφρύ και ανεβαίνει, ενώ ο δείκτης του ζυγού διατρέχει κατά μήκος την κλίμακα. Η διαφορά των ενδείξεων στις οποίες βρίσκεται ο δείκτης μεταξύ δυο διαδοχικών παρατηρήσεων, δίνει το ύψος του εξατμιζόμενου ύδατος στο χρονικό διάστημα μεταξύ των δυο παρατηρήσεων. Όταν ο δείκτης πλησιάζει προς το άκρο της κλίμακας, τότε γεμίζεται ξανά με ύδωρ μέχρι ο δείκτης να φτάσει στο μηδέν της κλίμακας. Στο εξατμισίμετρο WILD και στον δείκτη του ζυγού του, έχει προσαρμοστεί κατάλληλο στέλεχος που στο άκρο του έχει γραφίδα και εφάπτεται σε ταινία που περιβάλλει τύμπανο εβδομαδιαίας περιστροφής. Στην ταινία αυτή υπάρχουν οριζόντιες γραμμές που αντιστοιχούν σε χιλιοστόμετρα εξατμιζόμενου ύδατος και τόξα κάθετα στις οριζόντιες γραμμές που αντιστοιχούν σε δίωρες υποδιαιρέσεις του εικοσιτετράωρου.



Σχήμα 2.4 Εξατμισογράφος WILD

Το εξατμισόμετρο ΡΙΧΕ (σχήμα 2.5), αποτελείται από κυλινδρικό υάλινο σωλήνα κλειστό στο πάνω άκρο, εσωτερικής διαμέτρου 1-1,5cm και μήκους 30-35 cm. Αφού γεμιστεί με απεσταγμένο ύδωρ, κλείνεται το στόμιο αυτού με δίσκο και ειδικό απορροφητικό χαρτί διαμέτρου 30mm, και τέλος αναστρέφεται και αναρτάται κατακόρυφα εντός του μετεωρολογικού κλωβού. Κατά μήκος του σωλήνα έχει χαραχτεί κλίμακα, που η κάθε διαίρεση αντιστοιχεί σε 0,1 mm ύψους στρώματος εξατμιζόμενου ύδατος από την επιφάνεια του χάρτινου δίσκου. Επειδή το ύδωρ εξατμίζεται και από τις δύο όψεις του χάρτινου δίσκου, η ολική επιφάνεια εξατμησης ισούται με το διπλάσιο εμβαδόν μειωμένο κατά το εμβαδόν της τομής του σωλήνα, η οποία καλύπτει την ανώτερα επιφάνεια του δίσκου. Εφόσον το ύδωρ εξατμίζεται μέσω του διαβρεχόμενου δίσκου, κατέρχεται η στάθμη εντός του σωλήνα και ο κενός χώρος γεμίζει με αέρα που με φυσαλίδες ανέρχεται στον βαθμολογημένο σωλήνα (Κυριαζόπουλος και Λιβαδάς, 1974).

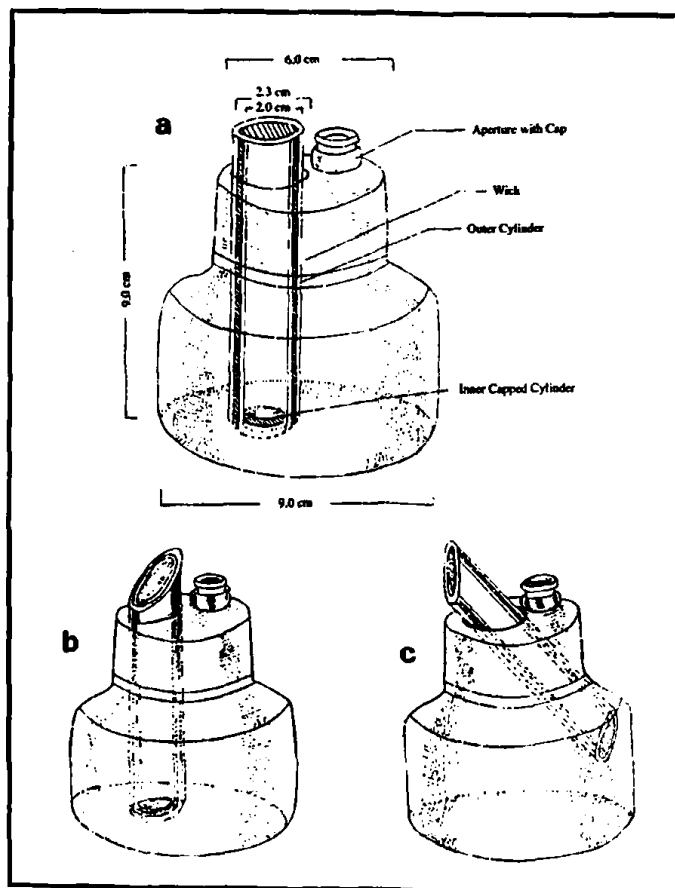


Σχήμα 2.5 Εξατμισόμετρο ΡΙΧΕ.

Στο ατμόμετρο Livingstone, το στοιχείο από το οποίο εξατμίζεται το νερό είναι μια πορώδης σφαίρα διαμέτρου 5cm στην οποία εφαρμόζεται γυάλινος ή μεταλλικός σωλήνας, που το άλλο άκρο του βυθίζεται σε ένα βαθμονομημένο δοχείο γεμάτο νερό. Η ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια του νερού στο δοχείο, διατηρεί τον σωλήνα και τη σφαίρα γεμάτη με νερό. Το νερό που χάνεται με τη διαδικασία της εξατμίσεως από τη σφαίρα, συμπληρώνεται από το νερό του δοχείου, με αποτέλεσμα να χαμηλώνει η στάθμη σε αυτό. Η διαφορά της στάθμης, που φαίνεται στην κλίμακα του δοχείου, δείχνει την ποσότητα του νερού που εξατμίστηκε στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Σαχσαμάνογλου και Μπλούτσος, 2000).

Το ατμόμετρο Bellani αποτελείται από ένα κεραμικό δίσκο που είναι τοποθετημένος στο επάνω άκρο ενός σωλήνα. Ο σωλήνας αυτός συνδέεται με ένα βαθμολογημένο γυάλινο δοχείο που λειτουργεί ταυτοχρόνως σαν αποθήκη νερού και σαν μονάδα μετρήσεως.

Επίσης, τελευταία έχει σχεδιαστεί ένα νέο είδος εξατμισιμέτρου το Mini atmometer (σχήμα 2.6) (Kidron, 2005). Το εξατμισιμέτρο αυτό αποτελείται από ένα δοχείο ύψους και διαμέτρου 9cm, αποτελούμενο από 2 τμήματα τα οποία είναι βιδωμένα μαζί και 2 κυλίνδρους με 2,3 και 2cm διαμέτρων αντίστοιχα. Ο κύλινδρος με διάμετρο 2cm είναι κλειστός στη βάση του και τοποθετημένος μέσα στον κύλινδρο ο οποίος έχει διάμετρο 2,3cm, ενώ και οι δυο προεξέχουν σχεδόν 2cm από το πάνω μέρος του δοχείου. Μια σταθερή θρυαλλίδα (χρησιμεύει σαν υγρό θερμομέτρο) κόβεται για να δημιουργηθεί μια λωρίδα (περίπου 20x2cm) η οποία τοποθετείται ανάμεσα στους δυο κυλίνδρους και έρχεται σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Με σκοπό να εμφανίσουν μια επικλινή επιφάνεια και οι δυο κύλινδροι μπορούν να κοπούν ή να εισέλθουν υπό γωνία, επιτρέποντας να γίνονται μετρήσεις σε μια γωνία μεγαλύτερη των 90 μοιρών. Ένα πώμα με στενό άνοιγμα, τοποθετείται στην κορυφή του δοχείου το οποίο εξυπηρετεί στο να γεμίζει το δοχείο με απεσταγμένο νερό. Το δοχείο προστατεύεται από έναν σωλήνα 11cm διαμέτρου και το κενό ανάμεσα σε αυτόν και το δοχείο γεμίζεται με πολυουρεθάνη. Έτσι η έκθεση του δοχείου στην ατμόσφαιρα γίνεται μόνο μέσω του πώματος και της λωρίδας στην κορυφή του. Ο προστατευτικός σωλήνας εξυπηρετεί στο να ελαττωθεί η επίδραση της άμεσης ακτινοβολίας στην θερμοκρασία του νερού μέσα στο δοχείο. Με τον τρόπο αυτό και εξαιτίας των συνεχών επιδράσεων, το νερό αυξάνει από τον πάτο, υγραίνοντας τμήμα της εκτιθέμενης λωρίδας. Γεμίζοντας περιοδικά το δοχείο με βαθμονομημένη σήραγγα, είναι δυνατό να γίνει μια ακριβής μέτρηση της ποσότητας του εξατμιζόμενου ύδατος.



Σχήμα 2.6 Mini Atmometer

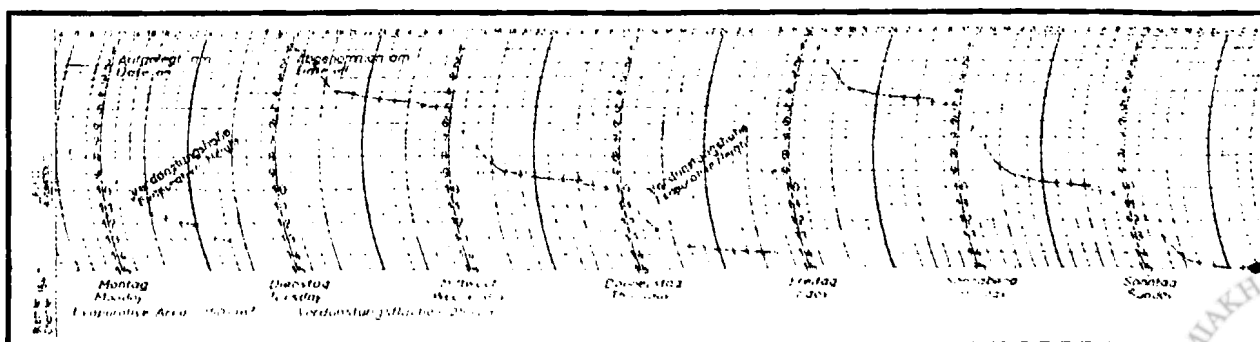
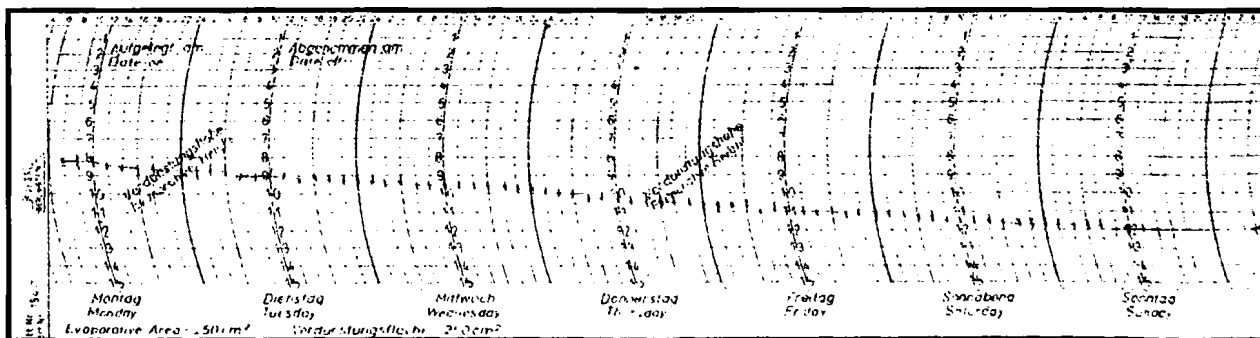
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3.1 ΣΚΟΠΟΣ

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια αναλυτική στατιστική επεξεργασία των δεδομένων εξάτμισης για την περιοχή των Ιωαννίνων καθώς και η προσέγγιση ακραίων περιπτώσεων εξάτμισης από συνοπτικής πλευράς. Σκοπός είναι να παρουσιαστούν τα κύρια χαρακτηριστικά της εξάτμισης και να μελετηθεί το φαινόμενο σε βάθος, ώστε να μπορούν να αποκαλυφτούν συσχετίσεις με άλλα σύνθετα φυσικά φαινόμενα ή μετεωρολογικές μεταβλητές. Με την βοήθεια στατιστικών μεθόδων, μελετήθηκε το καθεστώς της εξάτμισης σε ημερήσια, εποχική και ετήσια βάση. Στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δίωρες, μέσες ημερήσιες και πενθήμερες τιμές. Ακόμη, μελετήθηκε η τάση της χρονοσειράς (1988-2003), ο αριθμός των ημερών που εμφάνισαν ακραίες τιμές εξάτμισης όπως και η σχέση ή η αλληλεπίδραση της εξάτμισης με άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους.

### 3.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία, είναι 70.080 δίωρες τιμές εξάτμισης, που στιγμομετρήθηκαν από τα γραφήματα του εξατμισιμέτρου WILD, του Μετεωρολογικού Σταθμού του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για την χρονική περίοδο από το 1988 έως το 2003. Από τον ίδιο σταθμό χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές μέγιστης, ελάχιστης, μέσης θερμοκρασίας, ημερησίου θερμοκρασιακού εύρους και ταχύτητας του ανέμου κοντά στην εξωτερική δεξαμενή εξάτμισης, με σκοπό να γίνει συσχέτιση με την μεταβλητή της εξάτμισης. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν μέσες ημερήσιες τιμές πίεσης για τα 189 σημεία πλέγματος της γεωγραφικής περιοχής που ορίζεται από τους μεσημβρινούς  $10^{\circ}$  Δ και  $40^{\circ}$  Α και από τους παράλληλους  $30^{\circ}$  Β και  $50^{\circ}$  Β, (NCEP-NCAR), με σκοπό να κατασκευαστούν οι συνοπτικοί χάρτες που αντιστοιχούν σε ακραία φαινόμενα εξάτμισης.



Σχήμα 3.1 Εβδομαδιαίες στιγμομετρημένες ταινίες του εξατμισογράφου Wild για τον Ιανουάριο (24-31/01/2000) και τον Αύγουστο (31/07/2000-7/08/2000).

Στο σχήμα 3.1, παρουσιάζονται ενδεικτικά δυο εβδομαδιαία γραφήματα από το εξατμισόμετρο WILD. Η πρώτη ταινία, αναφέρεται σε έναν χειμερινό μήνα και είναι χαρακτηριστική η ομαλή πορεία της εξάτμισης κατά την διάρκεια της ημέρας (περίπου 0,5mm ανά ημέρα), ενώ η δεύτερη ταινία αναφέρεται σε έναν καλοκαιρινό μήνα με έντονη εξάτμιση, ειδικά κατά τις μετά μεσημεριανές ώρες (περίπου 5mm ανά ημέρα).

### 3.3 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Οι αναλύσεις των προβλημάτων που προκύπτουν από τα μετεωρολογικά φαινόμενα, εξαρτώνται από την διάρκεια των παρατηρήσεων, την θέση αλλά και το μέγεθος αυτών (Bruce and Glark, 1966). Σήμερα, χρησιμοποιώντας προηγμένες στατιστικές μεθόδους, ένας μεγάλος αριθμός δεδομένων μπορεί να μειωθεί εύκολα και να γίνει ιδιαίτερα εύκολη η μελέτη ενός φαινομένου. Στην παρούσα εργασία, η ενδοημερήσια και η ενδοετήσια μεταβολή της εξάτμισης στα Ιωάννινα, μελετήθηκε χρησιμοποιώντας την Αρμονική Ανάλυση (Harmonic Analysis), ενώ η τάση της χρονοσειράς αποκαλύφτηκε χρησιμοποιώντας το τεστ Mann-Kendall. Ακόμη μελετήθηκε ο αριθμός ημερών με εξάτμιση πάνω ή κάτω από συγκεκριμένες τιμές κατωφλίων, όπως και η συχνότητα εμφάνισής τους. Επιπλέον, επιλέχθηκαν και μελετήθηκαν ημέρες με ακραίες τιμές εξάτμισης (π.χ υψηλή εξάτμιση τον χειμώνα και χαμηλή το καλοκαίρι). Αυτές οι ημέρες ομαδοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας την Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis) και κατασκευάστηκαν συνοπτικοί χάρτες που ευνοούν την εμφάνιση συνθηκών με ακραίες ημερήσιες τιμές εξάτμισης. Τέλος, έγινε συσχέτιση της εξάτμισης με άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους υπολογίζοντας τον Συντελεστή Συσχέτισης (Correlation Coefficient), ενώ με τη βοήθεια της Regression Analysis έγινε μια προσπάθεια εκτίμησης της εξάτμισης από κάποιες άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους. Παρακάτω θα γίνει μια σύντομη περιγραφή των βασικών στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

#### 3.3.1 ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (Fourier Analysis)

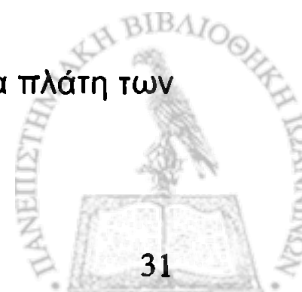
Απλές μεταβολές φυσικών ή άλλων μεγεθών μπορούν να περιγραφούν με απλές ημιτονοειδείς ή συνημιτονοειδείς συναρτήσεις της μορφής:

$$P(t) = a \sin(\omega t + \phi) \quad \text{ή} \quad P(t) = a \cos(\omega t + \phi)$$

Στη φύση οι περιοδικές μεταβολές των περισσότερων μεγεθών είναι πολύπλοκες και δεν μπορούν να παρασταθούν από μια απλή ημιτονοειδή συνάρτηση. Μπορούν όμως να περιγραφούν με πολύ καλή προσέγγιση από ένα άθροισμα απλών ημιτονοειδών συναρτήσεων, οι οποίες ονομάζονται αρμονικοί όροι. Για να περιγραφεί λοιπόν μια περιοδική μεταβολή, εφαρμόζεται η μέθοδος της Αρμονικής Ανάλυσης ή Ανάλυσης Fourier, η οποία μας δίνει μια απειροσειρά απλών αρμονικών όρων, η οποία προσεγγίζει πολύ καλά την «φυσική» περιοδική μεταβολή. Αυτή η σειρά Fourier έχει τη μορφή:

$$P(t) = \frac{A_0}{2} + (A_n \cos \omega t + B_n \sin \omega t)$$

όπου  $\cos \omega t$  και  $\sin \omega t$  είναι απλές αρμονικές συνιστώσες,  $A_n$  και  $B_n$  είναι τα πλάτη των αρμονικών συνιστωσών και προσδιορίζονται από τις σχέσεις:



$$A_n = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^{2k} P(t) \cos\left(\frac{n\pi t}{k}\right) \quad \text{και} \quad B_n = \frac{1}{k} \sum_{t=1}^{2k} P(t) \sin\left(\frac{n\pi t}{k}\right)$$

κάνοντας διάφορες πράξεις, η σειρά Fourier μετασχηματίζεται ως εξής:

$$P(t) = P(t) + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin\left(\frac{n\pi t}{k} + \phi_n\right)$$

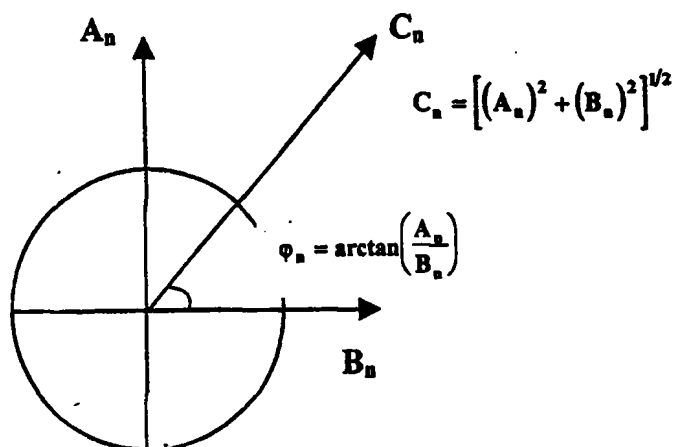
που είναι συνάρτηση μόνο του ημιτόνου και για  $n=1,2,\dots,2k$  και αναπαράγει με μεγάλη ακρίβεια τις αρχικές  $2k$  τιμές.  $C_n$  είναι το πλάτος του  $n$  αρμονικού όρου και δίνεται συναρτήσει των πλατών  $A_n$  και  $B_n$  των δύο αρχικών συνιστωσών:

$$C_n = [(A_n)^2 + (B_n)^2]^{1/2}$$

και  $\phi_n$  είναι η γωνία φάσης του  $n$  αρμονικού όρου και προκύπτει από τη σχέση:

$$\phi_n = \arctan\left(\frac{A_n}{B_n}\right)$$

Μια γραφική απεικόνιση των  $C_n$ ,  $A_n$ ,  $B_n$  και  $\phi_n$ , παρουσιάζεται στο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2 Γραφική απεικόνιση των σχέσεων που συνδέουν τα  $C_n$ ,  $A_n$ ,  $B_n$  και  $\phi_n$ .

Για περιπτώσεις χρονομεταβολών φυσικών μεταβολών αντί της γωνίας φάσης  $\phi_n$ , χρησιμοποιείται ο χρόνος μεγίστου  $T_n$ , ο οποίος υπολογίζεται ως εξής: θέτουμε

$$\sin\left(\frac{n\pi T_n}{k} + \phi_n\right) = 1 \Rightarrow \frac{n\pi T_n}{k} + \phi_n = \frac{\pi}{2} \Rightarrow T_n = \left(\frac{\pi}{2} - \phi_n\right) \frac{k}{n\pi}$$

Για την εφαρμογή της ανάλυσης Fourier είναι αυστηρή απαίτηση να ικανοποιούνται οι συνθήκες Dirichlet :

1. Η  $P(t)$  να είναι ορισμένη στο διάστημα  $0 < t < 2k$  ( $2k$ : περίοδος)
2. Η  $P(t)$  και η  $P'(t)$  να είναι συνεχείς στο ανωτέρω διάστημα και στα σημεία ασυνέχειας να ισχύει  $P(t) = \frac{1}{2}[P(t+0) + P(t-0)]$

3. Η  $P(t)$  να είναι απολύτως ολοκληρώσιμη στο διάστημα μιας περιόδου, δηλαδή το ολοκλήρωμα  $\int_0^{2k} |P(t)| dt$  να είναι πεπερασμένο.



Κατά την εφαρμογή της ανάλυσης Fourier ένας μικρός αριθμός αρμονικών όρων είναι απαραίτητος να κρατηθεί για να περιγράψει ικανοποιητικά τη χρονοσειρά του μεγέθους που μας απασχολεί. Ο Panofsky (1968), υποστηρίζει ότι για να αποφασίσουμε για τον αριθμό των αρμονικών όρων που θα κρατήσουμε, πρέπει να εξετάσουμε το κλάσμα της ολικής διακύμανσης που καλύπτεται από τους πρώτους αρμονικούς όρους. Αν το κλάσμα είναι ικανοποιητικό δεν χρειάζονται περισσότεροι όροι.

Πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι διακυμάνσεις των αρμονικών όρων μπορούν να προστεθούν γιατί οι αρμονικοί όροι είναι ασυσχέτιστοι. Ο καθένας είναι δυνατόν να έχει διαφορετικά φυσικά αίτια από τους άλλους και έτσι μπορεί να εξεταστεί μεμονωμένα. Ωστόσο μπορεί κάποιος αρμονικοί να μην έχουν καμία φυσική σημασία και τότε η αρμονική ανάλυση δίνει απλώς μια μαθηματική παράσταση ισοδύναμη της περιοδικής συνάρτησης.

### 3.3.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ MANN-KENDALL

Με τον έλεγχο Mann-Kendall μπορούμε να διαπιστώσουμε την ύπαρξη ή όχι τάσης σε μια σειρά παρατηρήσεων. Ο έλεγχος συνίσταται στον υπολογισμό του στατιστικού  $\tau$  από τη σχέση

$$\tau = \frac{4P}{N(N-1)} - 1$$

όπου  $P = \sum_{i=1}^{N-1} n_i$  και  $n_i$  είναι ο αριθμός των τιμών που είναι μικρότερος από την τιμή  $X_i$ ,

δηλαδή η πρώτη τιμή της σειράς  $X_i$ , συγκρίνεται με όλες τις υπόλοιπες και  $n_i$  ο αριθμός των τιμών  $X_i$   $i=2, N$  που είναι μικρότερος της  $X_i$ , το ίδιο γίνεται με την  $X_2, X_3, \dots, X_{N-1}$ .

Η τιμή του  $\tau$  που προκύπτει από την παραπάνω σχέση, συγκρίνεται με την τιμή  $(\tau)_t$  που για βαθμό εμπιστοσύνης 95% έχει την μορφή

$$(\tau)_t = \pm 1,96 \sqrt{\frac{4N+10}{9N(N-1)}}$$

### 3.3.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ (Factor Analysis)

Η παραγοντική ανάλυση, είναι μια στατιστική μέθοδος που έχει σκοπό την εύρεση κοινών παραγόντων ανάμεσα σε μια ομάδα μεταβλητών (Καρλής, 2003). Έτσι, εκφράζοντας αυτούς τους παράγοντες (οι οποίοι δεν είναι μια υπαρκτή ποσότητα αλλά την "κατασκευάζουμε" για τις ανάγκες μας) μπορούμε :

- Να μειώσουμε τις διαστάσεις του προβλήματος και αντί να δουλεύουμε με τις αρχικές μεταβλητές να δουλέψουμε με λιγότερες αφού οι παράγοντες είναι έτσι κατασκευασμένοι ώστε να διατηρούν όσο γίνεται την πληροφορία που υπήρχε στις αρχικές μεταβλητές.
- Να δημιουργήσουμε νέες μεταβλητές, τους παράγοντες (factors), στις οποίες μπορούμε με έναν υποκειμενικό τρόπο να αναγνωρίσουμε ως κάποιες μη μετρήσιμες μεταβλητές.





- Να εξηγήσουμε τις συσχετίσεις που υπάρχουν στα δεδομένα, για τις οποίες έχουμε υποθέσει ότι οφείλονται αποκλειστικά στην ύπαρξη κάποιων κοινών παραγόντων που δημιούργησαν τα δεδομένα.

Χαρακτηριστικά της παραγοντικής ανάλυσης είναι ότι :

- Δεν έχει μοναδική λύση και μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορες μεθόδους εκτίμησης, και ακόμα και για την ίδια μέθοδο εκτίμησης μπορούμε να πάρουμε ένα μεγάλο αριθμό ισοδύναμων εκτιμήσεων.
- Οι παράγοντες οι οποίοι προκύπτουν μπορούν να δεχτούν διαφορετικές ερμηνείες οι οποίες μπορεί να έρχονται και σε αντιπαράθεση.
- Ο αριθμός των παραγόντων που χρειάζεται να εξάγουμε ώστε τα αποτελέσματα να είναι χρήσιμα, δεν είναι προφανής κι εξαρτάται και από τη μέθοδο εκτίμησης που θα χρησιμοποιηθεί.

Πιο λεπτομερειακά (Manly,1986), οι  $p$  παρατηρούμενες συσχετισμένες μεταβλητές  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , εκφράζονται-ερμηνεύονται από έναν μικρό αριθμό, νέων ασυσχέιστων μεταξύ τους μεταβλητών, τους παράγοντες (factors), έτσι ώστε να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ των  $X_1, X_2, \dots, X_p$ . Κάθε μια από τις  $p$  αρχικές μεταβλητές μπορεί να εκφραστεί ως γραμμικός συνδυασμός  $m$  ( $m < p$ ) ασυσχέιστων μεταβλητών. Θα ισχύει λοιπόν :

$$X_i = \alpha_{i1}F_1 + \alpha_{i2}F_2 + \dots + \alpha_{im}F_m$$

όπου  $F_1, F_2, \dots, F_m$ , είναι οι καινούριες μεταβλητές (παράγοντες ή factor) και  $\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im}$ , τα φορτία των παραγόντων (factor loadings) τα οποία εκφράζουν τη συσχέτιση της μεταβλητής  $X_i$  με κάθε έναν από τους παράγοντες. Το άθροισμα  $\sum_{j=1}^m a_{ij}^2$ , ονομάζεται "communality" της  $X_i$  και αποτελεί το τμήμα της διακύμανσής της, που ερμηνεύεται από το σύνολο των παραγόντων. Οι τιμές των κανονικοποιημένων παραγόντων έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα.

Τα βήματα για να γίνει η παραγοντική ανάλυση είναι τα εξής:

- α) Έλεγχος για το αν υπάρχουν συσχετίσεις ικανοποιητικές ώστε να γίνει η παραγοντική ανάλυση.
- β) Εύρεση του αριθμού των παραγόντων και εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου.

Ο αριθμός  $m$  των παραγόντων που πρέπει να διατηρηθούν αποφασίζεται με τη βοήθεια κάποιου από τα ακόλουθα κριτήρια επιλογής. Σύμφωνα με το κριτήριο GUTTMAN, ο αριθμός των παραγόντων που διατηρούνται πρέπει να ισούται με τον αριθμό των ιδιοτιμών του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών που είναι μεγαλύτερες από την μονάδα. Σύμφωνα με το κριτήριο SCREE, ο αριθμός αυτός πρέπει να ισούται με τον αριθμό των σημείων που αποκλίνουν από μια ευθεία γραμμή σε ένα διάγραμμα όπου παρατίθενται οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών με σειρά από τη μεγαλύτερη προς τη μικρότερη. Το κριτήριο LEV διαφέρει από το SCREE μόνο στο ότι αντί για τις ιδιοτιμές χρησιμοποιούμε το λογάριθμό τους. Τέλος, σύμφωνα με το κριτήριο MONTE CARLO, ο αριθμός των παραγόντων πρέπει να ισούται με τον αριθμό των ιδιοτιμών που είναι μεγαλύτερες από το 95% αυτών που προκύπτουν χρησιμοποιώντας τυχαία δεδομένα (Horel,1981, Overland and Preisendorfer, 1982). Πάντως, ανεξαρτήτως από το τι υποδεικνύει καθένα από τα παραπάνω κριτήρια, έχει επισημανθεί από διάφορους ερευνητές (Bartzokas and Metaxas, 1993) ότι ο αριθμός των παραγόντων που διατηρούνται πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε οι ομαδοποιήσεις που προκύπτουν μεταξύ των αρχικών μεταβλητών να είναι όσο γίνεται καλύτερα ερμηνεύσιμες από φυσικής πλευράς.

- γ) Περιστροφή του μοντέλου με σκοπό την αύξηση της ερμηνευτικής του ικανότητας.



Η περιστροφή των αξόνων είναι μια διαδικασία η οποία οδηγεί σε δημιουργία νέων παραγόντων που εκφράζουν διαφορετικά ποσοστά της ολικής διακύμανσης σε σχέση με τα παλαιά, διατηρώντας όμως την ολική διακύμανση των  $m$  παραγόντων ανεπηρέαστη. Η περιστροφή επιτυγχάνει καλύτερη διάκριση μεταξύ των αρχικών μεταβλητών, μεγιστοποιώντας τα φορτία των παραγόντων. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη δυνατή κατάταξή τους στον αντίστοιχο παράγοντα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η περιστροφή varimax, η οποία αποτελεί την καταλληλότερη μορφή ορθογωνίας περιστροφής. Βασίζεται στο ότι η ερμηνευτική ικανότητα ενός παράγοντα εκφράζεται ποσοτικά με τη διακύμανση των τετραγώνων των αντίστοιχων φορτίων. Η περιστροφή varimax μεγιστοποιεί αυτές τις διακυμάνσεις για όλους τους παράγοντες, διατηρώντας τους επιπλέον, ασυσχέτιστους (Richman, 1986).

δ) Εκτίμηση των τιμών των παραγόντων για περαιτέρω στατιστική χρήση.

Η παραγοντική ανάλυση στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS for Windows version 13.0.

### 3.3.5 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ (Correlation Coefficient)

Ο συντελεστής συσχέτισης χρησιμοποιείται για να μας δείξει σε ποιο βαθμό μια ανεξάρτητη μεταβλητή επηρεάζει μια εξαρτημένη (Panofsky and Brier 1968). Αν υπάρχει μια μόνο ανεξάρτητη μεταβλητή, τότε η ανάλυση ονομάζεται απλή συσχέτιση, αλλά αν υπάρχουν δύο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές τότε καλείται πολλαπλή συσχέτιση.

Σε μια απλή συσχέτιση, η εξίσωση που μπορεί να εμφανιστεί είναι η γραμμική

$$y = a + bx$$

όπου  $y$  είναι η εξαρτημένη μεταβλητή,  $x$  η ανεξάρτητη μεταβλητή και  $a$  και  $b$  είναι σταθερές. Η σταθερά  $b$  παριστάνει την κλίση της εξίσωσης παλινδρόμησης και για αυτό μπορεί να προσδιοριστεί από τα δεδομένα χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$b = \frac{\sum (y - \bar{y})(x - \bar{x})}{\sum (x - \bar{x})^2}$$

Η σταθερά  $a$ , υπολογίζεται από τα δεδομένα χρησιμοποιώντας την εξίσωση

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

Οι ποσότητες  $\sum (y - \bar{y})(x - \bar{x})$  και  $\sum (x - \bar{x})^2$  μπορούν να υπολογιστούν γρήγορα από τα δεδομένα χρησιμοποιώντας τις ακόλουθες εξισώσεις

$$\sum (y - \bar{y})(x - \bar{x}) = \sum (xy) - \frac{\sum y \sum x}{n}$$

$$\sum (x - \bar{x})^2 = \sum (x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

Στην ανάλυση της συσχέτισης, ο συντελεστής προσδιορισμού, ο συντελεστής συσχέτισης και το τυπικό σφάλμα των υπολογισμών, εξασφαλίζουν την αξιοπιστία. Σε μια απλή συσχέτιση, η μεταβολή μιας εξαρτημένης μεταβλητής η οποία εξηγείται από την εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης, είναι ο συντελεστής προσδιορισμού  $R^2$ , που είναι το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης  $R$ . Η τιμή του  $R$  ποικίλει από μηδέν (καμία σχέση μεταξύ των μεταβλητών) και από  $-1$  έως  $+1$  (αντίστροφη ή ανάλογη σχέση μεταξύ των μεταβλητών).

Ο συντελεστής προσδιορισμού δίνεται από την εξίσωση



$$r^2 = 1 - \frac{\sigma_{y,x}^2}{\sigma_y^2}$$

και είναι απλά το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης. Είναι ένα μέτρο της αναλογίας της μεταβολής της εξαρτώμενης μεταβλητής η οποία προκύπτει από την εξίσωση παλινδρόμησης. Για παράδειγμα, αν ο συντελεστής προσδιορισμού είναι 0,25, τότε 25% της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής που έχει υπολογιστεί από την εξίσωση παλινδρόμησης και την μεταβολή από την παλινδρόμηση ( $\sigma_{y,x}^2$ ) θα εξακολουθήσει να είναι στο 75% της μεταβολής ( $\sigma_y^2$ ) της εξαρτημένης μεταβλητής, με άλλα λόγια 75% της μεταβολής είναι ανεξήγητη. Ο συντελεστής συσχέτισης  $r$  μπορεί να είναι ίσος με  $\sqrt{0,25}$  ή 0,5. Ο συντελεστής συσχέτισης ίσος με ένα (τέλεια συσχέτιση) είναι σπάνιο να κατορθωθεί.

Όταν δυο ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές επιδρούν στην εξαρτημένη μεταβλητή, τότε χρησιμοποιείται η τεχνική της πολλαπλής συσχέτισης. Σε μια πολλαπλή συσχέτιση η εξίσωση της γραμμικής παλινδρόμησης γράφεται ως εξής

$$y = a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n$$

Στην περίπτωση των δυο ανεξάρτητων μεταβλητών η σταθερά  $b$  μπορεί να υπολογιστεί από τα δεδομένα του πίνακα, λύνοντας τις παρακάτω ταυτόσημες εξισώσεις

$$(x - \bar{x}_1)^2 b_1 + (x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2) b_2 = (y - \bar{y})(x_1 - \bar{x}_1)$$

$$(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2) b_1 + (x_2 - \bar{x}_2)^2 b_2 = (y - \bar{y})(x_2 - \bar{x}_2)$$

Οι παραπάνω εξισώσεις θα διευκολύνουν τον υπολογισμό μερικών από αυτών όρων. Η σταθερά  $a$  υπολογίζεται από την εξίσωση

$$a = \bar{y} - b_1 \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2$$

### 3.3.6 ΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ (SIMPLE LINEAR REGRESSION)

Με την βοήθεια της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, γίνεται διερεύνηση της σχέσης μεταξύ δύο μεταβλητών  $X$  και  $Y$ . Χαρακτηριστικό των δυο μεταβλητών είναι ότι η μεταβλητή  $X$  είναι ανεξάρτητη ή ερμηνευτική ενώ η μεταβλητή  $Y$  θεωρείται εξαρτημένη ή μεταβλητή απόκρισης. Για την διερεύνηση της σχέσης, θεωρούμε το απλούστερο μοντέλο που θα μπορούσε να ερμηνεύσει μια τέτοια σχέση, το απλό γραμμικό μοντέλο. Σύμφωνα με αυτό, οι  $X_i$ ,  $Y_i$  συνδέονται με την σχέση

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i + \varepsilon_i, \quad i=1,2,\dots,n$$

Όπου  $b_0$ ,  $b_1$  είναι δύο άγνωστες σταθερές (τεταγμένη και κλίση), ενώ οι  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ , ...,  $\varepsilon_n$  είναι ανεξάρτητες τυχαίες μεταβλητές που ακολουθούν κανονική κατανομή  $N(0, \sigma^2)$  ( $\sigma^2$  άγνωστο) και συνήθως καλούνται «σφάλματα» των μετρήσεων. Μπορεί να θεωρηθεί ότι τα σφάλματα  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ , ...,  $\varepsilon_n$ , εμπεριέχουν όλους τους άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή της μεταβλητής  $Y$ .



### 3.3.6.1 Εκτίμηση των παραμέτρων $b_0$ , $b_1$ και $\sigma^2$

Εφόσον  $Y_i \sim N(b_0 + b_1 X_i, \sigma^2)$ , είναι η από κοινού συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας των  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ , έστω  $f_Y(y_1, y_2, \dots, y_n, b_0, b_1, \sigma^2)$ , θα εξαρτάται από τις παραμέτρους  $b_0, b_1$  και  $\sigma^2$ . Μάλιστα η συνάρτηση πιθανοφάνειας των  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  θα είναι:

$$L(b_0, b_1, \sigma^2) = f_Y(y_1, y_2, \dots, y_n : b_0, b_1, \sigma^2) = \prod_{i=1}^n f_{Y_i}(y_i : b_0, b_1, \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{n/2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 X_i)^2}$$

από όπου προκύπτει ότι οι εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας των παραμέτρων (τιμές των παραμέτρων που μεγιστοποιούν την συνάρτηση πιθανοφάνειας) θα είναι :

$$\hat{b}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \equiv \frac{S_{XY}}{S_{XX}}, \hat{b}_0 = \bar{Y} - \hat{b}_1 \bar{X}.$$

και

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 X_i)^2$$

Από την μορφή της συνάρτησης πιθανοφάνειας είναι προφανές ότι οι εκτιμήτριες μέγιστης πιθανοφάνειας των  $b_1, b_2$  προκύπτουν ισοδύναμα από την ελαχιστοποίηση (ως προς  $b_1, b_2$ ) του αθροίσματος των τετραγώνων των σφαλμάτων,

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - b_0 - b_1 X_i)^2$$

για αυτό και οι εκτιμήτριες των  $b_1, b_2$  καλούνται και εκτιμήτριες ελαχίστων τετραγώνων. Επομένως, η εκτιμημένη ευθεία γραμμικής παλινδρόμησης θα είναι η

$$y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x.$$

Προβλέψεις των  $Y_i$  ( $Y$  predicted), καλούνται οι εκτιμήσεις των  $E(Y_i) = b_0 + b_1 X_i$ :

$$\hat{Y}_i = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X_i = \bar{Y} + \hat{b}_1 (X_i - \bar{X})$$

ενώ οι διαφορές των προσαρμοσμένων  $\hat{Y}_i$  από τις παρατηρούμενες  $Y_i$  καλούνται εκτιμημένα σφάλματα και συμβολίζονται με

$$\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i = (Y_i - \bar{Y}) - \hat{b}_1 (X_i - \bar{X}).$$

### 3.3.7 ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗ (MULTIPLE LINEAR REGRESSION)

Στην περίπτωση που η εξαρτημένη μεταβλητή, επηρεάζεται από περισσότερες από μια ερμηνευτικές (ανεξάρτητες) μεταβλητές, το γραμμικό μοντέλο έχει την μορφή:

$$Y_i = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_{p-1} X_{p-1} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

όπου  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  τα «σφάλματα».

### 3.3.7.1 Εκτίμηση των παραμέτρων $b_0, b_1, \dots, b_{p-1}$ και $\sigma^2$

Όπως και στο απλό γραμμικό μοντέλο η συνάρτηση  $Y$  θα ακολουθεί μια πολυδιάστατη κανονική κατανομή  $N(Xb, \sigma^2 I_n)$  με συνάρτηση πιθανοφάνειας

$$L(b, \sigma^2) = f(y_1, y_2, \dots, y_n; b, \sigma^2) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} (\sigma^2)^{n/2}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (y - Xb)^T (y - Xb)}$$

η οποία μεγιστοποιείται ως προς  $b$  όταν ελαχιστοποιείται το

$$(Y - Xb)^T (Y - Xb) = \varepsilon^T \varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$$

οι εκτιμήσεις των  $E(Y_i) = b_0 + b_1 X_{i1} + \dots + b_{p-1} X_{i,p-1}$ , καλούνται προβλέψεις των  $Y_i$ , ενώ οι διαφορές των προσαρμοσμένων  $Y$  από τις παρατηρούμενες καλούνται εκτιμημένα σφάλματα και συμβολίζονται με  $\hat{\varepsilon}_i = Y_i - \hat{Y}_i, i = 1, 2, \dots, n$ . Ο έλεγχος ορθότητας του πολλαπλού μοντέλου γίνεται χρησιμοποιώντας τα τυποποιημένα σφάλματα που είναι απαραίτητο να ακολουθούν την κανονική κατανομή.



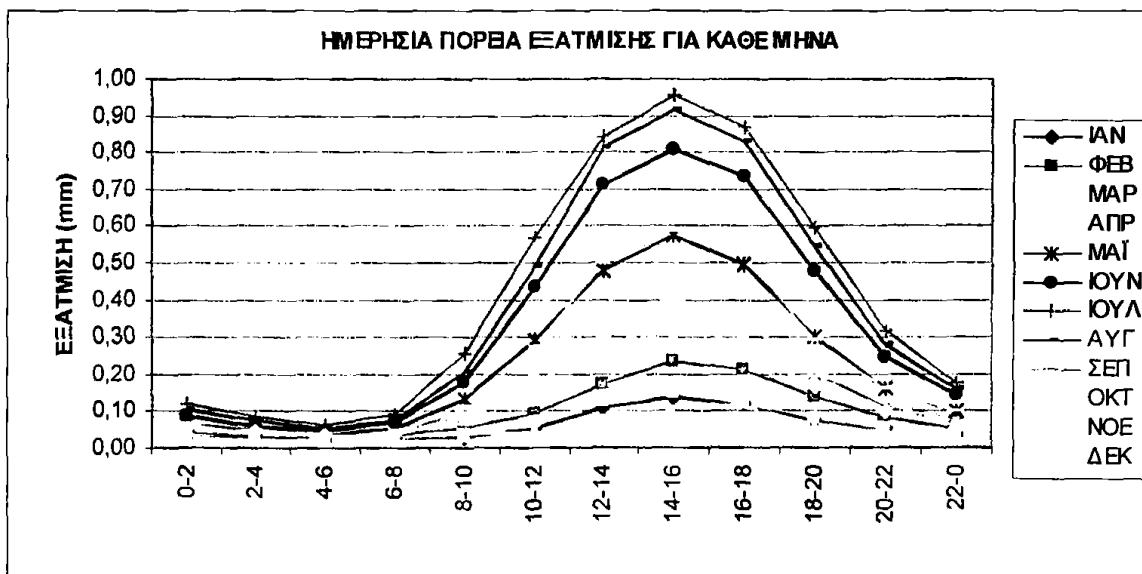
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### 4.1 Η ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

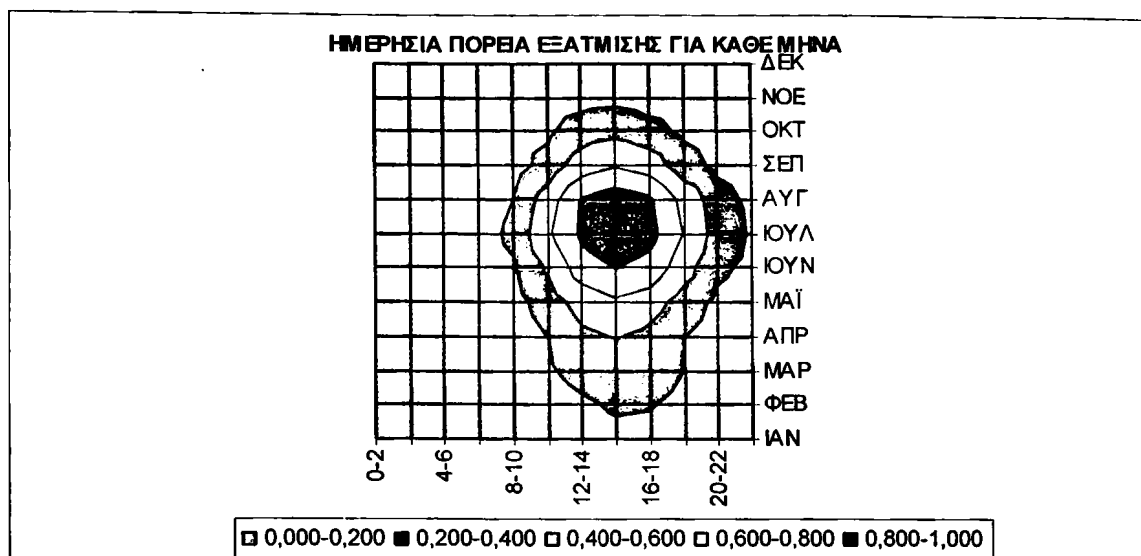
Η ημερήσια ή ορθότερα η ενδοημερήσια πορεία της εξάτμισης (από τώρα και στο εξής θα χρησιμοποιείται ο όρος ημερήσια) προσομοιάζει με απλή ημιτονοειδή καμπύλη αφού παρουσιάζει ένα μέγιστο τις απογευματινές ώρες και ένα ελάχιστο τις πρωινές. Την ημερήσια πορεία της εξάτμισης την εξετάζουμε για κάθε μήνα (σχήματα 4.1.α,β), κάθε εποχή και για το έτος συνολικά, χρησιμοποιώντας μέσες δίωρες τιμές.

#### 4.1.1 Η ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ

Η μεταβολή της εξάτμισης κατά την διάρκεια μιας ημέρας, για κάθε μήνα του έτους ξεχωριστά παρουσιάζεται στα διαγράμματα (4.1.α) και (4.1.β). Αυτό που παρατηρείται είναι ότι η μεταβολή είναι σχεδόν ημιτονοειδής και έχει την ίδια σχεδόν συμπεριφορά για όλους τους μήνες ως προς το χρόνο μέγιστου και ελαχίστου αλλά όχι ως προς το πλάτος. Συγκεκριμένα, εμφανίζεται ένα ελάχιστο κατά το δίωρο 4:00-6:00 και ένα μέγιστο λίγο μετά την μεσουράνηση του ηλίου 14:00-16:00. Πιο αναλυτικά, οι μήνες που παρουσιάζουν ελάχιστη τιμή εξάτμισης το δίωρο 4:00-6:00 είναι ο Νοέμβριος με 0,020mm και ο Δεκέμβριος με 0,022mm και αυτό ίσως οφείλεται στις φθινοπωρινές πρωινές ομίχλες που σημειώνονται στην περιοχή των Ιωαννίνων για τον μήνα Νοέμβριο ενώ οι χαμηλές τιμές τον Δεκέμβριο πρέπει να οφείλονται στη χαμηλή θερμοκρασία (πιο ψυχρός μήνας του έτους). Τις μεσημβρινές ώρες, οι τιμές που παρατηρούνται για τους δύο μήνες είναι 0,148mm και 0,084mm αντίστοιχα, ενώ χαμηλές τιμές παρουσιάζει και ο μήνας Ιανουάριος (0,136mm). Αντίθετα, το δίωρο 14:00-16:00, μέγιστες τιμές εξάτμισης παρουσιάζουν οι καλοκαιρινοί μήνες, Ιούλιος και Αύγουστος με τιμές 0,955mm και 0,915mm ενώ ελάχιστες τιμές εμφανίζουν τις πρωινές ώρες με εξάτμιση 0,062mm και 0,053mm οι οποίες όμως είναι οι μεγαλύτερες μεταξύ των υπολοίπων μηνών.

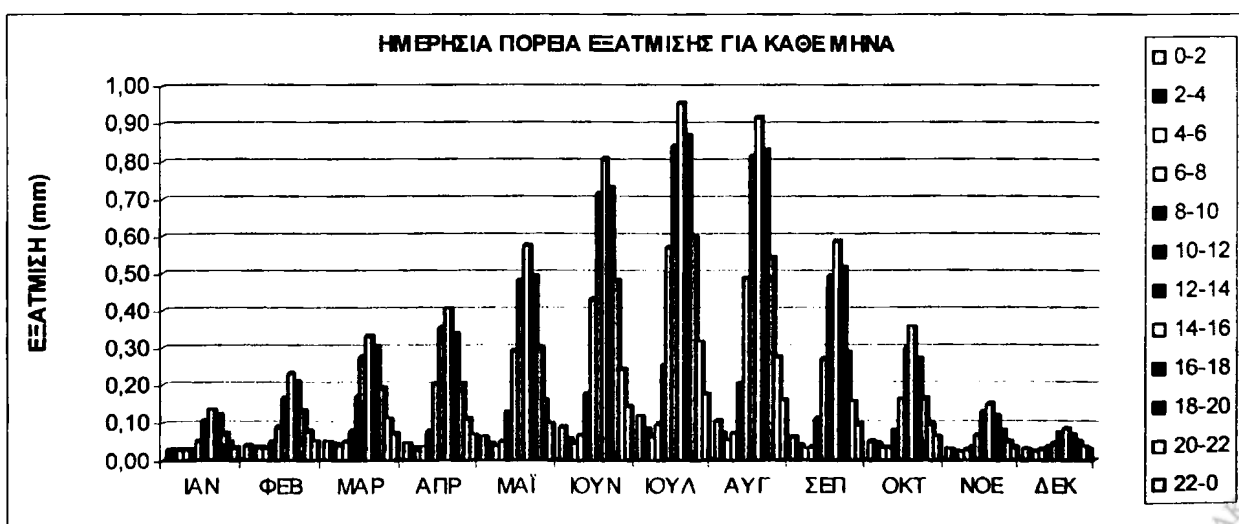


Σχήμα 4.1.α Ημερήσια πορεία της εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων για κάθε μήνα (1988-2003).

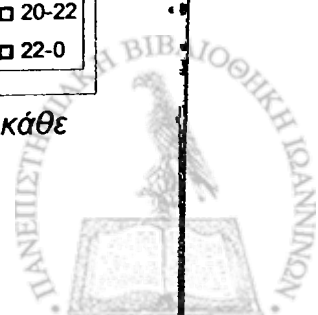


Σχήμα 4.1.β Ημερήσια πορεία της εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων για κάθε μήνα (1988-2003).

Όπως φαίνεται στο σχήμα (4.1.α) κάποιοι μήνες του έτους παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά όσον αφορά την κύμανση της εξάτμισης. Ο Ιούλιος με τον Αύγουστο σχεδόν συμπίπτουν όπως και ο Σεπτέμβριος με τον Μάιο, αλλά και ο Οκτώβριος με τον Μάρτιο. Η παρατήρηση αυτή γίνεται πιο εμφανής στο διάγραμμα επιφανείας σχήμα (4.1.β). Σε αυτό φαίνονται οι μεγάλες τιμές εξάτμισης τον μήνα Ιούλιο και ιδιαίτερα το δίωρο 14:00 – 16:00 και η σταδιακή μείωση από μήνα σε μήνα. Δηλαδή, αν θεωρήσουμε σαν άξονα συμμετρίας τον Ιούλιο, εκατέρωθεν αυτού, η τιμή της εξάτμισης ελαττώνεται σχεδόν με τον ίδιο τρόπο. Από το ίδιο σχήμα, διαπιστώνουμε και την «συμμετρία» ως προς το δίωρο 14:00 – 16:00 για κάθε μήνα και παρατηρούμε ότι οι μέγιστες τιμές εξάτμισης για όλους τους μήνες εμφανίζονται το συγκεκριμένο δίωρο και εκατέρωθεν αυτού παρατηρείται σχεδόν η ίδια σταδιακή ελάττωση. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε και από το σχήμα 4.1.γ, όπου στο δίωρο 14:00 -16:00 αντιστοιχούν οι μέγιστες τιμές εξάτμισης για κάθε μήνα και εκατέρωθεν του διώρου, η ελάττωση της εξάτμισης συμβαίνει σχεδόν ομοιόμορφα για τα υπόλοιπα δίωρα της ημέρας.

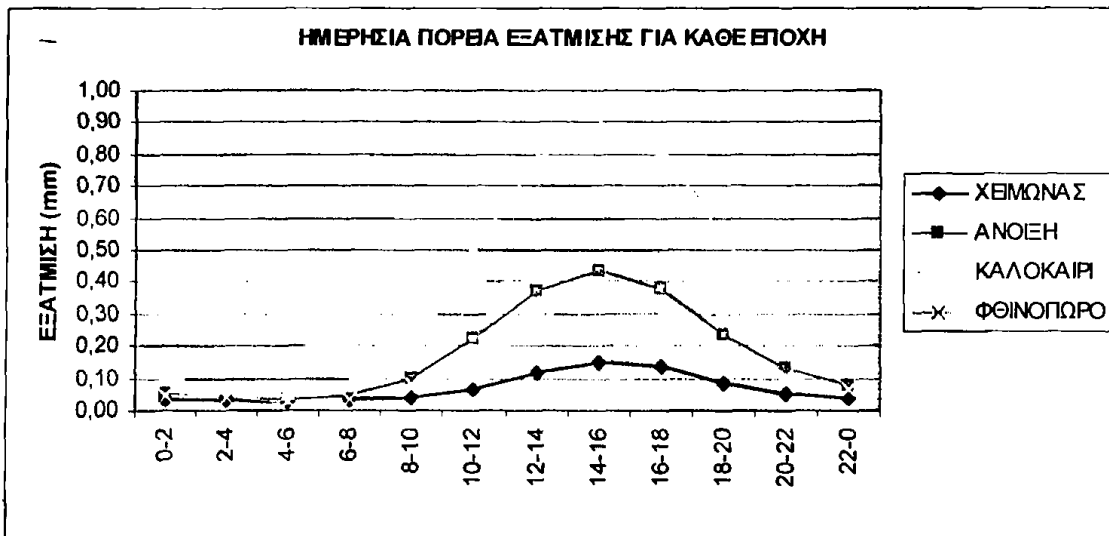


Σχήμα 4.1.γ Ημερήσια πορεία της εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων για κάθε μήνα (1988-2003).



#### 4.1.2 Η ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΠΟΧΗ

Η ημερήσια μεταβολή της εξάτμισης για κάθε εποχή παρουσιάζεται στο σχήμα (4.2). Η κάθε εποχή παρουσιάζει την ίδια μορφή κύμανσης (σχεδόν ημιτονοειδή) με τους μήνες και εμφανίζονται μέγιστες τιμές εξάτμισης το ίδιο δώρο 14:00-16:00 0,150mm για τον χειμώνα, 0,438mm την άνοιξη, 0,893mm το καλοκαίρι και 0,363mm το φθινόπωρο και ελάχιστες τιμές το δώρο 4:00-6:00 (0,027mm τον χειμώνα, 0,034 mm την άνοιξη, 0,053mm το καλοκαίρι και 0,028 mm το φθινόπωρο). Αυτό που παρατηρείται είναι ότι οι καμπύλες της άνοιξης και του φθινοπώρου παρουσιάζουν το ίδιο σχεδόν πλάτος, ενώ αυτές του χειμώνα και του καλοκαιριού διαφέρουν σημαντικά. Επομένως οι μεταβατικές εποχές εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά ως προς το χρόνο μεγίστου και ελαχίστου αλλά και ως προς τις τιμές αυτών.



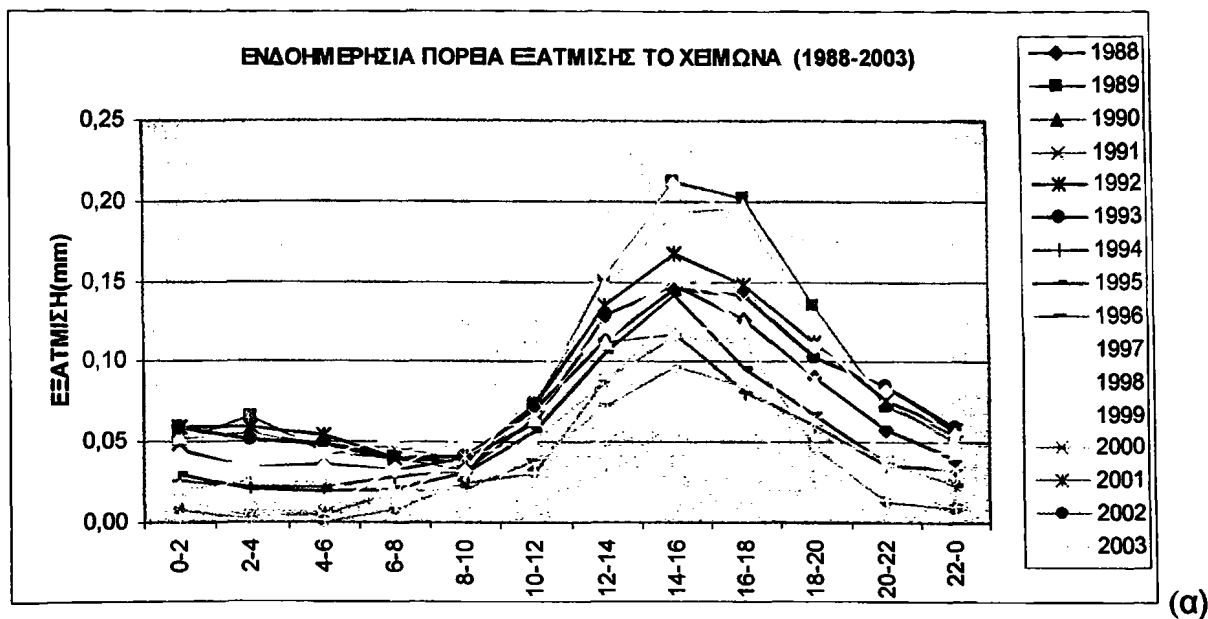
Σχήμα 4.2 Ημερήσια πορεία της εξάτμισης στα Ιωάννινα για κάθε εποχή (1988-2003).

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζονται η ημερήσια πορεία της εξάτμισης την εποχή του χειμώνα (Δεκέμβριος - Ιανουάριος - Φεβρουάριος) (σχήμα 4.2.1) και του καλοκαιριού (Ιούνιος - Ιούλιος - Αύγουστος) (σχήμα 4.2.2) για κάθε έτος, από το 1988 έως το 2003. Όπως φαίνεται στα σχήματα και τις δυο εποχές η ημερήσια πορεία της εξάτμισης είναι σχεδόν ημιτονοειδής με την διαφορά όμως ότι το καλοκαίρι η κύμανση αυτή διακρίνεται πιο καλά. Αυτό σημαίνει ότι οι χειμερινοί μήνες είναι αρκετά μεταβλητοί κατά την διάρκεια των ετών, σε αντίθεση με τους καλοκαιρινούς που είναι πιο ομοιόμορφοι. Η συμπεριφορά των υπολοίπων εποχών για κάθε έτος εμφανίζεται στο παράρτημα.

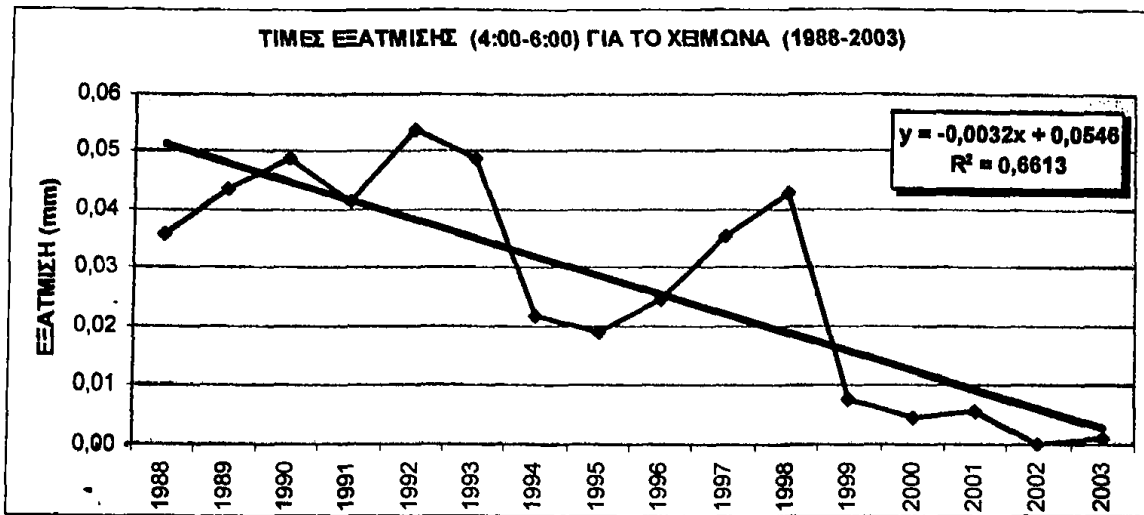
Πιο συγκεκριμένα, για τον χειμώνα, τα έτη 1990 (1,11mm), 1992 (1,02mm), 1998 (1,10mm) και 1997 (1,07mm) παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές μέσης ημερήσιας εξάτμισης, ενώ αντίθετα τα έτη 1996 (0,53mm), 2002 (0,46mm) και 2003 (0,31mm) παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές μέσης ημερήσιας εξάτμισης. Ως προς το δώρο 4:00-6:00 (σχήμα 4.2.1.γ), ελάχιστες τιμές παρουσιάζουν τα έτη 2002 και 2003 με 0,00mm εξάτμιση και για το δώρο 14:00-16:00 (σχήμα 4.2.1.δ) ελάχιστη τιμή εμφανίζεται το 2003 (0,07mm) και μέγιστη το 1989, 1997 (0,21mm). Μια ενδιαφέρουσα παρατήρηση που προκύπτει από το σχήμα 4.2.1.β, είναι ότι τα έτη που παρουσιάζονται μέγιστες τιμές εξάτμισης κατά τις μεσημβρινές ώρες είναι συνεχόμενα από το 1989 έως το 1993 και από το 1997 έως το 2000 (ανά πενταετία περίπου). Χαρακτηριστικό είναι βέβαια ότι κατά την πρώτη πενταετία μέγιστες τιμές



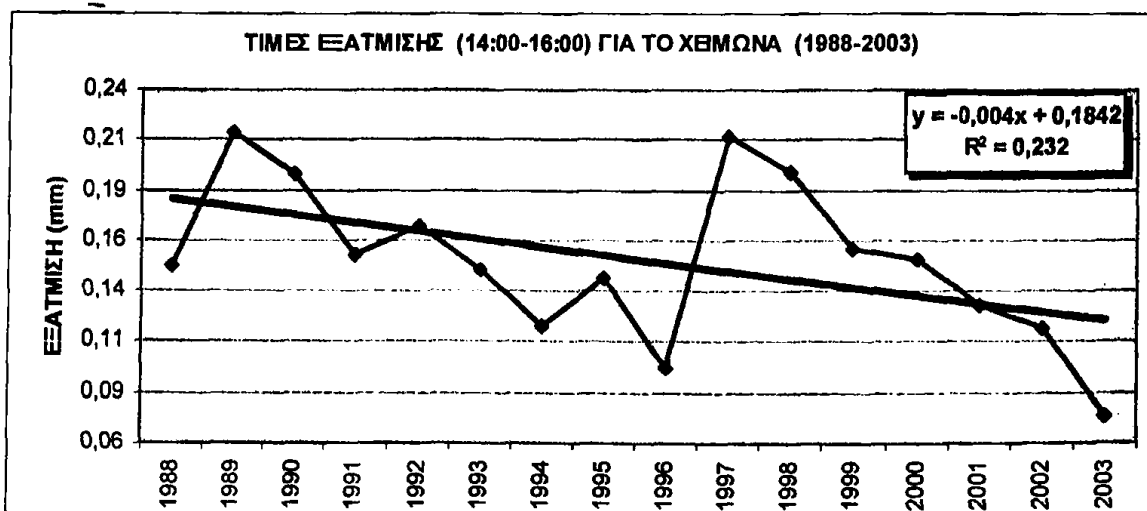
παρουσιάζονται και στο δίωρο (4:00–6:00) σε σχέση με τα υπόλοιπα έτη. Οι τάσεις των χρονοσειρών για τα δίωρα 4:00–6:00, 14:00– 6:00 αλλά και για ολόκληρη την ημέρα, για όλες τις εποχές αναφέρονται και σχολιάζονται αναλυτικά, στο κεφάλαιο 4.3.



Σχήμα 4.2.1. α,β Ενδοημερήσια πορεία της εξάτμισης το χειμώνα (1988-2003).



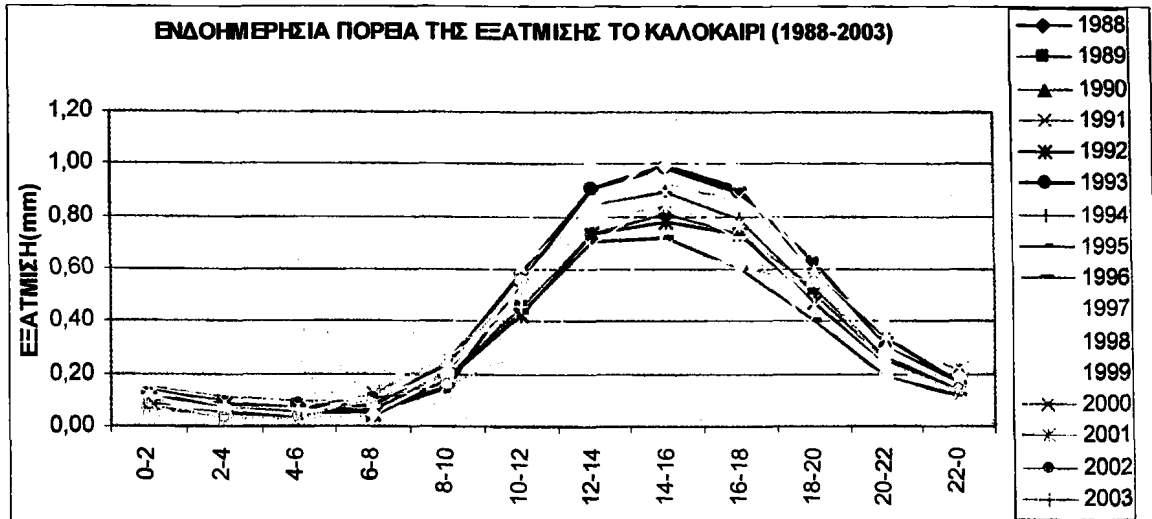
(γ)



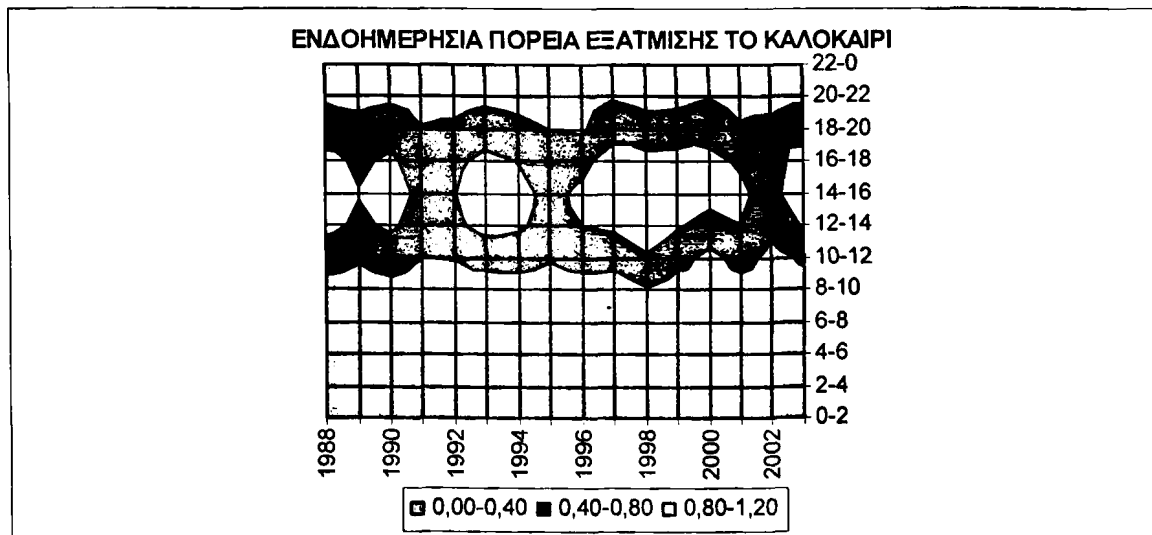
(δ)

Σχήμα 4.2.1 Τιμές εξάτμισης που αντιστοιχούν στο δίωρο(4:00-6:00)(γ) και (14:00-16:00)(δ) για τον χειμώνα κατά την περίοδο 1988-2003.

Για τους καλοκαιρινούς μήνες, τα έτη 1990 (5,16mm), 1998 (5,41mm) και 2003 (5,17mm), παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες τιμές μέσης ημερήσιας εξάτμισης, ενώ αντίθετα τα έτη 1995 (3,55mm) και 2002 (3,40mm), παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές μέσης ημερήσιας εξάτμισης. Ως προς το δίωρο 4:00-6:00 (σχήμα 4.2.2.γ), ελάχιστες τιμές παρουσιάζουν τα έτη 1995, 1996, 2001, 2002 με 0,03mm εξάτμιση και μέγιστες τα έτη 1990 (0,10mm), 1988,1993 και 2000 με εξάτμιση 0,08mm. Το δίωρο 14:00-16:00 (σχήμα 4.2.2.δ), ελάχιστες τιμές εμφανίζονται τα έτη 1995 (0,72mm) και 1991 (0,73mm) και μέγιστες το 1999 και 2003 (1,05mm).



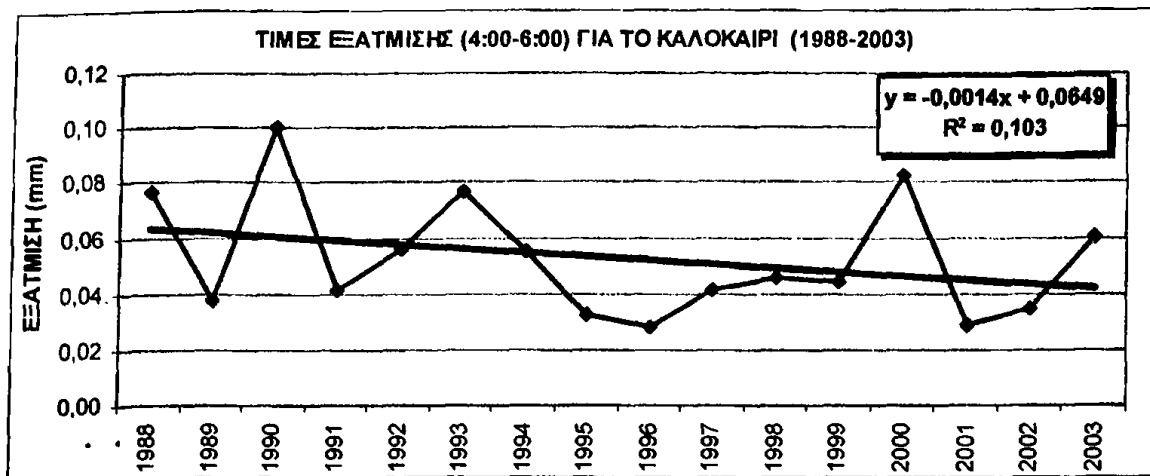
(α)



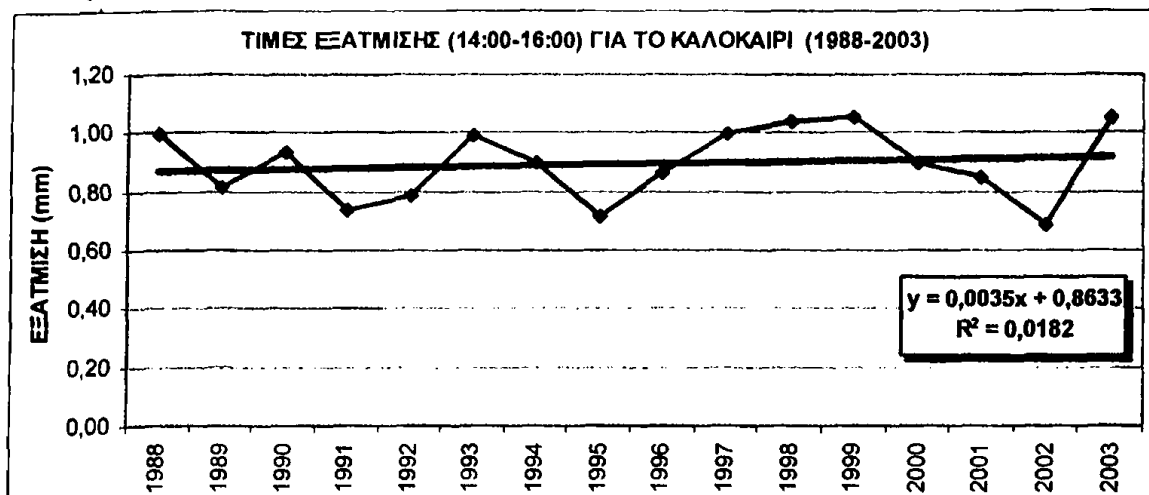
(β)

Σχήμα 4.2.2. α,β Ενδοημερήσια πορεία της εξάτμισης το καλοκαίρι (1988-2003).



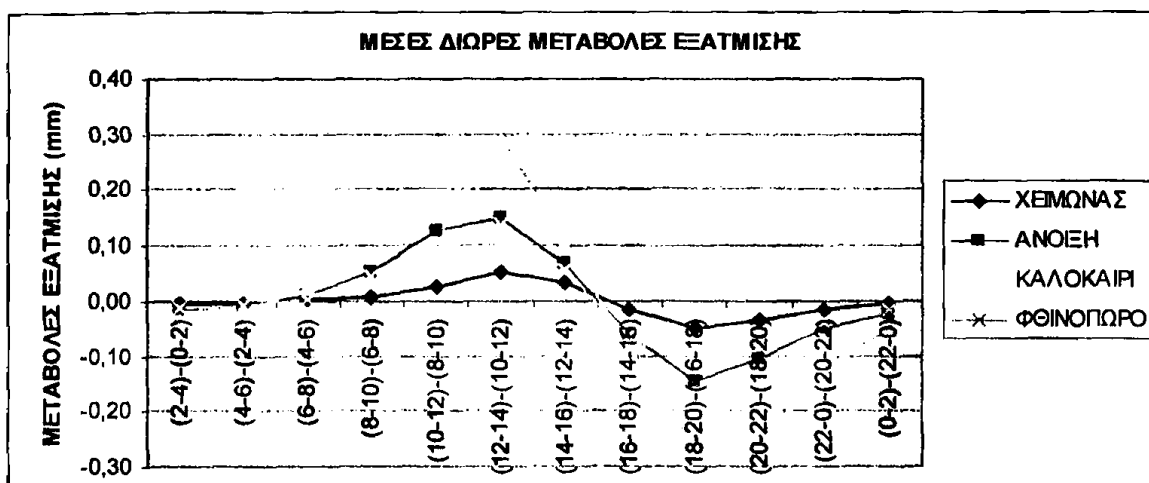


(γ)



(δ)

Σχήμα 4.2.2 Τιμές εξάτμισης που αντιστοιχούν στο δίωρο(4:00-6:00)γ και (14:00-16:00)δ για το καλοκαίρι κατά την περίοδο 1988-2003.



Σχήμα 4.2.3 Μέσες δίωρες μεταβολές εξάτμισης κατά την διάρκεια της ημέρας.

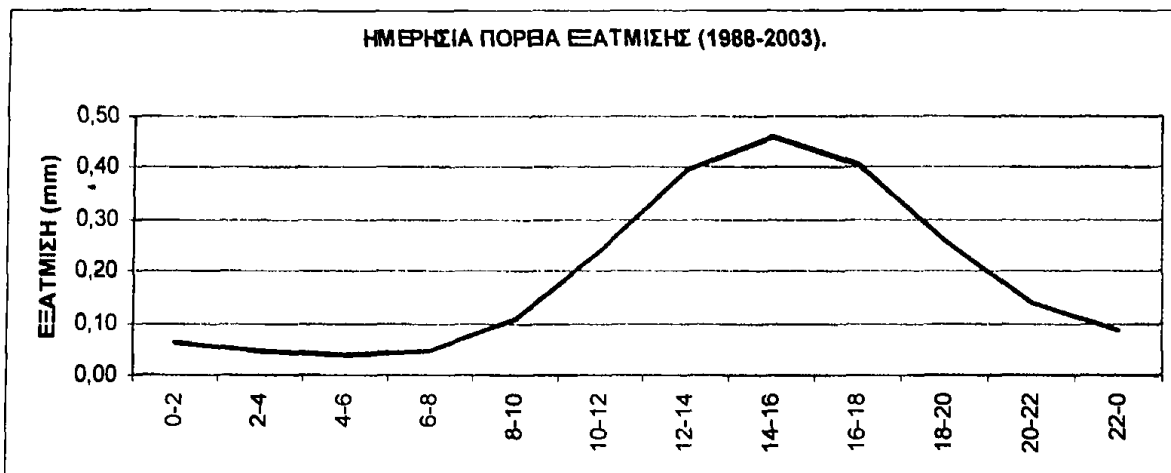
Η μέση μεταβολή της εξάτμισης από δίωρο σε δίωρο για κάθε εποχή παρουσιάζεται στο σχήμα 4.2.3. Φαίνεται ότι η μεγαλύτερη αύξηση της εξάτμισης παρουσιάζεται από τις 11:00 στις 13:00 [(10-12)-(12-14)] (0,05mm για τον χειμώνα και 0,29mm το καλοκαίρι) και έτσι εξηγείται το ότι ο μέγιστος ρυθμός εξάτμισης ξεκινάει όταν έχουμε μέγιστη εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και διατηρείται για το επόμενο δίωρο που αντιστοιχεί με το μέγιστο της θερμοκρασίας. Αντίθετα, η

μεγαλύτερη μείωση πραγματοποιείται από τις 17:00 στις 19:00 [16-18)-(18-20)] (-0,05mm τον χειμώνα και -0,27mm το καλοκαίρι) προφανώς λόγω της μείωσης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (δύση του ηλίου) που έχει σαν συνέπεια την πτώση της θερμοκρασίας. Σημαντικό ρόλο στην προκειμένη περίπτωση έχει ο χρόνος ανάπτυξης του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (Fotiadi, 2003). Μετά την ανατολή του ηλίου, αρχίζει να αναπτύσσεται το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, προκαλώντας έντονες ανοδικές κινήσεις (δίνες – αστάθεια) με αποτέλεσμα την αύξηση της εξάτμισης. Έως της 15:00 τοπική ώρα η επιφάνεια της γης εκπέμπει το μεγαλύτερο ποσό γήινης ακτινοβολίας έτσι ώστε τις επόμενες ώρες η επιφάνεια να αρχίσει να ψύχεται. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μείωση του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (ευστάθεια) και επομένως των αναταρακτικών κινήσεων που τελικά ελαττώνουν και την εξάτμιση.



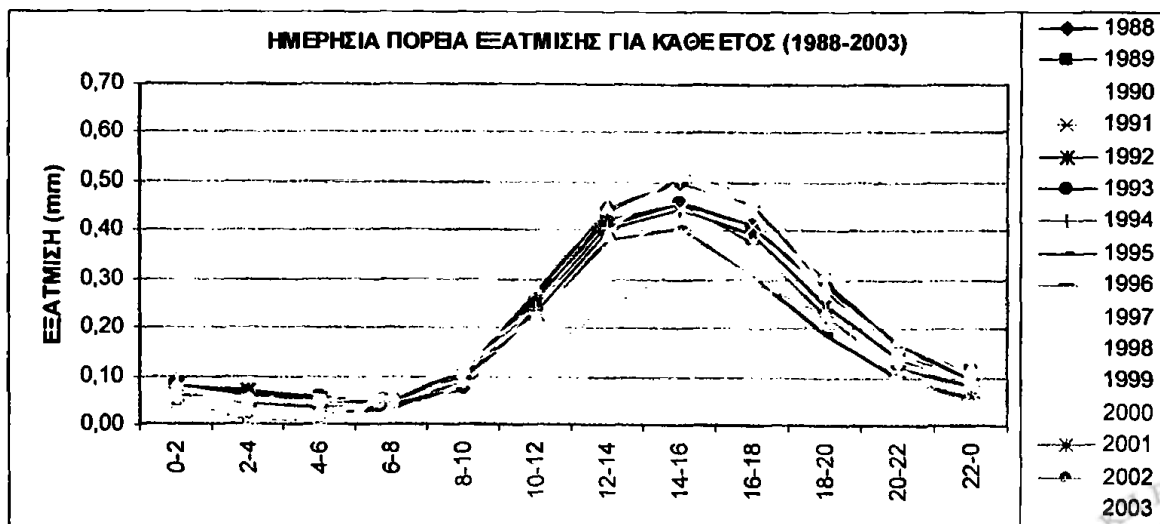
#### 4.1.3 Η ΕΝΔΟΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΤΟΣ

Η μέση ενδοημερήσια πορεία της εξάτμισης για τις 5840 ημέρες της 16ετίας, παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3. Η καμπύλη είναι και σε αυτή την περίπτωση σχεδόν ημιτονοειδής εμφανίζοντας ελάχιστο και μέγιστο τα ίδια δώρα με αυτά που συναντήσαμε για τους μήνες και τις εποχές [0,04mm για το δώρο (4:00-6:00) και 0,46mm για το (14:00-16:00)].



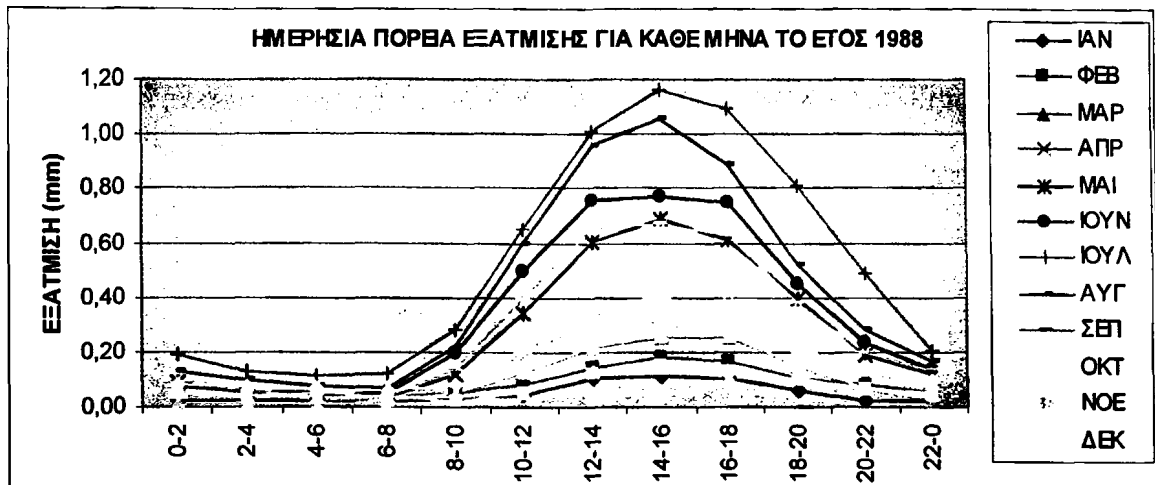
Σχήμα 4.3 Μέση ημερήσια πορεία της εξάτμισης για τα Ιωάννινα (1988-2003).

Η μεταβολή της ημερήσιας εξάτμισης για κάθε έτος ξεχωριστά, από το 1988-2003, παρουσιάζεται στο σχήμα 4.3.1 Αυτό που παρατηρείται είναι ότι κάθε έτος παρουσιάζει την ίδια κύμανση με ελάχιστη τιμή το δώρο 4:00-6:00 και μέγιστη το δώρο 14:00-16:00. Η διαφορά σημειώνεται ως προς το πλάτος των καμπυλών και αυτό επειδή σε κάποια έτη παρατηρείται αυξημένη εξάτμιση, ενώ σε κάποια άλλα η εξάτμιση είναι μειωμένη. Φαίνονται δηλαδή κάποια έτη να παρουσιάζουν μεγάλα ποσά εξάτμισης όπως το 1997 και το 1998 με 0,57mm και 0,52mm το δώρο 14:00-16:00 αντίστοιχα και κάποια άλλα με μικρά ποσά εξάτμισης όπως το 1995 και 1996 με 0,40mm το δώρο 14:00-16:00. Ως προς το δώρο 4:00-6:00, μέγιστη τιμή παρουσιάζει το έτος 1990 (0,07mm) και ελάχιστη το 1996 (0,02mm).

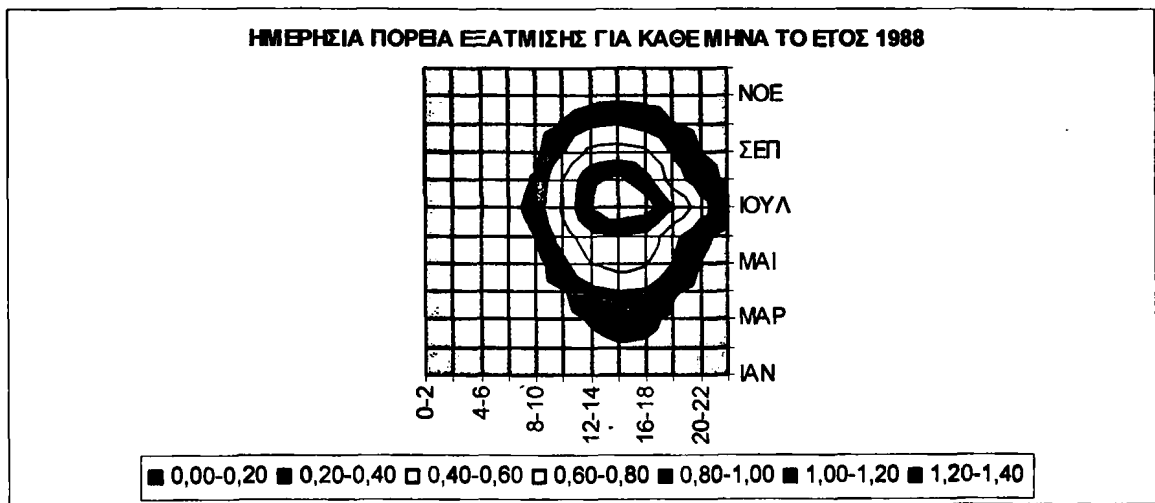


Σχήμα 4.3.1 Ημερήσια πορεία της εξάτμισης στα Ιωάννινα για κάθε έτος την περίοδο 1988-2003.

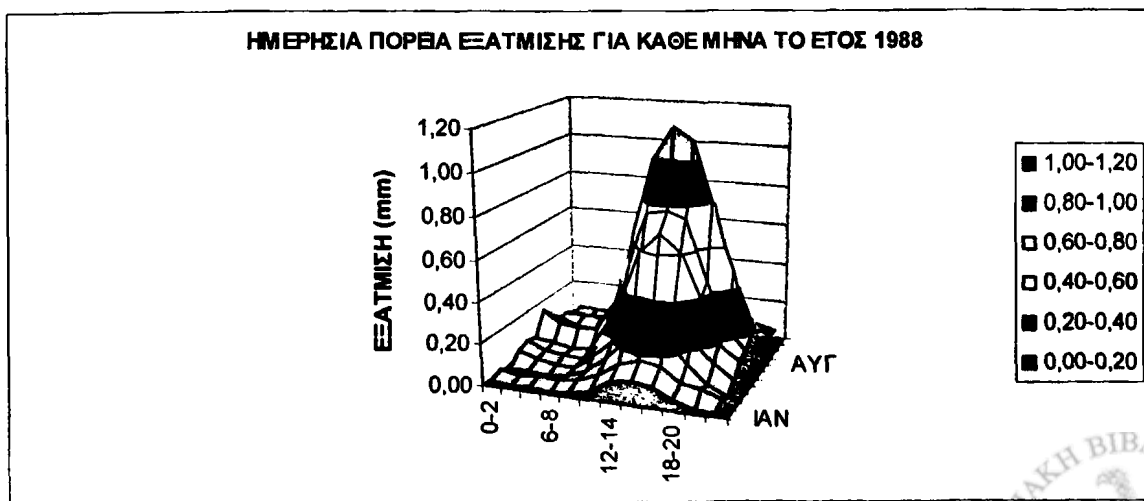
Στα παρακάτω διαγράμματα, παρουσιάζονται ενδεικτικά το έτος 1988 και οι μήνες Ιανουάριος και Ιούλιος όπως και η συμπεριφορά αυτών για κάθε έτος. Η παρουσίαση γίνεται με τρεις τρόπους α) με καμπύλες β) με διάγραμμα επιφανείας και γ) με διάγραμμα χώρου. Η συμπεριφορά των υπολοίπων ετών και μηνών του έτους εμφανίζονται στο παράρτημα.



(α)



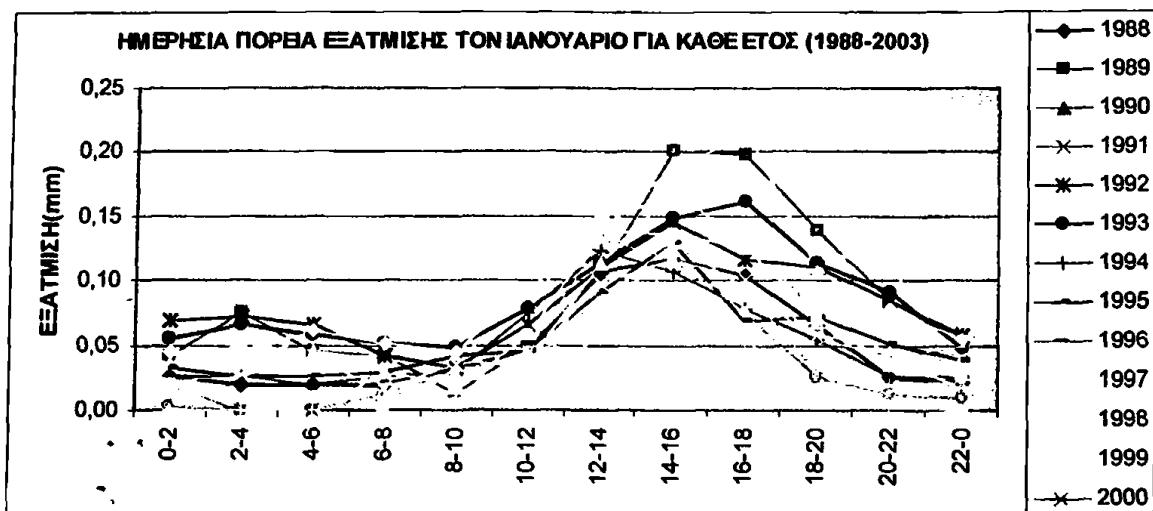
(β)



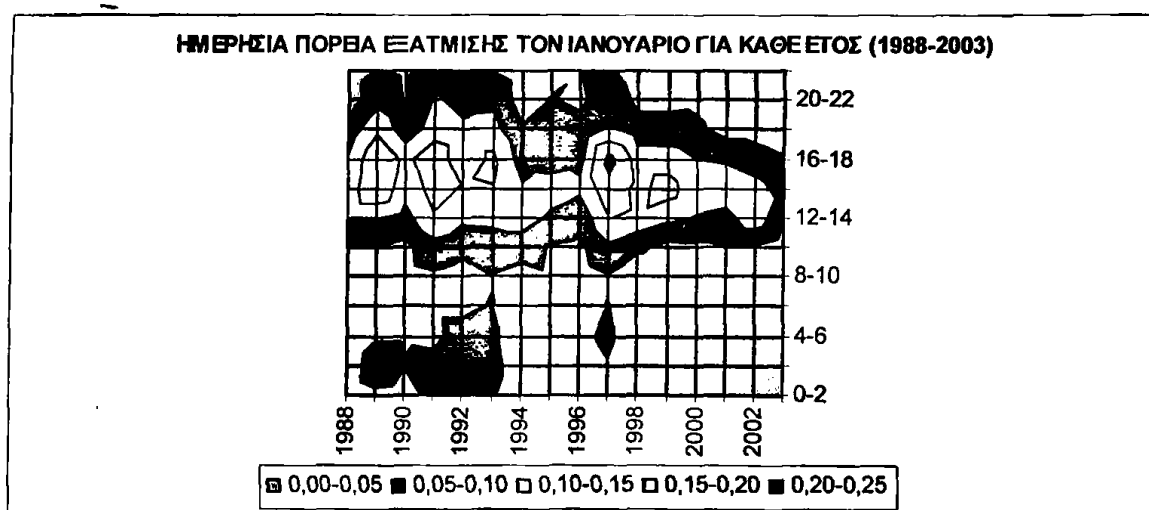
(γ)

Σχήμα 4.3.2.α,β,γ Ημερήσια πορεία της εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων για κάθε μήνα, το έτος 1988.

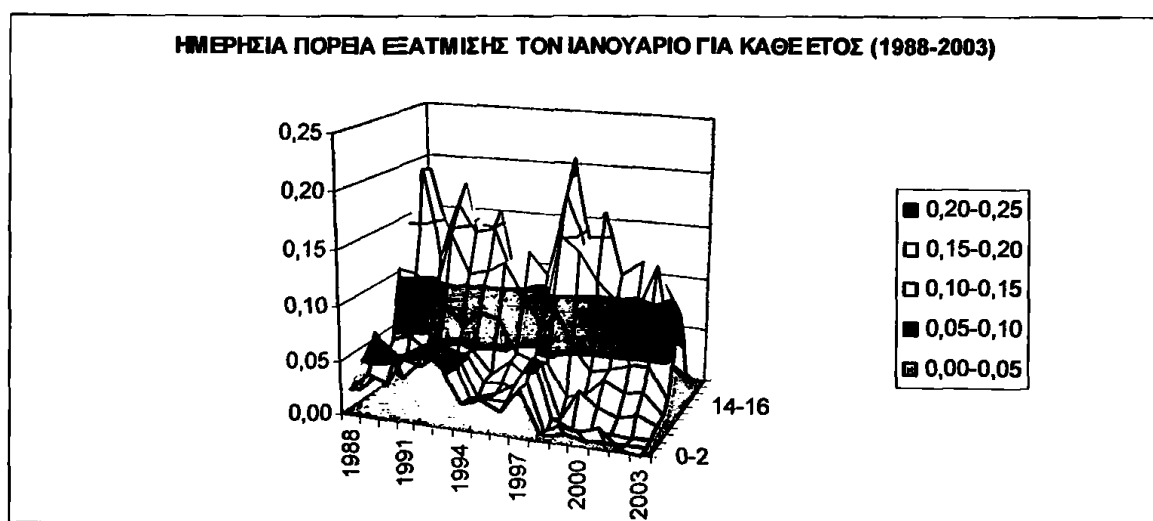




(α)



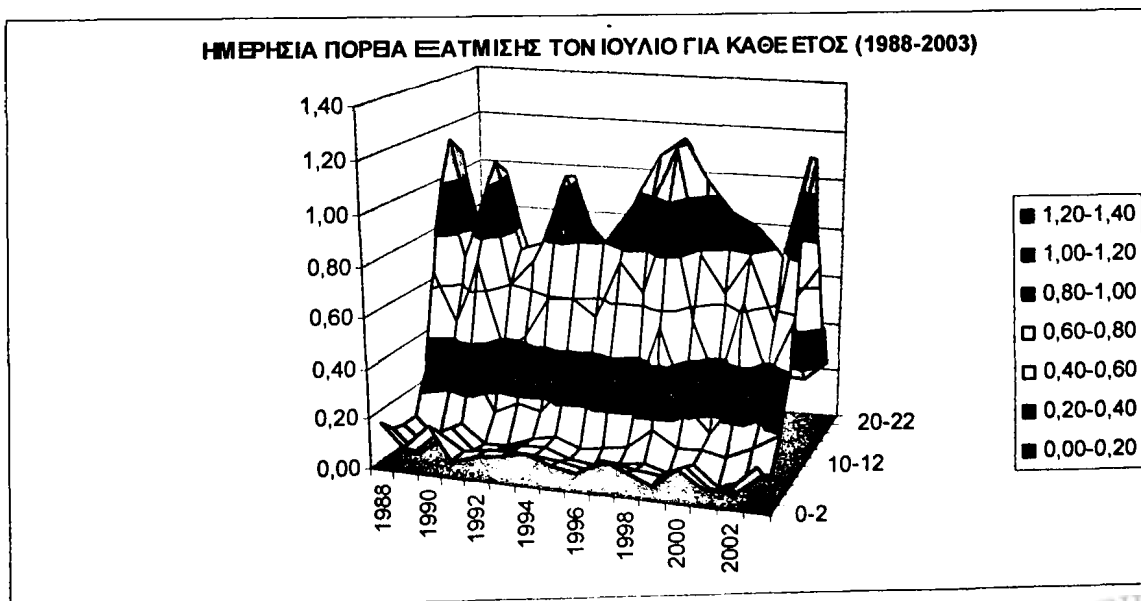
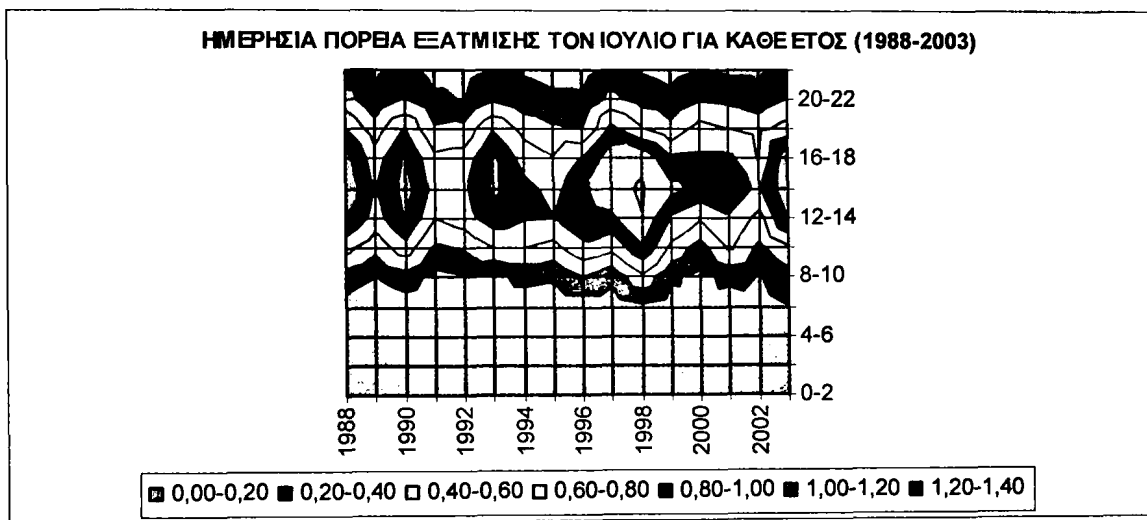
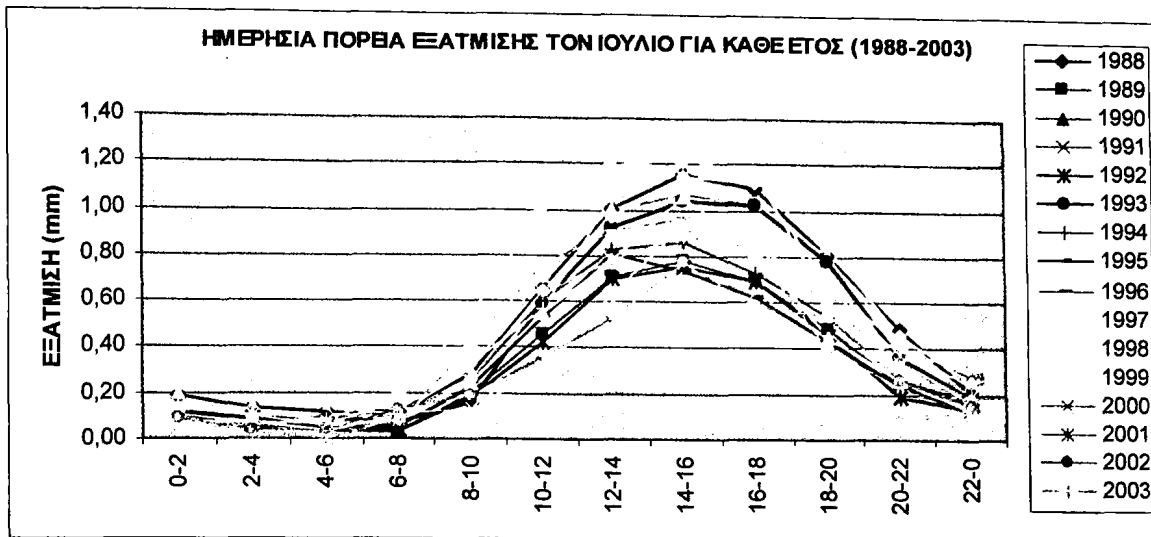
(β)



(γ)

Σχήμα 4.3.3.α,β,γ Ημερήσια πορεία εξάτμισης τον μήνα Ιανουάριο κατά την περίοδο 1988-2003.





Σχήμα 4.3.4.α,β,γ Ημερήσια πορβα εξάτμισης τον μήνα Ιούλιο κατά την περίοδο 1988-2003.



Όπως φαίνεται στα διαγράμματα (4.3.3.α, β, γ), ο Ιανουάριος του 1997 παρουσίασε την μεγαλύτερη εξάτμιση (1,13mm μέση ημερήσια τιμή), ενώ το 2003 η μικρότερη εξάτμιση (0,25mm). Ως προς το δίωρο 4:00-6:00, τα έτη 1992 και 1997 παρουσίασαν την μέγιστη τιμή 0,06mm ενώ ελάχιστη τιμή εξάτμισης (0,00mm) για το συγκεκριμένο δίωρο παρουσίασαν τα έτη 1999, 2000, 2001, 2002 και 2003. Για το δίωρο 14:00-16:00, μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε το 1989 (0,20mm) και ελάχιστη το 2003 (0,08mm).

Θα πρέπει να σχολιαστεί, ότι οι καμπύλες που απεικονίζουν την εξάτμιση του Ιανουαρίου διαφέρουν αρκετά από έτος σε έτος και αυτό βεβαίως οφείλεται στο ότι ο Ιανουάριος είναι ένας ευμετάβλητος μήνας. Ενδεικτικά ο Ιανουάριος του 1997, είχε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (5,6 °C) αλλά και ανομβρία (38mm) τις περισσότερες ημέρες, που είχαν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη εξάτμιση. Αντίθετα ο Ιανουάριος του 2003 (5,8 °C) παρουσίασε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και αυξημένη βροχόπτωση (210,8mm) με αποτέλεσμα τις χαμηλές τιμές εξάτμισης.

Ο μήνας Ιούλιος, παρατηρούμε ότι είναι πιο ομοιογενής σε σχέση με τον Ιανουάριο και αυτό συμβαίνει γιατί είναι ένας σταθερός μήνας με κύριο χαρακτηριστικό του την αυξημένη θερμοκρασία. Από το διάγραμμα 4.3.4.α, φαίνεται ότι ακολουθεί μια απλή ημιτονοειδή καμπύλη, εμφανίζοντας ελάχιστη τιμή εξάτμισης το δίωρο 4:00-6:00 και μέγιστη το δίωρο 14:00-16:00. Παρουσιάζει μέγιστη ημερήσια τιμή (6,63mm) το έτος 1998 και ελάχιστη (3,48mm) το 1991. Ως προς το δίωρο 4:00-6:00, μέγιστες τιμές παρουσιάζουν τα έτη 1988 και 1990 με 0,12mm και ελάχιστες 0,00mm το έτος 2001. Το δίωρο 14:00-16:00, παρουσιάζει μέγιστη τιμή το 1988 με τιμή 1,22mm, και ελάχιστη τιμή το 1991 με 0,73mm. Σημειώνουμε πάντως ότι η θερμοκρασία και η βροχόπτωση δεν είναι οι μοναδικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση. Σε σχετικό κεφάλαιο θα γίνει εκτενής αναφορά για τους παράγοντες και τις συσχετίσεις αυτών με το φαινόμενο της εξάτμισης.

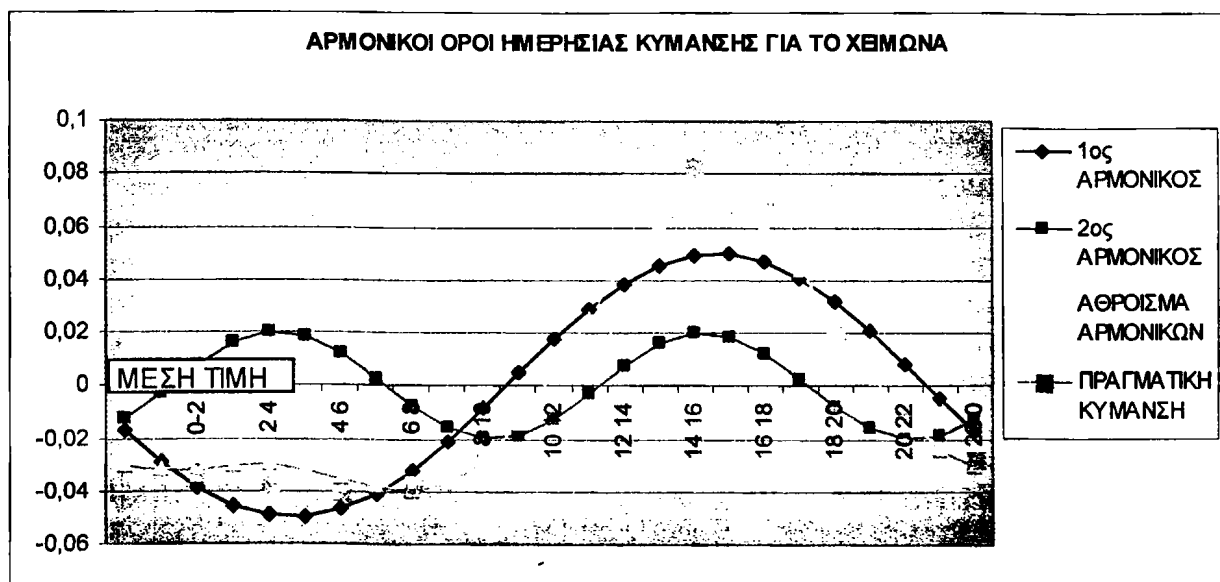
#### 4.1.4 ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΠΟΧΗ

Στην περιοδική συνάρτηση της ημερήσιας πορείας της εξάτμισης, έγινε εφαρμογή της Αρμονικής Ανάλυσης (Analysis Fourier) για κάθε εποχή, έτσι ώστε να βρεθούν αρμονικοί όροι οι οποίοι θα βοηθήσουν στην καλύτερη ερμηνεία του φαινομένου της εξάτμισης. Ο πρώτος αρμονικός είναι ένα 24ωρο ημιτονοειδές κύμα και βρέθηκε ότι παρουσιάζει μέγιστο περίπου στις 15:00, όλες τις εποχές, εξηγώντας το 77% της κύμανσης τον χειμώνα, το 82% την άνοιξη, το 84% το καλοκαίρι και το 80% το φθινόπωρο. Όπως περιμέναμε, ο πρώτος αρμονικός όρος αντιπροσωπεύει σε πολύ καλό ποσοστό την ημερήσια κύμανση. Το μικρό σχετικά ποσοστό του χειμώνα, πρέπει να οφείλεται στην πολύ μικρή και σχεδόν σταθερή τιμή εξάτμισης κατά την διάρκεια των νυχτερινών ωρών. Όπως ήταν αναμενόμενο, το πλάτος του είναι μέγιστο το καλοκαίρι (0,41mm) και ελάχιστο το χειμώνα (0,05mm) Ο δεύτερος αρμονικός (12ωρη κύμανση), παρουσιάζει μέγιστα περίπου στις 3:00 και 15:00, εξηγώντας το 13% της διακύμανσης τον χειμώνα, το 9,5% την άνοιξη, 7% το καλοκαίρι και 11% το φθινόπωρο και ίσως είναι ένα μαθηματικό κατασκεύασμα αμφιβόλου φυσικής σημασίας. Τα ποσοστά των επόμενων αρμονικών όρων ήταν πραγματικά ασήμαντα και για το λόγο αυτό έχουν παραληφτεί. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους 2 αρμονικούς όρους παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1.

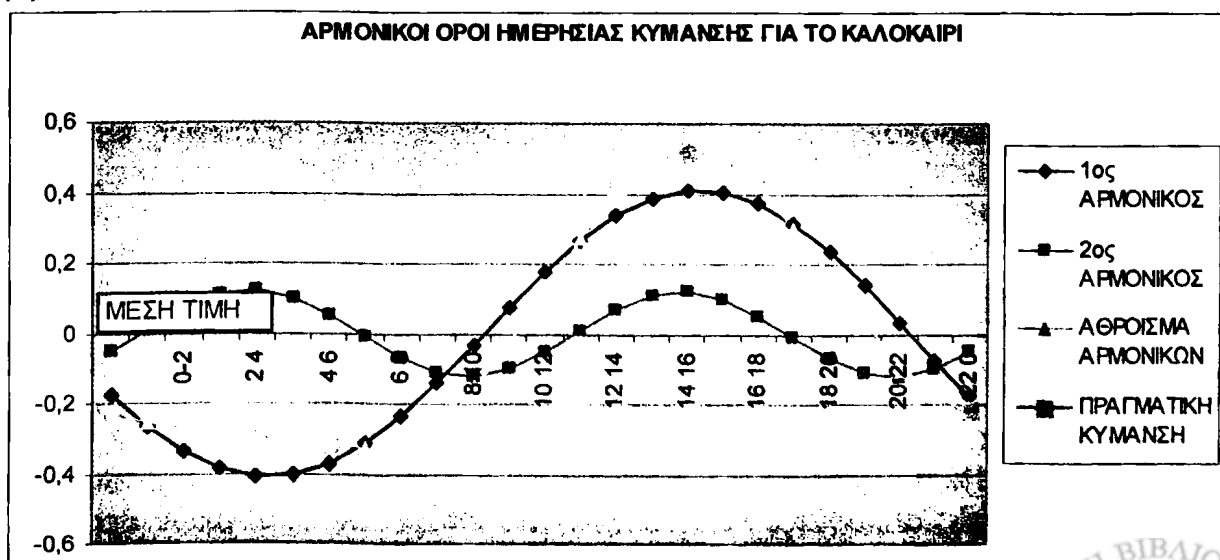


**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1** Ο πρώτος και δεύτερος αρμονικός όρος της ημερήσιας κύμανσης της εξάτμισης στα Ιωάννινα.

ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mm)	ΕΥΡΟΣ C (mm)	$\phi^\circ$	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΕΡΜΗΝΕΥΕΤΑΙ (%)	ΑΘΡΟΙΣΜΑ (%)
ΧΕΙΜΩΝΑΣ1	0,067	0,05	200	15:38'	77,3	90,3
ΧΕΙΜΩΝΑΣ2		0,02	322	3:17', 15:17'	13,0	
ΑΝΟΙΞΗ 1	0,177	0,19	206	15:09'	81,9	91,4
ΑΝΟΙΞΗ 2		0,06	335	2:50', 14:50'	9,5	
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ 1	0,373	0,41	205	15:10'	84,6	91,6
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ2		0,12	335	2:50', 14:50'	7,0	
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ1	0,141	0,15	206	15:09'	79,6	91,0
ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ2		0,06	336	2:47', 14:47'	11,4	

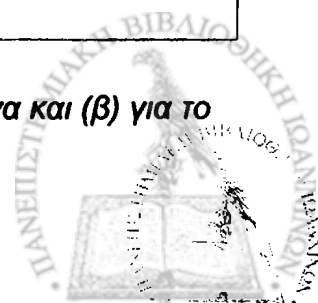


(α)



(β)

Σχήμα 4.4 Αρμονικοί όροι ημερήσιας κύμανσης (α) για το χειμώνα και (β) για το καλοκαίρι.



Στα σχήματα 4.4.α,β, έχει αναπαραχθεί θεωρητικά η ημερήσια πορεία της εξάτμισης για το χειμώνα και το καλοκαίρι με τη χρήση των δυο αρμονικών όρων. Στα ίδια διαγράμματα, παρουσιάζεται και η πραγματική καμπύλη για λόγους σύγκρισης. Οι εξισώσεις που αναπαράγουν για  $t=1,2,3,\dots,12$ , την ενδοημερήσια πορεία της εξάτμισης για τις τιμές δώρου 0-2, 2-4, ..., και με ακρίβεια πάνω από 90% για κάθε εποχή είναι :

$$E_{\text{ΧΕΙΜ}} = 0,067 + C_{1\chi} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{12}t + \phi_{1\chi} \frac{\pi}{180}\right) + C_{2\chi} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{6}t + \phi_{2\chi} \frac{\pi}{180}\right)$$

$$E_{\text{ΑΝΟΙΞ}} = 0,177 + C_{1\alpha} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{12}t + \phi_{1\alpha} \frac{\pi}{180}\right) + C_{2\alpha} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{6}t + \phi_{2\alpha} \frac{\pi}{180}\right)$$

$$E_{\text{ΚΑΛΟΚ}} = 0,373 + C_{1\kappa} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{12}t + \phi_{1\kappa} \frac{\pi}{180}\right) + C_{2\kappa} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{6}t + \phi_{2\kappa} \frac{\pi}{180}\right)$$

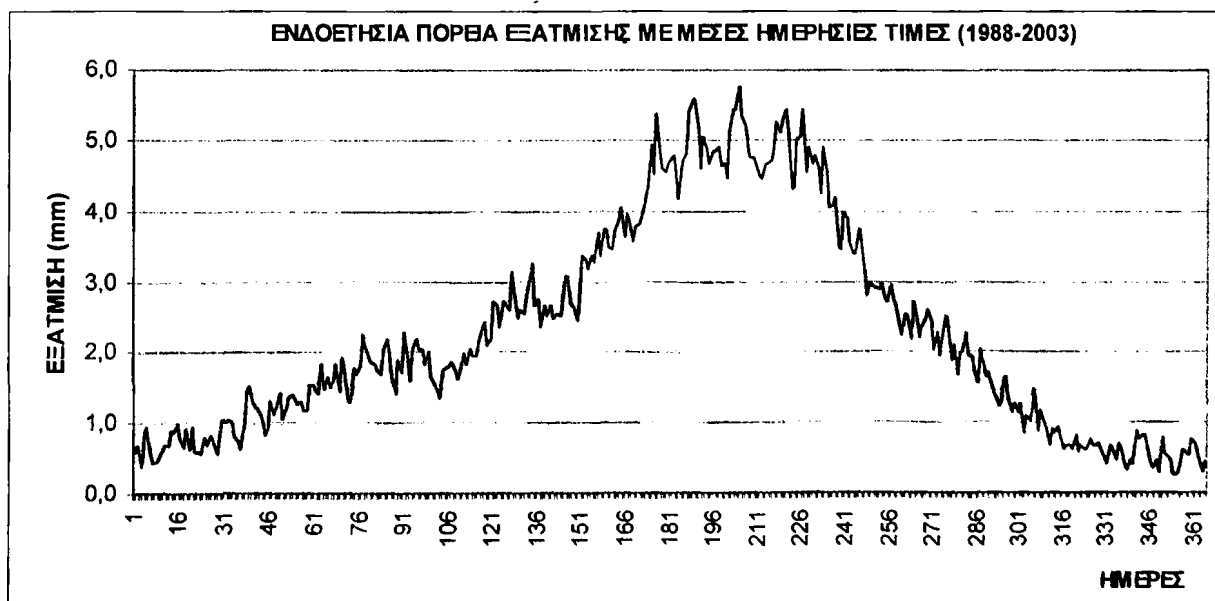
$$E_{\text{ΦΘΙΝ}} = 0,141 + C_{1\phi} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{12}t + \phi_{1\phi} \frac{\pi}{180}\right) + C_{2\phi} \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{6}t + \phi_{2\phi} \frac{\pi}{180}\right)$$

## 4.2 Η ΕΝΔΟΕΤΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Η ενδοετήσια, όπως και η ενδοημερήσια πορεία της εξάτμισης προσομοιάζει με απλή ημιτονοειδή καμπύλη αφού παρουσιάζει ένα μέγιστο τον μήνα Ιούλιο και ένα ελάχιστο τον Δεκέμβριο. Την ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης την εξετάζουμε χρησιμοποιώντας μέσες ημερήσιες, πενθήμερες καθώς και μηνιαίες τιμές.

### 4.2.1 Η ΕΝΔΟΕΤΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΜΕ ΗΜΕΡΗΣΙΕΣ ΤΙΜΕΣ

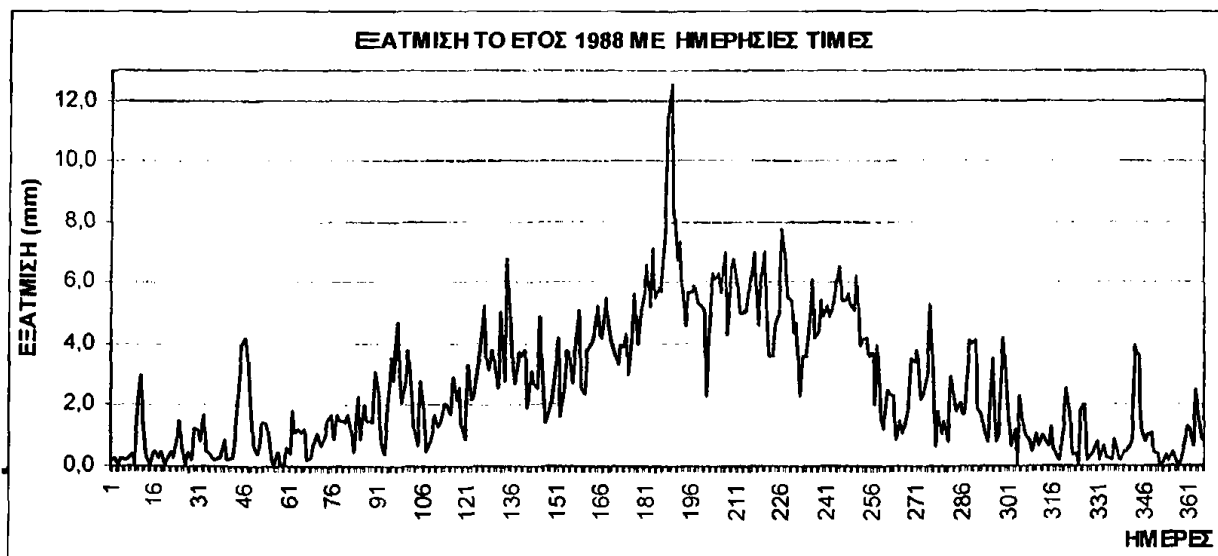
Η μεταβολή της εξάτμισης κατά την διάρκεια ενός μέσου έτους με ημερήσιες τιμές, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 4.5) της περιόδου 1988-2003. Παρατηρείται ότι η καμπύλη παρουσιάζει ένα μέγιστο την 204<sup>η</sup> ημέρα (αρχές Ιουλίου) με μέση ημερήσια τιμή 5,76mm και ένα ελάχιστο την 355<sup>η</sup> ημέρα (μέσα Δεκεμβρίου) με τιμή 0,26mm. Στη μελέτη για την εξάτμιση της Θεσσαλονίκης, ο Livadas και Mahairas (1972), κατέληξαν σχεδόν στα ίδια συμπεράσματα, για το χρονικό διάστημα 1930-1940 και 1946-1970, με την μέγιστη τιμή (5,30mm) να εμφανίζεται αρχές Αυγούστου και την ελάχιστη (0,70mm) στα μέσα Δεκεμβρίου. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί η μεταβλητότητα που παρουσιάζεται στην τιμή της εξάτμισης από μέρα σε μέρα κατά τη διάρκεια του έτους. Από το διάγραμμα φαίνεται ότι από την 1<sup>η</sup> έως περίπου την 100<sup>η</sup> ημέρα (μέσα Μαρτίου) η τιμή της εξάτμισης αυξάνεται με έναν ομοιόμορφο ρυθμό ενώ από την 100<sup>η</sup> έως την 170<sup>η</sup> (μέσα Ιουνίου) ο αυξητικός ρυθμός είναι απότομος και αυτό οφείλεται στη θερμοκρασιακή μεταβλητότητα των ανοιξιότικων ημερών. Αντίθετα, κατά τις καλοκαιρινές ημέρες (170 έως 240) οι τιμές της εξάτμισης κυμαίνονται μέσα σε ένα μικρό αλλά σταθερό εύρος τιμών από 4,50 έως 6mm περίπου. Τις φθινοπωρινές ημέρες (240 έως 365) η τιμή της εξάτμισης φαίνεται να ελαττώνεται αλλά με ομοιόμορφο τρόπο, φτάνοντας τελικά σε πολύ χαμηλές τιμές. Παρακάτω θα δοθούν ενδεικτικά οι καμπύλες της πορείας της εξάτμισης για τα έτη 1988 και 2003 με μέσες ημερήσιες τιμές. Τα υπόλοιπα έτη δίνονται στο παράρτημα.



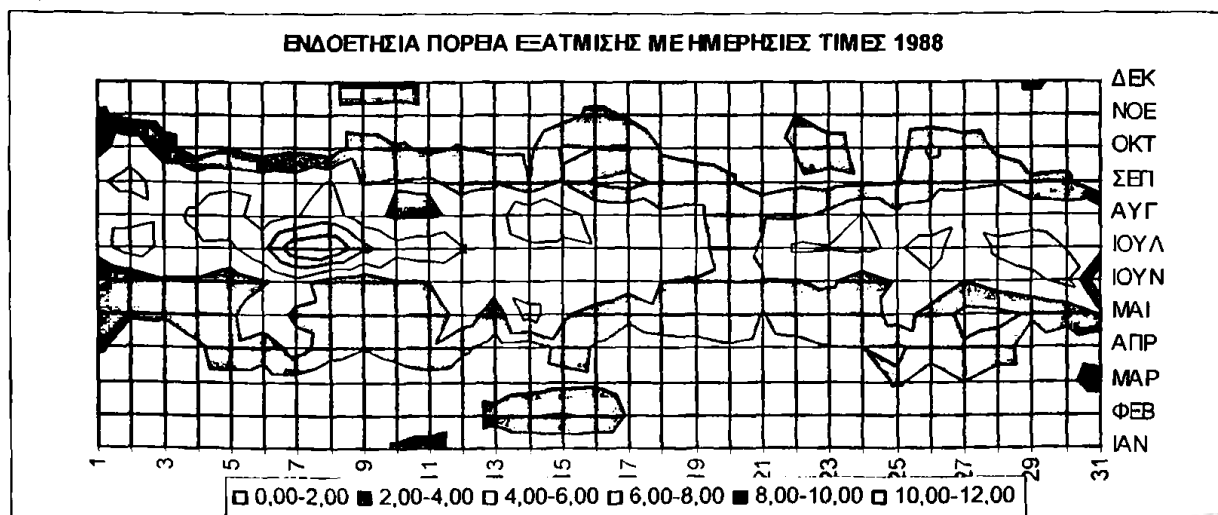
Σχήμα 4.5 Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με μέσες ημερήσιες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.



Η καμπύλη της εξάτμισης για το έτος 1988 προσεγγίζει αυτήν που αντιστοιχεί για το σύνολο των ετών από 1988 έως 2003. Το έτος 1988 εμφάνισε την απολύτως μέγιστη τιμή εξάτμισης, ανάμεσα σε όλα τα έτη που μελετήθηκαν, την 189<sup>η</sup> ημέρα (8 Ιουλίου) με τιμή 12,50mm, ενώ ελάχιστες τιμές εξάτμισης (0,00mm) παρατηρήθηκαν αρκετές μέρες του Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου. Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα επιφανείας (σχήμα 4.5.1.β) μεγάλες τιμές εξάτμισης εμφανίζονται στις 6, 7 και 8 Ιουλίου, όταν η θερμοκρασία είχε ξεπεράσει τους 40 βαθμούς Κελσίου, ενώ χρήσιμο θα ήταν να αναφερθεί ότι τρεις μέρες πριν και τρεις μετά, η τιμή της εξάτμισης κυμαινόταν σε αρκετά υψηλά επίπεδα (6-8mm). Παρακάτω δίνεται ο συνοπτικός χάρτης (σχήμα 4.5.1.γ) πάνω από την Ευρώπη που αντιστοιχεί στην ημέρα κατά την οποία εμφανίστηκε η μεγαλύτερη τιμή εξάτμισης όπως και συνοπτικοί χάρτες δύο ημερών πριν. Ακόμη, παρουσιάζονται οι χάρτες των γεωδυναμικών υψών στα 500hPa για τις 6,7,8/7/1988 καθώς και ο χάρτης θερμοκρασίας στα 850hPa που αντιστοιχεί στις 8/7/1988. Φαίνεται η ανάπτυξη-ενίσχυση του αντικυκλώνα των Αζορών που επηρεάζει την περιοχή των Ιωαννίνων και τελικά προκαλεί αίθριο καιρό και μεγάλες θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα την αυξημένη εξάτμιση εκείνες τις ημέρες.



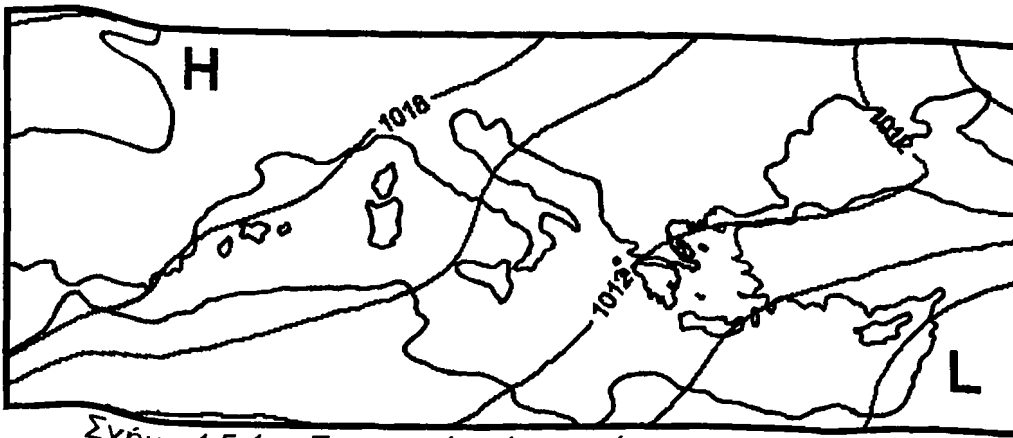
(α)



(β)

Σχήμα 4.5.1.α,β Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με ημερήσιες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων το 1988.





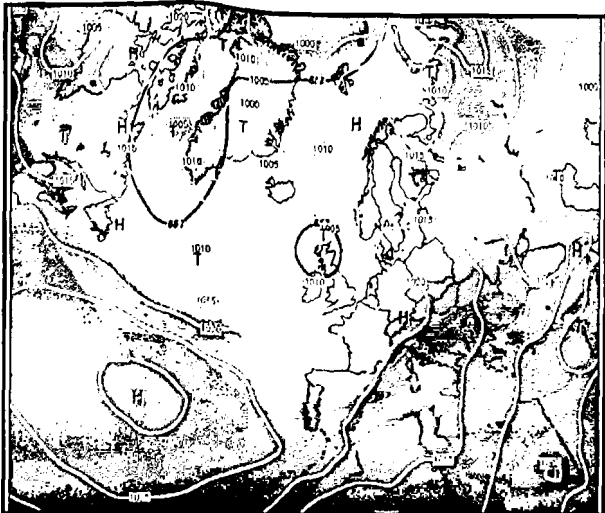
Σχήμα 4.5.1.γ Συνοπτικός χάρτης πίεσης για την 8/7/1988.



(α)



(β)



(γ)



(δ)

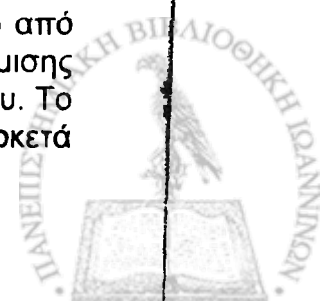
Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 6/7/1988.

Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 7/7/1988.

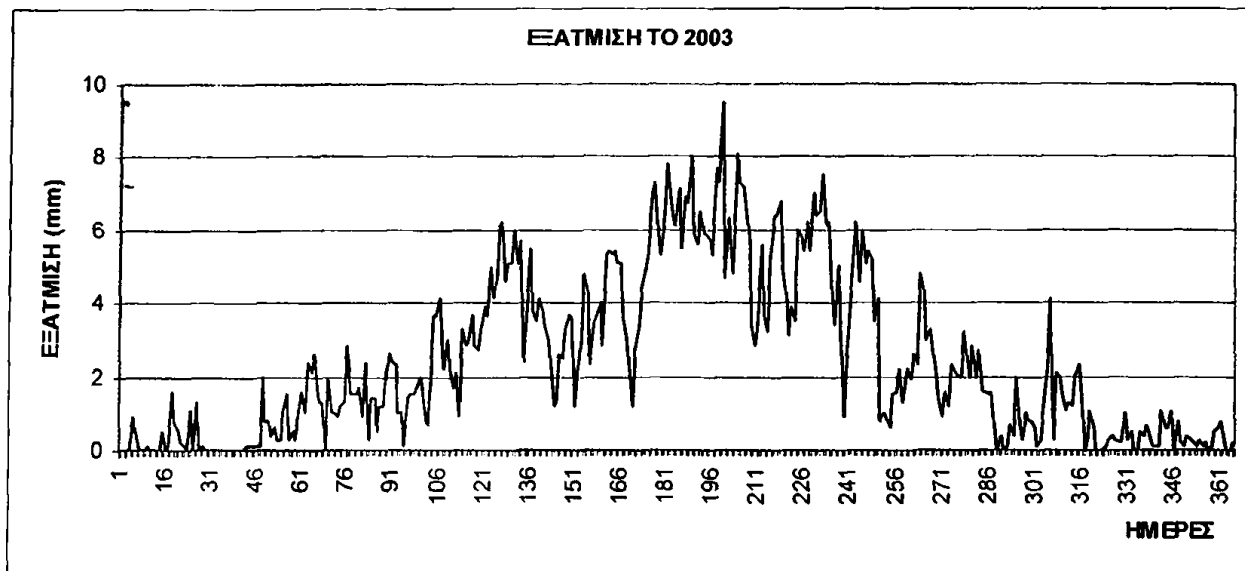
Χάρτης (γ): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 8/7/1988.

Χάρτης (δ): Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου στα 850 hPa 8/7/1988.

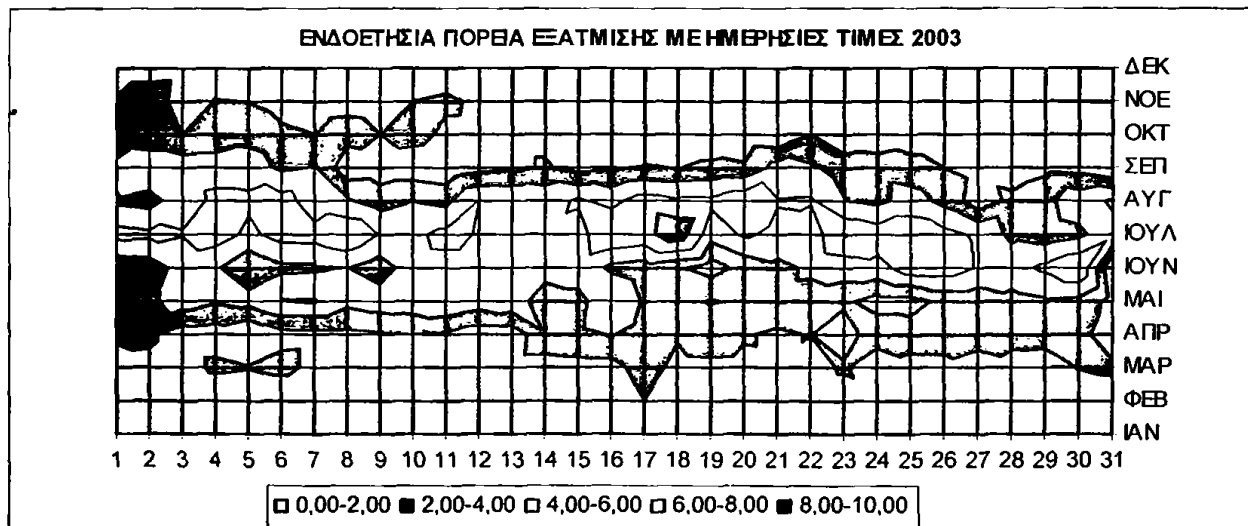
Το έτος 2003, η μέγιστη τιμή εξάτμισης που παρατηρήθηκε ήταν γύρω από την 199<sup>η</sup> ημέρα (18 Ιουλίου) με ημερήσια τιμή 9,50mm ενώ ελάχιστες τιμές εξάτμισης με τιμή (0,00mm) παρατηρήθηκαν αρκετές μέρες του Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου. Το τριήμερο 17,18,19 Ιουλίου οι μέγιστες θερμοκρασίες που εμφανίστηκαν ήταν αρκετά



υψηλές με 36,4, 35,4 και 32,0 βαθμούς Κελσίου αντίστοιχα. Τις ημέρες από 32 - 45 (Φεβρουάριος) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5.2.α, η εξάτμιση είναι σχεδόν μηδενική και αυτό οφείλεται στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες που παρουσιάστηκαν εκείνες τις ημέρες (<10 βαθμών Κελσίου), την αυξημένη βροχόπτωση (77,8mm) και την εκτεταμένη χιονόπτωση που είχε παρουσιαστεί σε σχεδόν ολόκληρη την Ελλάδα αλλά και από την 130<sup>η</sup> έως την 170<sup>η</sup> (μέσα Μαΐου έως τέλη Ιουνίου), παρουσιάστηκαν σχετικά μικρές τιμές εξάτμισης και αυτό βέβαια δικαιολογείται από το γεγονός ότι είχαμε χαμηλές θερμοκρασίες (<20 βαθμών Κελσίου στις 22-25 Μαΐου) σε συνδυασμό με την αυξημένη βροχόπτωση (86mm).



(α)



(β)

Σχήμα 4.5.2.α,β Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με μέσες ημερήσιες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων το 2003.

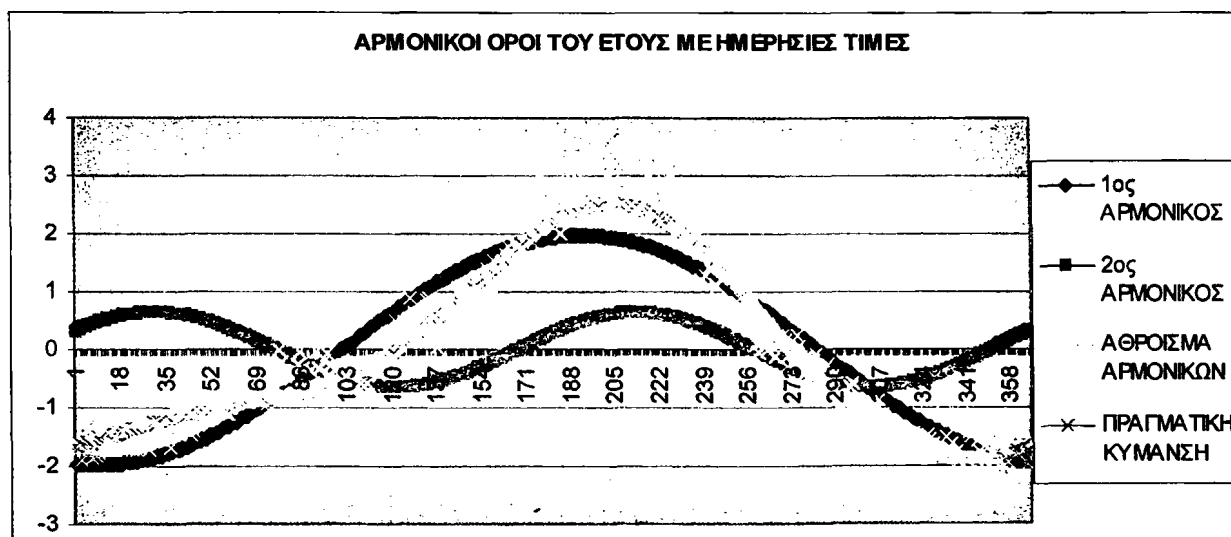
Για την περιοδική συνάρτηση της ενδοετήσιας πορείας της εξάτμισης, έγινε εφαρμογή της Αρμονικής Ανάλυσης (Analysis Fourier), με σκοπό να βρεθούν αρμονικοί όροι που να μπορέσουν να εξηγήσουν φυσικά το φαινόμενο. Ο πρώτος αρμονικός είναι ένα ημιτονοειδές κύμα με περίοδο 365 ημερών και βρέθηκε ότι παρουσιάζει μέγιστο την 191<sup>η</sup> ημέρα (μέσα Ιουλίου) και πλάτος 1,97mm, εξηγώντας το 86% της πραγματικής κύμανσης. Ο δεύτερος αρμονικός (δμηνη κύμανση),



παρουσιάζει μέγιστο περίπου την 31<sup>η</sup> και 213<sup>η</sup> ημέρα (αρχές Φεβρουαρίου και Αυγούστου) με πλάτος πολύ μικρότερο του πρώτου (0,67mm) και εξηγεί το 9% της κύμανσης. Τα ποσοστά των επόμενων αρμονικών όρων ήταν ασήμαντα και για το λόγο αυτό έχουν παραληφθεί. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους δύο αρμονικούς φαίνονται στον πίνακα 4.2.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2** Ο πρώτος και δεύτερος αρμονικός της ετήσιας κύμανσης της εξάτμισης στα Ιωάννινα (ανάλυση με ημερήσιες τιμές).

ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mm)	ΕΥΡΟΣ C (mm)	$\varphi^\circ$	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ (ΗΜΕΡΑ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΕΡΜΗΝΕΥΕΤΑΙ (%)	ΑΘΡΟΙΣΜΑ (%)
1 <sup>ος</sup>	2,28	1,97	261	191 (μέσα Ιουλίου)	86,3	95,4
2 <sup>ος</sup>		0,64	30	31, 213 (αρχές Φεβ-Αυγ)	9,1	



Σχήμα 4.5.3 Αρμονικοί όροι ενδοετήσιας κύμανσης με ημερήσιες τιμές.

Στο σχήμα 4.5.3, έχει αναπαραχθεί θεωρητικά η ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης, με τη χρήση δύο αρμονικών όρων. Στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται και η πραγματική καμπύλη όπως και το άθροισμα των δύο αρμονικών όρων, για λόγους σύγκρισης. Οι εξίσωση που αναπαράγει για  $t=1 - 365$ , την ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης, με ακρίβεια πάνω από 95%, παρουσιάζεται παρακάτω και αυτό σημαίνει ότι με την χρήση της συγκεκριμένης εξίσωσης μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά η εξάτμιση οποιασδήποτε ημέρας του έτους.

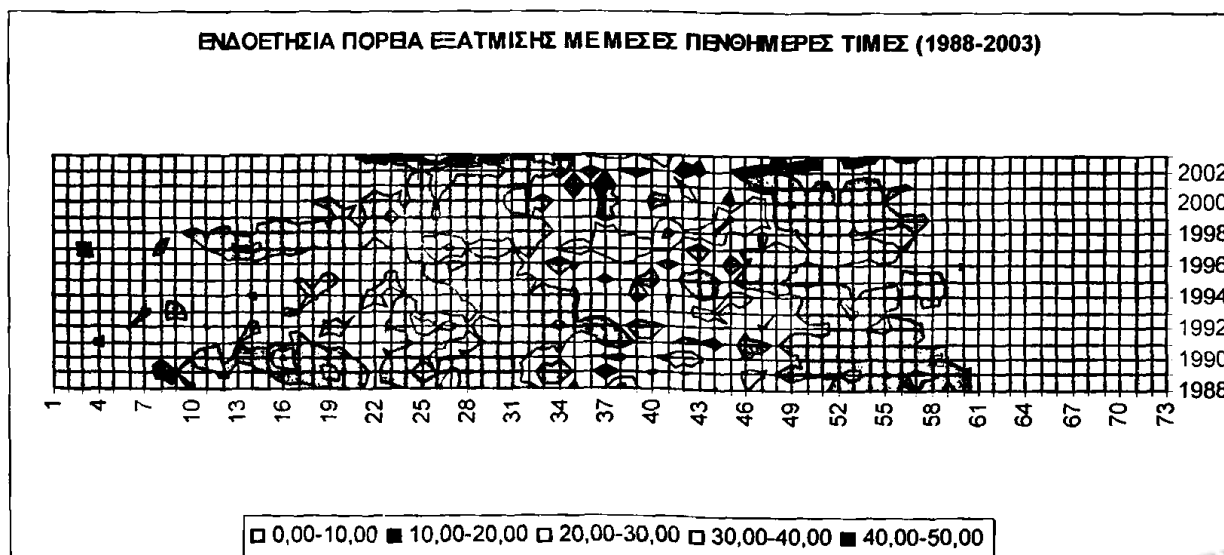
$$E = 2,28 + C_1 \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{365}t + \phi_1 \frac{\pi}{180}\right) + C_2 \times \eta\mu\left(\frac{4\pi}{365}t + \phi_2 \frac{\pi}{180}\right)$$

#### 4.2.2 Η ΕΝΔΟΕΤΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΜΕ ΠΕΝΘΗΜΕΡΕΣ ΤΙΜΕΣ

Η μελέτη της πορείας της εξάτμισης κατά την διάρκεια του έτους έγινε χρησιμοποιώντας και πενθήμερες τιμές εξάτμισης (άθροισμα μέσων ημερησίων τιμών) με σκοπό την μείωση του «θορύβου». Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (4.6.α), η εξάτμιση προσομοιάζει και σε αυτή την περίπτωση με μια σχεδόν απλή ημιτονοειδή καμπύλη, εμφανίζοντας μέγιστο γύρω στο 41<sup>ο</sup> πενθήμερο (Ιούλιος) με τιμή 27,11mm και ένα ελάχιστο το 71<sup>ο</sup> πενθήμερο (Δεκέμβριος) με τιμή 2,08mm. Μια επιπλέον πληροφορία που μπορεί να εξαχθεί από το σχήμα 4.6.β διάγραμμα επιφανείας, είναι η περίοδος κατά την οποία αρχίζει να αυξάνεται η εξάτμιση αλλά και το πότε αρχίζει να ελαττώνεται. Φαίνεται ότι η περίοδος αύξησης της εξάτμισης είναι αρκετά μεταβλητή και οφείλεται στο ότι συμβαίνει την περίοδο της άνοιξης. Ενδεικτικά για τα έτη 1990 και 1988, η εξάτμιση αρχίζει να αυξάνεται από το 10<sup>ο</sup> πενθήμερο (τέλη Φεβρουαρίου) και ελαττώνεται μετά από το 60<sup>ο</sup> (τέλη Οκτωβρίου) ενώ το 1996 και 2001 η εξάτμιση αρχίζει να αυξάνεται περίπου το 24<sup>ο</sup> πενθήμερο (αρχές Μαΐου) και αρχίζει να ελαττώνεται το 50<sup>ο</sup> (αρχές Σεπτεμβρίου).



(α)

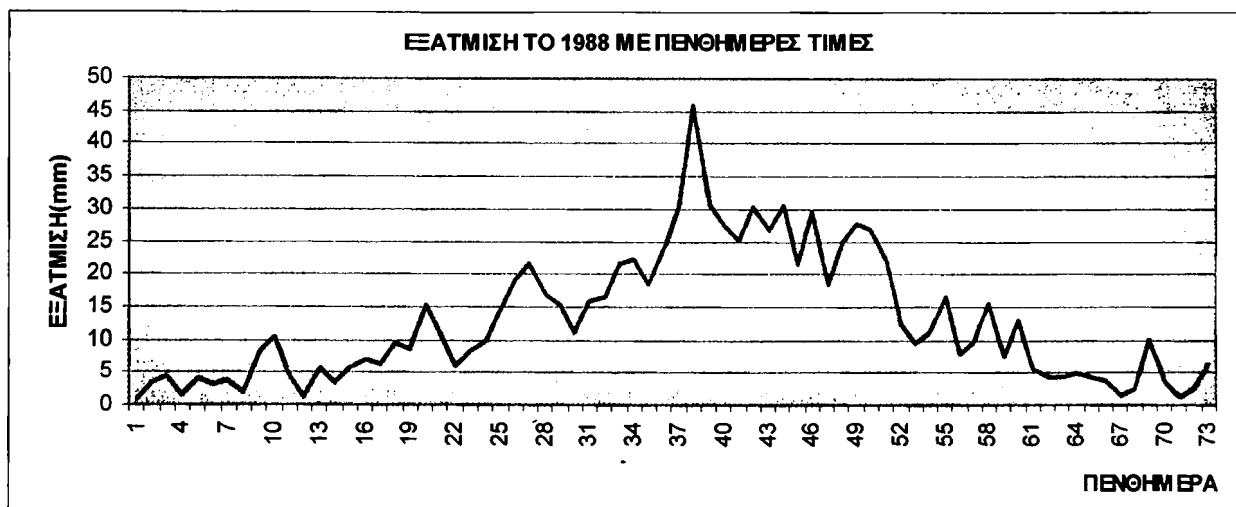


(β)

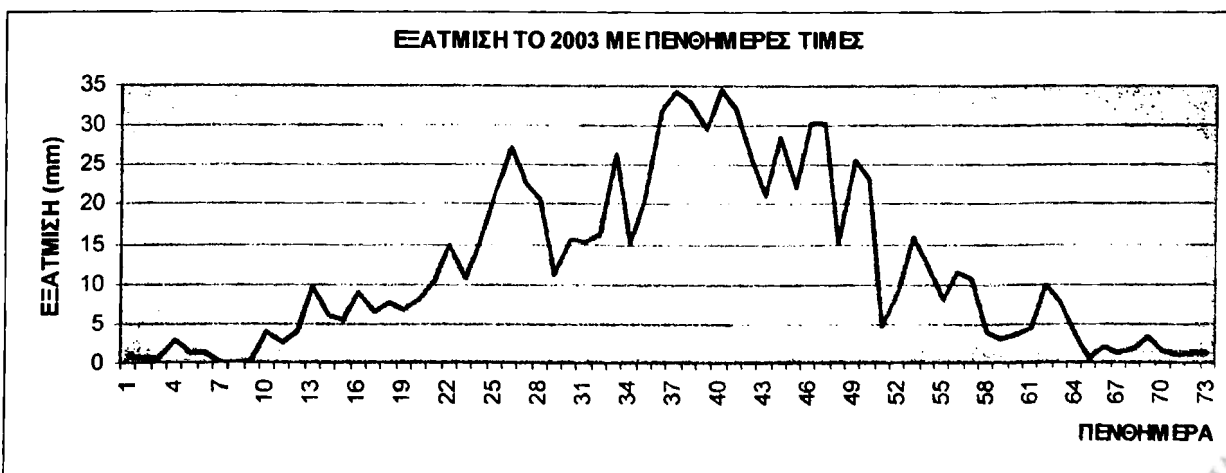
Σχήμα 4.6.α,β Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με μέσες πενθήμερες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.



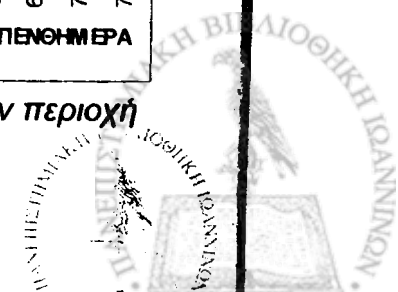
Παρακάτω, θα γίνει περιγραφή της ενδοετήσιας πορείας της εξάτμισης ενδεικτικά για το 1988 και το 2003 χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά πενθήμερες τιμές (σχήματα 4.6.1 και 4.6.2). Η ενδοετήσια πορεία των υπολοίπων ετών παρουσιάζεται στο παράρτημα. Οι καμπύλες που προκύπτουν έχουν την ίδια μορφή με αυτή των σχημάτων 4.5.1.α και 4.5.2.α με τη μόνη διαφορά ότι είναι πιο ομαλοποιημένες. Για το έτος 1988, το μέγιστο παρουσιάζεται το 38<sup>ο</sup> πενθήμερο (μέσα Ιουλίου) με συνολική εξάτμιση 45,8mm και το ελάχιστο το 7<sup>ο</sup> πενθήμερο (μέσα Δεκεμβρίου) με 1,20mm. Με τον ίδιο τρόπο, παρατηρούμε ότι το μέγιστο για το έτος 2003 βρίσκεται στο 40<sup>ο</sup> πενθήμερο με εξάτμιση 34,5mm και το ελάχιστο από το 7<sup>ο</sup> έως το 10<sup>ο</sup> πενθήμερο με 0,00mm εξάτμιση. Συγκρίνοντας τα καλοκαιρινά πενθήμερα (36 έως 49) για τα δυο έτη, παρατηρούμε ότι το 1988 το εύρος που κυμαίνονται οι τιμές της εξάτμισης είναι αρκετά μεγάλο (28mm), με την εξάτμιση να φτάνει στα 45,8mm στα πρώτα πενθήμερα και στη συνέχεια να ελαττώνεται απότομα. Αντίθετα το 2003, οι τιμές της εξάτμισης κυμαίνονται σε ένα μικρότερο εύρος (20mm) χωρίς να γίνονται απότομες μεταβολές. Το πλεονέκτημα που μας δίνουν οι καμπύλες με τις πενθήμερες τιμές είναι ότι μας επιτρέπουν να μελετούμε ομάδες ημερών με κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα ενώ ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι ότι μπορεί να διαχωριστεί ένα πενθήμερο που έχει κοινά χαρακτηριστικά γνωρίσματα.



Σχήμα 4.6.1 Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με πενθήμερες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων το 1988.



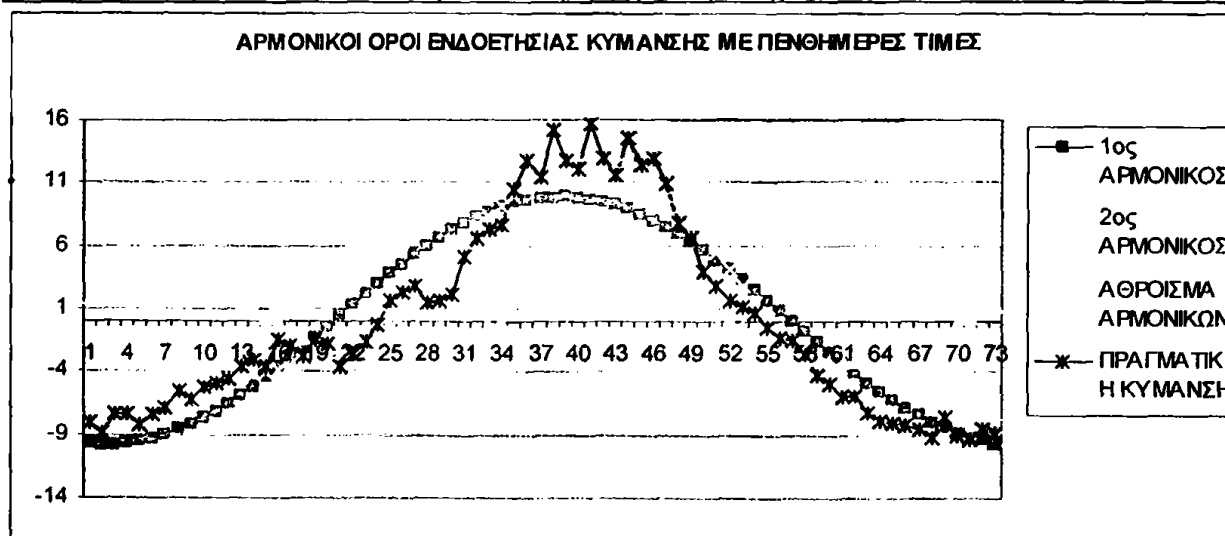
Σχήμα 4.6.2 Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με πενθήμερες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων το 2003.



Στην περιοδική συνάρτηση της ενδοετήσιας πορείας της εξάτμισης με πενθήμερες τιμές, έγινε εφαρμογή της Αρμονικής Ανάλυσης (Analysis Fourier), έτσι ώστε να βρεθούν αρμονικοί όροι που να εξηγούν το φαινόμενο της εξάτμισης σε ετήσια βάση. Ο πρώτος αρμονικός είναι ένα ημιτονοειδές κύμα ο οποίος βρέθηκε ότι παρουσιάζει μέγιστο το 39<sup>ο</sup> πενθήμερο του έτους, δηλαδή γύρω στα μέσα Ιουλίου, εξηγώντας το 88% της κύμανσης και όπως περιμέναμε αντιπροσωπεύει σε πολύ καλό βαθμό την ετήσια κύμανση. Ο δεύτερος αρμονικός, παρουσιάζει μέγιστο περίπου το 7<sup>ο</sup> και το 43<sup>ο</sup> πενθήμερο του έτους (αρχές Φεβρουαρίου και Αυγούστου), εξηγώντας το 9% της κύμανσης και ίσως είναι ένα μαθηματικό κατασκεύασμα αμφιβόλου φυσικής σημασίας. Όπως ήταν αναμενόμενο, το άθροισμα των δυο αρμονικών είναι κάπως μεγαλύτερο (97%) διότι έχει αφαιρεθεί ο θόρυβος. Τα ποσοστά των επόμενων αρμονικών όρων ήταν ασήμαντα και για το λόγο αυτό έχουν παραληφθεί. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους δυο αρμονικούς όρους φαίνονται στον πίνακα 4.3.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3** Ο πρώτος και δεύτερος αρμονικός της ετήσιας κύμανσης της εξάτμισης στα Ιωάννινα (ανάλυση με πενθήμερες τιμές).

ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mm)	ΕΥΡΟΣ C (mm)	$\phi^\circ$	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ (ΠΕΝΘΗΜΕΡΟ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΕΡΜΗΝΕΥΕΤΑΙ (%)	ΑΘΡΟΙΣΜΑ (%)
1 <sup>ος</sup>	11,426	9,83	259	39 (μέσα Ιουλίου)	88	97
2 <sup>ος</sup>		3,19	26	7, 43 (αρχές Φεβ-Αυγ)	9	



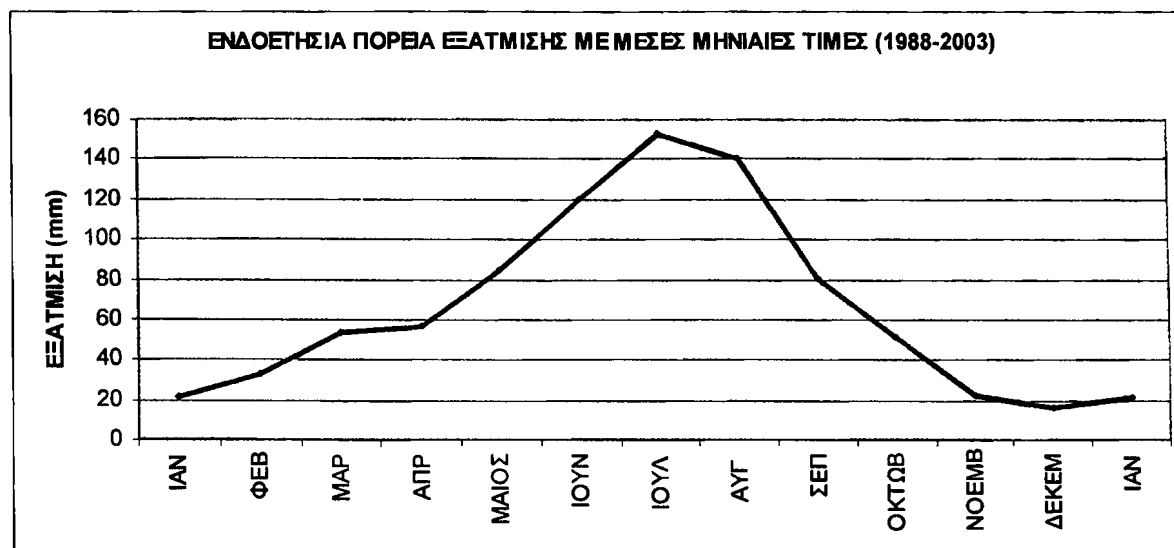
Σχήμα 4.6.3 Αρμονικοί όροι ενδοετήσιας κύμανσης με ημερήσιες τιμές.

Στο σχήμα 4.6.3, έχει αναπαραχθεί θεωρητικά η ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης, με τη χρήση δύο αρμονικών όρων. Στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται και η πραγματική καμπύλη όπως και το άθροισμα των δύο αρμονικών όρων, για λόγους σύγκρισης. Οι εξίσωση που αναπαράγει για  $t = 1 - 73$ , την ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης, με ακρίβεια πάνω από 95%, παρουσιάζεται παρακάτω και αυτό σημαίνει ότι με την χρήση της συγκεκριμένης εξίσωσης μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά η εξάτμιση οποιοδήποτε πενθήμερο του έτους.

$$E = 11,426 + C_1 \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{73}t + \phi_1 \frac{\pi}{180}\right) + C_2 \times \eta\mu\left(\frac{4\pi}{73}t + \phi_2 \frac{\pi}{180}\right)$$

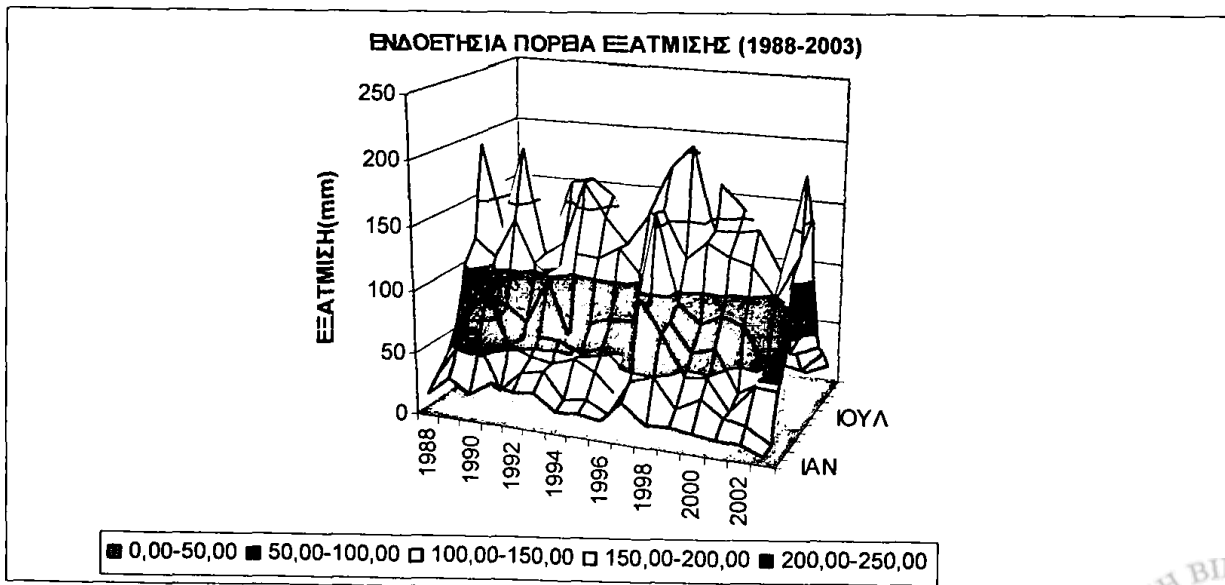
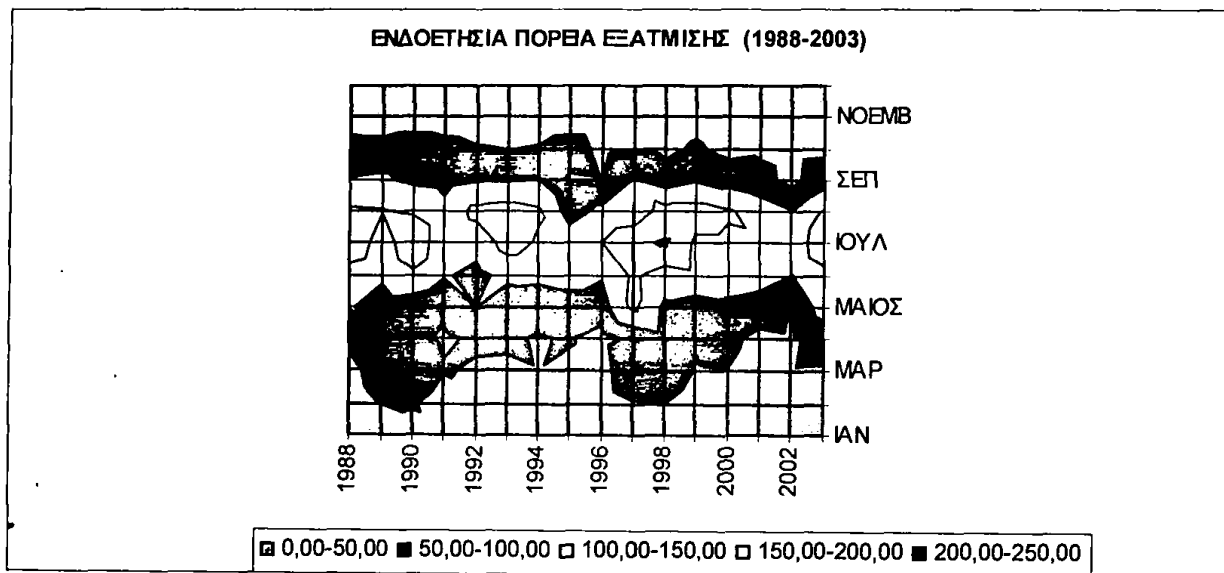
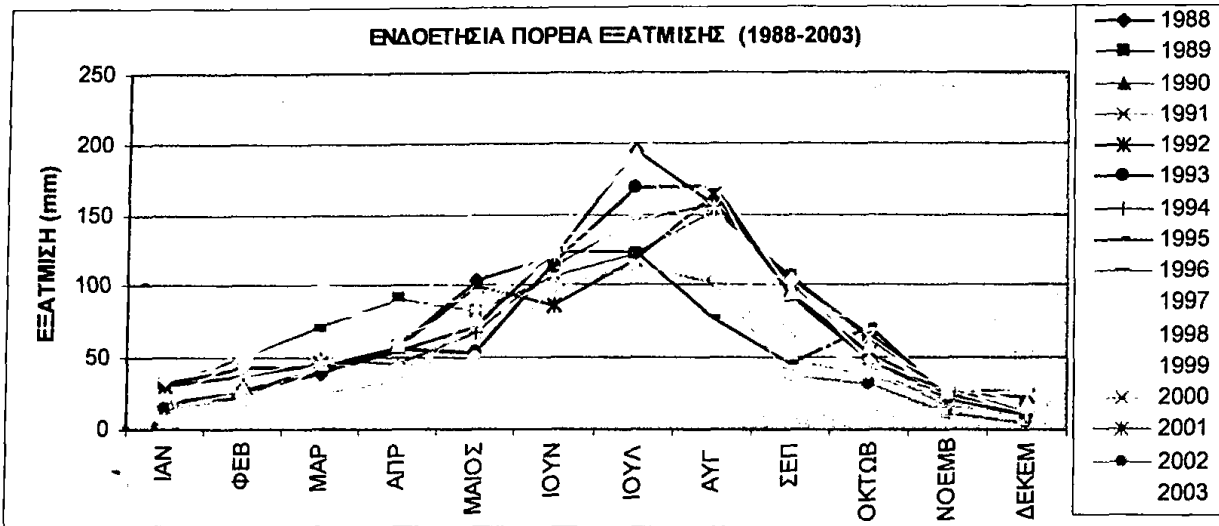
#### 4.2.3 Η ΕΝΔΟΕΤΗΣΙΑ ΠΟΡΕΙΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΜΕ ΜΗΝΙΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ

Η μεταβολή της εξάτμισης κατά την διάρκεια του έτους με μέσες μηνιαίες τιμές, παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 4.7) για την περίοδο 1988-2003. Παρατηρείται ότι η καμπύλη προσομοιάζει με ημιτονοειδές κύμα, παρουσιάζοντας ένα μέγιστο τον μήνα Ιούλιο, με μέση μηνιαία τιμή 153mm και ένα ελάχιστο τον μήνα Δεκέμβριο με μέση μηνιαία τιμή 16mm.



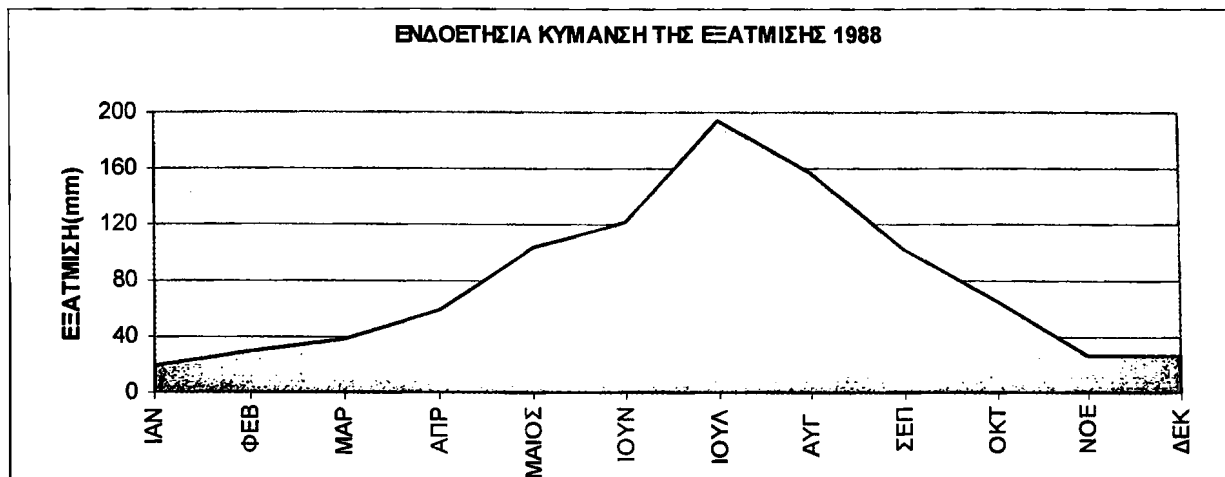
Σχήμα 4.7 Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με μέσες μηνιαίες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.

Η ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης για κάθε έτος ξεχωριστά παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα με τρεις τρόπους α) με καμπύλες β) με διάγραμμα επιφανείας και γ) με διάγραμμα χώρου. Στο σχήμα 4.7.1.α παρουσιάζεται η πορεία της εξάτμισης για κάθε έτος ξεχωριστά και είναι εμφανείς οι διαφορές που εμφανίζονται στο χρόνο μέγιστου και ελαχίστου για κάθε έτος αλλά και στο πλάτος αυτών. Πιο συγκεκριμένα για τον μήνα Μάρτιο, παρατηρήθηκε μέγιστη τιμή το έτος 1997 (103,50mm) και ελάχιστη το 1996 (24,10mm). Ο μήνας Ιούλιος παρουσίασε μέση μέγιστη τιμή το 1998 (205,40mm) και ελάχιστη το 1991 (108mm), ενώ ο μήνας Δεκέμβριος παρουσίασε μέγιστες τιμές το έτος 1998 (27,70mm) και ελάχιστες το 2002 (4,30mm). Στο διάγραμμα επιφανείας αλλά και σε αυτό του χώρου, μας δίνεται η δυνατότητα να παρατηρήσουμε ποια έτη αρχίζει να αυξάνεται η εξάτμιση νωρίς. Τα έτη 1989, 1990, 1997, 1998 και 2003 η τιμή της εξάτμισης αρχίζει να αυξάνεται τον μήνα Φεβρουάριο ενώ για τα υπόλοιπα έτη αυτό συμβαίνει από τον Μάρτιο (1991, 1992, 1993, 1995, 1999, 2000) ή ακόμη και από τον μήνα Απρίλιο (1994, 1996, 2001, 2002). Παρατηρείται ότι οι μεταβολές αυτές είναι αρκετά απότομες από έτος σε έτος, σε σχέση με την ομαλή ελάττωση της εξάτμισης που συμβαίνει κατά την μετάβαση από το φθινόπωρο στο χειμώνα (ελάττωση για όλα τα έτη σχεδόν από τον μήνα Οκτώβριο).

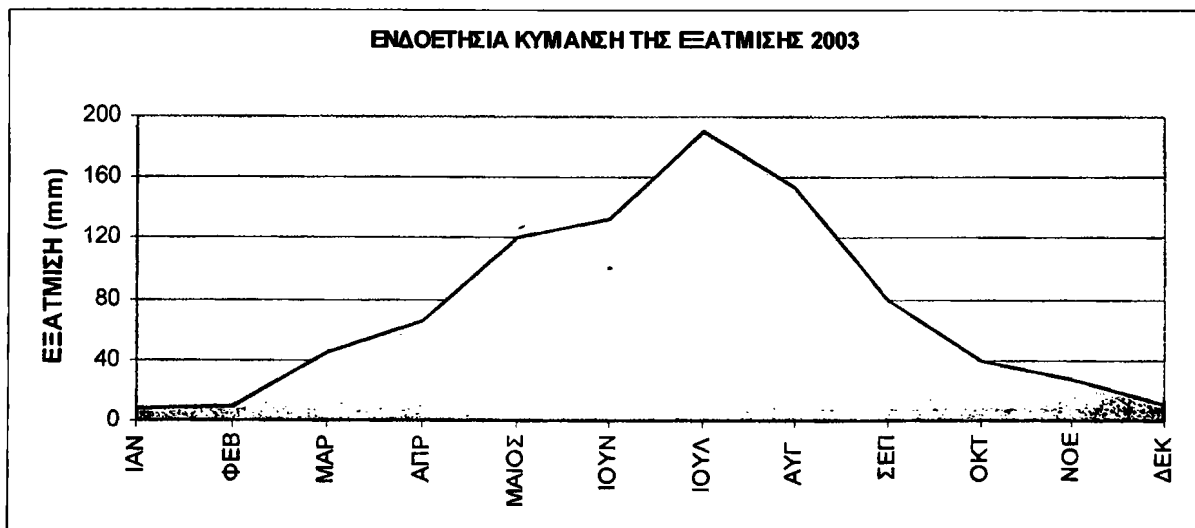


Σχήμα 4.7.1. α,β,γ Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με μηνιαίες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.

Οι καμπύλες της εξάτμισης για τα έτη 1988 και 2003 προσεγγίζουν τις προηγούμενες (με ημερήσιες και πενήθμερες τιμές) με την διαφορά ότι είναι αρκετά πιο ομαλές. Για το έτος 1988, μέγιστη τιμή παρατηρήθηκε τον μήνα Ιούλιο (193,6mm) και ελάχιστη τον Ιανουάριο (18,6mm). Παρόμοιες τιμές εμφανίστηκαν και το έτος 2003 με μέγιστη τιμή τον Ιούλιο 192,2mm και ελάχιστη τον Ιανουάριο με 7,80mm. Η ενδοετήσια κύμανση της εξάτμισης για τα υπόλοιπα έτη της μελέτης παρουσιάζονται στο παράρτημα.

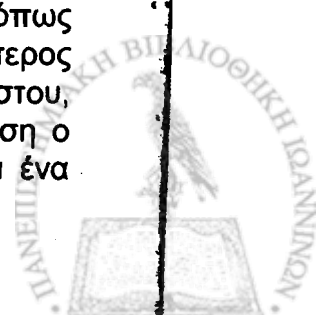


Σχήμα 4.7.2 Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με μηνιαίες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων το 1988.



Σχήμα 4.7.3 Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με μηνιαίες τιμές για την περιοχή των Ιωαννίνων το 2003.

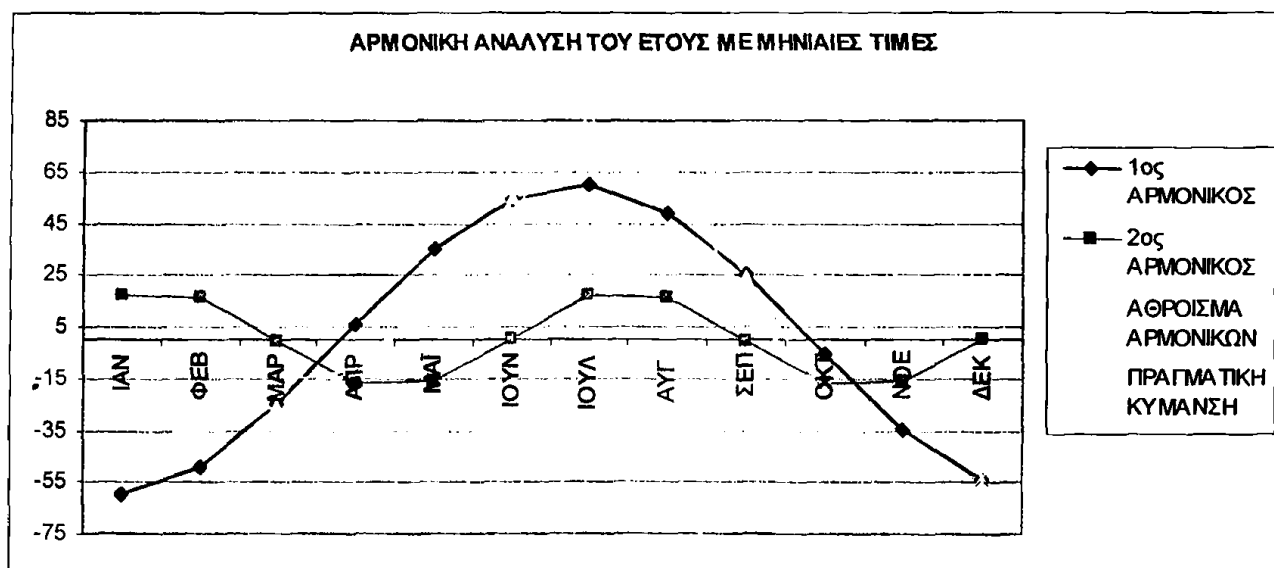
Στην περιοδική συνάρτηση της ενδοετήσιας πορείας της εξάτμισης με μηνιαίες τιμές, έγινε εφαρμογή της Αρμονικής Ανάλυσης (Analysis Fourier), έτσι ώστε να βρεθούν αρμονικοί όροι που να εξηγούν το φαινόμενο της εξάτμισης σε ετήσια βάση. Ο πρώτος αρμονικός είναι ένα ημιτονοειδές κύμα ο οποίος βρέθηκε ότι παρουσιάζει μέγιστο στα μέσα του μήνα Ιουλίου, εξηγώντας το 82% της κύμανσης και όπως περιμέναμε αντιπροσωπεύει σε πολύ καλό βαθμό την ετήσια κύμανση. Ο δεύτερος αρμονικός, παρουσιάζει μέγιστα περίπου στις αρχές Φεβρουαρίου και Αυγούστου, εξηγώντας το 8% της ετήσιας κύμανσης. Πιθανόν και σε αυτή την περίπτωση ο δεύτερος αρμονικός όρος να μην έχει κάποια φυσική εξήγηση αλλά να είναι ένα



μαθηματικό κατασκεύασμα. Τα ποσοστά των επόμενων αρμονικών όρων ήταν πραγματικά ασήμαντα και για το λόγο αυτό έχουν παραληφθεί. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους δύο αρμονικούς όρους φαίνονται στον πίνακα 4.4. Συνολικά, εφαρμόζοντας την μέθοδο της αρμονικής ανάλυσης στην ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης με ημερήσιες, πενθήμερες και μηνιαίες τιμές, παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιώντας ημερήσιες τιμές ερμηνεύεται (άθροισμα 2 αρμονικών όρων) το 95,4% της διακύμανσης, με πενθήμερες τιμές το 97% και με μηνιαίες τιμές το 89,8%. Επομένως, όταν γίνεται αρμονική ανάλυση με μηνιαίες τιμές χάνεται πληροφορία και για το λόγο αυτό πρέπει να προτιμάται η ανάλυση με ημερήσιες και πενθήμερες τιμές.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4** Ο πρώτος και δεύτερος αρμονικός της ετήσιας κύμανσης της εξάτμισης στα Ιωάννινα (ανάλυση με μηνιαίες τιμές).

ΑΡΜΟΝΙΚΟΙ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (mm)	ΕΥΡΟΣ C (mm)	$\phi^{\circ}$	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ (ΜΗΝΑΣ)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΕΡΜΗΝΕΥΕΤΑΙ (%)	ΑΘΡΟΙΣΜΑ (%)
1 <sup>ος</sup>	69,5	59,84	245	6,82	81,5	89,8
2 <sup>ος</sup>		19,14	1	1,48- 7,48	8,3	



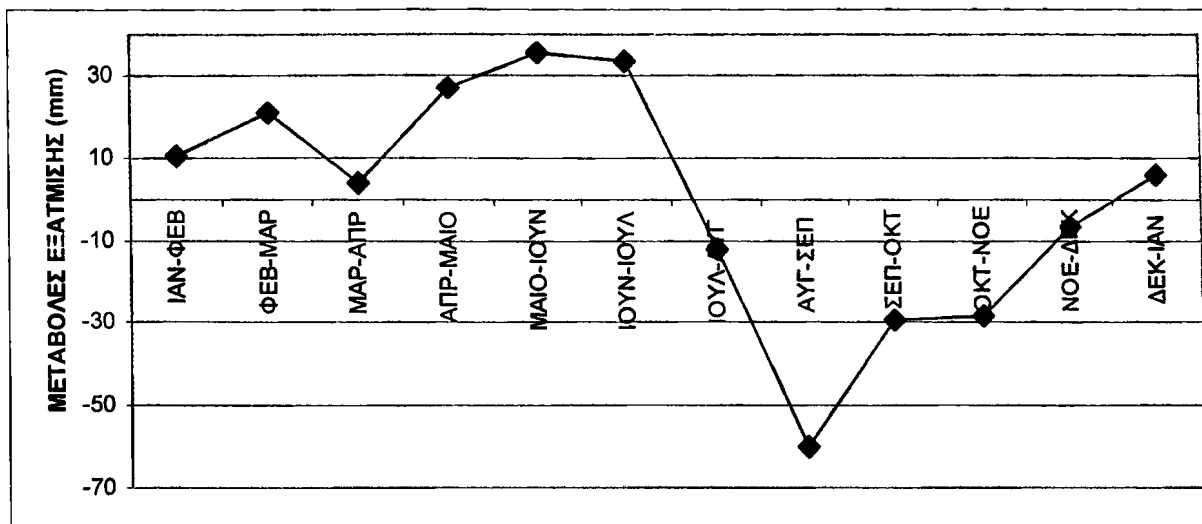
Σχήμα 4.7.4 Αρμονικοί όροι ενδοετήσιας κύμανσης με μηνιαίες τιμές.

Στο σχήμα 4.7.4, έχει αναπαραχθεί θεωρητικά η ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης, με τη χρήση δύο αρμονικών όρων. Στο ίδιο διάγραμμα παρουσιάζεται και η πραγματική καμπύλη όπως και το άθροισμα των δύο αρμονικών όρων, για λόγους σύγκρισης. Οι εξίσωση που αναπαράγει για  $t=1, 2, \dots, 12$ , την ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης, με ακρίβεια σχεδόν 90%, παρουσιάζεται παρακάτω και αυτό σημαίνει ότι με την χρήση της συγκεκριμένης εξίσωσης μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά η εξάτμιση για οποιοδήποτε μήνα του έτους.

$$E = 69,5 + C_1 \times \eta\mu\left(\frac{2\pi}{12}t + \phi_1 \frac{\pi}{180}\right) + C_2 \times \eta\mu\left(\frac{4\pi}{12}t + \phi_2 \frac{\pi}{180}\right)$$

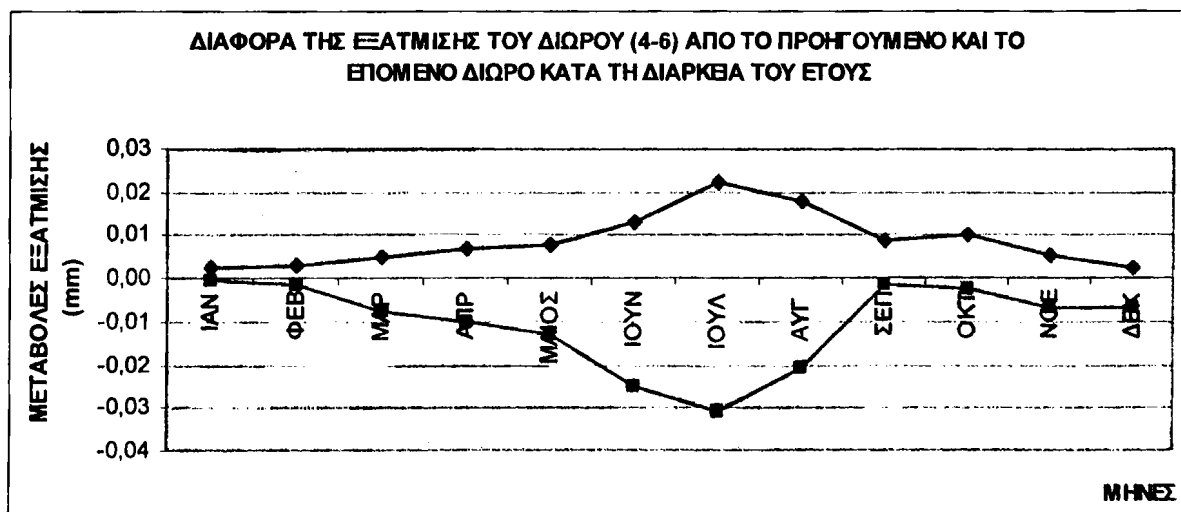


Η μεταβολή της εξάτμισης από μήνα σε μήνα κατά την διάρκεια ενός έτους παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (4.8). Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται από τον μήνα Μάιο στον μήνα Ιούνιο (35mm), ενώ αντίθετα η μεγαλύτερη ελάττωση συμβαίνει από τον μήνα Αύγουστο στον μήνα Σεπτέμβριο (-60mm). Παρατηρούμε δηλαδή ότι οι μεγαλύτερες μεταβολές, κατά την διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, συμβαίνουν κατά την έναρξη και το τέλος της καλοκαιρινής περιόδου και αυτό συμπίπτει με την μέγιστη μεταβολή της θερμοκρασίας (Rebetez, 2001).

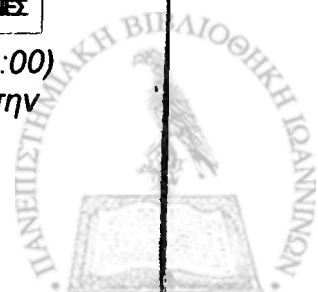


Σχήμα 4.8 Μεταβολή εξάτμισης από μήνα σε μήνα κατά την διάρκεια του έτους.

Επιπλέον, στο σχήμα 4.9, εμφανίζεται η διαφορά του δίωρου (4:00-6:00) από το προηγούμενο (2:00-4:00) μπλε καμπύλη και από το επόμενο (6:00-8:00) κόκκινη καμπύλη, κατά την διάρκεια των μηνών ενός έτους. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι κατά τους χειμερινούς και φθινοπωρινούς μήνες οι διαφορές δεν είναι αξιοσημείωτες, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην εξάτμιση από τις νυχτερινές στις πρωινές ώρες. Αντίθετα, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η διαφορά αυξάνεται με μέγιστη τον μήνα Ιούλιο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την ανατολή του ηλίου η θερμοκρασία αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς επομένως και η εξάτμιση.

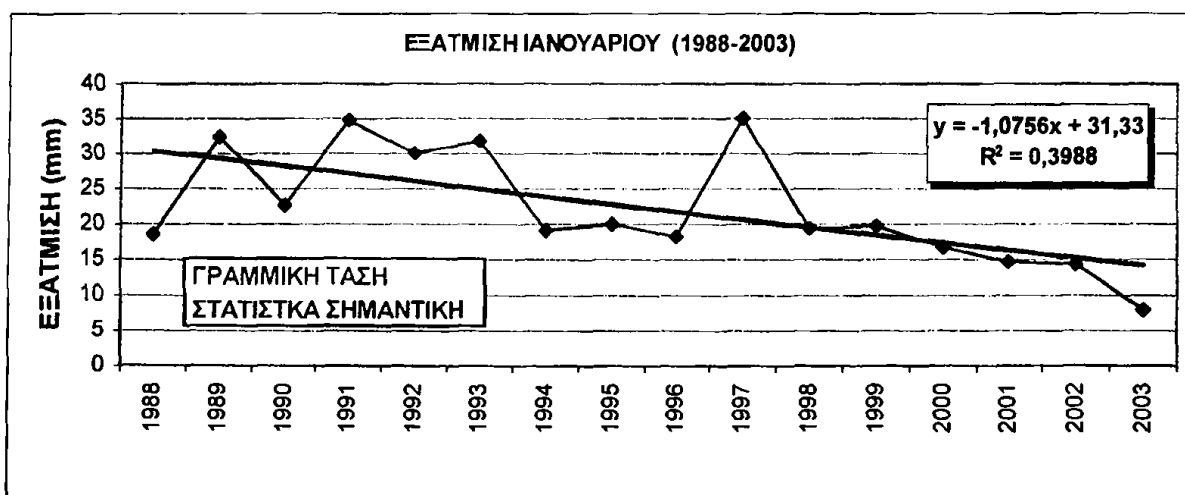


Σχήμα 4.9 Διαφορά των τιμών της εξάτμισης που αντιστοιχεί στο δίωρο (4:00-6:00) από το προηγούμενο δίωρο (2:00-4:00) και από το επόμενο (6:00-8:00) κατά την διάρκεια του έτους.

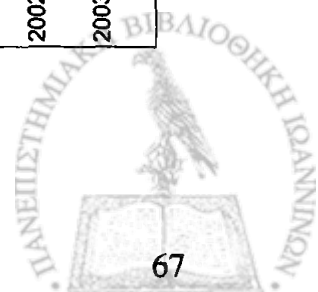
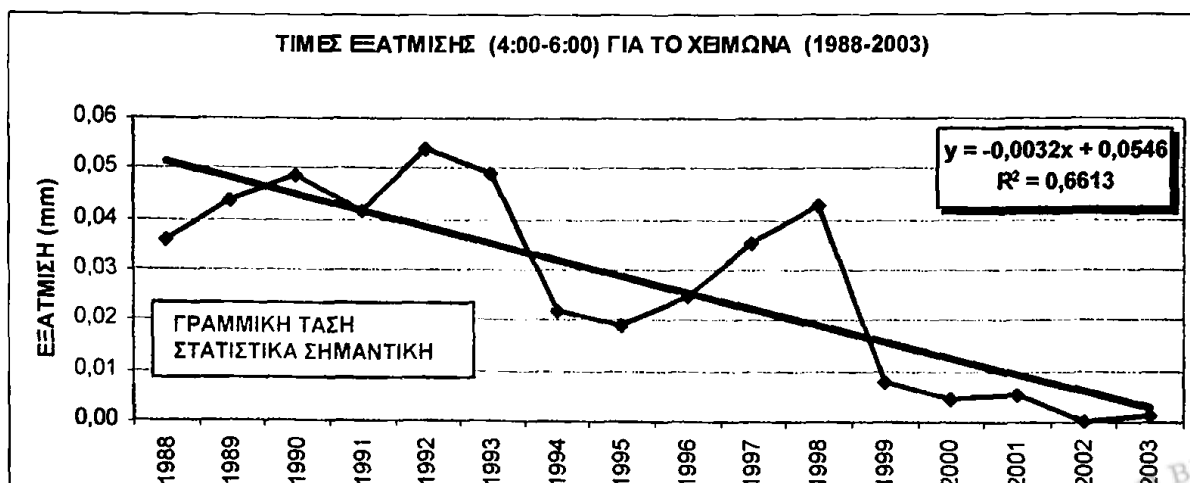


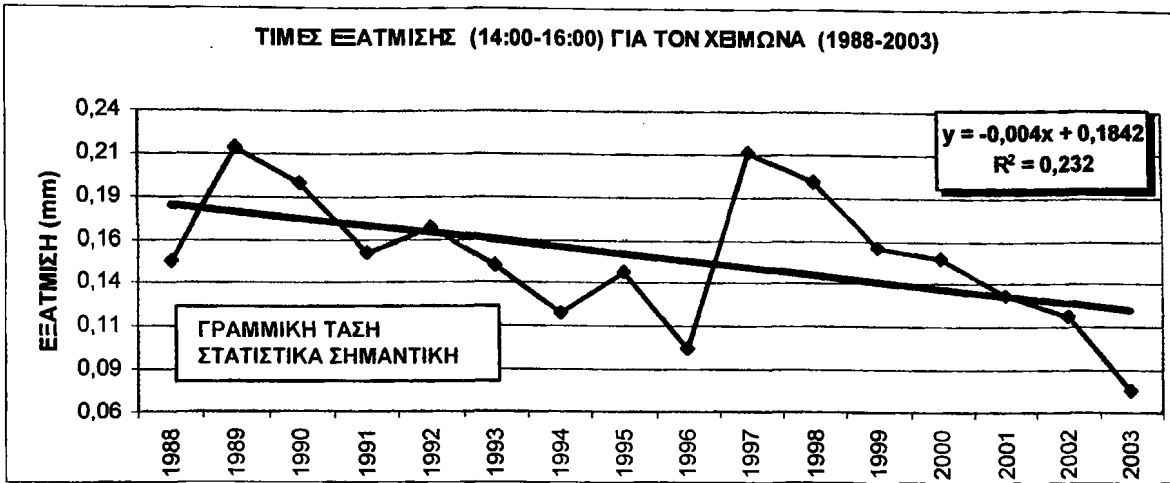
### 4.3 ΤΑΣΕΙΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

Για την μελέτη της σημαντικότητας της τάσης των χρονοσειρών της εξάτμισης, έγινε χρήση του στατιστικού τεστ Mann-Kendall. Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με την χρήση προγράμματος Fortran, ενώ το στατιστικό τεστ Mann - Kendall περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3. Για την κάθε χρονοσειρά, έγινε χάραξη της γραμμής τάσης ενώ πάνω στα διαγράμματα φαίνεται η εξίσωση της ευθείας και ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ . Αρχικά εξετάσαμε την πορεία της εξάτμισης το μήνα Ιανουάριο για την χρονική περίοδο 1988-2003. Η πραγματική πορεία της εξάτμισης φαίνεται στο σχήμα 4.10.α και πάνω σε αυτή έχει χαραχθεί η γραμμή τάσης της χρονοσειράς. Όπως παρατηρούμε από το υπόμνημα του διαγράμματος η τάση είναι αρνητική και το τεστ Mann - Kendall έδειξε ότι είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αντίστοιχα, στα σχήματα 4.10.β,γ παρουσιάζεται η πορεία της εξάτμισης τον χειμώνα για τα δίωρα 4:00-6:00 και 14:00-16:00 για την ίδια χρονική περίοδο. Οι γραμμές των τάσεων είναι αρνητικές και στατιστικά σημαντικές, πράγμα που έρχεται σε συμφωνία με την γραμμή τάσης και την πτωτική πορεία της εξάτμισης για την χρονοσειρά του χειμώνα συνολικά (σχήμα 4.10.δ).

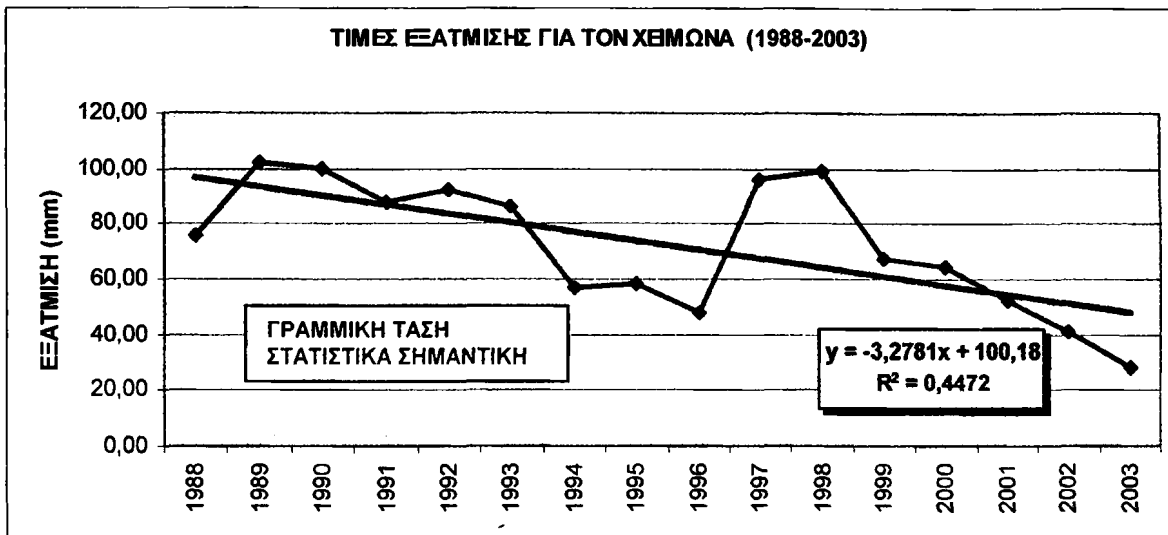


Σχήμα 4.10.α Πορεία της εξάτμισης τον μήνα Ιανουάριο για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.





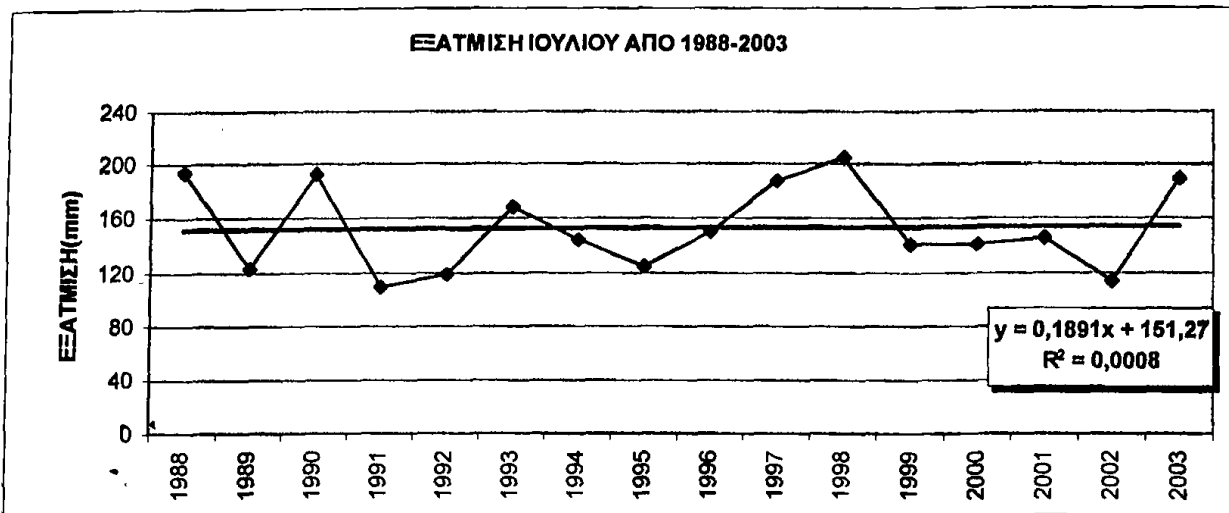
Σχήμα 4.10.β,γ Πορεία της εξάτμισης τα δίωρα 4:00-6:00 και 14:00-16:00 τον χειμώνα για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.



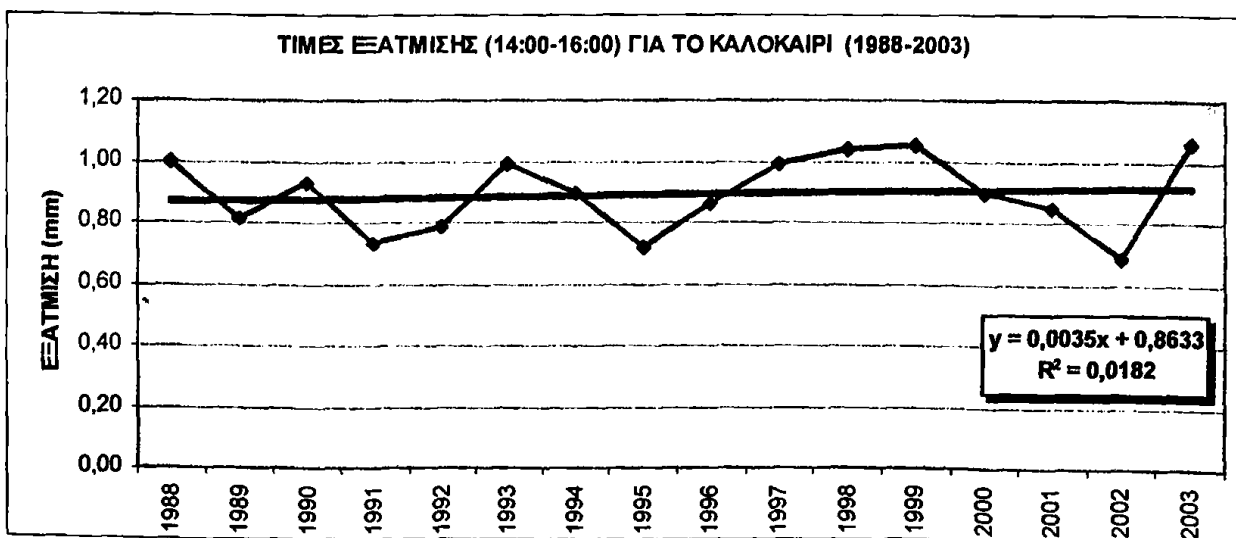
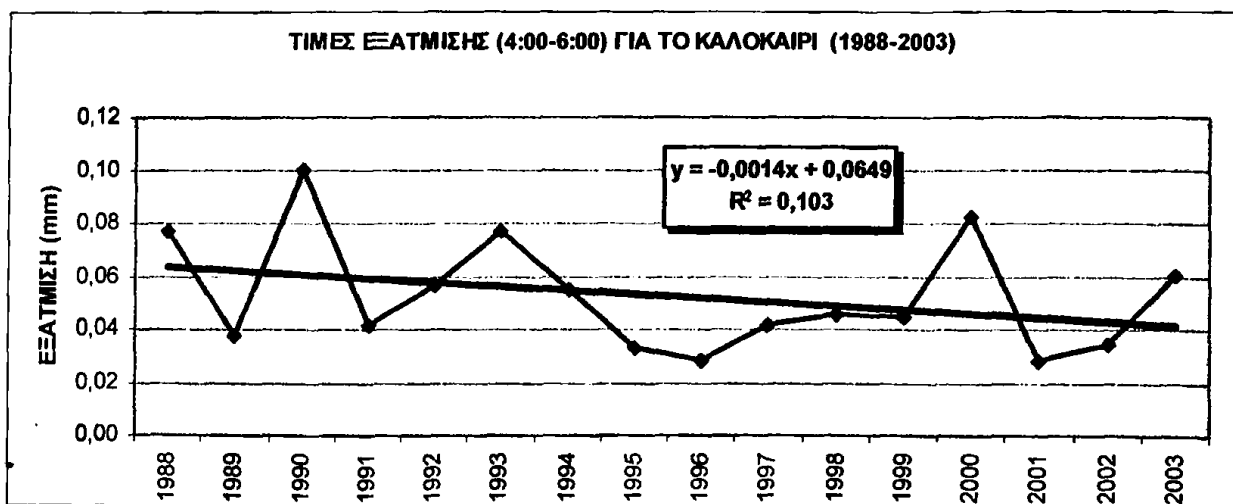
Σχήμα 4.10.δ Πορεία της εξάτμισης για την περιοχή των Ιωαννίνων (1988- 2003).

Με τον ίδιο τρόπο μελετήθηκε και η πορεία της εξάτμισης για τον μήνα Ιούλιο κατά την χρονική περίοδο 1988 - 2003. Κάνοντας χρήση του τεστ Mann - Kendall διαπιστώνουμε ότι η τάση της χρονοσειράς δεν είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, που σημαίνει ότι η εξάτμιση τον μήνα Ιούλιο την συγκεκριμένη χρονική περίοδο δεν παρουσίασε σημαντικές μεταβολές (κυμαινόταν μεταξύ 110 - 205mm). Η ίδια μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε και για την τάση των χρονοσειρών των δίωρων 4:00-6:00 και 14:00-16:00 το καλοκαίρι (σχήματα 4.11.β,γ) από το 1988-2003. Και σε αυτή την περίπτωση οι τάσεις δεν βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές, γεγονός που μας επιβεβαιώνει και την τάση της χρονοσειράς για το καλοκαίρι συνολικά (σχήμα 4.11.δ). Οι τάσεις των χρονοσειρών για τις υπόλοιπες εποχές παρουσιάζονται στο παράρτημα.

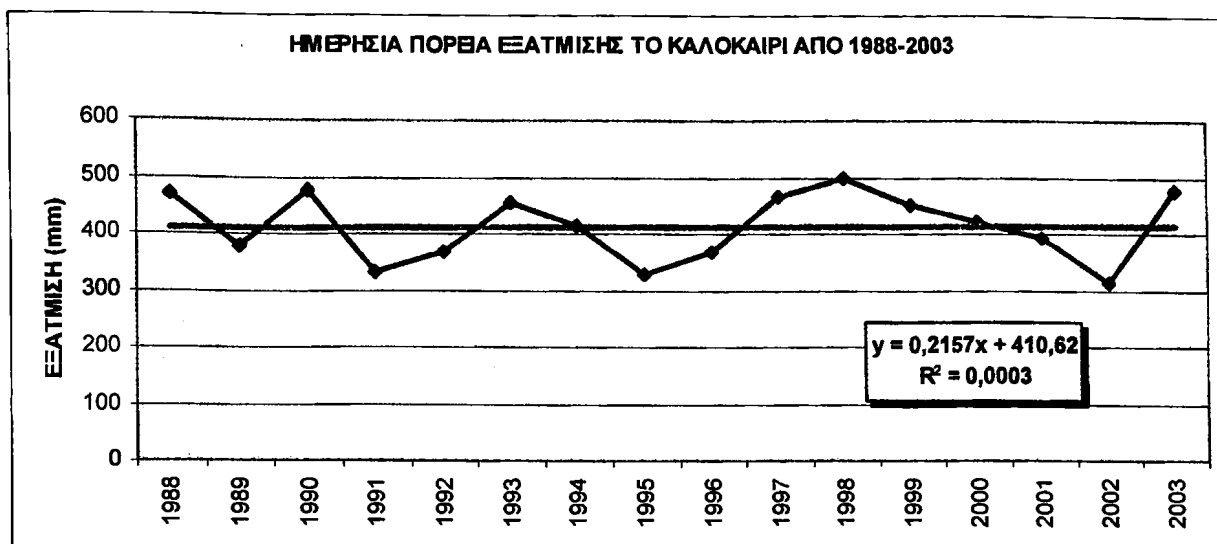




Σχήμα 4.11.α Ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης τον μήνα Ιούλιο για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.

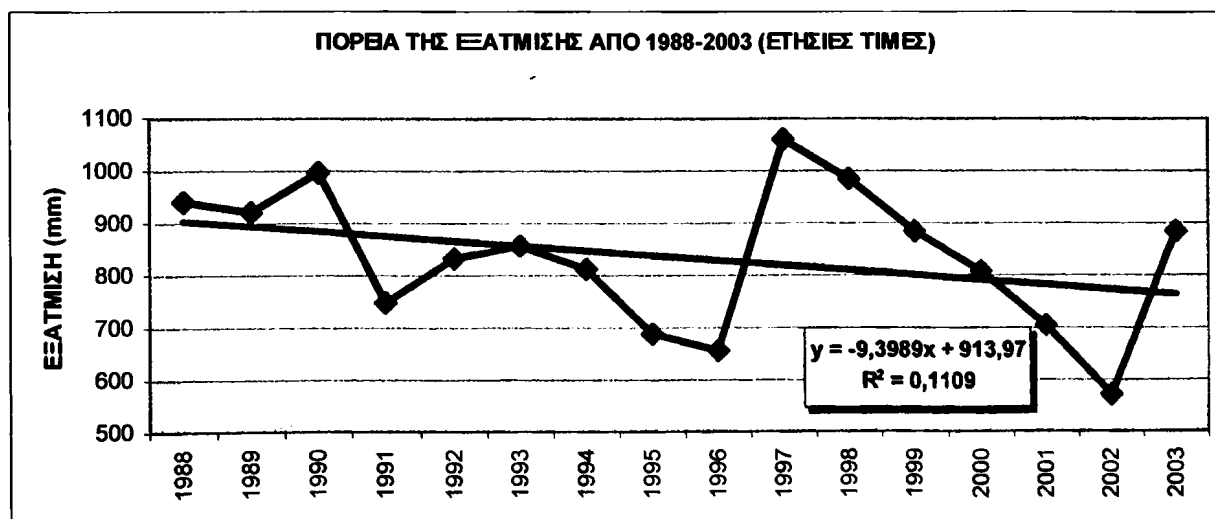


Σχήμα 4.11.β,γ Πορεία της εξάτμισης τα δίωρα 4:00 - 6:00 και 14:00 - 16:00 το καλοκαίρι για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.



Σχήμα 4.11.δ Πορεία της εξάτμισης για την περιοχή των Ιωαννίνων το καλοκαίρι από το 1988 έως το 2003.

Τέλος, με την βοήθεια του τεστ Mann Kendall, μελετήθηκε η τάση της χρονοσειράς της εξάτμισης συνολικά για όλα τα έτη (ετήσιες τιμές). Και σε αυτή την περίπτωση παρατηρήθηκε ότι η τάση δεν είναι στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, με την εξάτμιση να κυμαίνεται μεταξύ 572,10 και 1059,88mm και παρουσιάζοντας μέση ετήσια τιμή 834,08mm. Οι Livadas and Mahairas (1972), στην μελέτη τους για την εξάτμιση, στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και για τις χρονικές περιόδους 1930-1940 και 1946-1970, βρήκαν ότι η μέση ετήσια εξάτμιση είναι περίπου 911,60mm με την μέγιστη 1240,00mm (1962) και η ελάχιστη 610,30mm (1957).



Σχήμα 4.12 Πορεία της εξάτμισης για την περιοχή των Ιωαννίνων από το 1988 έως το 2003.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Στο παρόν κεφάλαιο, μελετώνται οι κατανομές συχνοτήτων, της ημερήσιας εξάτμισης αλλά και των από ημέρα σε μέρα μεταβολών της, για κάθε μήνα, εποχή, το έτος συνολικά, για την χρονική περίοδο από 1988 έως 2003. Η κατανομή συχνοτήτων, είναι ένα από τα πιο κοινά γραφικά εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή και την ταξινόμηση ενός συνόλου τιμών. Υπάρχει μια ευρεία ποικιλία τρόπων επεξήγησης της κατανομής συχνοτήτων, συμπεριλαμβανομένων των ιστογραμμάτων συχνοτήτων, σχετικών συχνοτήτων όπως και αυτών της αθροιστικής συχνότητας. Στην μελέτη που ακολουθεί χρησιμοποιήθηκαν τα ιστογράμματα συχνοτήτων (frequency histograms), τα οποία αποτελούν μια ακολουθία ορθογωνίων παραλληλογράμμων, όσα και οι τάξεις της κατανομής. Κάθε παραλληλόγραμμο έχει πλάτος και ύψος ίσα με το εύρος και την συχνότητα της αντίστοιχης τάξης. Το εύρος στην συγκεκριμένη περίπτωση, έχει καθοριστεί ειδικά για κάθε μήνα και εποχή. Για τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο) είναι 0,20mm διότι παρατηρούνται μεγάλες συχνότητες, για τις μικρές τιμές ημερήσιας εξάτμισης, ενώ για τους υπόλοιπους μήνες, από Μάρτιο έως και Οκτώβριο, το εύρος επιλέχθηκε να είναι 0,50mm. Η ίδια επιλογή έγινε και για τις εποχές με το εύρος το χειμώνα να είναι 0,20mm και τις υπόλοιπες εποχές 0,50mm. Παρακάτω, παρουσιάζονται οι θεωρητικές κατανομές οι οποίες προσεγγίζουν τις κατανομές που προέκυψαν για κάθε μήνα, εποχή και το έτος (Γκίρτης, 1976, Panofsky and Brier, 1968, Jammalamadaka and Taufer, 2003) ενώ η προσομοίωση με τις κατανομές που προέκυψαν, έγινε ποιοτικά, με την βοήθεια του μη παραμετρικού Quantile-Quantile (Q-Q) τεστ. Το κριτήριο (Q-Q), είναι μια γραφική παρουσίαση, η οποία έχει σκοπό να συγκρίνει μια σειρά δεδομένων με μια άλλη, στην προκειμένη περίπτωση τις κατανομές που έχουν προκύψει από τα δεδομένα μας, με τις θεωρητικές (Tzavelas et al, 2005). Η κατανομή συχνοτήτων πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του στατιστικού πακέτου SPSS version 13.

### α) Κανονική Κατανομή (Normal – Gaussian Distribution)

Η κανονική κατανομή είναι η σημαντικότερη κατανομή πιθανοτήτων παρουσιάζοντας τις περισσότερες εφαρμογές. Μελετήθηκε αρχικά από τον De Moivre (1667-1754) και τον Laplace (1749-1827). Το 1809 ο Gauss, μελετώντας τη θεωρία τυχαίων σφαλμάτων παρατήρησε ότι οι κατανομές των σφαλμάτων των μετρήσεων μπορούσαν να προσεγγιστούν ικανοποιητικά από μια συνεχή καμπύλη (κανονική). Ο γενικός τύπος για την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας στην κανονική κατανομή είναι της μορφής:

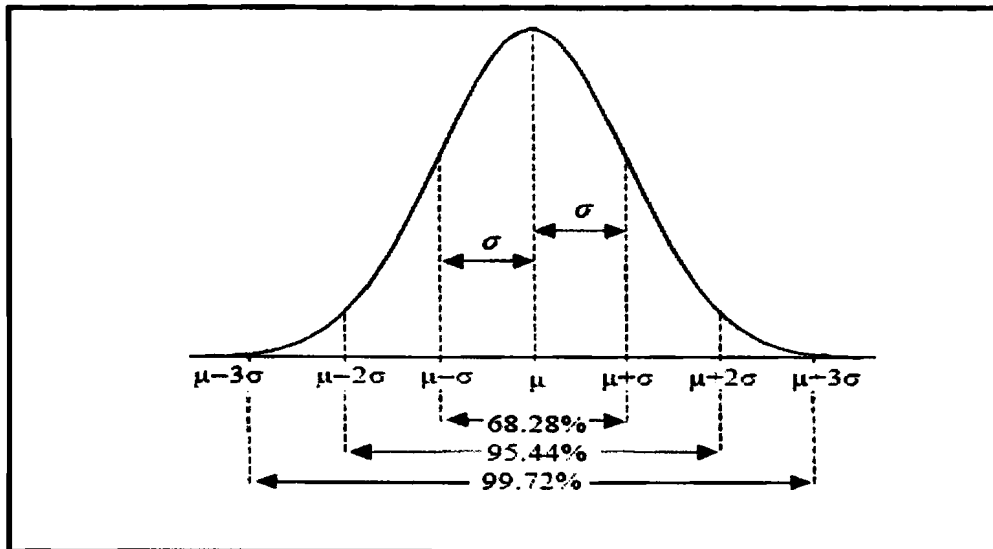
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad x \in \mathbf{R} \quad (\mu \in \mathbf{R}, \sigma > 0)$$

με παραμέτρους  $\mu, \sigma^2$ . Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες της κανονικής κατανομής είναι οι ακόλουθες :

- Είναι συμμετρική γύρω από την παράμετρο  $\mu$ .
- Το εμβαδόν του χωρίου που δημιουργείται από το γράφημα της  $f(x)$  και του οριζόντιου άξονα είναι ίσο με 1.

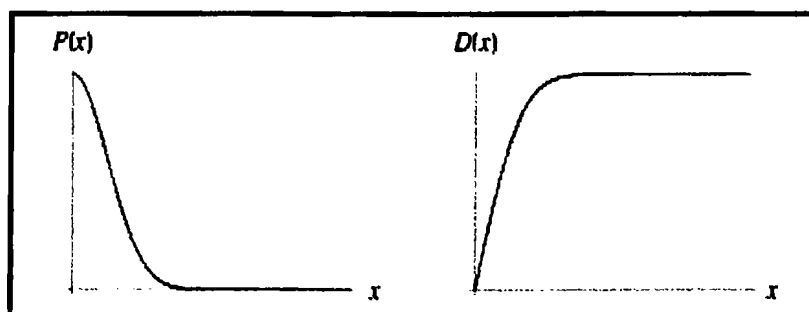


- Η κανονική κατανομή προσδιορίζεται πλήρως από τις παραμέτρους  $\mu$  και  $\sigma^2$ . Διαφορετικές τιμές της  $\mu$  μετατοπίζουν το γράφημα της  $f(x)$  στον άξονα  $x$  ενώ διαφορετικές τιμές της  $\sigma^2$  διαφοροποιούν την επιπεδότητα της  $f(x)$ .
- Όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί το 68% του εμβαδού μεταξύ της  $f(x)$  και του οριζόντιου άξονα, περικλείεται στο διάστημα  $(\mu-\sigma, \mu+\sigma)$ , το 95% στο διάστημα  $(\mu-2\sigma, \mu+2\sigma)$  και το 99,7% στο διάστημα  $(\mu-3\sigma, \mu+3\sigma)$ .



Η half normal κατανομή, είναι μια κανονική κατανομή με μέσο ίσο με το μηδέν και παράμετρο  $\theta$ , στην περιοχή  $x \in [0, \infty]$ . Ο γενικός τύπος της πιθανότητας  $P(x)$  και της κατανομής της συνάρτησης  $D(x)$  δίνονται παρακάτω:

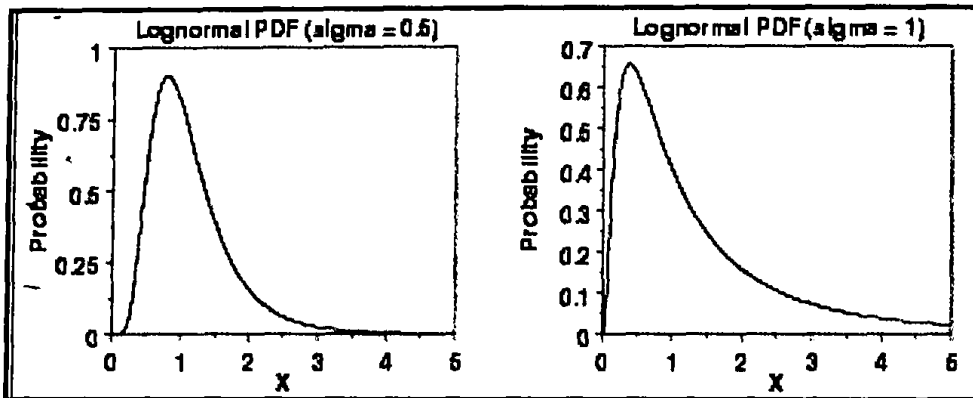
$$P(x) = \frac{2\theta}{\pi} e^{-\frac{x^2\theta^2}{\pi}} \quad D(x) = \text{erf} \left[ \frac{\theta x}{\sqrt{\pi}} \right]$$



### β) Λογαριθμοκανονική Κατανομή (Lognormal Distribution)

Η τυχαία μεταβλητή  $x$  λέγεται ότι ακολουθεί τη λογαριθμοκανονική κατανομή, αν ο φυσικός λογάριθμος  $\ln x = y$  αυτής ακολουθεί την κανονική κατανομή. Η γραφική παράσταση της κατανομής δίνεται στο παρακάτω σχήμα και ο γενικός τύπος της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας είναι :

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \mu)^2} & \text{όταν } x > 0, \sigma > 0 \\ 0 & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

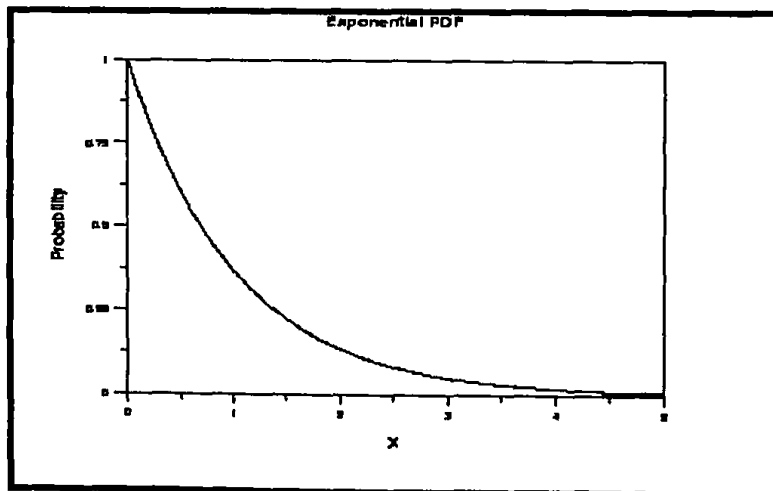


### γ) Εκθετική Κατανομή (Exponential Distribution)

Η τυχαία μεταβλητή  $x$ , λέγεται ότι ακολουθεί την εκθετική κατανομή με παράμετρο  $\theta$ , αν η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι η ακόλουθη:

$$f(x) = \theta e^{-\theta x} \text{ για } \theta > 0, x > 0$$

Το παρακάτω σχήμα, δίνει την γραφική παράσταση της εκθετικής κατανομής για  $\theta=1$ .



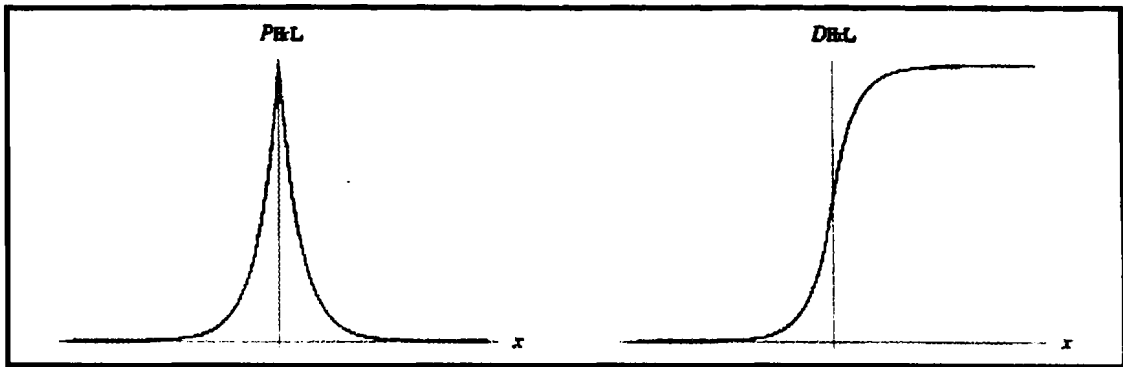


### δ) Κατανομή Laplace

Η τυχαία μεταβλητή  $x$ , λέγεται ότι ακολουθεί την κατανομή Laplace ή τη διπλή εκθετική κατανομή, αν η συνάρτηση πιθανότητας  $P(x)$  και η συνάρτηση της κατανομής  $D(x)$  έχουν την έκφραση:

$$P(x) = \frac{1}{2\theta} e^{-\frac{|x-\mu|}{\theta}} \quad -\infty < x < \infty \quad D(x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{sgn}(x-\mu)(1 - e^{-|x-\mu|/\theta}) \right]$$

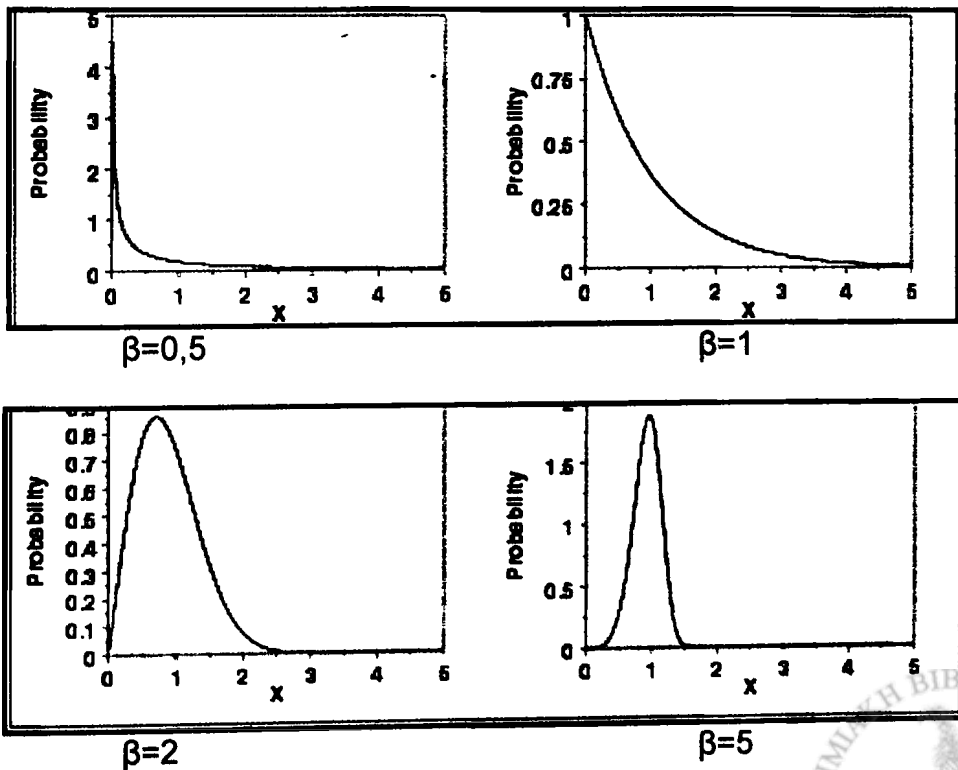
όπου  $\mu$  και  $\theta$ , θετικές σταθερές.



### ε) Κατανομή Weibull

Η κατανομή Weibull, έχει την εξής συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας:

$$f(x) = \alpha \beta x^{\beta-1} e^{-\alpha x^\beta} \quad x > 0 \quad \text{όπου } \alpha \text{ και } \beta \text{ θετικές σταθερές.}$$



### στ) Κατανομή Γάμμα (Gamma)

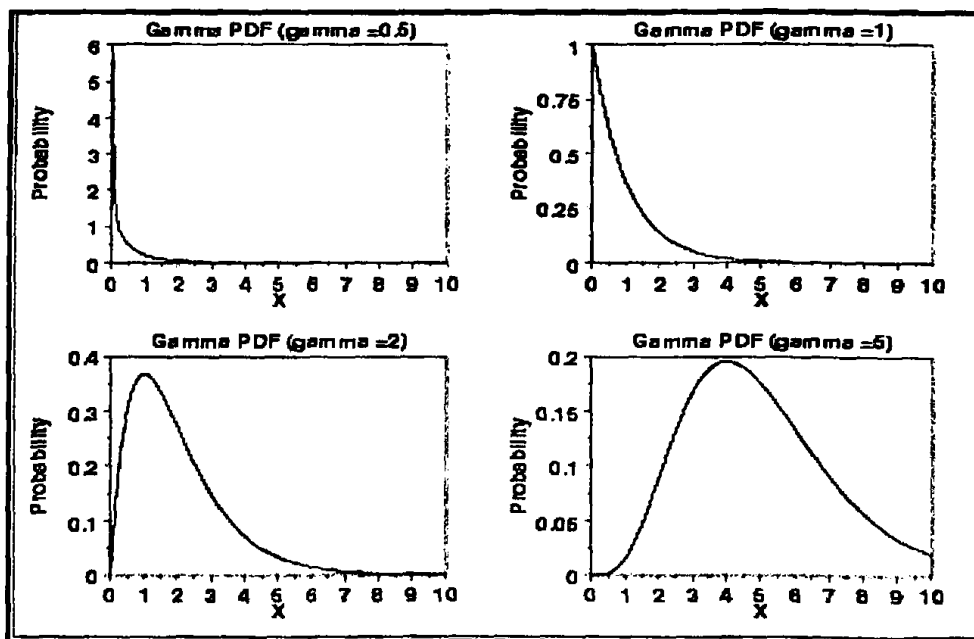
Ο γενικός τύπος της συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας για την κατανομή γάμμα είναι:

$$f(x) = \frac{\left(\frac{x-\mu}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\beta}\right)}{\beta \Gamma(\gamma)} \quad x \geq 0, \gamma, \beta > 0$$

όπου  $\gamma$  είναι παράμετρος μορφής,  $\mu$  είναι παράμετρος θέσης,  $\beta$  είναι παράμετρος κλίμακας και  $\Gamma$  είναι η συνάρτηση γάμμα η οποία έχει τη μορφή:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} t^{\alpha-1} e^{-t} dt$$

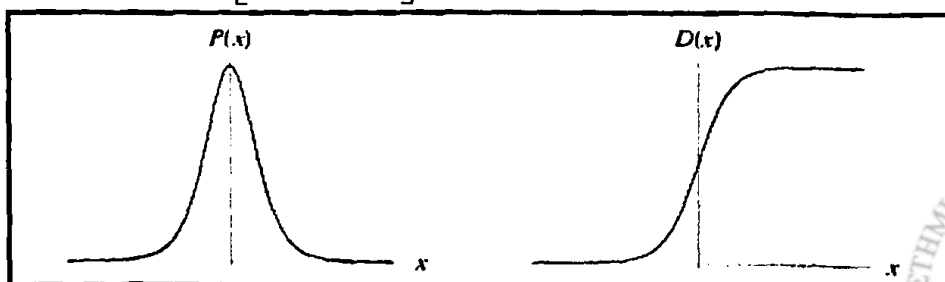
παρακάτω δίνονται τα γραφήματα της κατανομής, για διάφορα  $\gamma$ .



### ζ) Κατανομή Logistic

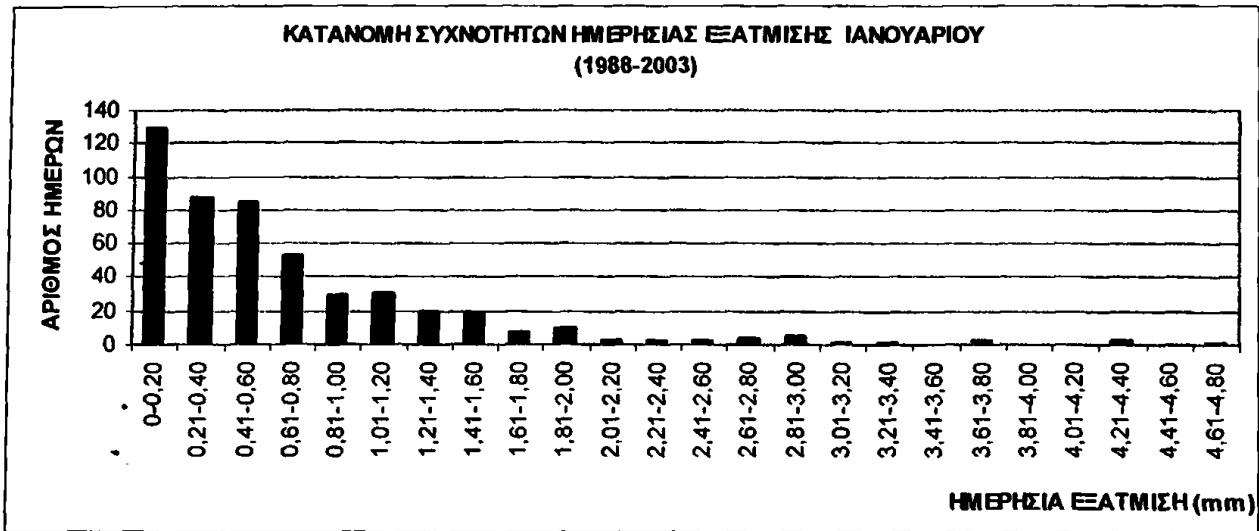
Η συνεχής κατανομή Logistic, με παραμέτρους  $m$  και  $b > 0$ , έχει γενικό τύπο συνάρτησης πιθανότητας  $P(x)$  και συνάρτηση κατανομής  $D(x)$ :

$$P(x) = \frac{e^{-(x-m)/b}}{b \left[ 1 + e^{-(x-m)/b} \right]^2} \quad D(x) = \frac{1}{1 + e^{-(x-m)/b}}$$

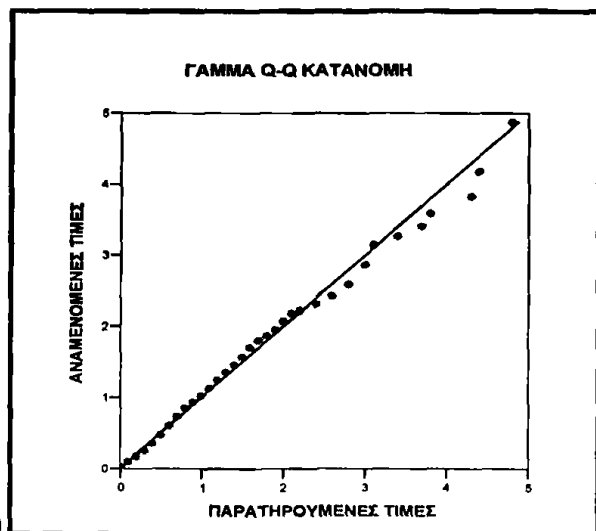
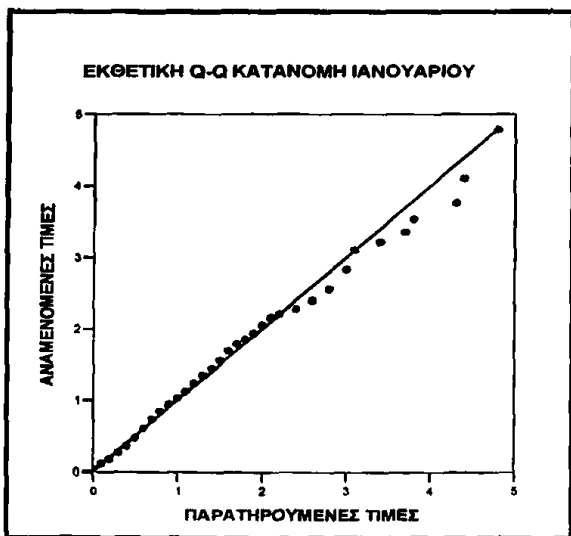


## 5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΜΗΝΑ

Για τον μήνα Ιανουάριο, σχήμα 5.1.1, φαίνεται ότι η κατανομή προσομοιάζει την εκθετική και την γάμμα κατανομή σε πολύ καλό βαθμό, ειδικά για το διάστημα από 0 έως 2,20mm, σχήματα 5.1.1.α,β. Οι μέγιστες τιμές βρίσκονται συγκεντρωμένες στις μικρές τιμές ημερήσιας εξάτμισης, με το 90% των περιπτώσεων να εμφανίζεται σε τιμές μικρότερες του 1,60mm, ενώ το 26% των περιπτώσεων εντοπίζεται μεταξύ 0-0,20mm. Την εκθετική και την γάμμα κατανομή φαίνεται να προσεγγίζει και ο μήνας Φεβρουάριος, σχήμα 5.1.2, με τις μέγιστες συχνότητες να εμφανίζονται, όπως και στην περίπτωση του Ιανουαρίου, στις μικρές τιμές ημερήσιας εξάτμισης. Το 90% των περιπτώσεων, εμφανίζεται σε τιμές μικρότερες του 2,40mm, ενώ αξιοσημείωτο είναι ότι το 17% των περιπτώσεων βρίσκεται στο διάστημα μεταξύ 0-0,20mm. Ο μήνας Μάρτιος, σχήμα 5.1.3, προσεγγίζει και αυτός την γάμμα κατανομή σε πολύ καλό επίπεδο. Οι τιμές της ημερήσιας εξάτμισης κυμαίνονται μεταξύ 0-7,80mm, με μέση ημερήσια τιμή 1,73mm. Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται σε τιμές μικρότερες του 3mm, ενώ η μέγιστη συχνότητα, βρίσκεται μεταξύ 1,01-1,50mm, με ποσοστό 24% περίπου. Ο μήνας Απρίλιος, σχήμα 5.1.4, προσεγγίζει τις κατανομές γάμμα, laplace και την κανονική σε καλό επίπεδο. Οι τιμές κυμαίνονται από 0-8,30mm, παρουσιάζοντας μέση ημερήσια τιμή εξάτμισης 1,91mm. Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται σε τιμές μικρότερες του 3,50mm, ενώ το 17,5% των περιπτώσεων εντοπίζεται στο διάστημα από 1,01-1,50mm. Τον μήνα Μάιο, σχήμα 5.1.5, η κατανομή μοιάζει με τις κατανομές γάμμα, λογαριθμοκανονική, κανονική και weibull σε πολύ καλό βαθμό, με τις τιμές ημερήσιας εξάτμισης να κυμαίνονται μεταξύ 0,10-10,20mm και τη μέση ημερήσια εξάτμιση 2,72mm. Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται ανάμεσα στο 0,51-5mm. Ο μήνας Ιούνιος, σχήμα 5.1.6, προσεγγίζει σε πολύ καλό βαθμό την κανονική κατανομή, αλλά και τις κατανομές γάμμα, laplace, λογαριθμοκανονική και weibull, με τις τιμές ημερήσιας εξάτμισης να κυμαίνονται από 0,60 έως 8,20mm και τη μέση τιμή 3,98mm (συμπίπτουν η μέση τιμή, η διάμεσος και η επικρατούσα τιμή). Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται μεταξύ 2-7mm. Ο μήνας Ιούλιος σχήμα 5.1.7 προσομοιάζει σε πολύ καλό βαθμό την weibull σε όλο το εύρος τιμών όπως και την κανονική κατανομή αλλά και τις laplace με την logistic στο διάστημα από 0,50-7,50mm, σχήματα 5.1.7.α,β,γ,δ. Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται μεταξύ 2 και 8mm με τις μεγαλύτερες τιμές εξάτμισης να εμφανίζονται μεταξύ 5-6mm. Ίδια εικόνα παρουσιάζει και ο Αύγουστος, σχήμα 5.1.8, με το 90% των περιπτώσεων να κυμαίνεται μεταξύ 2 και 8mm και να προσομοιάζει με τις κατανομές γάμμα, logistic, weibull και την κανονική σε καλό επίπεδο. Με τις κατανομές γάμμα, laplace και την κανονική, φαίνεται να μοιάζει και ο μήνας Σεπτέμβριος, σχήμα 5.1.9, με τις τιμές να κυμαίνονται μεταξύ 0 και 6,70mm και το 90% των περιπτώσεων να βρίσκεται στο διάστημα από 1,50-4,50mm. Ο μήνας Οκτώβριος έχει περίπου την ίδια κατανομή με αυτή του Μαρτίου (γάμμα). Οι τιμές ημερήσιας εξάτμισης κυμαίνονται από 0 έως 7,20mm με μέση τιμή 1,66mm και το 90% των περιπτώσεων να εμφανίζεται μεταξύ 0-3mm. Ο Νοέμβριος παρουσιάζει πολύ καλή προσέγγιση με τη γάμμα κατανομή (σε ολόκληρο το εύρος τιμών), ενώ για το διάστημα από 0 έως 2,50mm, η κατανομή προσομοιάζει την half normal. Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται μεταξύ 0-1,60mm. Ο Δεκέμβριος παρουσιάζει τις ίδιες κατανομές με αυτές του Ιανουαρίου (εκθετική και γάμμα), με τις μέγιστες συχνότητες να εμφανίζονται και σε αυτή την περίπτωση στις μικρές τιμές εξάτμισης (42% των τιμών βρίσκεται στο διάστημα 0-0,20mm) και το 90% των περιπτώσεων εντοπίζεται μεταξύ 0-1,30mm.



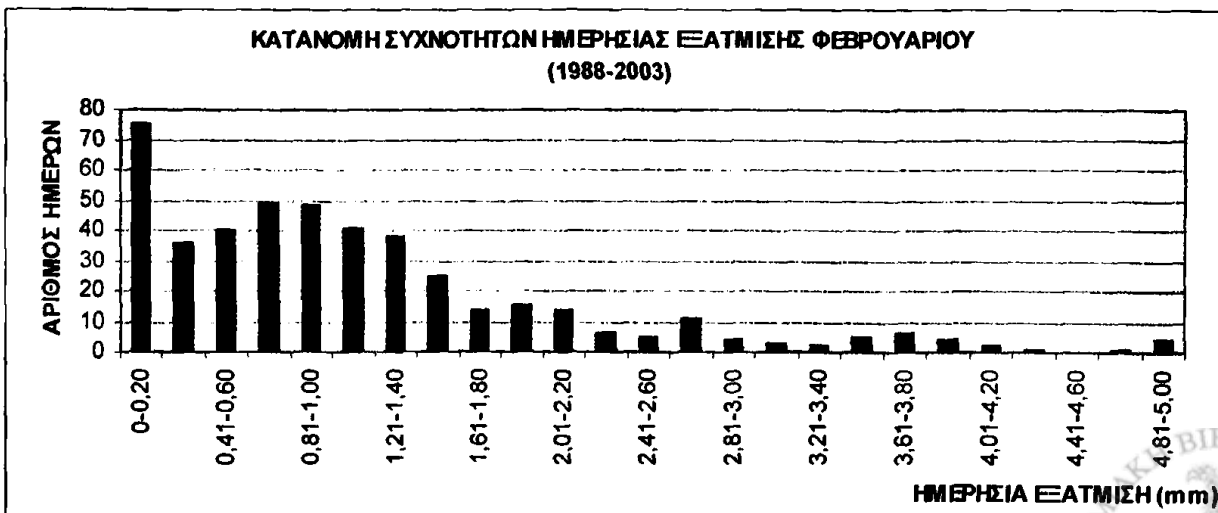
Σχήμα 5.1.1 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Ιανουάριο 1988-2003.



(α)

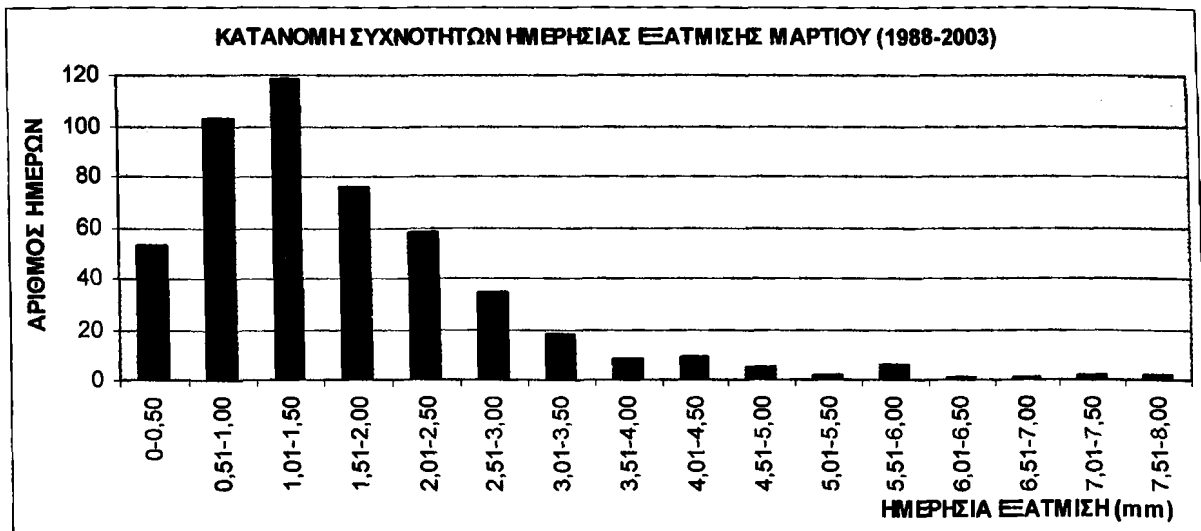
(β)

Σχήμα 5.1.1.α,β Προσομοίωση της κατανομής συχνοτήτων τον Ιανουάριο με την εκθετική και τη γάμμα κατανομή, αντίστοιχα.

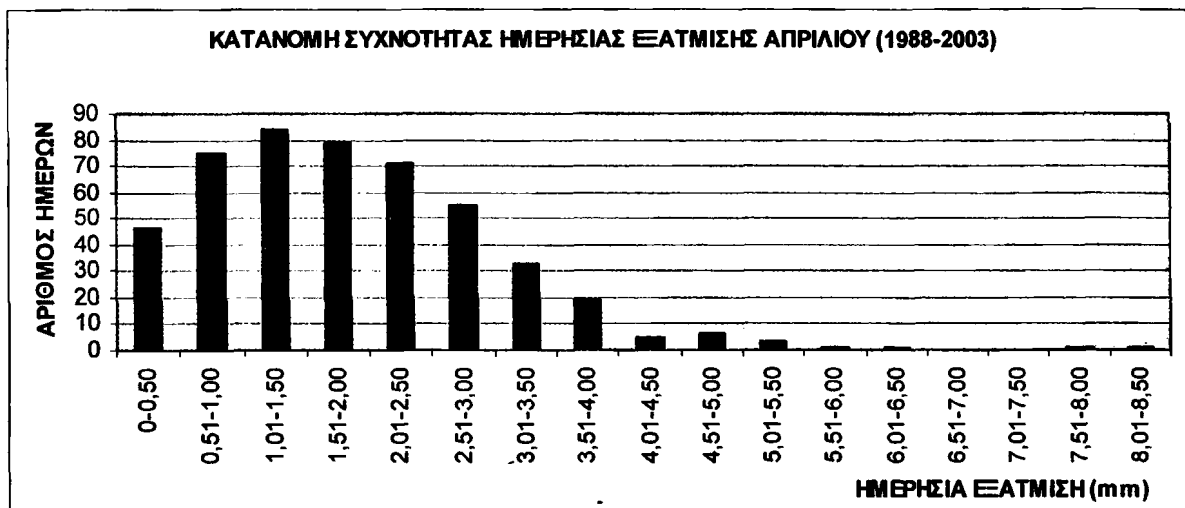


Σχήμα 5.1.2 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Φεβρουάριο 1988-2003.

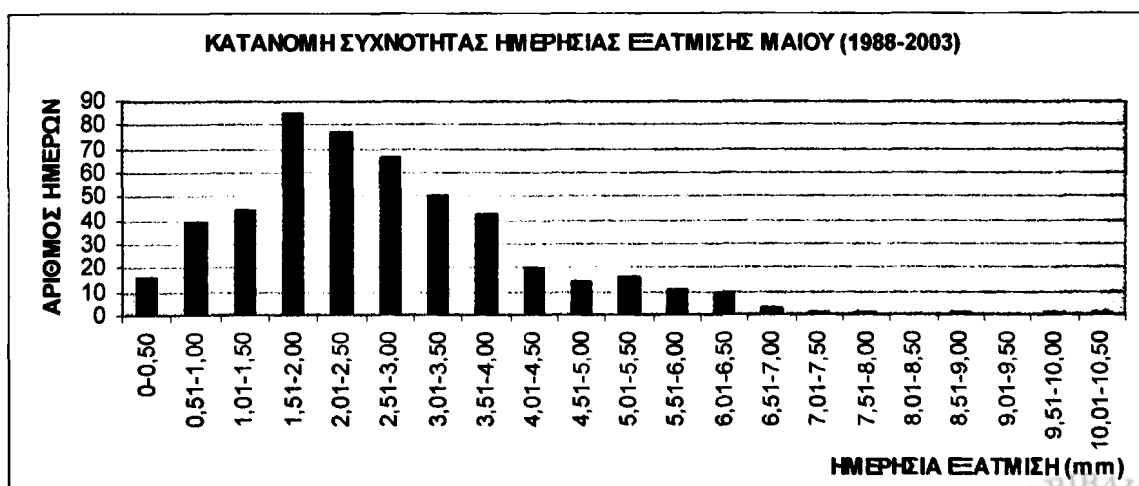




Σχήμα 5.1.3 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Μάρτιο 1988-2003.

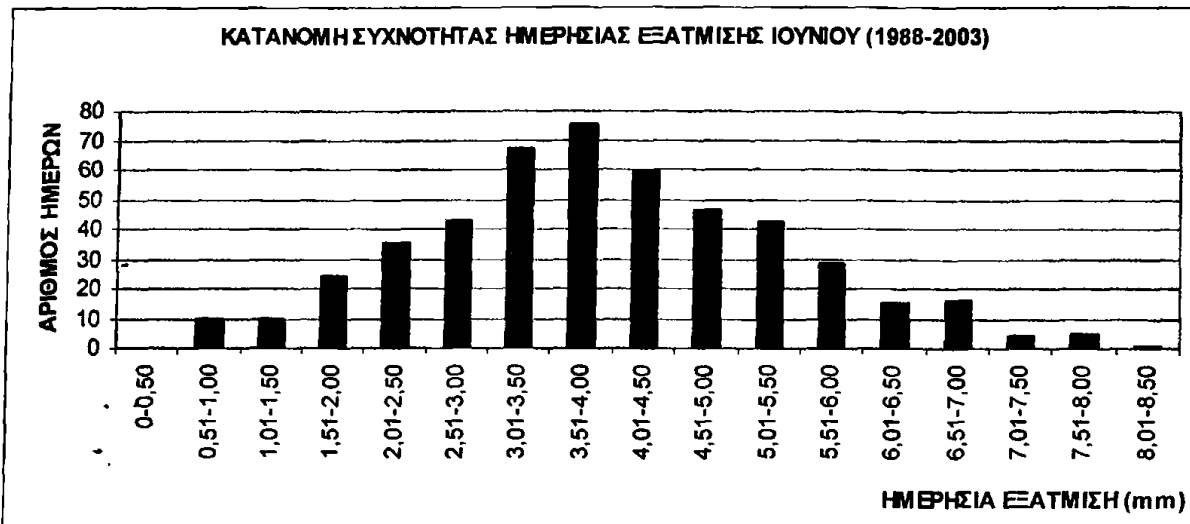


Σχήμα 5.1.4 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Απρίλιο 1988-2003.

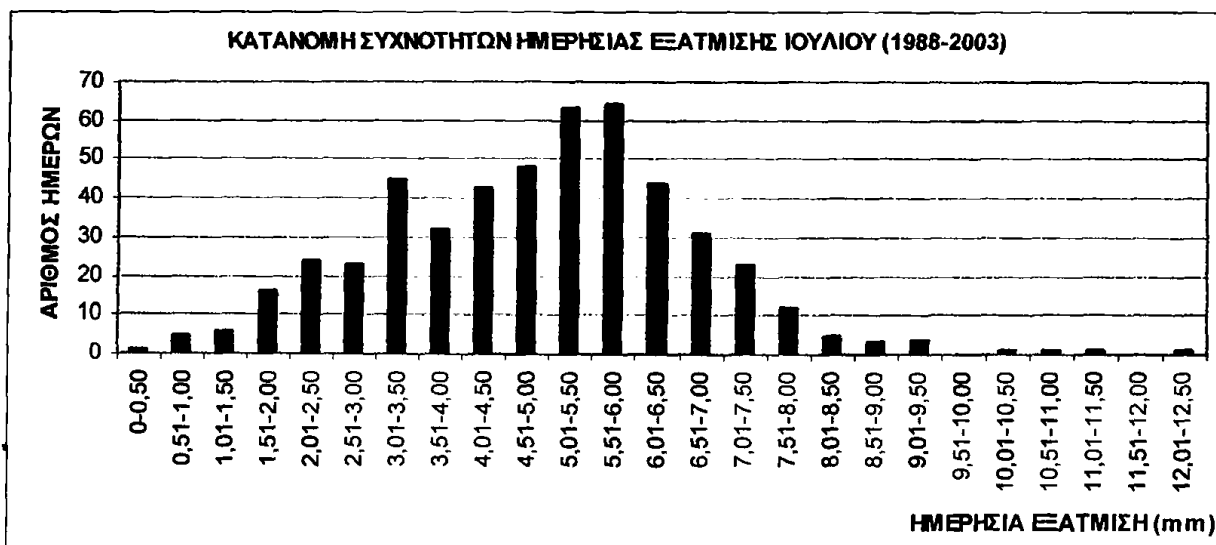


Σχήμα 5.1.5 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Μάιο 1988-2003.

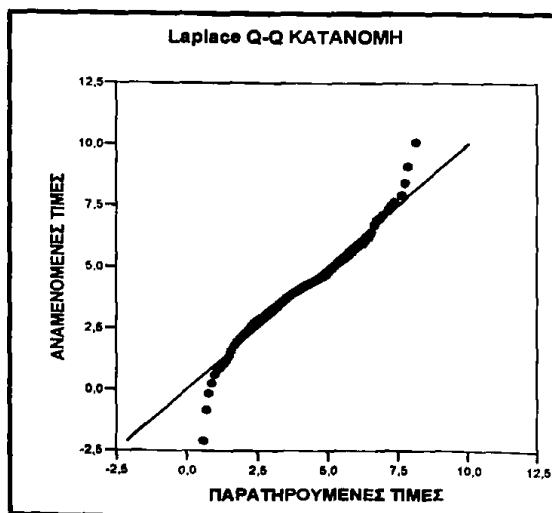




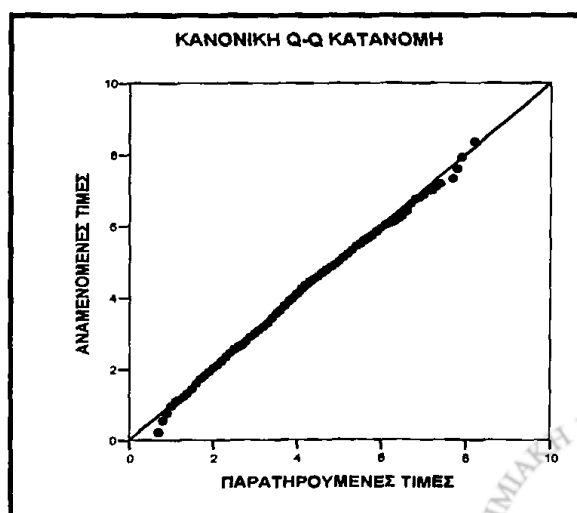
Σχήμα 5.1.6 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Ιούνιο 1988-2003.



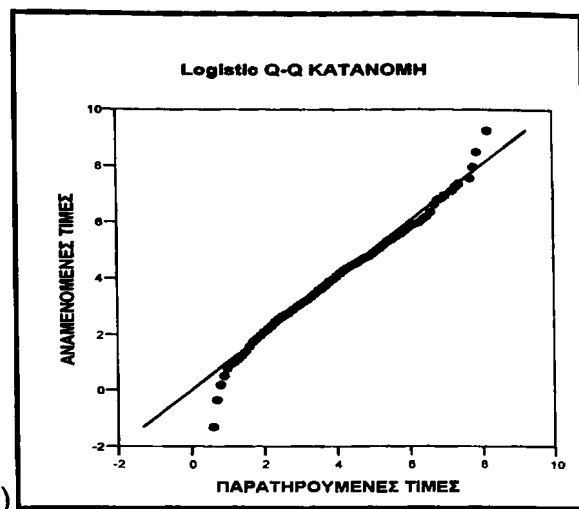
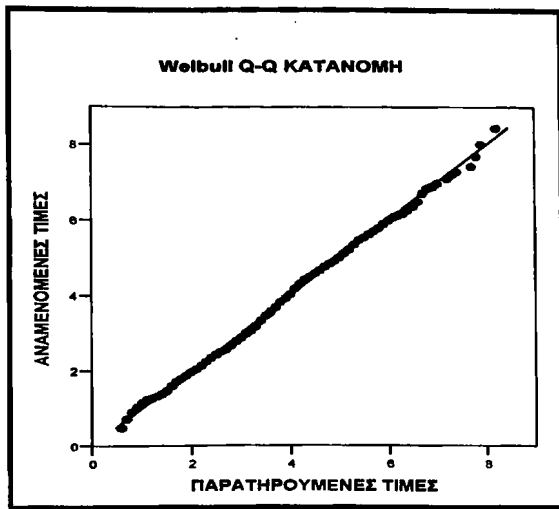
Σχήμα 5.1.7 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Ιούλιο 1988-2003.



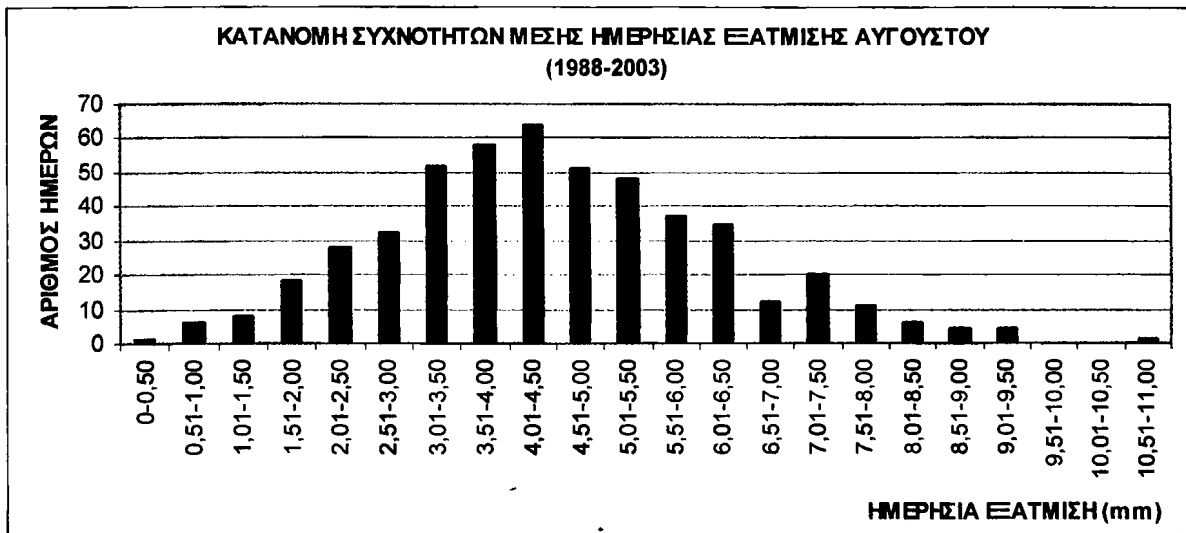
(α)



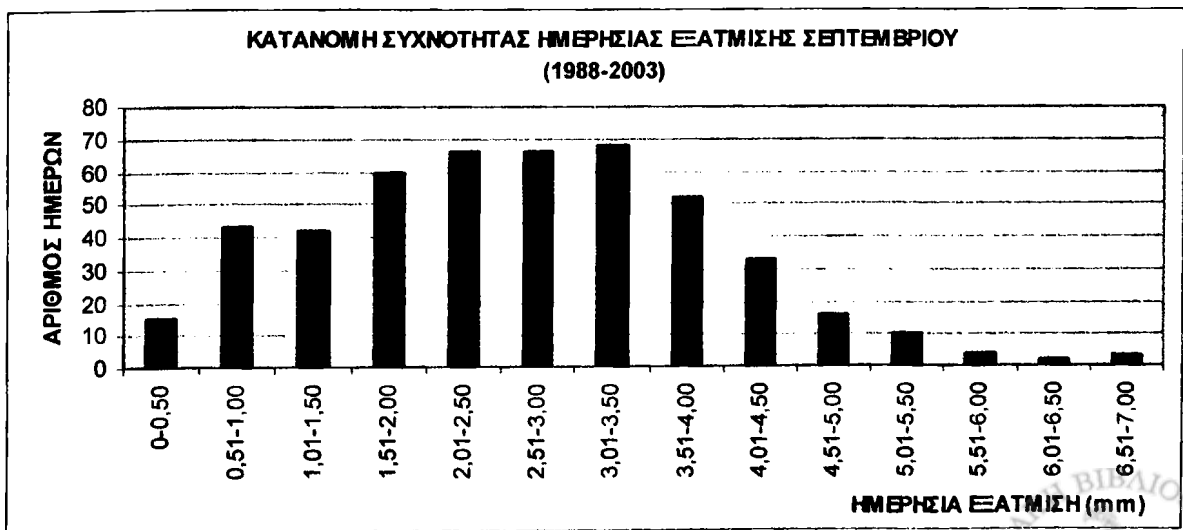
(β)



Σχήμα 5.1.7.α,β,γ,δ Προσομοίωση της κατανομής συχνοτήτων του Ιουλίου με τη Laplace, την κανονική, τη Weibull και τη logistic κατανομή, αντίστοιχα.

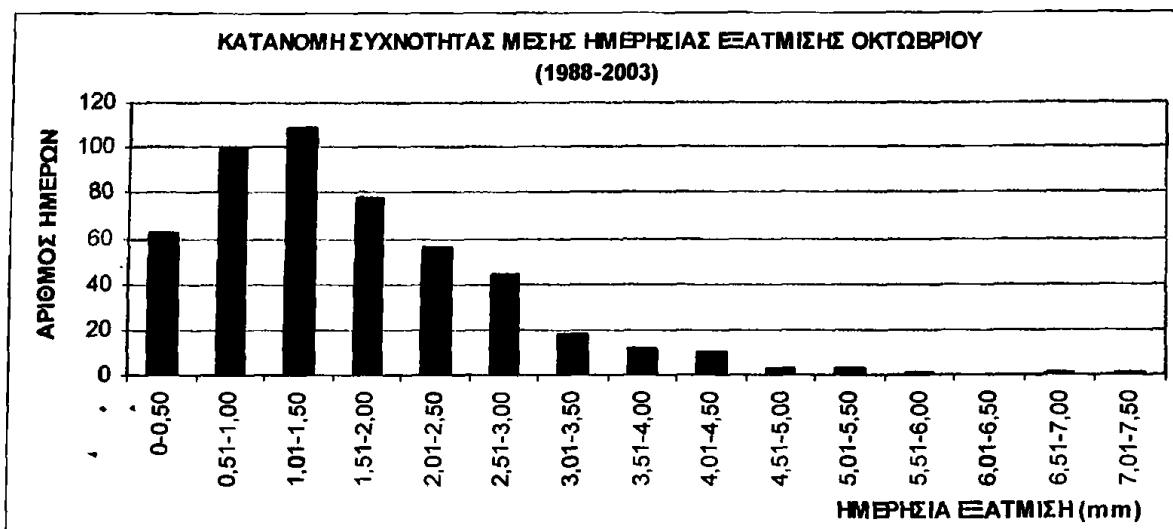


Σχήμα 5.1.8 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Αύγουστο 1988-2003.



Σχήμα 5.1.9 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Σεπτέμβριο 1988-2003.

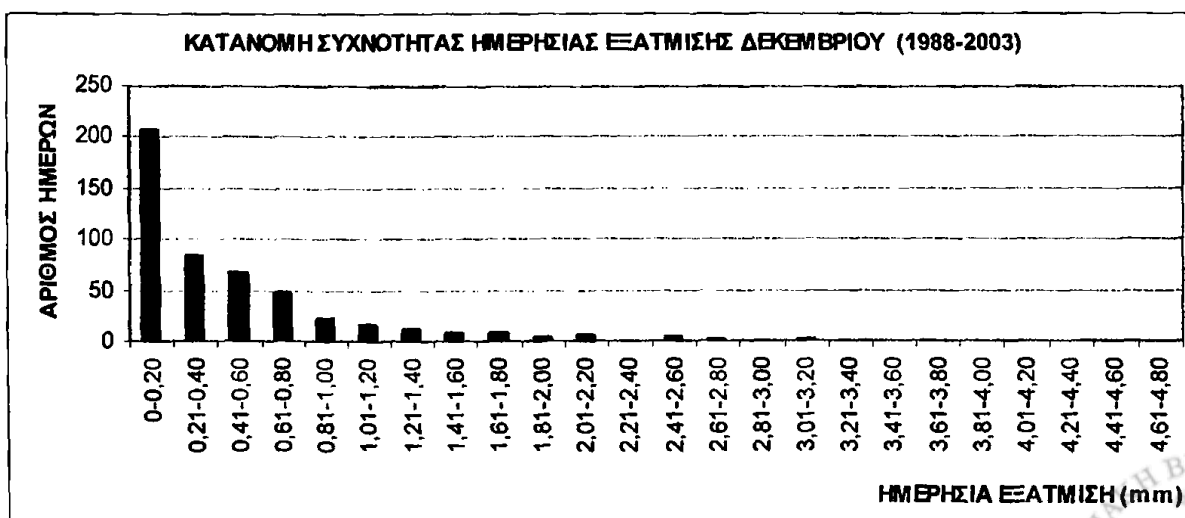




Σχήμα 5.1.10 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Οκτώβριο 1988-2003.



Σχήμα 5.1.11 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Νοέμβριο 1988-2003.

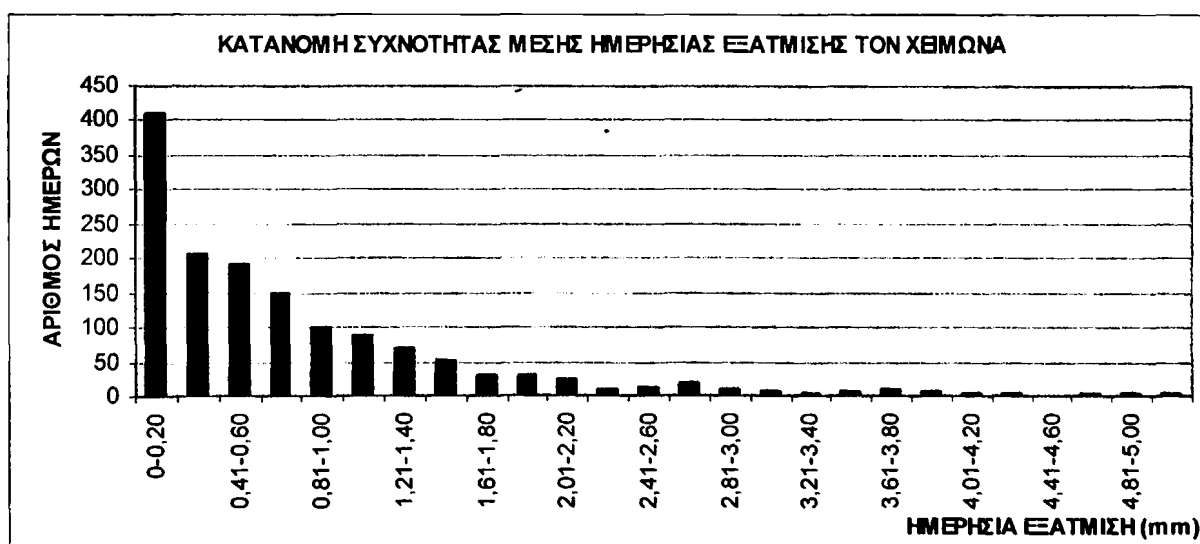


Σχήμα 5.1.12 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον μήνα Δεκέμβριο 1988-2003.

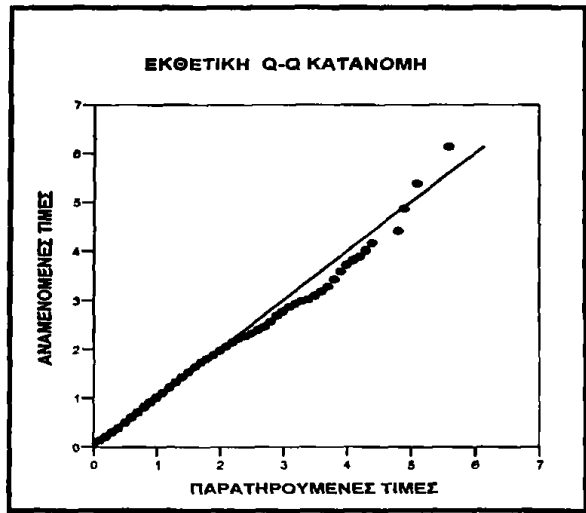
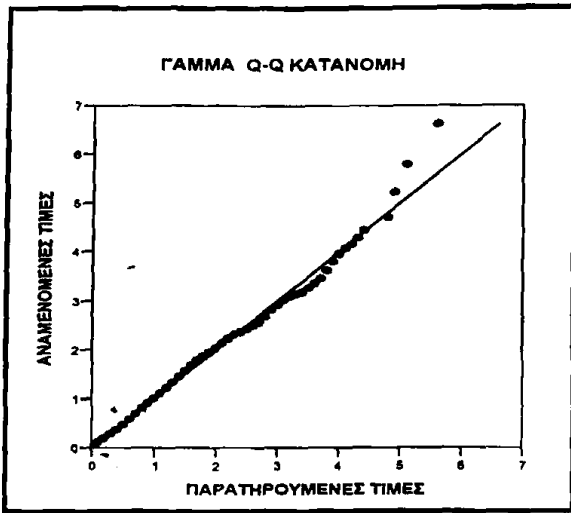


## 5.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΠΟΧΗ

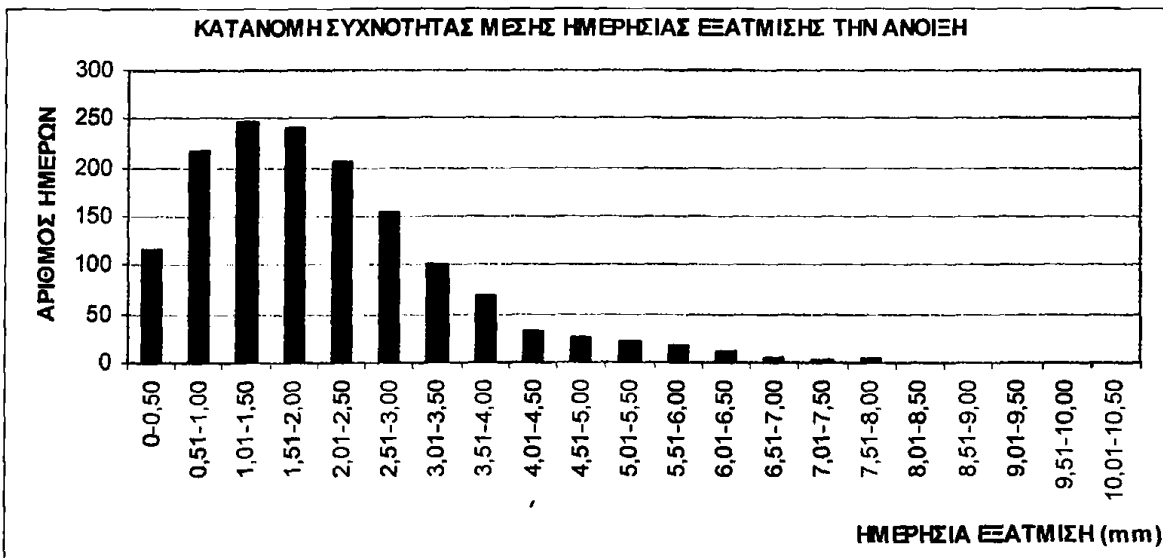
Η ίδια μελέτη, όπως και στην περίπτωση της κατανομής συχνοτήτων των μηνών, εφαρμόστηκε και για κάθε εποχή του έτους, για την χρονική περίοδο από 1988 έως 2003. Η κατανομή συχνοτήτων του χειμώνα, σχήμα 5.2.1, προσομοιάζει τις κατανομές του Δεκεμβρίου και του Ιανουαρίου. Ακολουθεί την γάμμα κατανομή σε πολύ καλό βαθμό, στο διάστημα από 0 έως 3,50mm, ενώ την εκθετική κατανομή για το διάστημα από 0 έως 2,50mm, σχήματα 5.2.1.α,β. Οι μεγάλες συχνότητες εμφανίζονται στις μικρές τιμές ημερήσιας εξάτμισης και ιδιαίτερα στο διάστημα από 0-0,20mm, με ποσοστό περίπου 29% ενώ το 90% των περιπτώσεων βρίσκεται μεταξύ 0 και 1,80mm. Την άνοιξη, σχήμα 5.2.2, η κατανομή μοιάζει με την κατανομή του Μαρτίου και Απριλίου (γάμμα κατανομή), όπως ήταν αναμενόμενο αλλά και με αυτή του Οκτωβρίου. Οι μεγάλες συχνότητες εμφανίζονται μεταξύ 1,01-1,50mm σε ποσοστό περίπου 17%, ενώ το 90% των περιπτώσεων είναι μεταξύ 0 και 3,90mm. Το καλοκαίρι, σχήμα 5.2.3, η κατανομή προσεγγίζει την κατανομή weibull σε σχεδόν όλο το εύρος τιμών, ενώ ικανοποιητική προσέγγιση εμφανίζει και με τις κατανομές γάμμα, laplace, logistic και την κανονική, σχήματα 5.2.3.α,β,γ,δ,ε. Οι μέγιστες συχνότητες εμφανίζονται μεταξύ 3,01 έως 4,50mm σε ποσοστό 33%, ενώ το 90% εντοπίζεται μεταξύ 2 και 7,70mm. Η κατανομή του φθινοπώρου, σχήμα 5.2.4, μοιάζει με αυτή του χειμώνα με την διαφορά ότι είναι πιο ομαλή. Η κατανομή η οποία προσομοιάζει σε πολύ καλό βαθμό είναι η half normal κατανομή, ενώ ικανοποιητικός είναι και ο βαθμός προσέγγισης με τη γάμμα κατανομή. Οι τιμές κυμαίνονται από 0-7,50mm με τις μέγιστες συχνότητες να εμφανίζονται στο διάστημα από 0-0,50mm με ποσοστό περίπου 20%, ενώ το 90% των περιπτώσεων βρίσκεται μεταξύ 0 και 3,60mm.



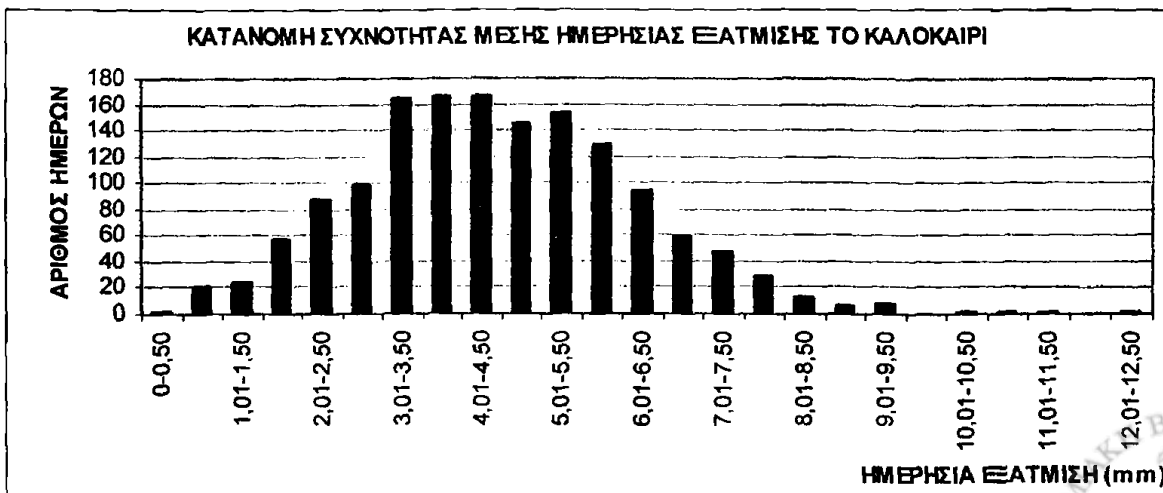
Σχήμα 5.2.1 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για τον Χειμώνα 1988-2003.



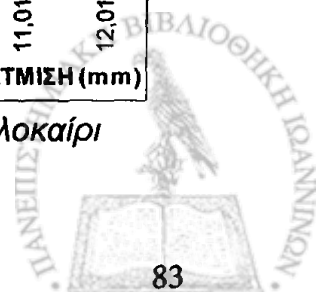
Σχήμα 5.2.1.α,β Προσομοίωση της κατανομής συχνοτήτων του χειμώνα με την γάμμα και την εκθετική κατανομή, αντίστοιχα.

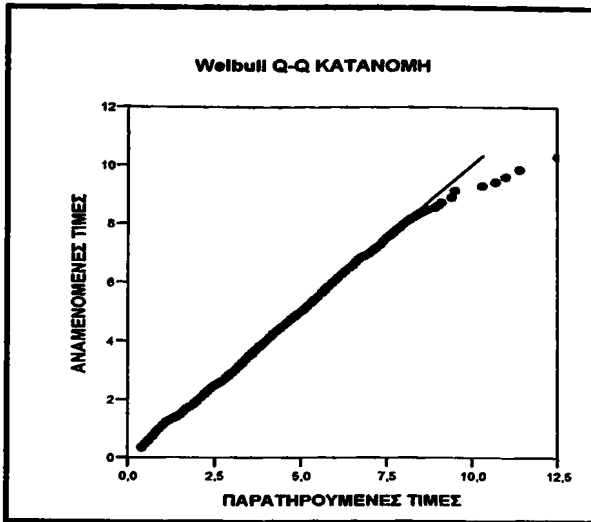


Σχήμα 5.2.2 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για την Άνοιξη 1988-2003.

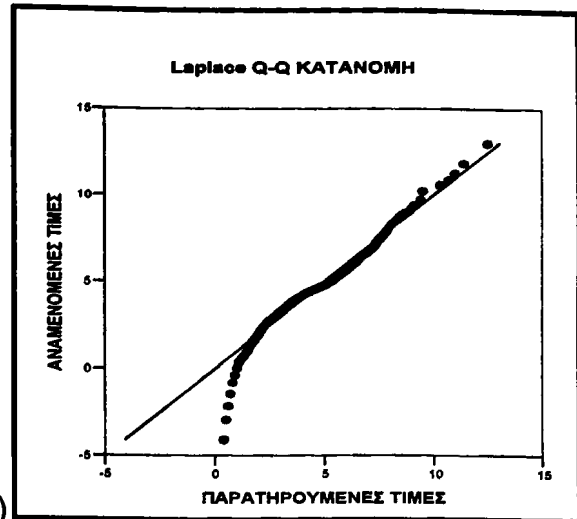


Σχήμα 5.2.3 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για το Καλοκαίρι 1988-2003.

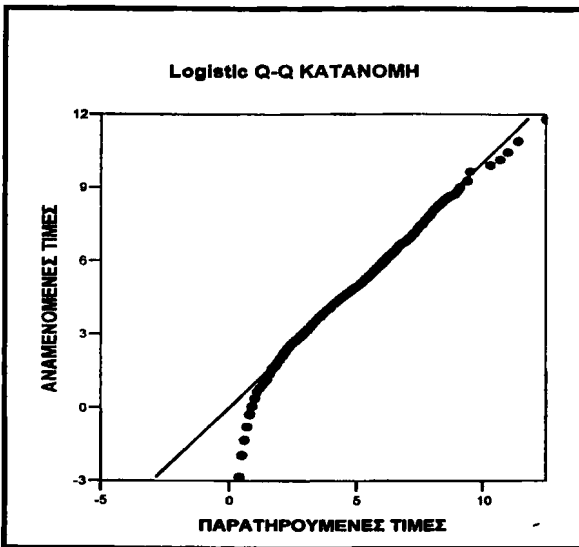




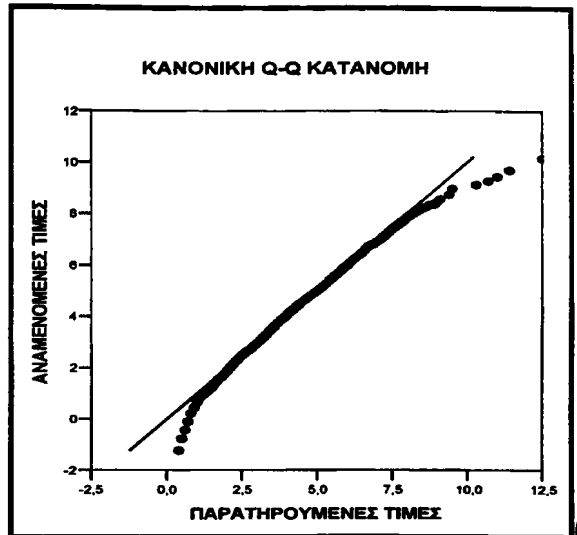
(α)



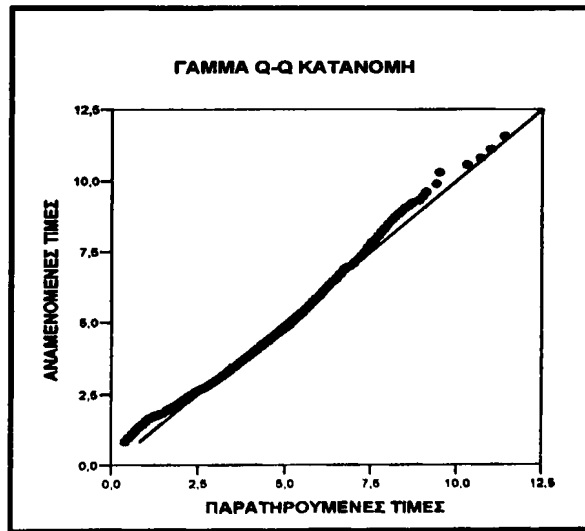
(β)



(γ)



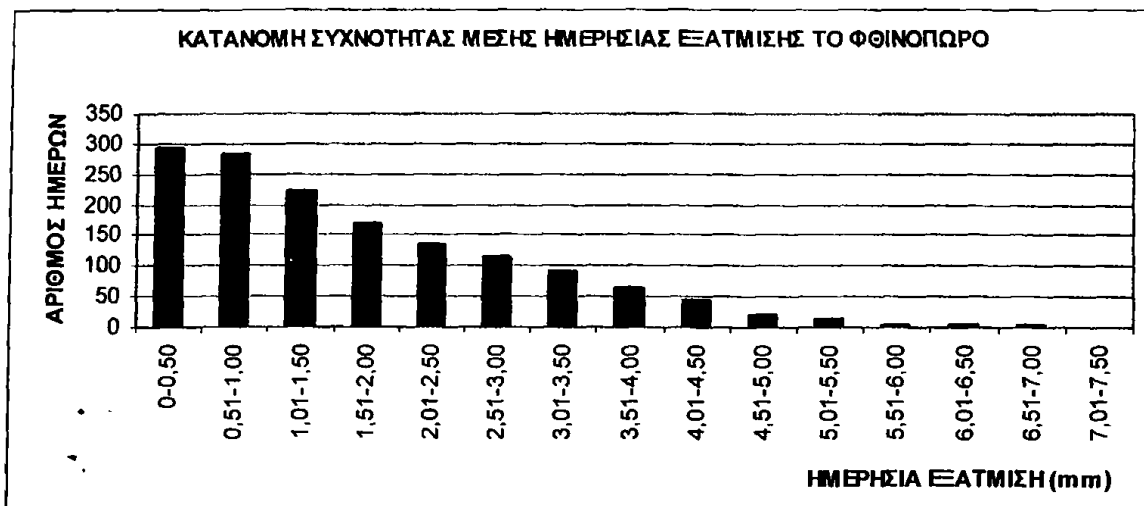
(δ)



(ε)

Σχήμα 5.2.3.α,β,γ,δ,ε Προσομοίωση της κατανομής συχνότητων το καλοκαίρι με τη weibull, τη laplace, τη logistic και την κανονική κατανομή, αντίστοιχα.





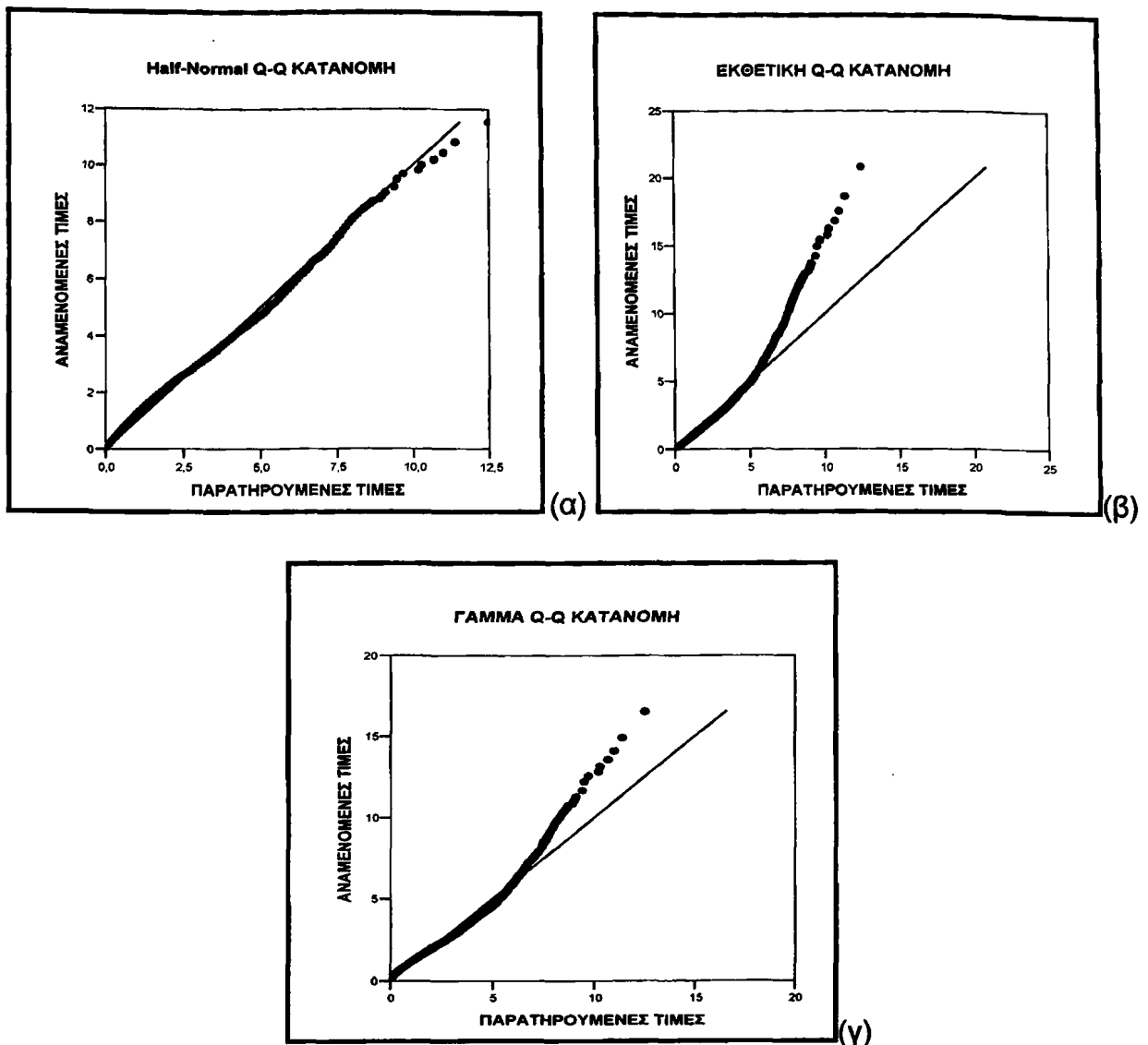
Σχήμα 5.2.4 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για το Φθινόπωρο 1988-2003.

### 5.3 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΗΜΕΡΗΣΙΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΤΟ ΕΤΟΣ

Όπως και στα προηγούμενα, έγινε μια προσπάθεια να κατανοηθούν οι ημερήσιες τιμές της εξάτμισης για το έτος συνολικά, για το χρονικό διάστημα από 1988 έως 2003. Η κατανομή που προέκυψε παρουσιάζεται στο σχήμα 5.3. Το 90% των ημερών για ένα μέσο έτος, εμφανίζει μέση ημερήσια εξάτμιση μεταξύ 0 και 5,50mm. Παρατηρούμε ότι ο μεγαλύτερος αριθμός ημερών εμφανίζεται στις μικρές τιμές εξάτμισης και συγκεκριμένα στο διάστημα από 0 έως 0,50mm, σε ποσοστό περίπου 20%. Επομένως κατά τη διάρκεια ενός έτους (365 ημέρες), οι 75 ημέρες παρουσιάζουν εξάτμιση μικρότερη από 0,50mm ενώ ο αριθμός ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη από 8mm είναι ελάχιστες και όπως θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο, θεωρούνται άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Στη συνέχεια, με την βοήθεια του κριτηρίου Q-Q, έγινε σύγκριση με τις θεωρητικές κατανομές και βρέθηκε ότι η κατανομή συχνοτήτων για το έτος, προσεγγίζει σε πολύ καλό βαθμό την half normal κατανομή για σχεδόν όλο το εύρος τιμών (0-12,50mm) σχήμα 5.3.α. Εκτός αυτού, φαίνεται να προσομοιάζει αρκετά καλά και τις κατανομές γάμμα και εκθετική, στο διάστημα από 0 έως 6mm, δηλαδή στο 90% των περιπτώσεων, σχήματα 5.3.β,γ.



Σχήμα 5.3 Κατανομή συχνοτήτων ημερήσιας εξάτμισης για το έτος συνολικά από 1988-2003.



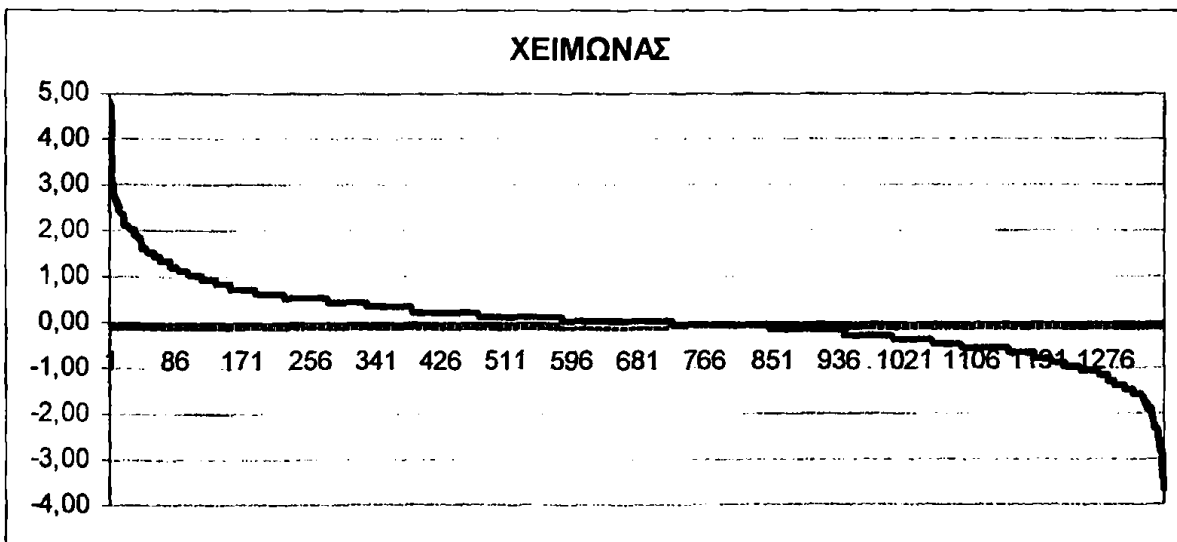
Σχήμα 5.3.α,β,γ Προσομοίωση της κατανομής συχνοτήτων του έτους με την half normal, την εκθετική και τη γάμμα κατανομή, αντίστοιχα.

#### 5.4 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΑΠΟ ΜΕΡΑ ΣΕ ΜΕΡΑ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΕΠΟΧΗ.

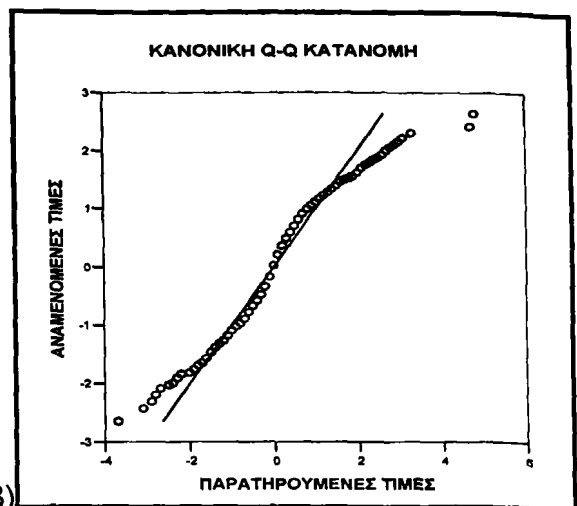
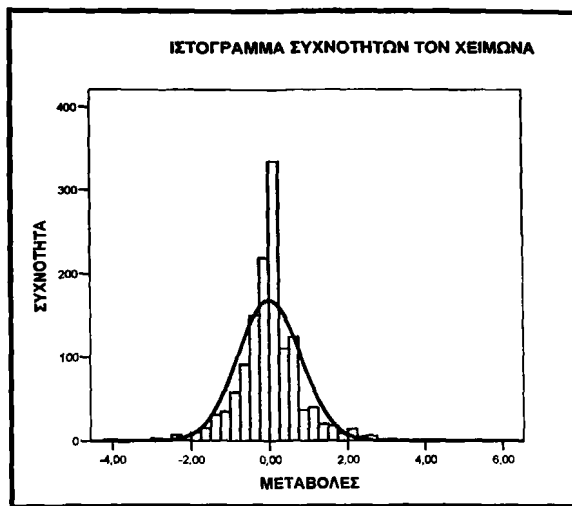
Εκτός από την κατανομή συχνοτήτων των ημερησίων τιμών εξάτμισης για κάθε μήνα, εποχή και το έτος συνολικά, στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται και η κατανομή συχνοτήτων των μεταβολών της εξάτμισης από μέρα σε μέρα για κάθε εποχή. Οι μεταβολές μετεωρολογικών παραμέτρων από ημέρα σε μέρα γενικότερα, είναι ενδιαφέρουσες διότι σχετίζονται με μεγάλης κλίμακας μετεωρολογικά φαινόμενα και επίσης είναι σημαντικοί δείκτες για την μεταβολή του κλίματος. Σύμφωνα με τους Moberg et al (2000), η μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας από μέρα σε μέρα, είναι ένας σημαντικός δείκτης για την παρατηρούμενη θέρμανση του πλανήτη τα τελευταία χρόνια. Ο Rebetz (2001), υποστηρίζει ότι μεγάλες τιμές του δείκτη NAO δεν σχετίζονται μόνο με την αύξηση θερμοκρασιών αλλά και με την ελάχιστη από μέρα σε μέρα μεταβλητότητα. Επομένως, από την πλευρά μας, με την εξέταση των μεταβολών της εξάτμισης από μέρα σε μέρα είναι εφικτό να διαπιστώσουμε κατά πόσο επηρεάζεται η τιμή της εξάτμισης κάποιας ημέρας από την προηγούμενή της αλλά και να γίνει μια προσπάθεια σύνδεσης με μεγάλης κλίμακας φυσικά φαινόμενα.

### 5.4.1 ΧΕΙΜΩΝΑΣ

Για την εποχή του χειμώνα, η κατανομή συχνοτήτων των μεταβολών της εξάτμισης από μέρα σε μέρα, παρουσιάζεται στα σχήματα 5.4.1.α,β. Φαίνεται ότι οι τιμές των μεταβολών κυμαίνονται από -2,80 έως 4,80mm. Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι οι μεταβολές που παρουσιάστηκαν από την τελευταία ημέρα του Φεβρουαρίου με την πρώτη ημέρα του Δεκεμβρίου έχουν αφαιρεθεί, διότι δεν αντιπροσωπεύουν διαφορά εξάτμισης από μέρα σε μέρα (μεσολαβούν 9 μήνες). Αρνητική, θεωρείται η μεταβολή στην περίπτωση κατά την οποία η εξάτμιση της επομένης ημέρας είναι μικρότερη από αυτή της προηγούμενης ενώ θετική μεταβολή θεωρείται όταν η εξάτμιση της επομένης ημέρας είναι μεγαλύτερη από αυτή της προηγούμενης. Στο ιστόγραμμα συχνοτήτων, φαίνεται ότι οι μεταβολές των τιμών της ημερήσιας εξάτμισης, παρουσιάζουν σχεδόν κανονική κατανομή, με τις περισσότερες τιμές να εντοπίζονται κοντά στο μηδέν, ενώ στο σχήμα 5.4.1.γ γίνεται η προσομοίωση της κατανομής του χειμώνα με την θεωρητική κανονική κατανομή. Αυτό σημαίνει ότι η πλειοψηφία των ημερών του χειμώνα δεν παρουσιάζει σημαντική μεταβολή, όσον αφορά την τιμή της εξάτμισης από μέρα σε μέρα (10,5% των ημερών παρουσιάζουν μεταβολή ίση με μηδέν). Το εύρημα έρχεται σε συμφωνία με αυτό του Rebetez (2001), ο οποίος μελετώντας μια χρονοσειρά θερμοκρασίας 100 ετών, διαπίστωσε ότι η από ημέρα σε μέρα μεταβλητότητα της θερμοκρασίας παρουσιάζει τις ελάχιστες τιμές κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Υπενθυμίζεται, ότι η θερμοκρασία είναι ένας από τους κυριότερους παράγοντες που επηρεάζουν την εξάτμιση. Παρόλα αυτά, υπήρξαν και μερικές περιπτώσεις κατά τις οποίες παρατηρήθηκαν αρκετά μεγάλες θετικές και αρνητικές μεταβολές. Συγκεκριμένα για τα 16 έτη της μελέτης βρέθηκαν 2 περιπτώσεις με μεταβολή  $\geq 3\text{mm}$  και 5 με μεταβολή  $\leq -3\text{mm}$ .



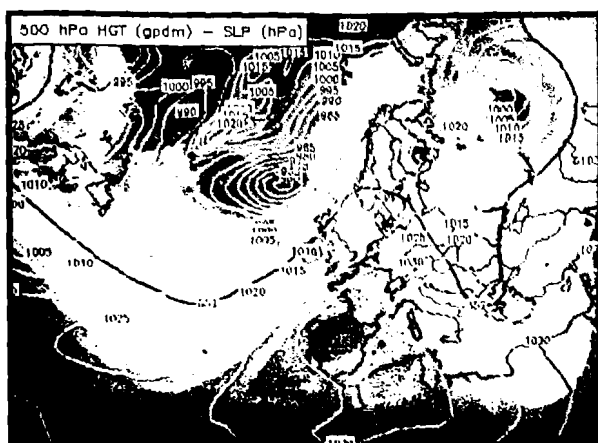
Σχήμα 5.4.1.α Κατανομή συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για το χειμώνα.



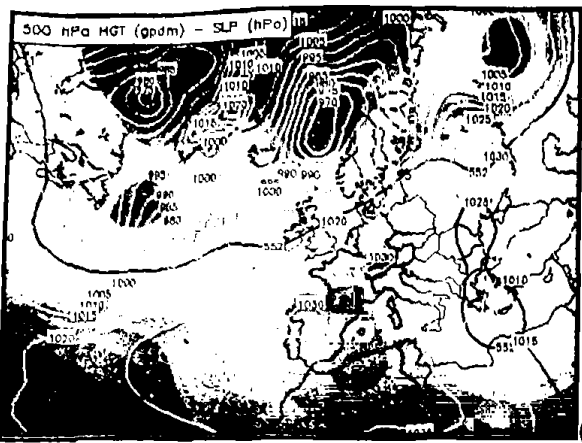
Σχήμα 5.4.1.β,γ: Κατανομή συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για το χειμώνα και προσομοίωση με την κανονική κατανομή.

Χαρακτηριστικά, παρουσιάζονται συνοπτικοί χάρτες οι οποίοι αντιστοιχούν σε ακολουθία δύο ημερών κατά τις οποίες εμφανίστηκαν μέγιστες θετικές και αρνητικές μεταβολές εξάτμισης. Στους παρακάτω χάρτες (α,β,γ,δ), φαίνεται η συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην περίπτωση που έχουμε μεγάλη θετική μεταβολή εξάτμισης. Πιο συγκεκριμένα, στις 14/12/1998 υπάρχει μια βόρεια ψυχρή εισβολή, η οποία επηρεάζει την περιοχή της Ελλάδας και σε συνδυασμό με την αρκετά υψηλή σχετική υγρασία, έχουν ως αποτέλεσμα, η ημερήσια εξάτμιση να είναι 0,00mm. Αντίθετα, στις 15/12/1998 η ψυχρή εισβολή έχει υποχωρήσει, δεν υπάρχει καθόλου σχετική υγρασία και με τη βοήθεια των ισχυρών ανέμων (πυκνές ισοβαρείς καμπύλες) προκαλείται εξάτμιση ίση με 4,80mm.

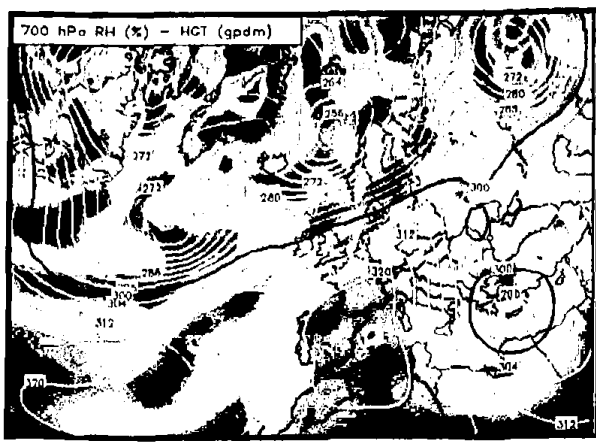
Στην περίπτωση της αρνητικής μεταβολής (χάρτες:ε,στ,ζ,η), επιλέχτηκε η ακολουθία δυο ημερών από τις οποίες η πρώτη παρουσιάζει μεγάλη τιμή εξάτμισης ενώ η δεύτερη σαφώς πολύ μικρότερη. Πιο συγκεκριμένα, η 6/1/1993 παρουσιάζει σχετικά αυξημένη εξάτμιση (3,70mm) εξαιτίας της αντικυκλωνικής κυκλοφορίας, τέτοιας που υπάρχουν αρκετά μεγάλες θερμοκρασίες αλλά και της μειωμένης σχετικής υγρασίας. Αντίθετα, στις 7/1/1993, η κυκλοφορία τείνει να γίνει κυκλωνική με αποτέλεσμα την ανάπτυξη νεφώσεων και την αισθητή πτώση της θερμοκρασίας, παράγοντες οι οποίοι έχουν ως αποτέλεσμα την κατά πολύ μειωμένη εξάτμιση (0,90mm).



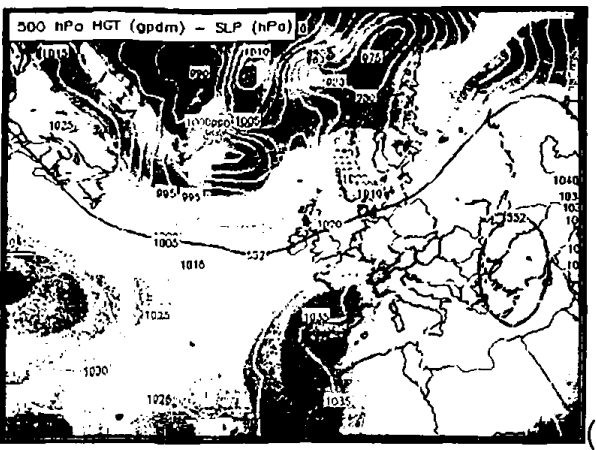
(α)



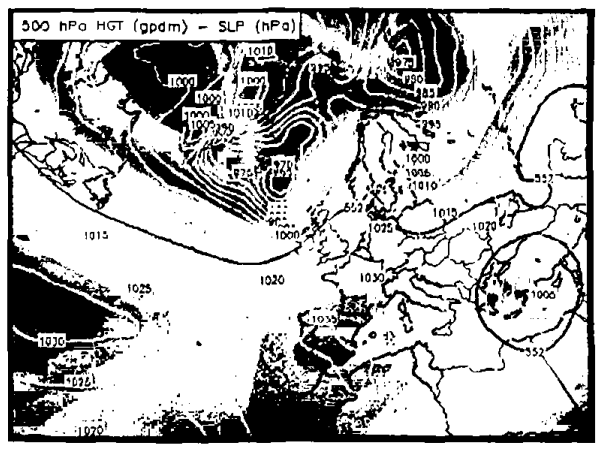
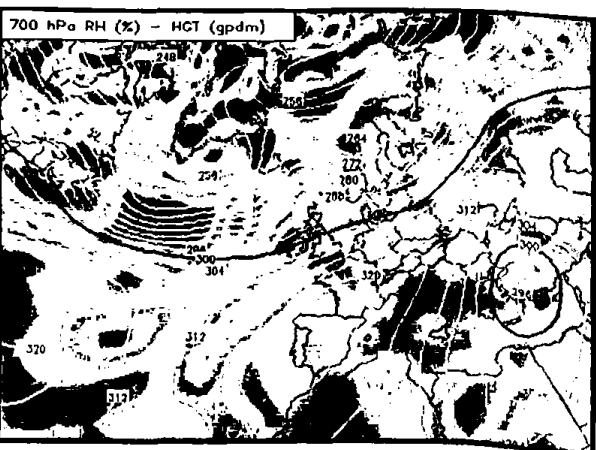
(γ)



Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 14/12/1998.  
 Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 14/12/1998.  
 Χάρτης (γ): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 15/12/1998.  
 Χάρτης (δ): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 15/12/1998.



(ε)



(ζ)

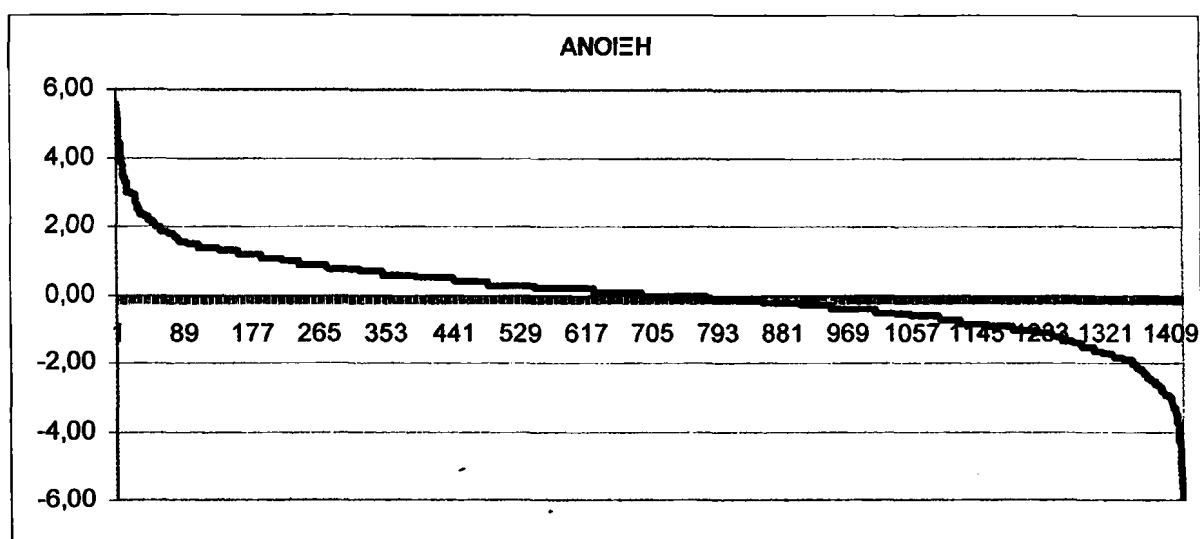


Χάρτης (ε): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 6/1/1993.  
 Χάρτης (στ): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 6/1/1993.  
 Χάρτης (ζ): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 7/1/1993.  
 Χάρτης (η): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 7/1/1993.

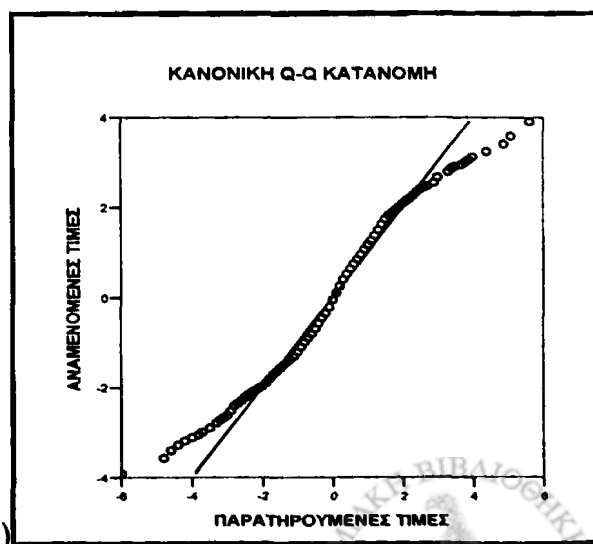
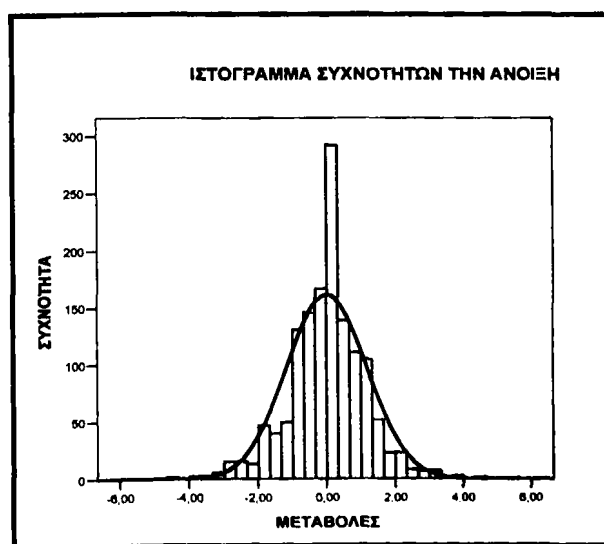


## 5.4.2 ΑΝΟΙΞΗ

Για την εποχή της άνοιξης, η κατανομή συχνοτήτων των μεταβολών της εξάτμισης από μέρα σε μέρα, παρουσιάζεται στα σχήματα 5.4.2.α,β. Φαίνεται ότι οι τιμές των μεταβολών κυμαίνονται μεταξύ  $-6,00$  έως  $5,60\text{mm}$ . Στο ιστόγραμμα συχνοτήτων, παρουσιάζονται οι μεταβολές των τιμών της ημερήσιας εξάτμισης, οι οποίες ακολουθούν σχεδόν την κανονική κατανομή (προσομοίωση με κανονική κατανομή, σχήμα 5.4.2.γ). Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται μεταξύ των τιμών  $-1,90$  και  $1,80\text{mm}$  ενώ μόνο το 6,1% των ημερών παρουσιάζουν μεταβολή ίση με μηδέν. Επομένως, σε σχέση με το χειμώνα, η εποχή της άνοιξης εμφανίζει μεγαλύτερη μεταβλητότητα όσον αφορά τις τιμές της εξάτμισης από μέρα σε μέρα. Το εύρημα συμφωνεί με το αντίστοιχο του Rebetz (2001) για την μεταβλητότητα της θερμοκρασίας από μέρα σε μέρα την άνοιξη. Εκτός αυτού όμως, υπάρχουν και περιπτώσεις οι οποίες εμφανίζουν εξαιρετικά μεγάλες θετικές ή αρνητικές μεταβολές ( $\geq 3\text{mm}$  και  $\leq -3\text{mm}$ , αντίστοιχα) και αυτές βρίσκονται στο 1,6 και 1,3%, αντίστοιχα της ολικής κατανομής.



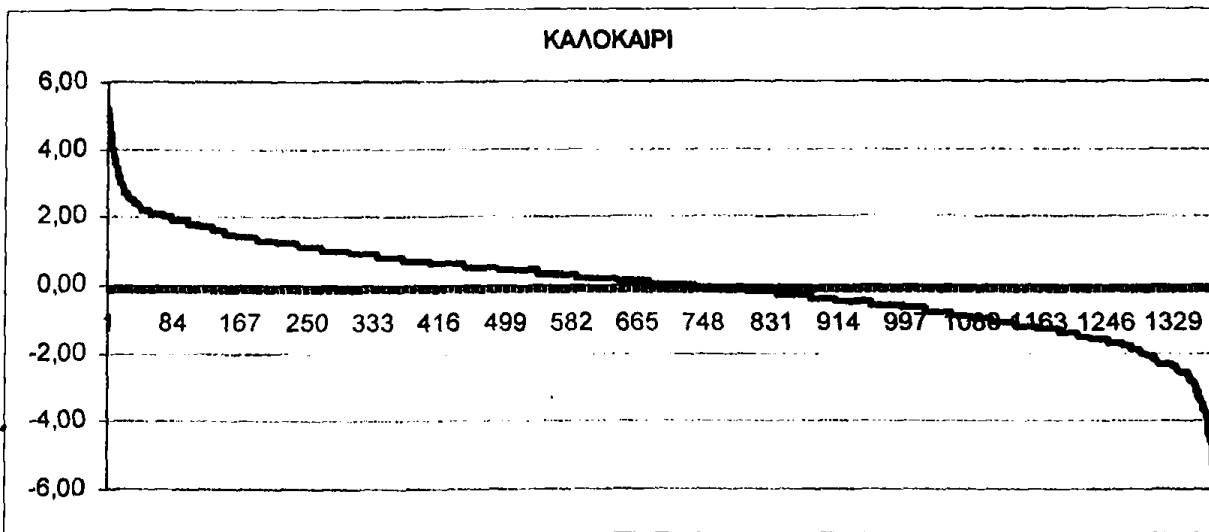
Σχήμα 5.4.2.α Κατανομή συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για την άνοιξη.



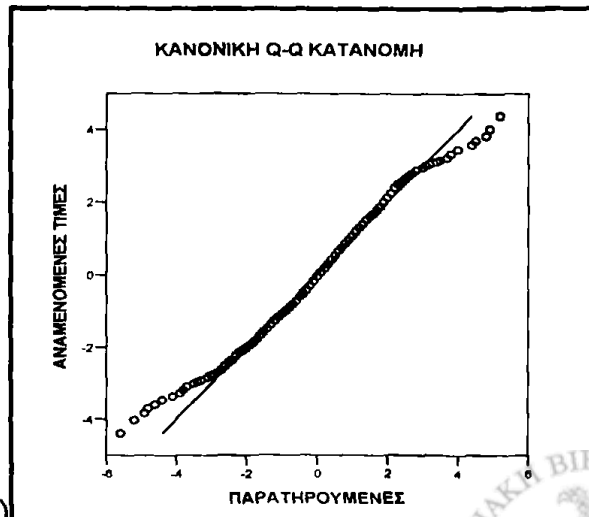
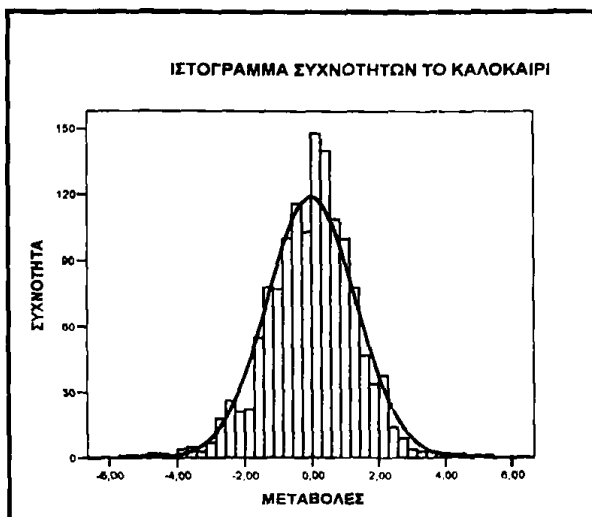
Σχήμα 5.4.2.β,γ Κατανομή συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για την άνοιξη και προσομοίωση με την κανονική κατανομή.

### 5.4.3 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Για την εποχή του καλοκαιριού, η κατανομή συχνοτήτων των μεταβολών της εξάτμισης από μέρα σε μέρα, παρουσιάζεται στα σχήματα 5.4.3.α,β. Φαίνεται ότι οι τιμές των μεταβολών κυμαίνονται μεταξύ -5,60 έως 5,20mm. Στο ιστόγραμμα συχνοτήτων, παρουσιάζονται οι μεταβολές των τιμών της ημερήσιας εξάτμισης, οι οποίες ακολουθούν σχεδόν την κανονική κατανομή (προσομοίωση με κανονική κατανομή, σχήμα 5.4.3.γ). Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται μεταξύ των τιμών -2,30 και 2,00mm ενώ μόνο το 3,6% των ημερών παρουσιάζουν μεταβολή ίση με μηδέν. Επομένως την μεγαλύτερη μεταβλητότητα μεταξύ των εποχών παρουσιάζει το καλοκαίρι. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το εύρημα έρχεται συμφωνία με το αντίστοιχο του Rebetez (2001), ο οποίος για τη θερμοκρασία υποστηρίζει ότι κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών η μεταβλητότητα από μέρα σε μέρα αυξάνεται. Παρόλα αυτά υπάρχουν και περιπτώσεις οι οποίες εμφανίζουν εξαιρετικά μεγάλες θετικές ή αρνητικές μεταβολές ( $\geq 3\text{mm}$  και  $\leq -3\text{mm}$ , αντίστοιχα) και αυτές βρίσκονται στο 1,4 και 1,8%, αντίστοιχα της ολικής κατανομής.

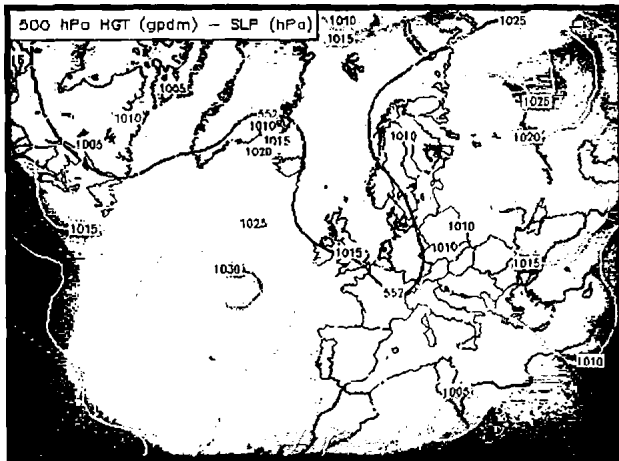


Σχήμα 5.4.3.α Κατανομή συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για το καλοκαίρι.

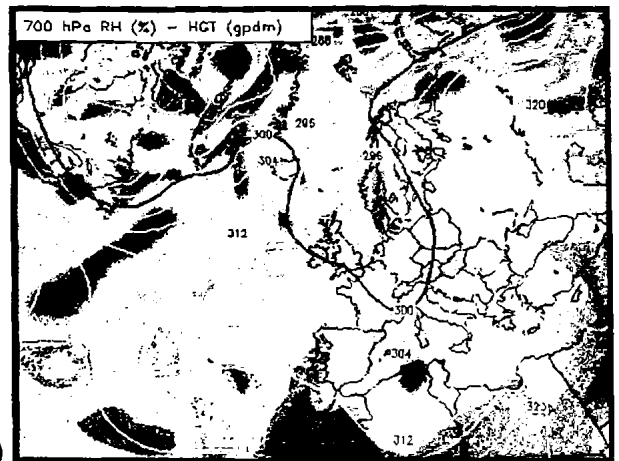


Σχήμα 5.4.3.β,γ Κατανομή συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για το καλοκαίρι και προσομοίωση με την κανονική κατανομή.

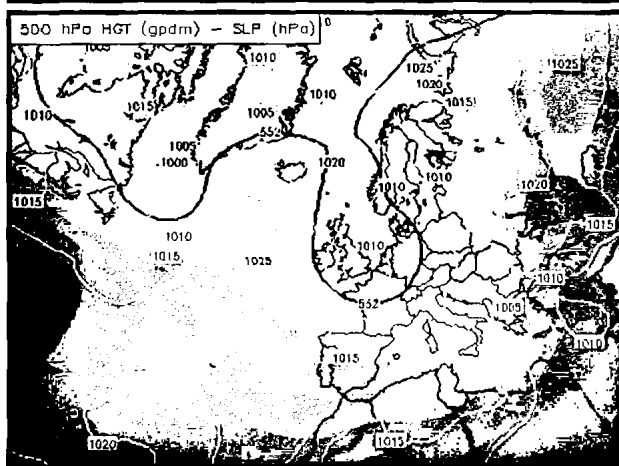
Πιο συγκεκριμένα, παρουσιάζονται συνοπτικοί χάρτες οι οποίοι αντιστοιχούν σε ακολουθία δύο ημερών κατά τις οποίες εμφανίστηκαν μέγιστες θετικές και αρνητικές μεταβολές εξάτμισης. Στους παρακάτω χάρτες (α,β,γ,δ), φαίνεται η συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην περίπτωση που έχουμε μεγάλη αρνητική μεταβολή εξάτμισης (-4,90mm). Στις 5/6/1989, η περιοχή της Β.Δ Ελλάδας επηρεάζεται από αντικυκλωνική κυκλοφορία η οποία σε συνδυασμό με την ελαττωμένη σχετική υγρασία έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη εξάτμιση (7,40mm). Αντίθετα, στις 6/6/1989, η κυκλοφορία είναι κυκλωνική και σε συνδυασμό με την αυξημένη σχετική υγρασία, έχουν σαν αποτέλεσμα την ελάττωση της εξάτμισης (2,50mm).



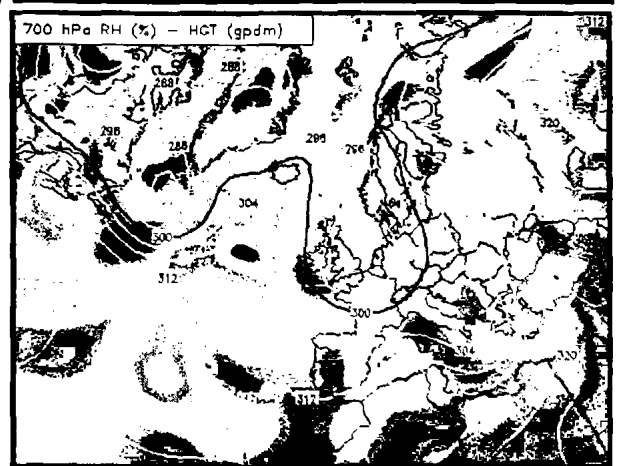
(α)



(β)



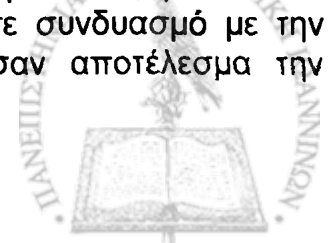
(γ)

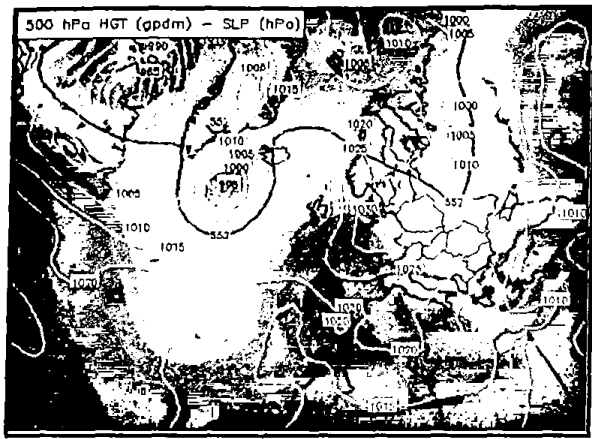


(δ)

Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 5/6/1989.  
 Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 5/6/1989.  
 Χάρτης (γ): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 6/6/1989.  
 Χάρτης (δ): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 6/6/1989.

Στους παρακάτω χάρτες (ε,στ,ζ,η), παρουσιάζεται η συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην περίπτωση που έχουμε μεγάλη θετική μεταβολή εξάτμισης. Στις 17/6/2000 η κυκλοφορία πάνω από την Ελλάδα τείνει να είναι κυκλωνική και σε συνδυασμό με την αυξημένη σχετική υγρασία (χάρτης στ), έχουν σαν αποτέλεσμα την μειωμένη εξάτμιση (2,90mm). Αντίθετα, στις 18/6/2000 η Ελλάδα φαίνεται να επηρεάζεται από έναν εκτεταμένο αντικυκλώνα, ο οποίος σε συνδυασμό με την αρκετά ελαττωμένη σχετική υγρασία (χάρτης η), έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη εξάτμιση (7,70mm).

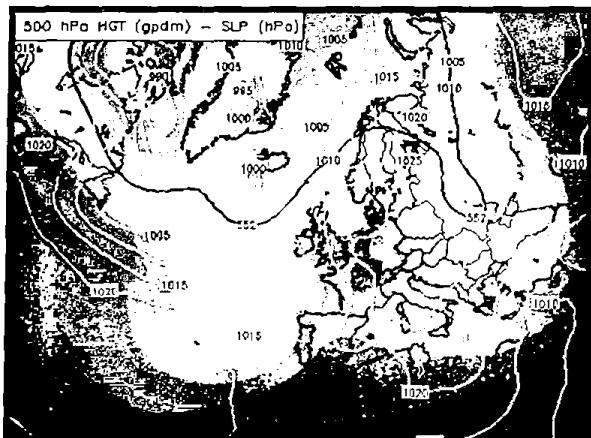




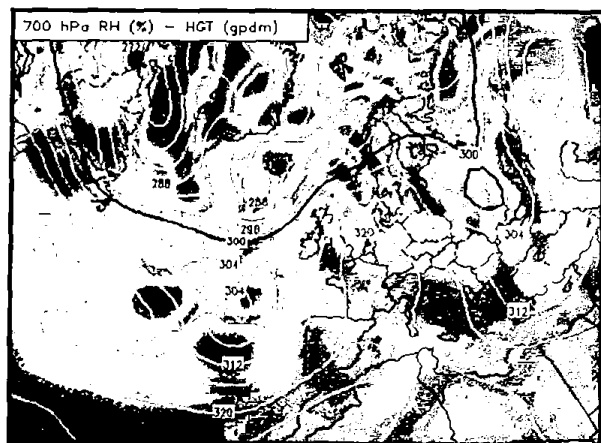
(ε)



(στ)



(ζ)

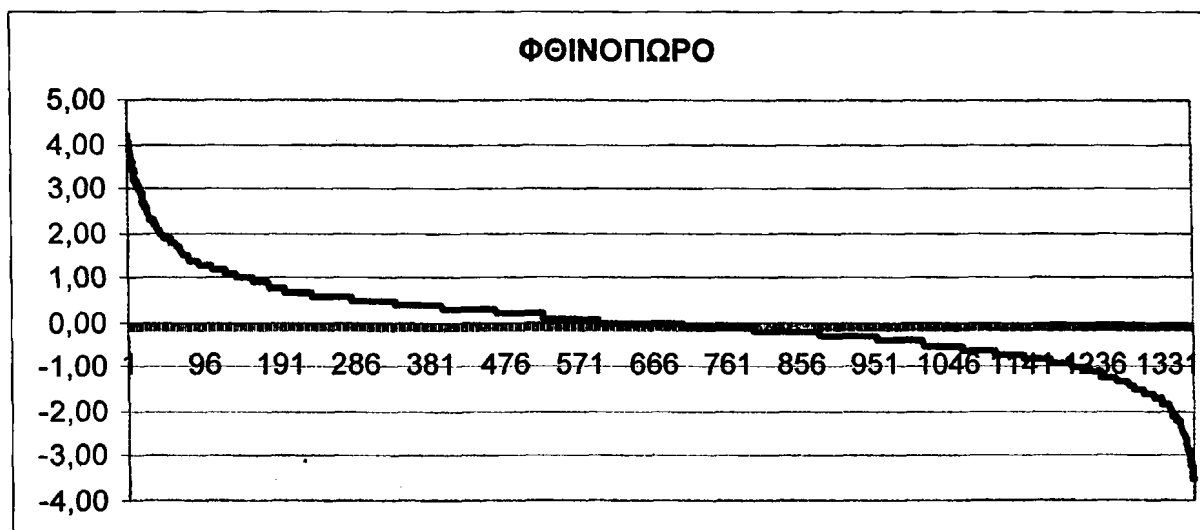


(η)

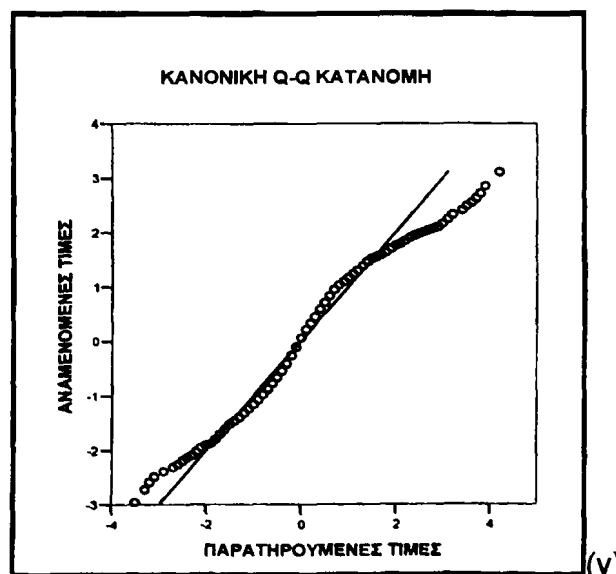
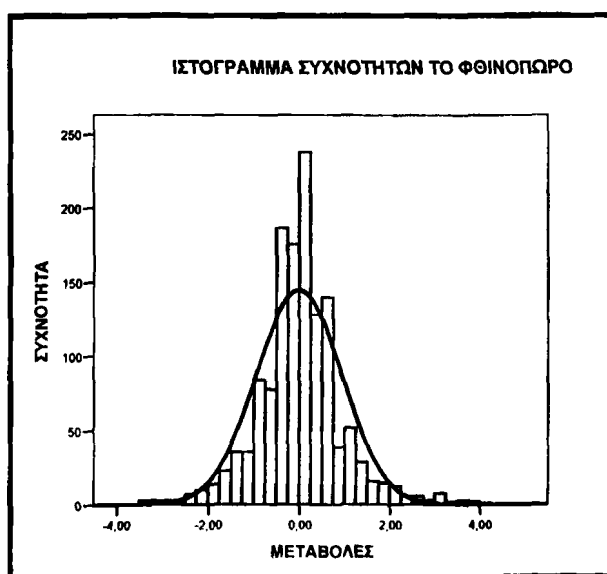
Χάρτης (ε): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 17/6/2000.  
 Χάρτης (στ): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 17/6/2000.  
 Χάρτης (ζ): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 18/6/2000.  
 Χάρτης (η): Γεωδυναμικό ύψος και σχετική υγρασία στα 700hPa 18/6/2000.

### 5.4.4 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

Για την εποχή του φθινοπώρου, η κατανομή συχνοτήτων των μεταβολών της εξάτμισης από μέρα σε μέρα, παρουσιάζεται στα σχήματα 5.4.4.α,β. Φαίνεται ότι οι τιμές των μεταβολών κυμαίνονται μεταξύ -3,50 έως 4,20mm. Στο ιστόγραμμα συχνοτήτων, παρουσιάζονται οι μεταβολές των τιμών της ημερήσιας εξάτμισης, οι οποίες ακολουθούν σχεδόν την κανονική κατανομή (προσομοίωση με κανονική κατανομή, σχήμα 5.4.4.γ). Το 90% των περιπτώσεων εμφανίζεται μεταξύ των τιμών -1,60 και 1,50mm ενώ το 7,6% των ημερών παρουσιάζουν μεταβολή ίση με μηδέν. Παρόλα αυτά υπάρχουν και περιπτώσεις οι οποίες εμφανίζουν εξαιρετικά μεγάλες θετικές ή αρνητικές μεταβολές ( $\geq 3\text{mm}$  και  $\leq -3\text{mm}$ , αντίστοιχα) και αυτές βρίσκονται στο 1 και 0,4%, αντίστοιχα της ολικής κατανομής.



Σχήμα 5.4.4.α Κατανομή συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για το φθινόπωρο.



Σχήμα 5.4.4.β,γ Ιστόγραμμα συχνοτήτων διαφορών εξάτμισης από ημέρα σε μέρα για το φθινόπωρο και προσομοίωση με την κανονική κατανομή.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### 6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΑΚΡΑΙΩΝ ΠΕΡΙΣΤΑΤΙΚΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

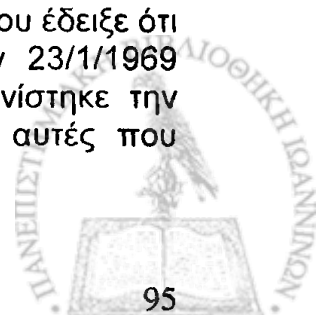
Η μελέτη και η κατανόηση της συμπεριφοράς του κλίματος και της “κανονικής” μεταβλητότητάς του, έχουν απασχολήσει τους επιστήμονες εδώ και πολλά χρόνια, διότι έχουν έναν τεράστιο αντίκτυπο στις οικονομικές και κοινωνικές ανθρώπινες δραστηριότητες (Lucio, 2005, Χορλακί et al, 2001, Luterbacher, 2001). Ωστόσο, μόνο κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, παρατηρήθηκε μια αυξανόμενη ερευνητική δραστηριότητα όσον αφορά τις μεταβολές και τις τάσεις των ακραίων κλιματικών και καιρικών φαινομένων. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, η εμφάνιση των ακραίων καιρικών φαινομένων έχει αυξηθεί σε ορισμένες περιοχές του πλανήτη με δυσάρεστες για τον άνθρωπο συνέπειες. Επιπρόσθετα, τα ακραία καιρικά φαινόμενα είναι δύσκολο να μελετηθούν και ακόμη πιο δύσκολο να προβλεφθούν, επειδή είναι εξ’ ορισμού σπάνια και υπακούνε σε διαφορετικούς στατιστικούς νόμους (Naveau et al. 2005).

Ιδιαίτερα σημαντικά προς μελέτη, είναι τα ακραία φαινόμενα εξάτμισης, τα οποία όπως και τα υπόλοιπα, χαρακτηρίζονται από την διάρκεια, την ένταση και την συχνότητα εμφάνισής τους. Στο κεφάλαιο αυτό, μελετώνται ακραίες καταστάσεις εξάτμισης για κάθε εποχή του έτους, χρησιμοποιώντας ημερήσιες τιμές εξάτμισης από τον μετεωρολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για την χρονική περίοδο 1988-2003. Επιπλέον, εξετάζεται ο αριθμός ημερών και ο αριθμός συνεχόμενων ημερών με τιμές εξάτμισης άνω ή κάτω διαφόρων κατωφλίων. Τέλος, εφαρμόζεται η Παραγοντική Ανάλυση (Factor Analysis) επί των χωρο-σειρών της ατμοσφαιρικής επιφανειακής πίεσης, πάνω από την Κ. Ευρώπη και τη Μεσόγειο, για τις ημέρες που παρουσιάζουν ακραίες τιμές ημερήσιας εξάτμισης, με σκοπό να αποκαλυφθούν συνοπτικές καταστάσεις που σχετίζονται ή ευνοούν την εμφάνιση ακραίων περιστατικών εξάτμισης.

### 6.2 ΜΕΓΙΣΤΕΣ - ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

#### 6.2.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΣΤΑ ΙΩΑΝΝΙΝΑ

Η μέση ημερήσια τιμή της εξάτμισης στα Ιωάννινα για όλη τη χρονική περίοδο που εξετάστηκε είναι 2,27mm. Οι ημερήσιες τιμές κυμαίνονται από 0,00mm έως 12,50mm. Στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί, φαίνεται ότι ελάχιστη ημερήσια εξάτμιση εμφανίζει ο μήνας Δεκέμβριος (0,53mm) και μέγιστη ο Ιούλιος (4,93mm) ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζονται η τυπική απόκλιση και οι απολύτως μέγιστες και ελάχιστες ημερήσιες εξατμίσεις καθώς και η ημερομηνία εμφάνισής τους. Χαρακτηριστικό είναι ότι από τους χειμερινούς μήνες, ο Φεβρουάριος παρουσίασε την μεγαλύτερη απολύτως μέγιστη τιμή (5,60mm) την 18/02/1998 και από τους καλοκαιρινούς μήνες ο Αύγουστος την μικρότερη απολύτως ελάχιστη (0,40mm) το 1995. Κατά τις μεταβατικές εποχές, ο Μάιος την 8/05/1997 εμφάνισε μέση ημερήσια εξάτμιση 10,20mm και ο Οκτώβριος 7,20mm την 3/10/1991. Σημειώνεται ότι ο Μαλδογιάννης (1971), στα πλαίσια της διδακτορικής του διατριβής, «Το κλίμα των Ιωαννίνων», μελέτησε δεδομένα ημερήσιας εξάτμισης προερχόμενα από το εξατμισίμετρο WILD του σταθμού Δορούτης, για το έτος 1969. Η μελέτη του έδειξε ότι η απολύτως μέγιστη τιμή την εποχή του χειμώνα, εμφανίστηκε την 23/1/1969 (3,80mm) ενώ η απολύτως ελάχιστη των καλοκαιρινών μηνών εμφανίστηκε την 6/6/1969 (0,80mm). Οι μετρήσεις του είναι σχετικά συγκρίσιμες με αυτές που παρουσιάζονται στον πίνακα 6.1.



ΜΗΝΑΣ	ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΕΓΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ	ΗΜΕΡ. ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ	ΕΤΟΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ (πολλές ημέρες ανά έτος)
ΙΑΝ	0,72	0,727	4,80	13/1/1997	0,00	1990,1991,1992,1995,1996,1998,1999,2000,2001,2002,2003
ΦΕΒ	1,16	1,007	5,60	18/2/1998	0,00	1988,1992,1993,1996,1997,1998,1999,2000,2001,2002,2003
ΜΑΡ	1,73	1,243	7,80	19/3/1990	0,00	1992,1993,1996,2001,2002,2003
ΑΠΡ	1,91	1,171	8,30	5/4/1989	0,00	1993,1995,2001
ΜΑΙΟΣ	2,72	1,512	10,20	8/5/1997	0,10	1993,1994
ΙΟΥΝ	3,98	1,447	8,20	20/6/1997	0,60	1992
ΙΟΥΛ	4,93	1,801	12,50	8/7/1988	0,50	2002
ΑΥΓ	4,54	1,732	10,70	9/8/1999	0,40	1995
ΣΕΠ	2,68	1,292	6,70	2/9/1994	0,00	1995
ΟΚΤ	1,66	1,090	7,20	3/10/1991	0,00	1997,2000,2002,2003
ΝΟΕ	0,77	0,638	4,10	2/11/2003	0,00	1989,1994,1995,1996,1997,1998,2000,2002,2003
ΔΕΚ	0,53	0,630	4,80	15/12/1998	0,00	1988,1989,1990,1991,1993,1994,1995,1996,1997,1998,1999,2000,2001,2002,2003

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: Στατιστικές τιμές ημερήσιων τιμών εξάτμισης στα Ιωάννινα για την χρονική περίοδο από 1988 έως 2003.

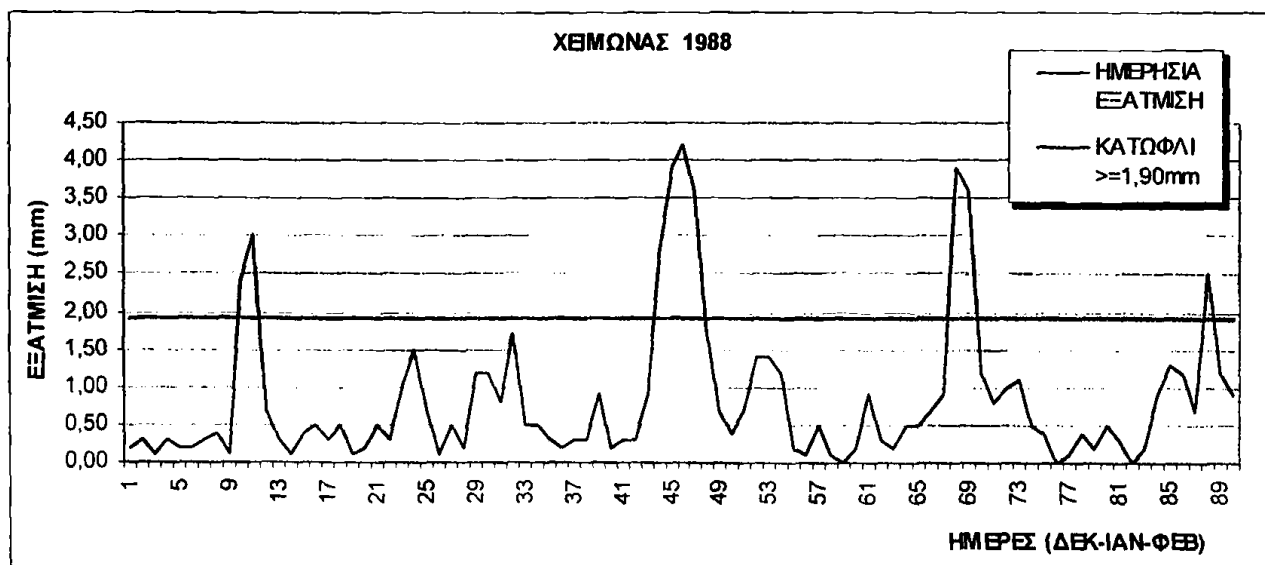
### 6.3 ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Σαν ακραίες καταστάσεις εξάτμισης, θεωρούνται οι περιπτώσεις, κατά τις οποίες η μέση ημερήσια εξάτμιση είναι μικρότερη / μεγαλύτερη από ένα κάτω / άνω κατώφλι. Στην συγκεκριμένη μελέτη, τα κατώφλια για κάθε εποχή ορίστηκαν σαν τα όρια των κάτω / άνω δεκατημορίων (10% και 90%) της κατανομής συχνοτήτων των ημερησίων τιμών εξάτμισης (βλέπε κεφάλαιο 5).

#### 6.3.1 ΧΕΙΜΩΝΑΣ

Στην περίπτωση του χειμώνα, παρατηρούνται μόνο άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης και αυτό γιατί η ελάχιστη εξάτμιση που μπορεί να εμφανιστεί είναι μηδέν. Επομένως, για την εποχή του χειμώνα θεωρούμε ότι συμβαίνει μια ακραία περίπτωση εξάτμισης όταν η τιμή της ημερησίας εξάτμισης είναι αρκετά μεγάλη ενώ η ελάχιστη τιμή που μπορεί να παρατηρηθεί είναι 0,00mm και είναι πολύ συχνή σε περιπτώσεις βροχής ή ομίχλης. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.2.1 (κατανομή συχνοτήτων μέσης ημερησίας εξάτμισης τον χειμώνα), το όριο του άνω κατωφλίου είναι το 1,90, που σημαίνει ότι από 0,00 έως και 1,89mm, εμφανίζεται το 90% των περιπτώσεων εξάτμισης και από 1,90 και άνω, το 10% (άνω δεκατημόριο) των περιπτώσεων που τις χαρακτηρίζουμε ως άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης.

Δειγματοληπτικά, παρουσιάζεται ο χειμώνας του 1988 (σχήμα 6.1), ο οποίος εμφανίζει ακραίες τιμές εξάτμισης, εκείνες που βρίσκονται πάνω από τον άξονα  $y=1,90$ . Για το συγκεκριμένο έτος εμφανίστηκαν ημέρες οι οποίες σημείωσαν 2,50, 3,00, 3,60 και 4,20mm εξάτμιση. Στην περίπτωση που υπάρχει ακολουθία μεγαλύτερη των 2 ημερών, θεωρούμε ότι συμβαίνει άνω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης, όπως π.χ στις 13,14,15,16/02/1988 που παρατηρήθηκε εξάτμιση μεγαλύτερη του κατωφλίου για 4 συνεχόμενες ημέρες, με 2,80, 3,90, 4,20 και 3,60mm μέση ημερήσια εξάτμιση, αντίστοιχα.

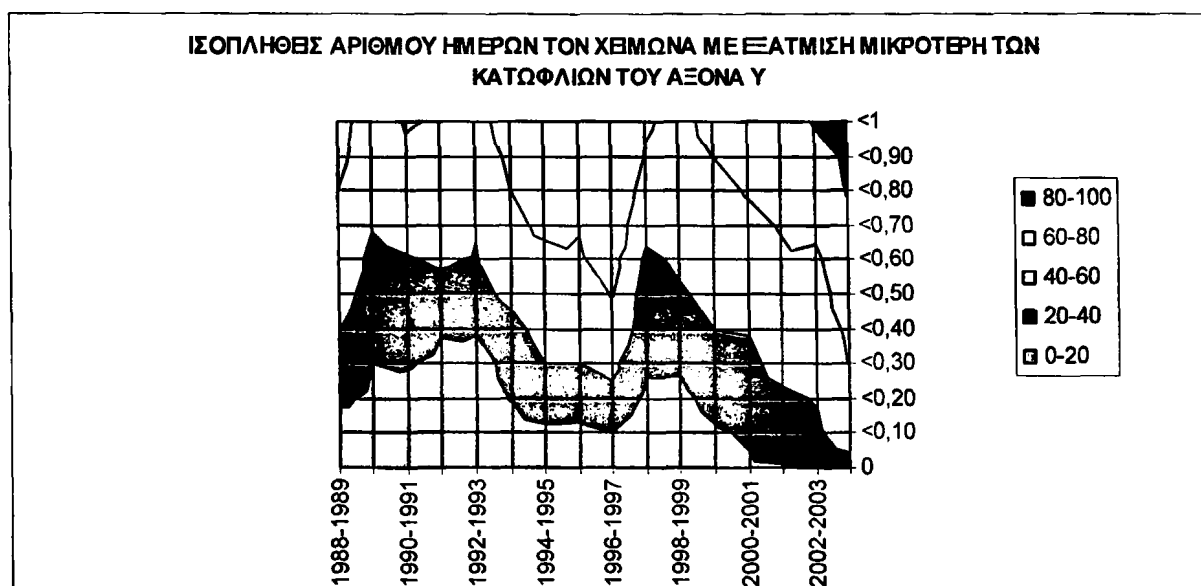


Σχήμα 6.1 Πορεία ημερησίας εξάτμισης τον χειμώνα του 1988 και το άνω κατώφλι.

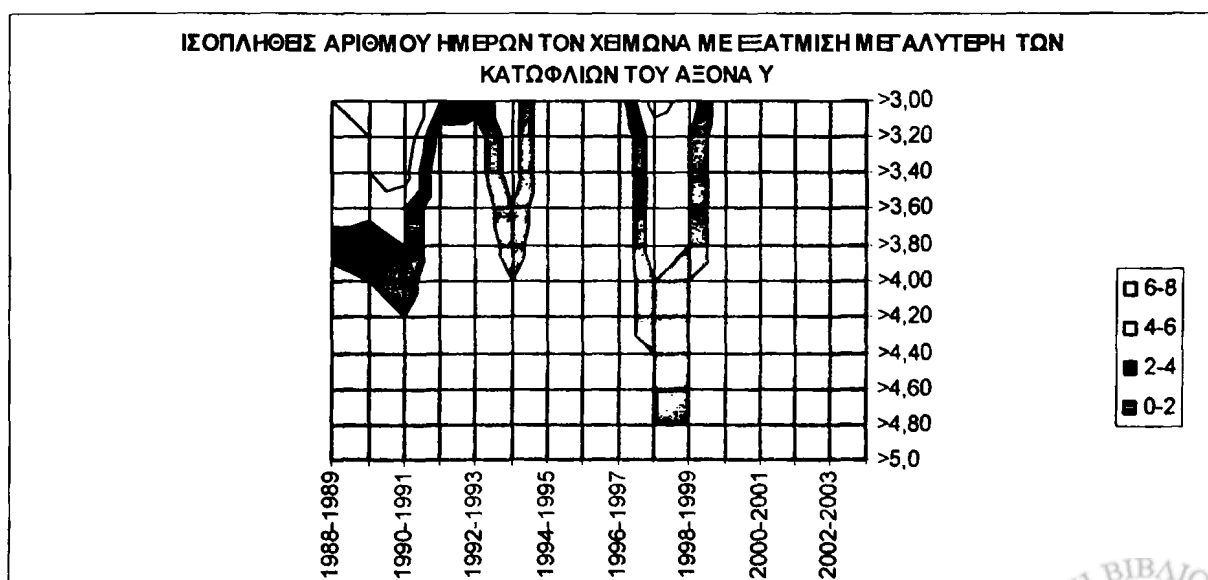
Η εξέταση του αριθμού ημερών και του αριθμού συνεχόμενων ημερών με τιμές εξάτμισης άνω ή κάτω διαφόρων κατωφλίων, δείχνει ότι κατά την υπό μελέτη



περίοδο, το χειμώνα, ο αριθμός ημερών με χαμηλή εξάτμιση αυξάνεται, ιδιαίτερα από το 1998 έως το 2003 (σχήμα 6.2.1) ενώ αυτός με υψηλή εξάτμιση μειώνεται το ίδιο χρονικό διάστημα (σχήμα 6.2.2). Παρατηρώντας τα σχήματα, διαπιστώνουμε ότι είναι σχεδόν συμπληρωματικά, δηλαδή τα πρώτα χρόνια της περιόδου που μελετάται, εμφανίζονται λίγες ημέρες με χαμηλή εξάτμιση (σχήμα 6.2.1) και πολλές ημέρες με υψηλή εξάτμιση (σχήμα 6.2.2) ενώ το αντίθετο συμβαίνει τα τελευταία χρόνια της περιόδου. Τα αποτελέσματα ενισχύθηκαν με την εφαρμογή του τεστ Mann – Kendall, σε όλες τις ημερήσιες τιμές εξάτμισης του χειμώνα το οποίο έδειξε ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική αρνητική τάση, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (σχήμα 4.10). Τα ευρήματα είναι σε συμφωνία και με την αύξηση των βροχοπτώσεων στην ΒΔ Ελλάδα μετά το 1990 εξαιτίας της αύξησης της κυκλωνικής κυκλοφορίας στην Κ. Μεσόγειο (WMO, 1998).



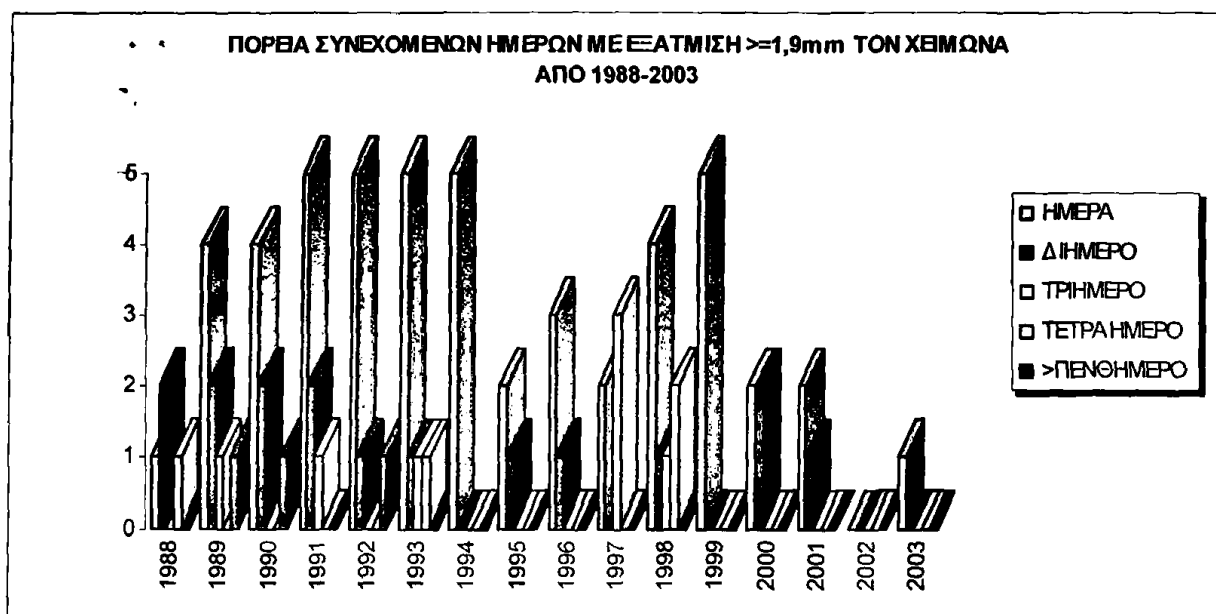
*Σχήμα 6.2.1 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με ελάχιστη εξάτμιση μικρότερη των κατωφλίων του  $y$  άξονα.*



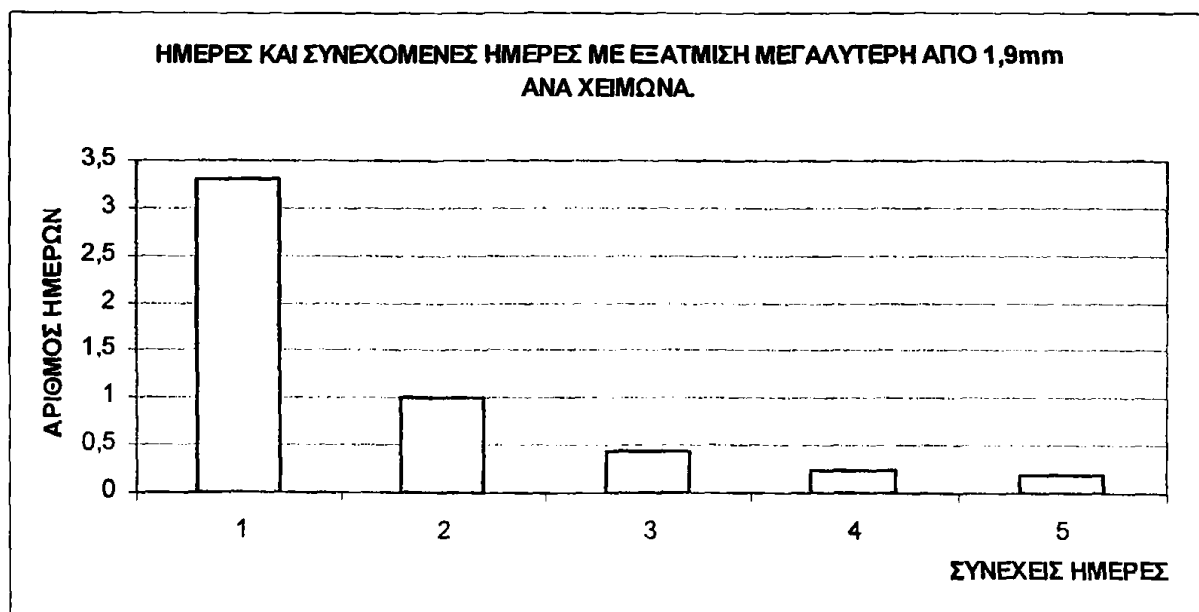
*Σχήμα 6.2.2 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με μέγιστη εξάτμιση μεγαλύτερη των κατωφλίων του  $y$  άξονα.*



Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η πορεία των ημερών και των συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση  $\geq 1,90\text{mm}$  (σχήμα 6.3) για το χρονικό διάστημα από 1988-2003. Φαίνεται ότι τρεις συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση μεγαλύτερη του κατωφλίου εμφανίζονται το 1988, 1991, 1993, 1998 ενώ το 1997 εμφανίστηκαν τρία τριήμερα. Τετραήμερα υπήρξαν το 1988, 1993 και δύο το 1998, ενώ πέντε συνεχόμενες ημέρες υπήρξαν το 1989, 1990 και 1992. Τελικά, ανά έτος, εμφανίστηκαν 3,31 ημέρες, 1 διήμερο, 0,40 τριήμερα, 0,25 τετραήμερα και 0,18 πενθήμερα που χαρακτηρίστηκαν ως ακραίες θετικές καταστάσεις ή περιπτώσεις εξάτμισης (σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.3. Αριθμός ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου τον χειμώνα από 1988-2003.

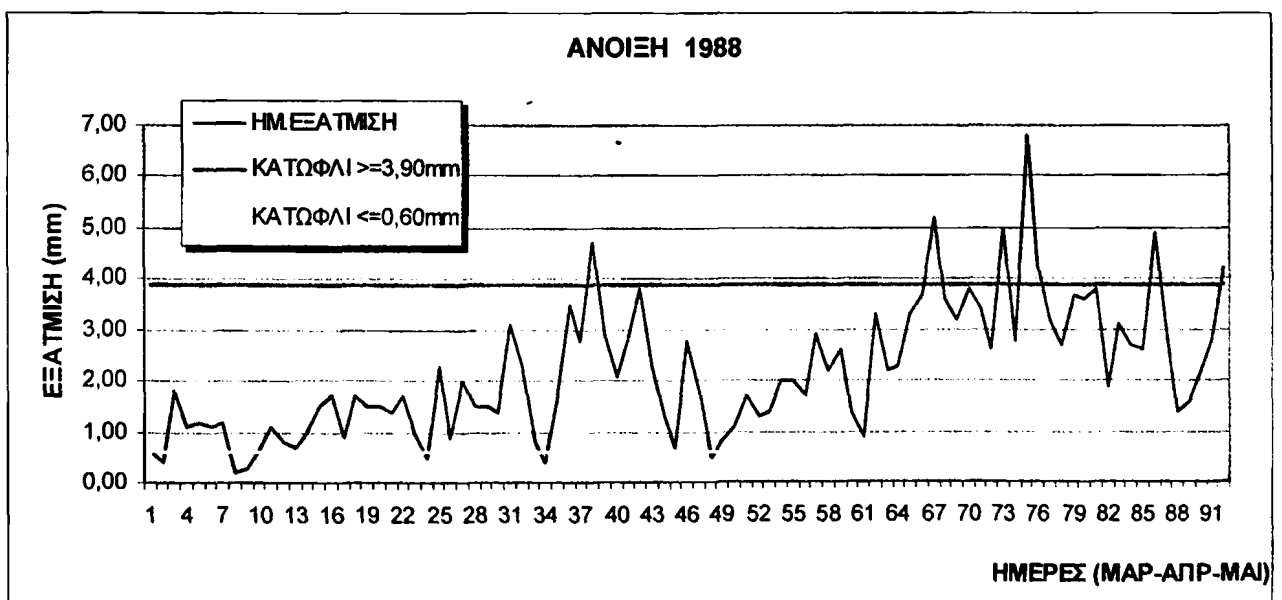


Σχήμα 6.4 Συχνότητα εμφάνισης ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου τον χειμώνα, ανά έτος.

### 6.3.2 ΑΝΟΙΞΗ

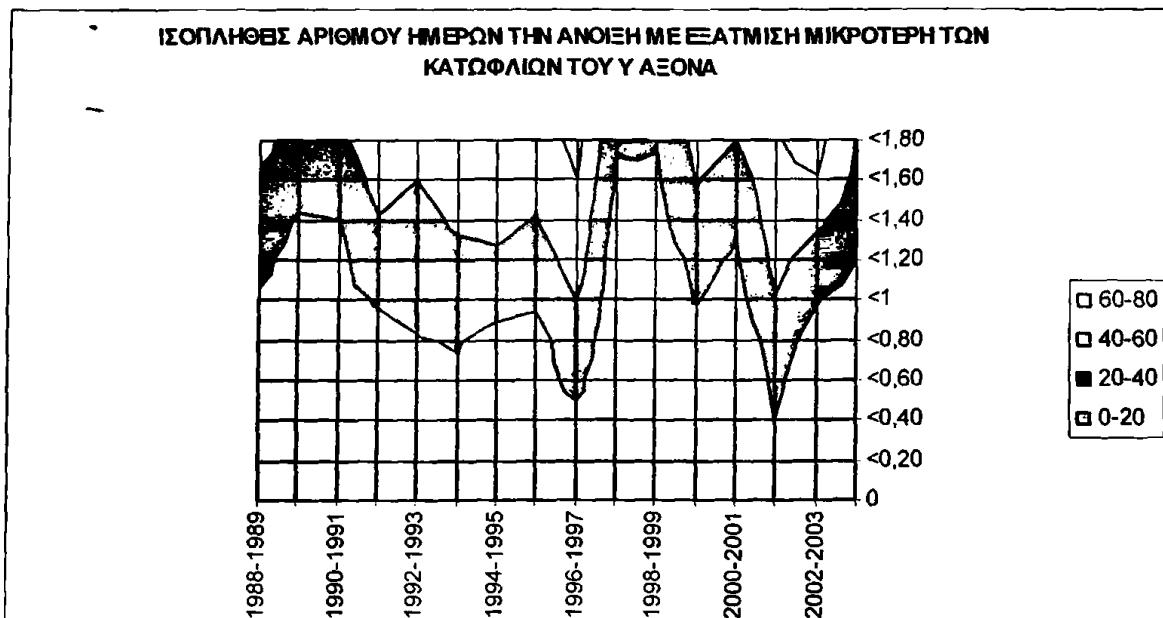
Για την εποχή της άνοιξης, οι τιμές της ημερήσιας εξάτμισης οι οποίες είναι μεγαλύτερες του άνω δεκατημορίου ( $\geq 3,90\text{mm}$ ), θεωρούνται ως άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης ενώ αυτές που είναι μικρότερες του κάτω δεκατημορίου ( $\leq 0,60\text{mm}$ ) θεωρούνται κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Στο σχήμα 5.2.2 παρουσιάζεται η κατανομή συχνοτήτων της ημερήσιας εξάτμισης. Οι περιπτώσεις εξάτμισης, που βρίσκονται πάνω από την τιμή  $\gamma=3,90$  είναι αυτές που ανήκουν στο άνω δεκατημόριο, δηλαδή στο 10% των περιπτώσεων εξάτμισης και τις χαρακτηρίζουμε σαν άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης ενώ εκείνες οι οποίες βρίσκονται κάτω από την τιμή  $\gamma=0,60$ , είναι αυτές που ανήκουν στο κάτω δεκατημόριο, δηλαδή στο 10% των περιπτώσεων και τις χαρακτηρίζουμε σαν κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης.

Στο σχήμα 6.5 παρουσιάζεται δειγματοληπτικά, η μέση ημερήσια πορεία της εξάτμισης την άνοιξη του 1988 όπως και τα άνω / κάτω κατώφλια, έτσι ώστε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο έχουν οριστεί οι ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Για την άνοιξη του συγκεκριμένου έτους εμφανίστηκαν ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 5,00, 5,20 και 6,80mm (αρκετά υψηλή) αλλά και ημέρες με 0,20 και 0,40mm (αρκετά χαμηλή). Συγκριτικά, φαίνεται ότι το 1988 παρουσιάστηκαν περισσότερες άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης και ελάχιστες κάτω ακραίες. Όπως και στην περίπτωση του χειμώνα, όπου υπάρχει ακολουθία μεγαλύτερη των 2 ημερών, θεωρούμε ότι συμβαίνει άνω ή κάτω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης, όπως π.χ στις 14 και 15/5/1988, που παρατηρήθηκε εξάτμιση μεγαλύτερη του κατωφλίου για 2 συνεχόμενες ημέρες με 5,00 και 6,80mm μέση ημερήσια εξάτμιση, αντίστοιχα.

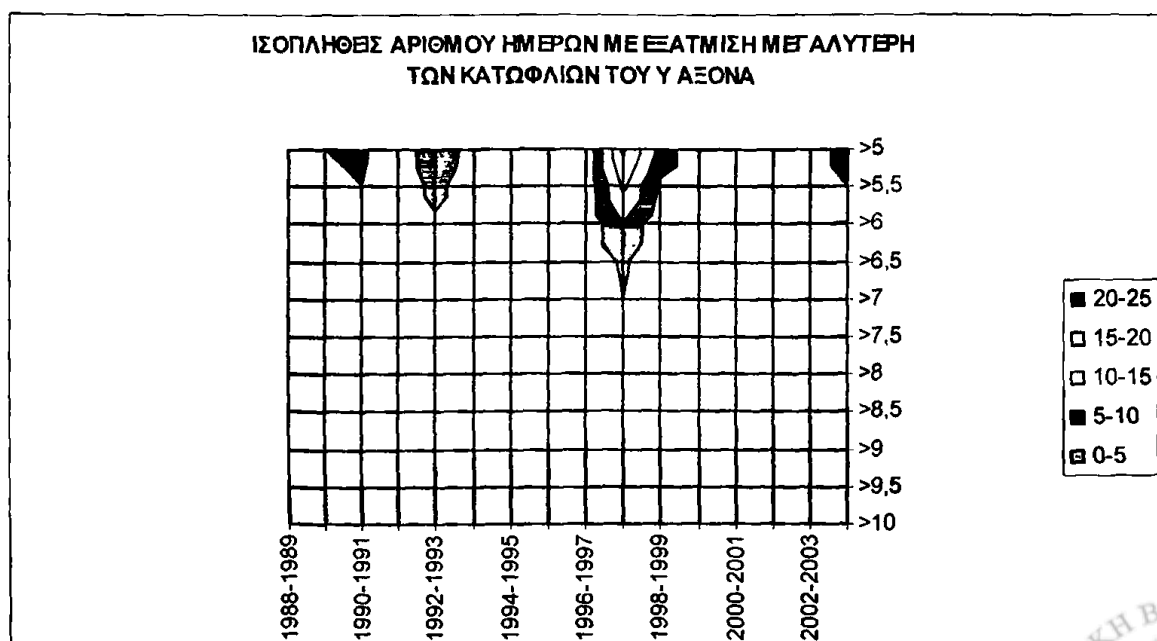


Σχήμα 6.5 Πορεία ημερήσιας εξάτμισης την άνοιξη του 1988 και τα άνω/κάτω κατώφλια.

Η εξέταση του αριθμού ημερών και του αριθμού συνεχόμενων ημερών με τιμές εξάτμισης μικρότερες διαφόρων κατωφλίων (σχήμα 6.6.1), δείχνει ότι οι ημέρες με ελάχιστη εξάτμιση αυξάνονται από το 1990 έως το 1997 και από το 2000 έως το 2003, ενώ στα ενδιάμεσα χρονικά διαστήματα οι ημέρες με μικρή εξάτμιση είναι ελάχιστες. Στην εξέταση για τις ημέρες με εξάτμιση άνω διαφόρων κατωφλίων (σχήμα 6.6.2), συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή από το 1997 έως το 1999 εμφανίζεται μεγάλος αριθμός ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη των προκαθορισμένων κατωφλίων του άξονα y, ενώ τα υπόλοιπα έτη εμφανίζουν ελάχιστες ημέρες με εξάτμιση μεγαλύτερη των κατωφλίων. Τα ευρήματα έρχονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα για την περίπτωση της θερμοκρασίας με τους Χορλακί et al, (2005).



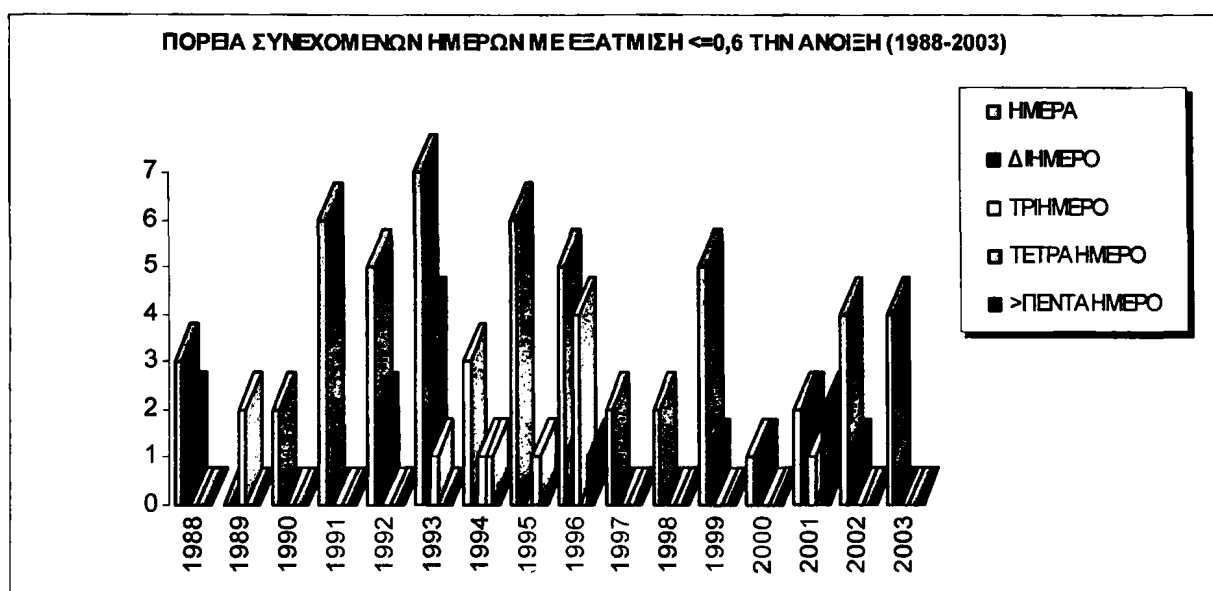
Σχήμα 6.6.1 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με ελάχιστη εξάτμιση μικρότερη των κατωφλίων του y άξονα.



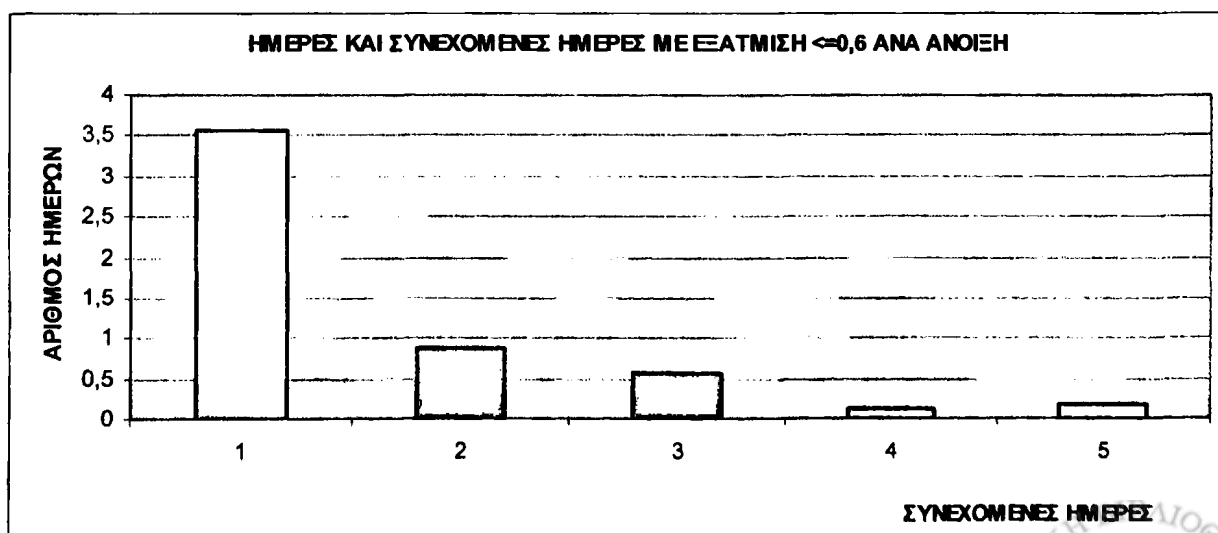
Σχήμα 6.6.2 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με μέγιστη εξάτμιση μεγαλύτερη των κατωφλίων του y άξονα.

Η πορεία των ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση  $\leq 0,60\text{mm}$  παρουσιάζεται στο σχήμα 6.7 και φαίνεται ότι το 1996 υπήρξε ένα πενθήμερο με μικρή εξάτμιση όπως και το 2001 που εμφανίστηκαν 2 πενθήμερα με εξάτμιση  $\leq 0,60\text{mm}$ . Τελικά, ανά έτος, εμφανίστηκαν 3,15 ημέρες, 0,87 διήμερα, 0,56 τριήμερα, 0,12 τετραήμερα και 0,18 πενθήμερα με μέση ημερήσια εξάτμιση μικρότερη του κάτω κατωφλίου (σχήμα 6.8).

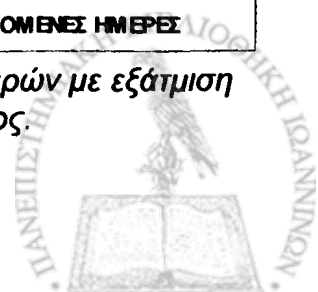
Αντίθετα, η πορεία των ημερών και των συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση  $\geq 3,90\text{mm}$ , εμφανίζεται στο σχήμα 6.9 και φαίνεται ότι το 1990, 1992 και το 2003 υπήρξαν 5 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\geq 3,90\text{mm}$  ενώ το 1997 υπήρξαν 3 πενθήμερα με εξάτμιση  $\geq 3,90\text{mm}$ . Τελικά, ανά έτος, εμφανίστηκαν 3 ημέρες, 0,68 διήμερα, 0,37 τριήμερα, 0,12 τετραήμερα και 0,37 πενθήμερα (σχήμα 6.10). Συγκριτικά, οι κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης την άνοιξη, παρουσιάζουν μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης από τις άνω ακραίες για την περίοδο της μελέτης.

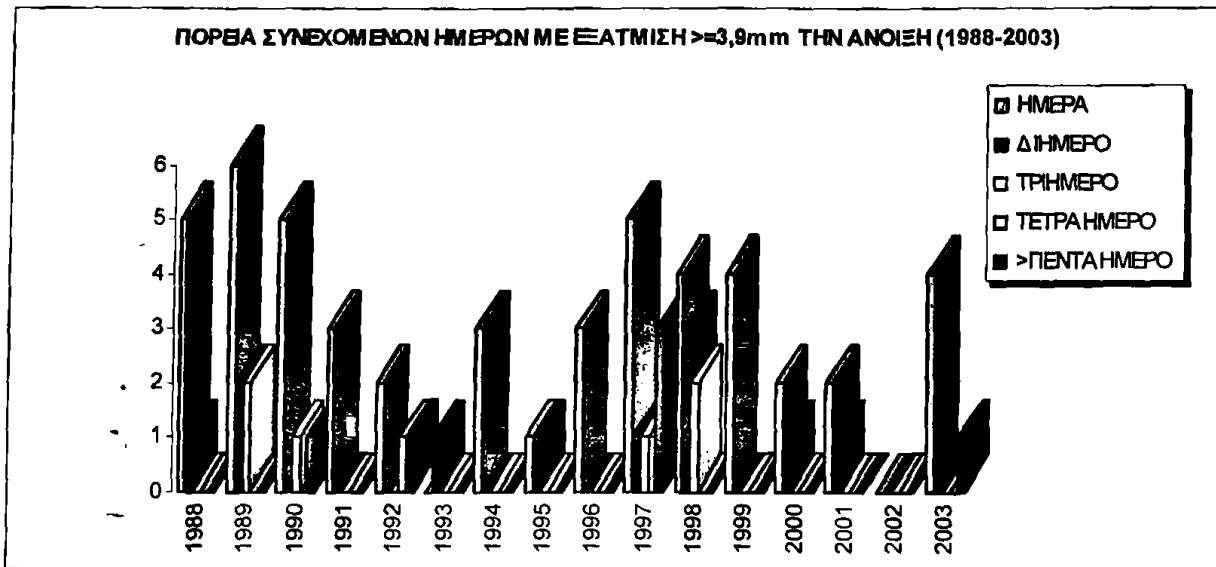


Σχήμα 6.7. Αριθμός ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μικρότερη του άνω κατωφλίου την άνοιξη από 1988-2003.

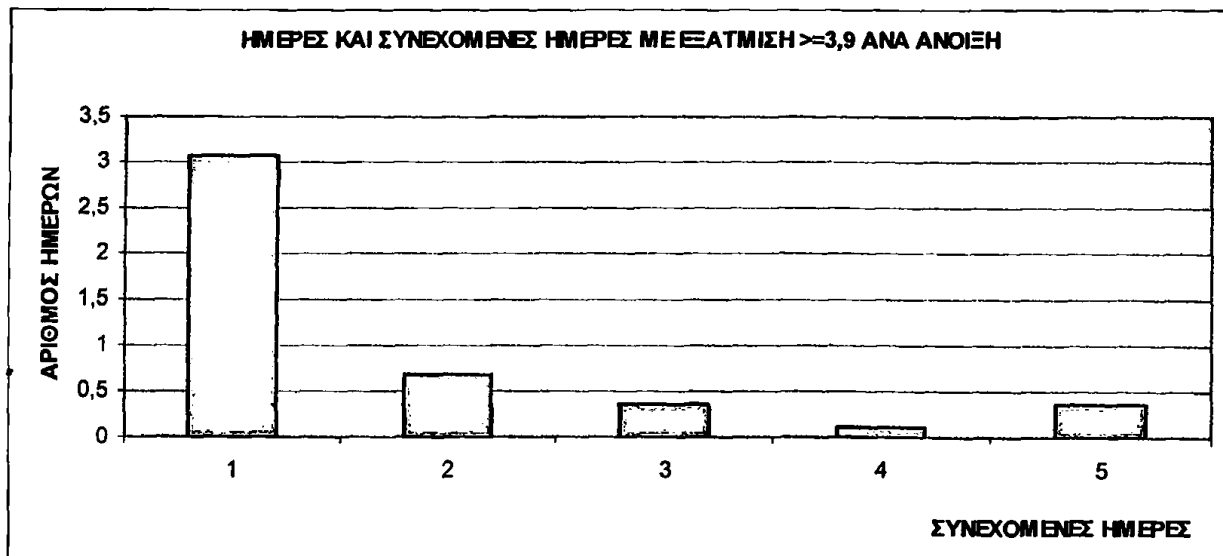


Σχήμα 6.8 Συχνότητα εμφάνισης ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μικρότερη του κάτω κατωφλίου την άνοιξη ανά έτος.





Σχήμα 6.9 Αριθμός ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου την άνοιξη από 1988-2003.

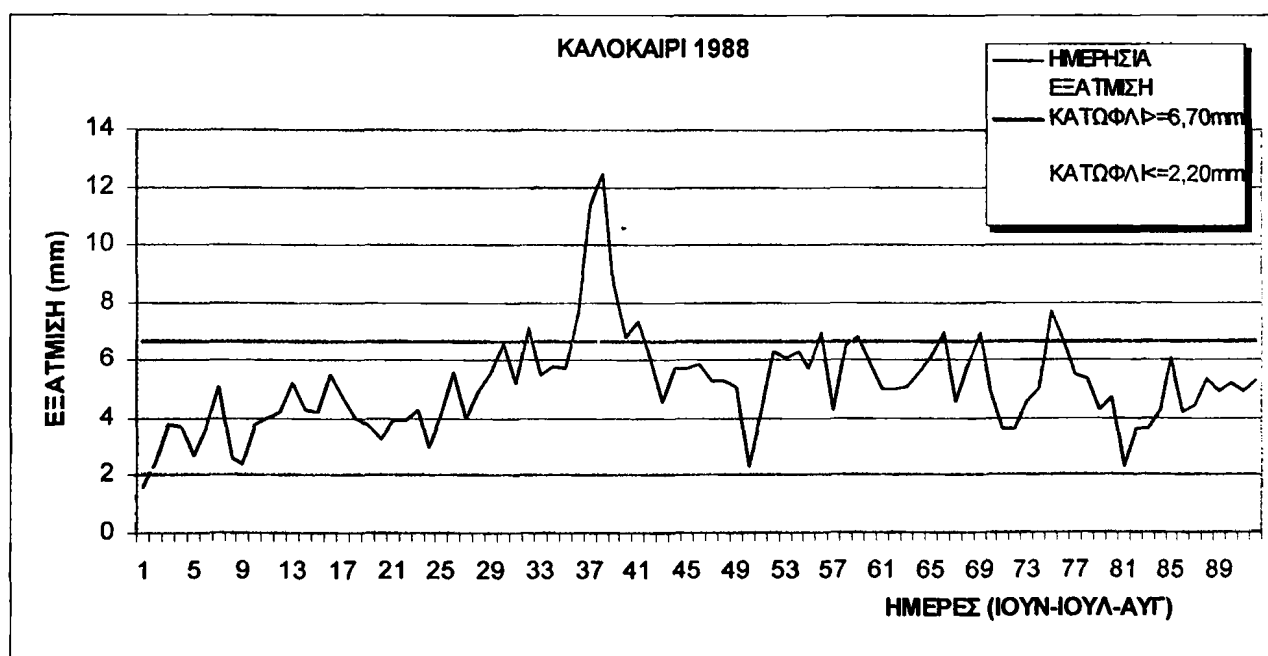


Σχήμα 6.10 Συχνότητα εμφάνισης ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου την άνοιξη ανά έτος.

### 6.3.2 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

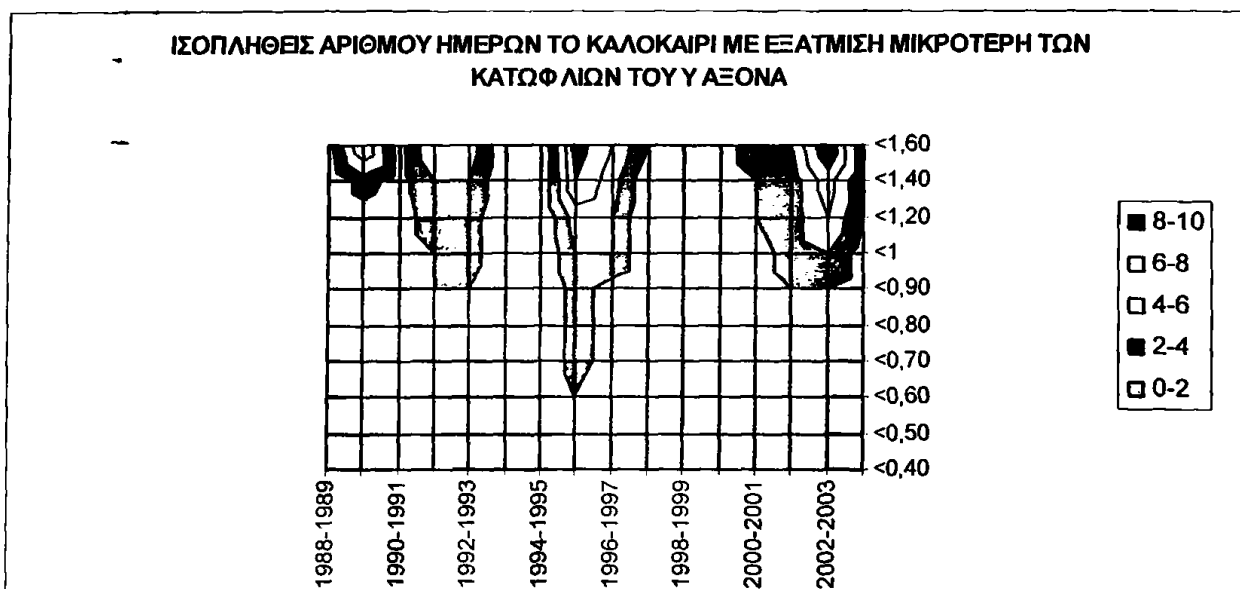
Για την εποχή του καλοκαιριού, με τον ίδιο τρόπο ορίζουμε τις ακραίες περιπτώσεις ημερήσιας εξάτμισης, δηλαδή οι ημέρες που παρουσιάζουν εξάτμιση μεγαλύτερη από το άνω κατώφλι ( $\geq 6,70\text{mm}$ ) θεωρούνται άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης ενώ αυτές που παρουσιάζουν εξάτμιση μικρότερη του κάτω κατωφλίου ( $\leq 2,2\text{mm}$ ) τις θεωρούμε κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Στο σχήμα 5.2.3 παρουσιάζεται η κατανομή συχνοτήτων της ημερήσιας εξάτμισης την εποχή του καλοκαιριού και εμφανίζονται τα άνω και κάτω δεκατημόρια.

Στο παρακάτω σχήμα (6.11) παρουσιάζεται δειγματοληπτικά, η ημερήσια πορεία της εξάτμισης για το καλοκαίρι του 1988 καθώς και τα άνω/κάτω κατώφλια. Φαίνεται καθαρά ότι υπάρχει μια ακολουθία ημερών κατά την οποία η ημερήσια εξάτμιση είναι πολύ μεγαλύτερη από το άνω κατώφλι (6,7,8,9,10,11/7/1988) ενώ δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Αυτή η ακολουθία, χαρακτηρίστηκε σαν επεισόδιο καύσωνα, που έπληξε το βόρειο Ελλαδικό χώρο - καθώς και τα Βαλκάνια- και στοίχισε ανθρώπινες ζωές, τουλάχιστον στην Ελλάδα. Σύμφωνα με τους Brikas and Karakostas (2002), το επεισόδιο αυτό σχετίζεται άμεσα από την διέλευση του υποτροπικού αεροχείμαρρου πάνω από την Ελλάδα (παρακάτω θα γίνει εκτενής αναφορά). Στα σχήματα 6.12.1 και 6.12.2, τα οποία απεικονίζουν τις ισοπληθείς των ημερών με μέγιστη και ελάχιστη εξάτμιση μεγαλύτερη ή μικρότερη των κατωφλίων του  $y$  άξονα, φαίνεται καθαρά ότι το 1988 παρουσιάζει κάποιες ημέρες με μεγάλη εξάτμιση και καμία ημέρα με μικρή εξάτμιση.

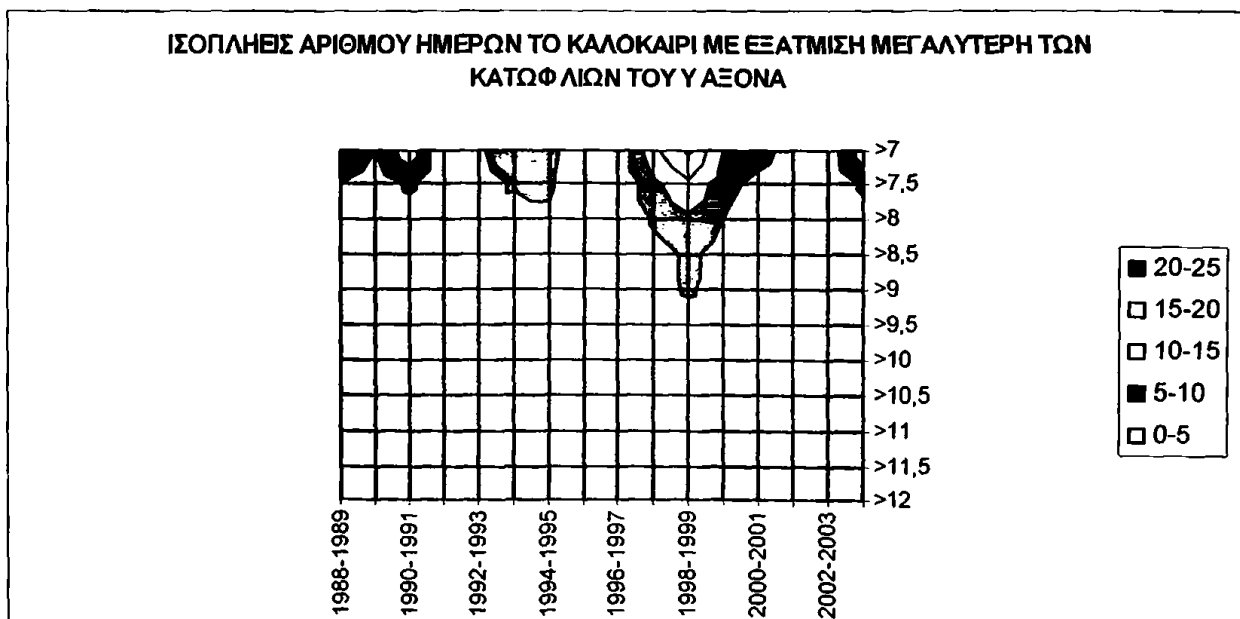


Σχήμα 6.11 Πορεία ημερήσιας εξάτμισης το καλοκαίρι του 1988 και τα άνω/κάτω κατώφλια.

Η εξέταση του αριθμού ημερών και του αριθμού συνεχόμενων ημερών με τιμές εξάτμισης άνω ή κάτω διαφόρων κατωφλίων για το καλοκαίρι, παρουσιάζεται στα σχήματα 6.12.1 και 6.12.2. Συγκρίνοντας τα, φαίνεται ότι είναι και σε αυτή την περίπτωση σχεδόν συμπληρωματικά. Για παράδειγμα, το 1995 και το 2002 που ήταν καλοκαίρια με χαμηλή θερμοκρασία και πολύ βροχόπτωση (Luterbacher et al, 2004), εμφανίζονται μέγιστα στο σχήμα 6.12.1 (κάτω κατώφλια) ενώ το 1998 που επικρατούσε υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή βροχόπτωση εμφανίζεται ένα μέγιστο στο σχήμα 6.12.2 (άνω κατώφλια). Για το καλοκαίρι οι τάσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές (σχήμα 4.11.δ).



Σχήμα 6.12.1 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με ελάχιστη εξάτμιση μικρότερη των κατωφλίων του γ άξονα.

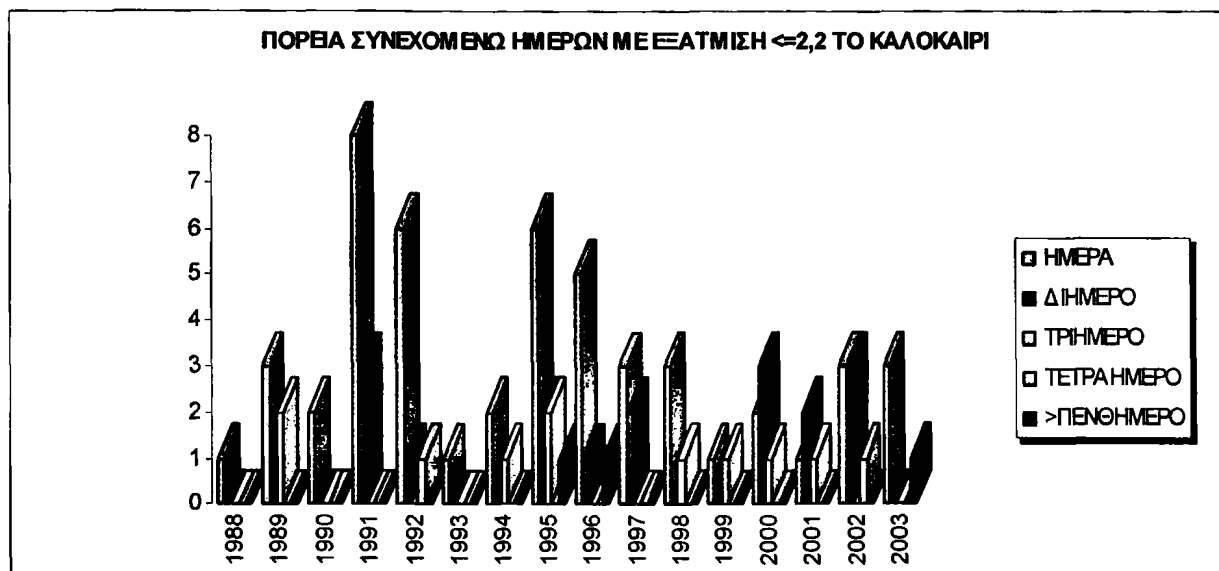


Σχήμα 6.12.2 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με μέγιστη εξάτμιση μεγαλύτερη των κατωφλίων του γ άξονα

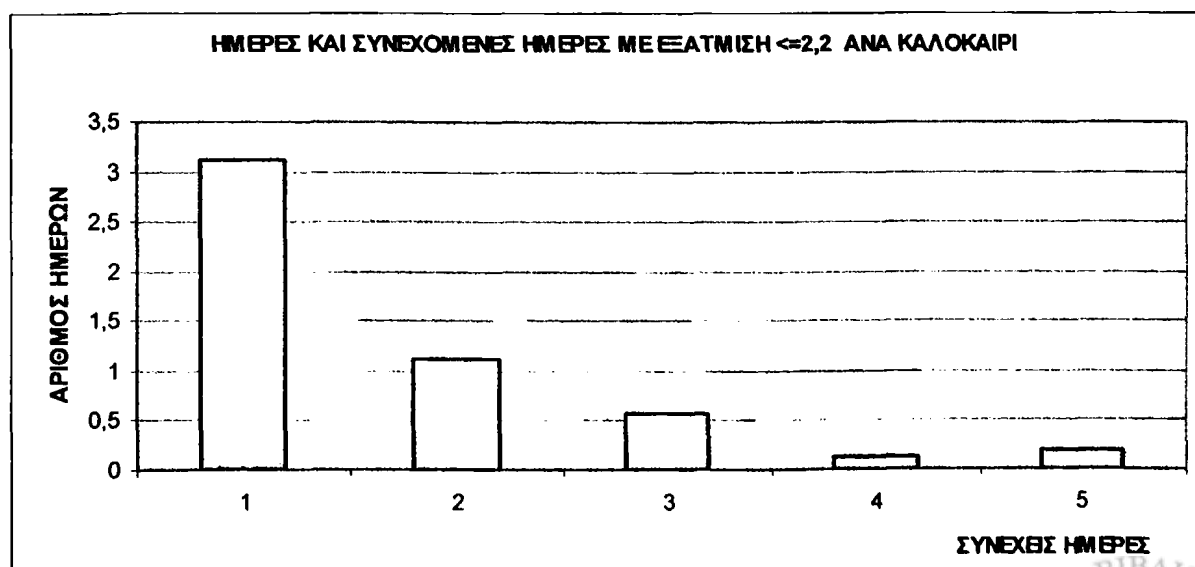


Η πορεία των ημερών και των συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση  $\leq 2,20\text{mm}$ , εμφανίζεται στο σχήμα 6.13 και φαίνεται ότι το 1995, 1996 και το 2003 υπήρξαν 5 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\leq 2,20\text{mm}$ . Τελικά, ανά έτος, εμφανίστηκαν 3,12 ημέρες, 1,12 διήμερα, 0,56 τριήμερα, 0,12 τετραήμερα και 0,18 πενθήμερα που χαρακτηρίστηκαν ως αρνητικές ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης (σχήμα 6.14).

Αντίθετα, η πορεία των ημερών και των συνεχόμενων με εξάτμιση  $\geq 6,70\text{mm}$ , εμφανίζεται στο σχήμα 6.15 και φαίνεται ότι το 1988, 1990, 1998, 1999, και το 2000 υπήρξαν 5 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\geq 6,70\text{mm}$ . Τελικά, ανά έτος, εμφανίστηκαν 3,12 ημέρες, 0,75 διήμερα, 0,37 τριήμερα, 0,44 τετραήμερα και 0,31 >πενθήμερα που χαρακτηρίστηκαν ως άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης (σχήμα 6.16). Συγκριτικά, για την 16ετή περίοδο, εμφανίστηκαν περισσότερες κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης από τις άνω ακραίες.

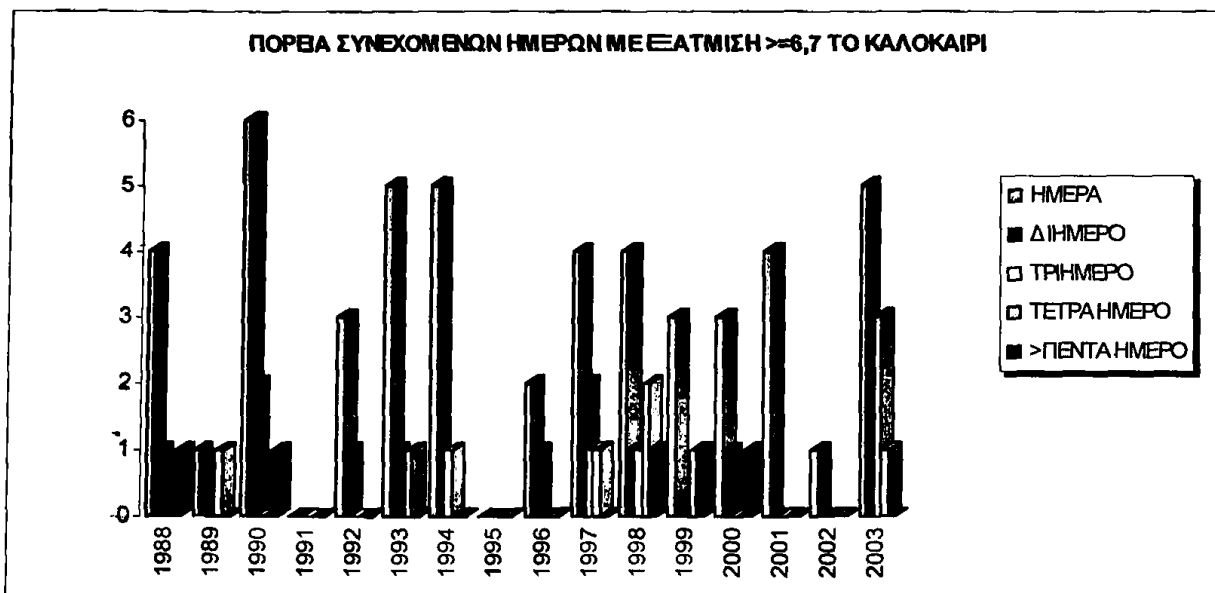


Σχήμα 6.13 Αριθμός ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μικρότερη του άνω κατωφλίου το καλοκαίρι από 1988-2003.

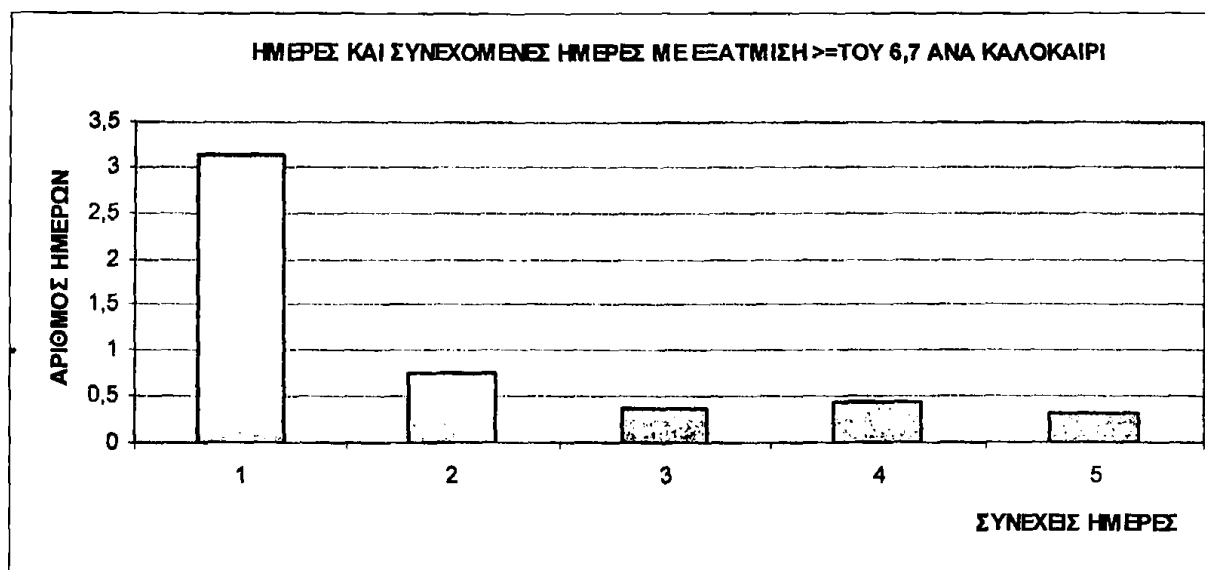


Σχήμα 6.14 Συχνότητα εμφάνισης ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μικρότερη του κάτω κατωφλίου το καλοκαίρι ανά έτος.





Σχήμα 6.15 Αριθμός ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου το καλοκαίρι από 1988-2003.

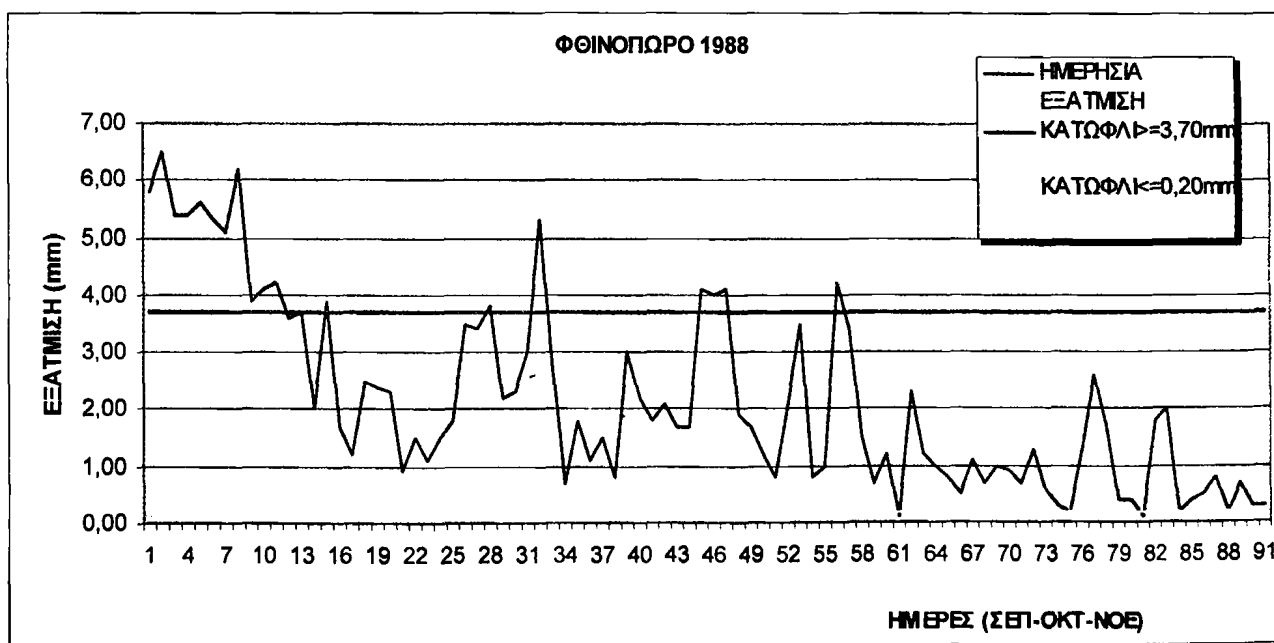


Σχήμα 6.16 Συχνότητα εμφάνισης ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου το καλοκαίρι ανά έτος.

### 6.3.3 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

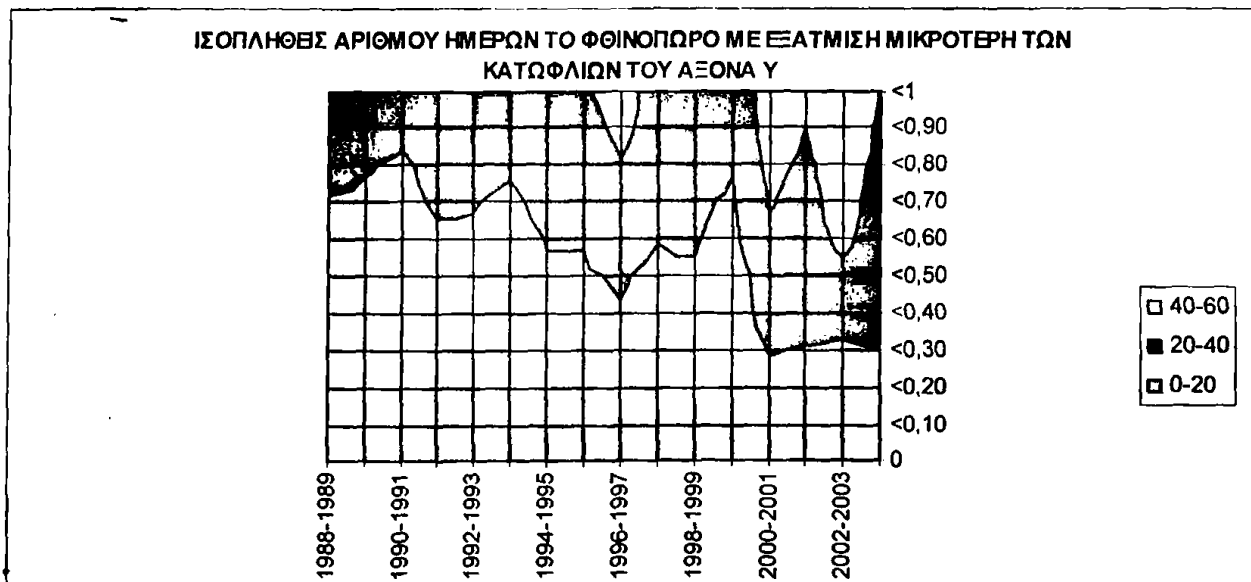
Για την εποχή του φθινοπώρου, οι τιμές της ημερήσιας εξάτμισης οι οποίες είναι μεγαλύτερες του άνω δεκατημορίου ( $\geq 3,70\text{mm}$ ), θεωρούνται σαν άνω ακραίες καταστάσεις εξάτμισης ενώ αυτές που είναι μικρότερες του κάτω δεκατημορίου ( $\leq 0,20\text{mm}$ ) θεωρούνται κάτω ακραίες καταστάσεις εξάτμισης (βλ. σχήμα 5.2.4 κατανομή συχνοτήτων μέσης ημερήσιας εξάτμισης το φθινόπωρο).

Δειγματοληπτικά, στο σχήμα 6.17, παρουσιάζεται η ημερήσια πορεία της εξάτμισης το φθινόπωρο του 1988 όπως και τα άνω / κάτω κατώφλια. Οι περιπτώσεις εξάτμισης, που βρίσκονται πάνω από τον άξονα  $\gamma=3,70$  είναι αυτές που ανήκουν στο άνω δεκατημόριο, δηλαδή στο 10% των περιπτώσεων εξάτμισης και τις χαρακτηρίζουμε σαν άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης ενώ εκείνες οι τιμές ημερήσιας εξάτμισης που βρίσκονται κάτω από τον άξονα  $\gamma=0,20$ , είναι αυτές που ανήκουν στο κάτω δεκατημόριο, δηλαδή στο 10% των περιπτώσεων που τις χαρακτηρίζουμε ως κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Όπου υπάρχει ακολουθία μεγαλύτερη των 2 ημερών, θεωρούμε ότι συμβαίνει άνω ή κάτω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης, όπως πχ από 1 έως 11/9/1988, που παρατηρήθηκε εξάτμιση, μεγαλύτερη του κατωφλίου για 11 συνεχόμενες ημέρες.

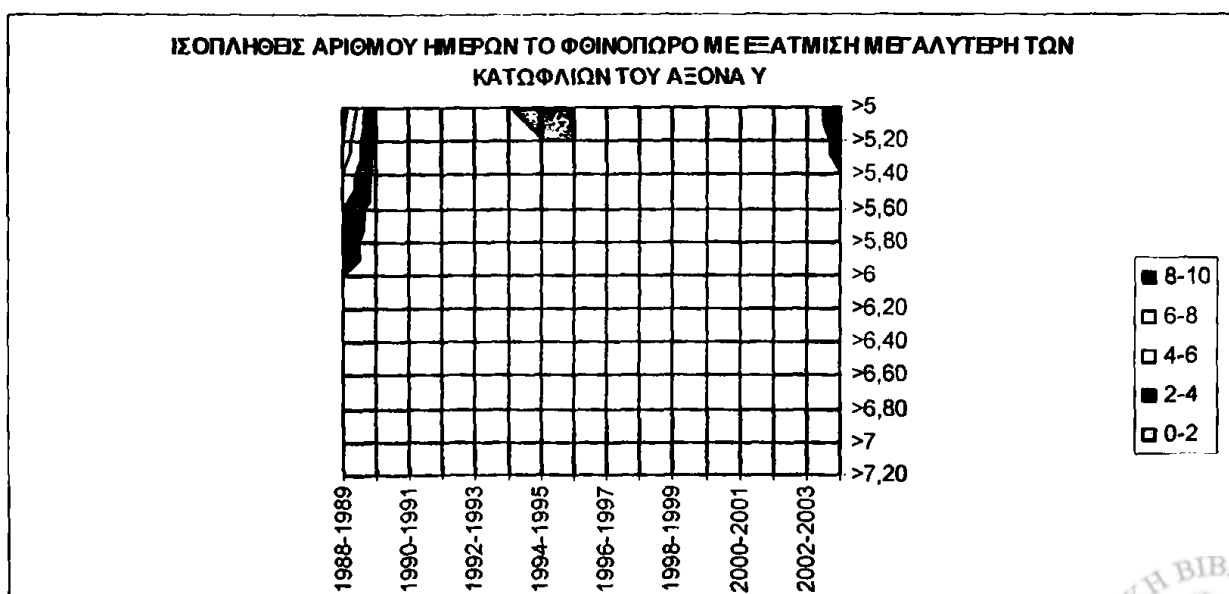


Σχήμα 6.17 Πορεία ημερήσιας εξάτμισης το φθινόπωρο του 1988 και τα άνω/κάτω κατώφλια.

Η εξέταση του αριθμού ημερών και του αριθμού συνεχόμενων ημερών με τιμές εξάτμισης άνω ή κάτω διαφόρων κατωφλίων για το φθινόπωρο παρουσιάζεται στα σχήματα 6.18.1 και 2. Οι ημέρες με εξάτμιση μικρότερη των κάτω κατωφλίων είναι ελάχιστες τα πρώτα χρόνια της υπό μελέτης περιόδου (1988-1999) ενώ αυξάνονται από το 2000 έως το 2003. Αντίθετα, οι ημέρες με εξάτμιση μεγαλύτερη των άνω κατωφλίων εντοπίζονται μεταξύ 1988 και 1989. Τα αποτελέσματα ενισχύθηκαν με το τεστ Mann-Kendall, το οποίο εφαρμόστηκε στις ημερήσιες τιμές εξάτμισης του φθινοπώρου και έδειξε ότι υπάρχει μια στατιστικά σημαντική αρνητική τάση (παράρτημα). Τα παραπάνω ευρήματα, έρχονται σε αντίθεση με αυτά της Χορλακι (2005), η οποία στη μελέτη της για τις φθινοπωρινές θερμοκρασίες πάνω από την Ευρώπη την τελευταία μισή χιλιετία, διαπίστωσε ότι η δεκαετία 1995-2004 παρουσίασε αυξημένες θερμοκρασίες.



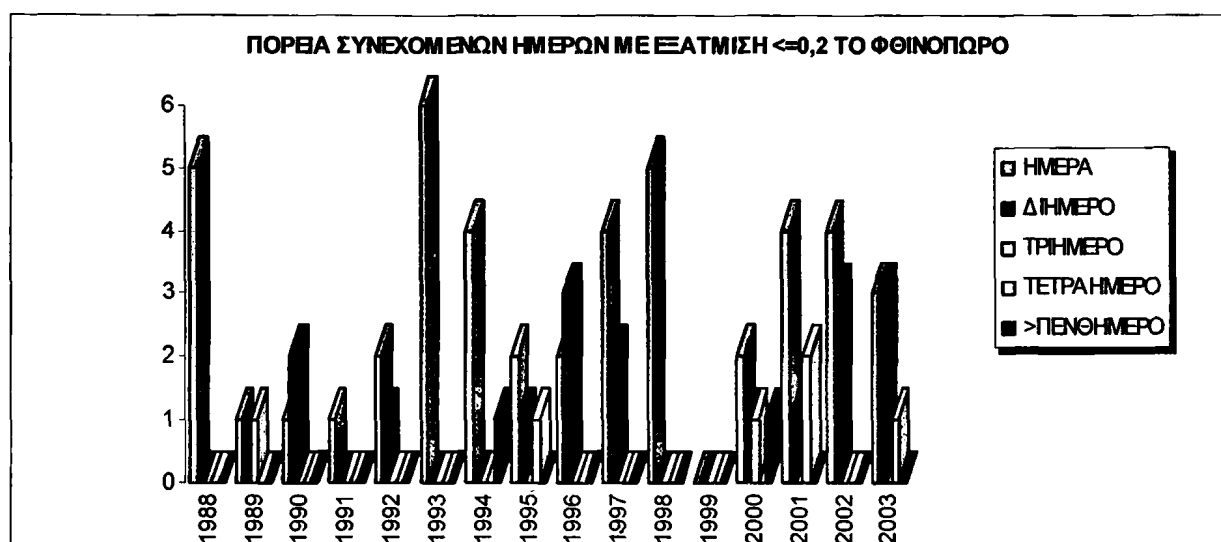
Σχήμα 6.18.1 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με ελάχιστη εξάτμιση μικρότερη των κατωφλίων του y άξονα.



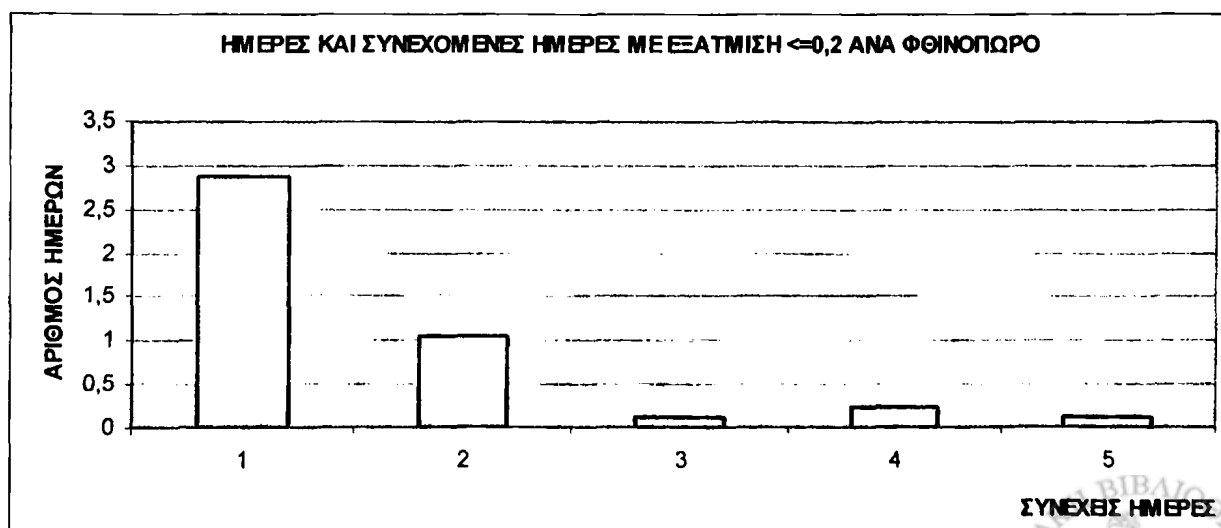
Σχήμα 6.18.2 Ισοπληθείς αριθμού ημερών ανά έτος με μέγιστη εξάτμιση μεγαλύτερη των κατωφλίων του y άξονα

Η πορεία των ημερών και των συνεχόμενων με εξάτμιση  $\leq 0,20\text{mm}$ , εμφανίζεται στο σχήμα 6.19 και φαίνεται ότι το 1994 εμφανίστηκε 1 εξαήμερο και το 2000 ένα εννιαήμερο με εξάτμιση μικρότερη του κάτω κατωφλίου. Τελικά, ανά έτος, εμφανίστηκαν 2,87 ημέρες, 1,06 διήμερα, 0,12 τριήμερα, 0,25 τετραήμερα και 0,12 πενθήμερα που χαρακτηρίστηκαν ως κάτω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης (σχήμα 6.20).

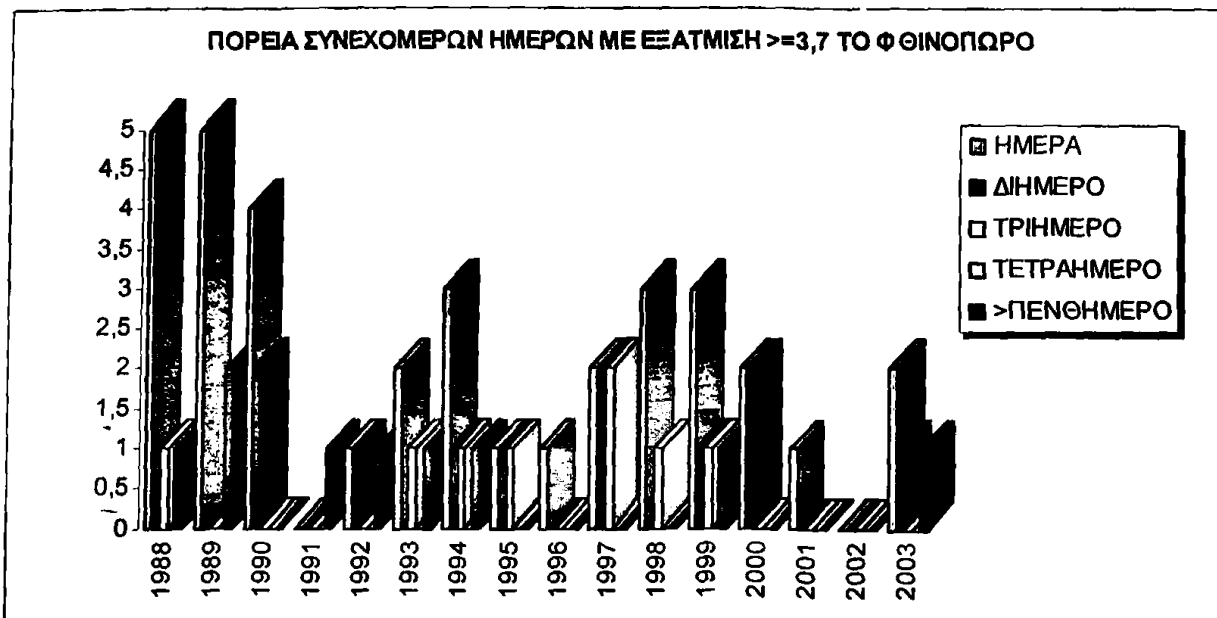
Αντίθετα, η πορεία των ημερών και των συνεχόμενων με εξάτμιση  $\geq 3,70\text{mm}$ , εμφανίζεται στο σχήμα 6.21 και φαίνεται ότι το 1988 υπήρξαν 1 ενδεκαήμερο, το 1989 δύο εξαήμερα, το 1991 1 επταήμερο, το 1992 1 ενδεκαήμερο, το 1993 1 πενθήμερο, το 1994 1εξαήμερο, το 1999 1 πενθήμερο και το 2003 1 πενθήμερο με εξάτμιση  $\geq 3,70\text{mm}$ . Τελικά, ανά έτος, εμφανίστηκαν 2,18 ημέρες, 0,68 διήμερα, 0,50 τριήμερα, 0 τετραήμερα και 0,56 πενθήμερα, τα οποία χαρακτηρίστηκαν ως άνω ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Συγκριτικά, την εποχή του φθινοπώρου και για την υπό μελέτη περίοδο, οι κάτω ακραίες περιπτώσεις είναι περισσότερες από τις άνω ακραίες (σχήμα 6.22).



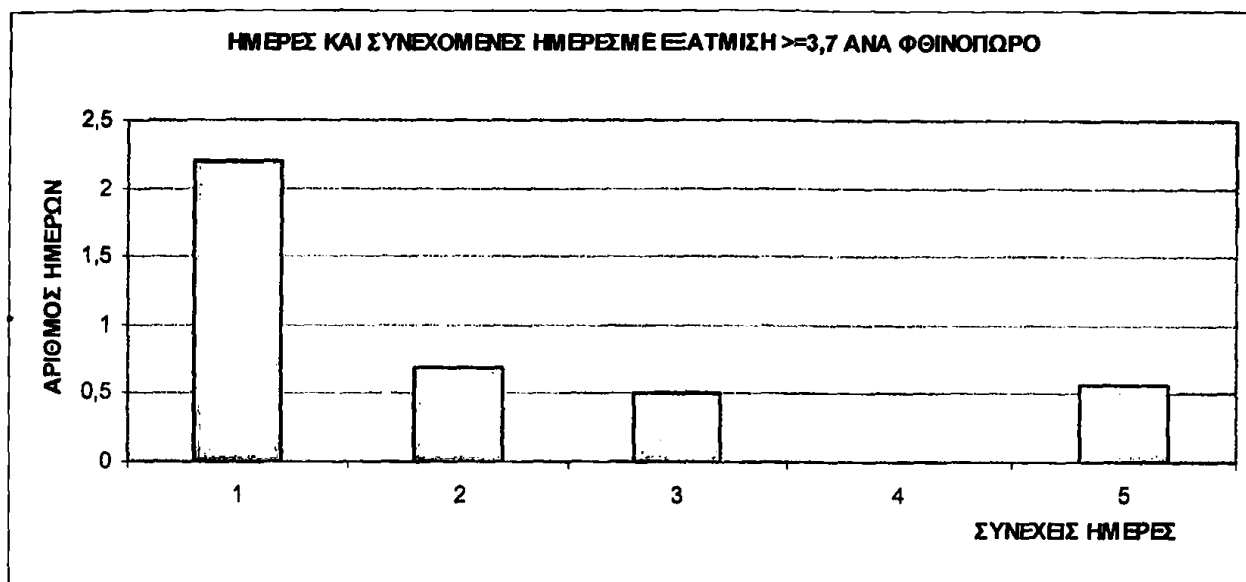
Σχήμα 6.19 Αριθμός ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μικρότερη του άνω κατωφλίου το καλοκαίρι από 1988-2003.



Σχήμα 6.20 Συχνότητα εμφάνισης ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μικρότερη του κάτω κατωφλίου το φθινόπωρο ανά έτος.



Σχήμα 6.21 Αριθμός ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου το φθινόπωρο από 1988-2003.



Σχήμα 6.22 Συχνότητα εμφάνισης ημερών και συνεχόμενων ημερών με εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω κατωφλίου το φθινόπωρο ανά έτος.

## 6.4 ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΣΥΝΕΧΟΜΕΝΩΝ ΗΜΕΡΩΝ ΜΕ ΑΚΡΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

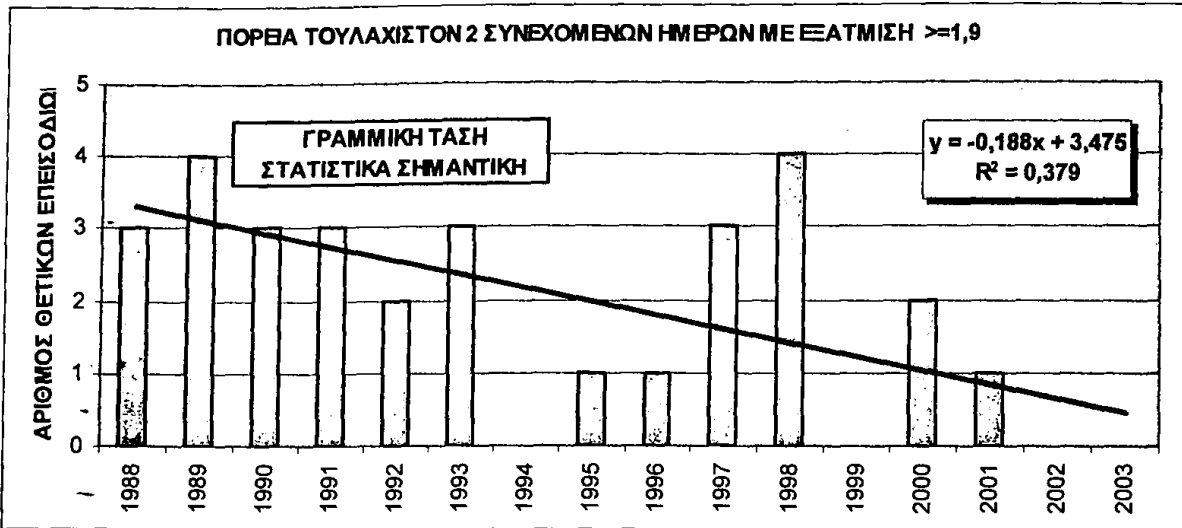
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σαν ακραίο επεισόδιο, ορίζεται μια ακολουθία μεγαλύτερη των δυο ημερών κατά την οποία παρατηρείται μέση ημερήσια εξάτμιση μεγαλύτερη ή μικρότερη των άνω ή κάτω κατωφλίων. Σύμφωνα με τον Domonkos (1998), από την ανάλυση χρονοσειρών θερμοκρασίας στην Ουγγαρία, προκύπτει ότι το 90% περιπτώσεων των ημερών με ακραίες θερμοκρασίες εμφανίζονται σε οργανωμένα επεισόδια, επομένως η μελέτη των ακραίων φαινομένων είναι γενικά χρήσιμη. Ακόμη γνωρίζοντας την συχνότητα εμφάνισής τους μπορεί να γίνει μια πρόβλεψη για την εμφάνιση αντίστοιχων ακραίων καταστάσεων στο μέλλον και αυτό επιτυγχάνεται υπολογίζοντας την περίοδο επιστροφής. Μέχρι στιγμής έχουν γίνει εκτεταμένες μελέτες για ακραία φαινόμενα που σχετίζονται με την θερμοκρασία (Domonkos, 1998,2001,2003), την βροχόπτωση (Knippertz and Martin, 2005, Wang and Zhou, 2005), τη χιονόπτωση (Esteban et al 2005, Martin (1998), τους τυφώνες (Kerr, 2005) κτλ ενώ για την περίπτωση της εξάτμισης οι έρευνες είναι περιορισμένες (Livadas and Machairas, 1972 και Machairas, 1973).

Πιο συγκεκριμένα, σαν άνω (κάτω) ακραίο επεισόδιο, ορίζεται μια ακολουθία μεγαλύτερη των δυο ημερών, καθεμία από τις οποίες παρουσιάζει μέγιστη (ελάχιστη) εξάτμιση, μεγαλύτερη (μικρότερη) από ένα προκαθορισμένο κατώφλι. Τα κατώφλια στην συγκεκριμένη περίπτωση ορίστηκαν σαν τα όρια του άνω και κάτω δεκατημορίου για κάθε εποχή, όπως και στις ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης. Δηλαδή, τον χειμώνα θεωρούμε ότι συμβαίνουν ακραία επεισόδια εξάτμισης (άνω) όταν η μέγιστη εξάτμιση των ημερών είναι μεγαλύτερη του άνω δεκατημορίου ( $\geq 1,90\text{mm}$ ). Την άνοιξη, άνω ακραίο επεισόδιο καλείται αυτό για το οποίο η μέγιστη εξάτμιση είναι μεγαλύτερη του άνω δεκατημορίου ( $\geq 3,90\text{mm}$ ) και κάτω ακραίο επεισόδιο αυτό για το οποίο η εξάτμιση είναι μικρότερη του κάτω δεκατημορίου ( $\leq 0,60\text{mm}$ ). Το καλοκαίρι, το κατώφλι για το άνω επεισόδιο είναι  $\geq 6,70\text{mm}$  και για το κάτω  $\leq 2,20\text{mm}$  ενώ για το φθινόπωρο  $\geq 3,70\text{mm}$  και  $\leq 0,20\text{mm}$ , αντίστοιχα.

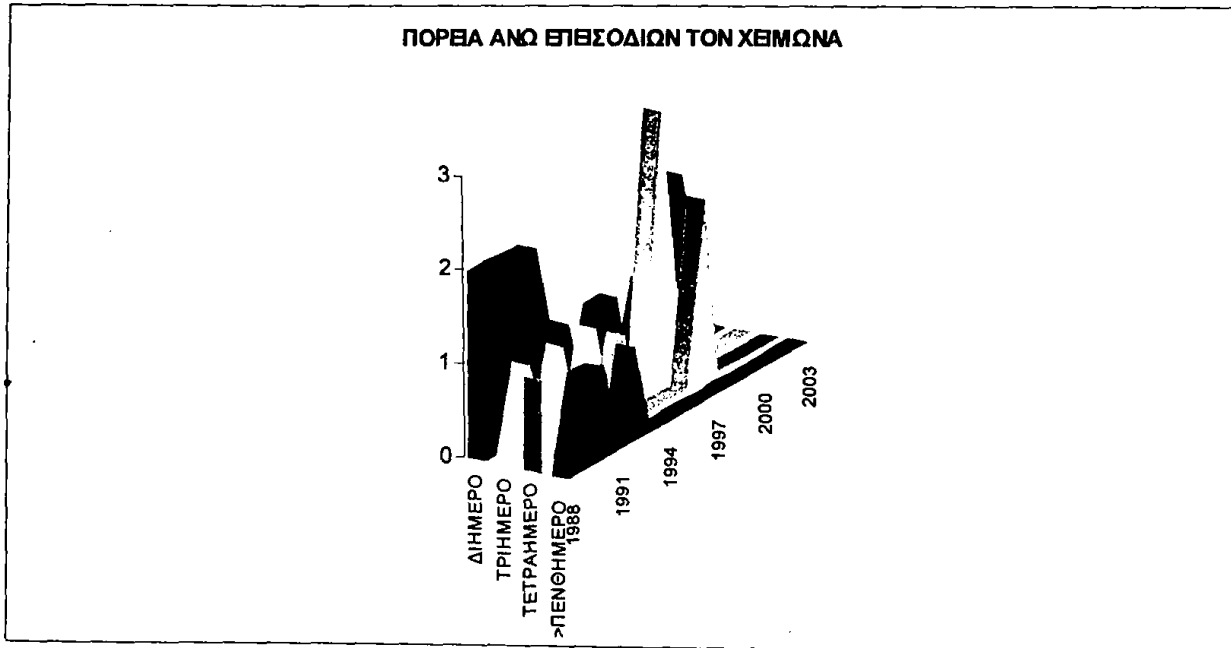
### 6.4.1 ΑΚΡΑΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΤΟΝ ΧΕΙΜΩΝΑ

Για την εποχή του χειμώνα, άνω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης θεωρείται η ακολουθία τουλάχιστον δυο ημερών, όπου η καθεμία παρουσιάζει μέση ημερήσια εξάτμιση  $\geq 1,90\text{mm}$ . Παρακάτω, εμφανίζεται η πορεία των επεισοδίων από το 1988 έως το 2003 σχήμα 6.23. Τα έτη 1989 και 1998 εμφανίστηκαν τα περισσότερα άνω ακραία επεισόδια ενώ το 1994,1999,2002 και 2003 δεν υπήρξαν καθόλου ακραία επεισόδια. Στο σχήμα εμφανίζεται ακόμη η εξίσωση της γραμμής τάσης όπως και ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ . Για την μελέτη της σημαντικότητας της τάσης των ακραίων επεισοδίων εξάτμισης, έγινε χρήση του στατιστικού τεστ Mann-Kendall. Στην περίπτωση του χειμώνα η τάση είναι αρνητική και το τεστ έδειξε ότι είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Αυτό σημαίνει ότι εμφανίστηκε μια μείωση σχετικά με την εμφάνιση άνω ακραίων επεισοδίων εξάτμισης από το 1988 έως το 2003. Τα αποτελέσματα για την τάση των ακραίων επεισοδίων τον χειμώνα συμφωνούν με αυτά της ημερήσιας πορείας της εξάτμισης (κεφάλαιο 4). Στο σχήμα 6.24, φαίνεται ξεχωριστά η πορεία των συνεχόμενων ημερών (διήμερα, τριήμερα, τετράημερα, >πενθήμερα) που παρουσιάζουν εξάτμιση  $\geq 1,90\text{mm}$  και με αυτό τον τρόπο γίνεται γνωστή ακριβώς η διάρκεια των ακραίων επεισοδίων, π.χ πενήνήμερα με ακραία εξάτμιση εμφανίζονται τα έτη 1989,1990 και 1992, ενώ τετράημερα εμφανίζονται το 1988, 1992 και 1997.





Σχήμα 6.23 Πορεία άνω επεισοδίων (τουλάχιστον 2 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\geq 1,9$ ) από 1988-2003.

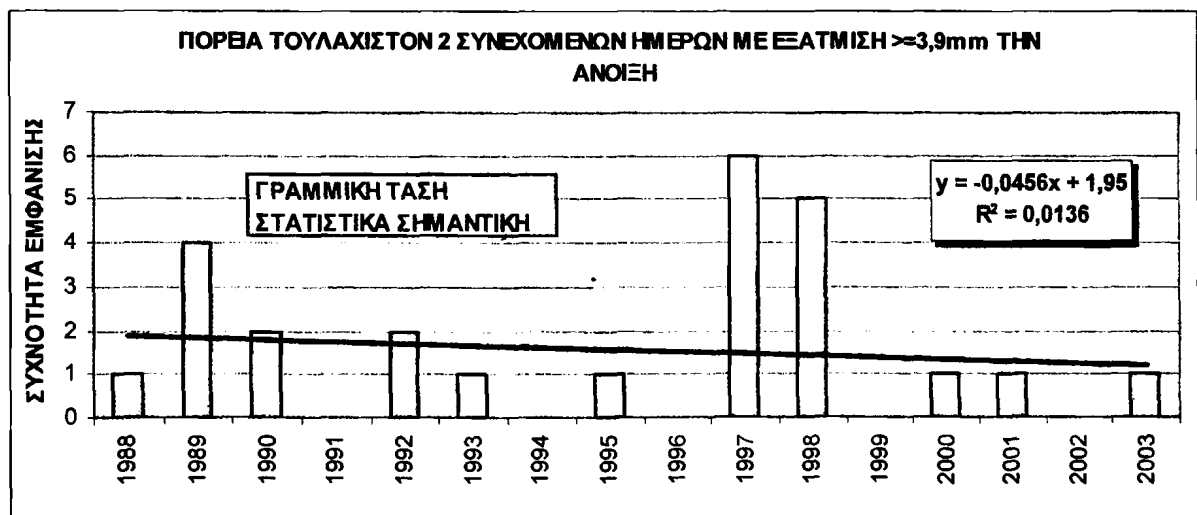


Σχήμα 6.24 Πορεία άνω επεισοδίων από 1988-2003.

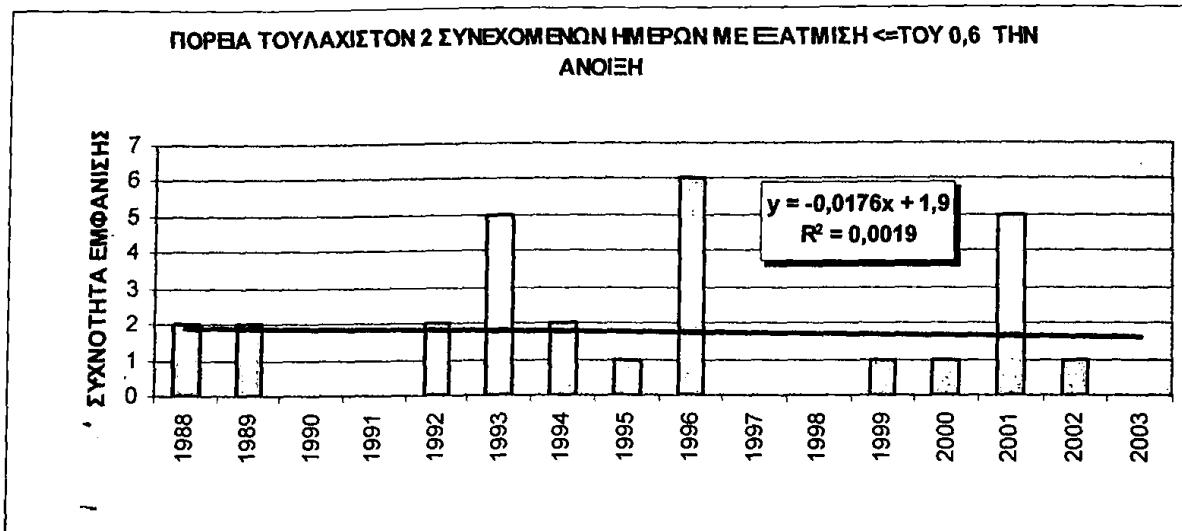


## 6.4.2 ΑΚΡΑΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΤΗΝ ΑΝΟΙΞΗ

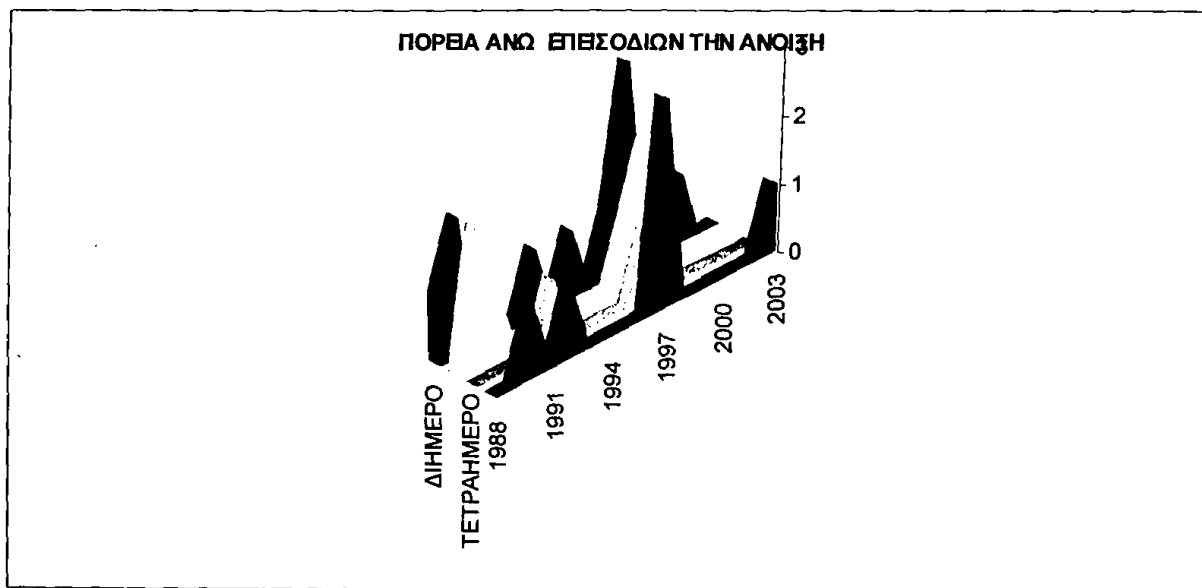
Για την εποχή της άνοιξης, υπάρχουν δυο περιπτώσεις ακραίων επεισοδίων, το άνω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης, που αντιστοιχεί σε ακολουθία τουλάχιστον δυο ημερών με μέση ημερήσια εξάτμιση η καθεμία  $\geq 3,90\text{mm}$  και το κάτω ακραίο επεισόδιο το οποίο αναφέρεται σε ακολουθία τουλάχιστον δυο ημερών, με μέση ημερήσια εξάτμιση  $\leq 0,60\text{mm}$ . Παρακάτω, εμφανίζεται η πορεία των άνω επεισοδίων από το 1988 έως το 2003, σχήμα 6.25.1. Τα έτη 1989, 1997 και 1998 εμφάνισαν τα περισσότερα άνω ακραία φαινόμενα εξάτμισης ενώ το 1991, 1994, 1996, 1999 και 2002 δεν εμφανίστηκε κανένα άνω ακραίο επεισόδιο. Στο σχήμα, εμφανίζεται ακόμη η εξίσωση της γραμμής τάσης όπως και ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ . Στην περίπτωση της άνοιξης και για τα άνω ακραία επεισόδια η τάση είναι αρνητική και το τεστ Mann-Kendall έδειξε ότι είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, που σημαίνει ότι κατά την διάρκεια των τελευταίων ετών τα άνω ακραία επεισόδια εξάτμισης έχουν ελαττωθεί. Αντίστοιχα, στο σχήμα 6.25.2, φαίνονται τα αποτελέσματα για τα κάτω ακραία επεισόδια. Στην περίπτωση αυτή η γραμμική τάση δεν είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Στα σχήματα 6.26.1 και 2, φαίνεται ξεχωριστά η πορεία των συνεχόμενων ημερών (διήμερα, τριήμερα, τετραήμερα, >πενθήμερα) που παρουσιάζουν εξάτμιση  $\geq 3,90\text{mm}$  και  $\leq 0,60\text{mm}$  αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο γίνεται γνωστή ακριβώς η διάρκεια των άνω και κάτω ακραίων επεισοδίων καθώς και το έτος εμφάνισής τους.



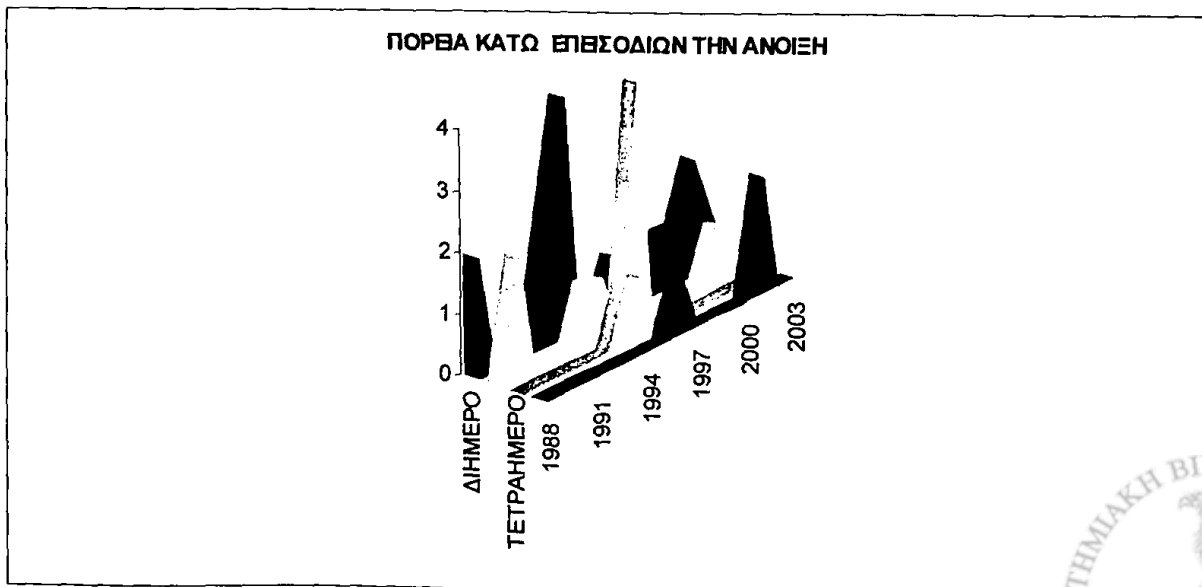
Σχήμα 6.25.1 Πορεία άνω επεισοδίων (τουλάχιστον 2 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\geq 3,90\text{mm}$ ) από 1988-2003.



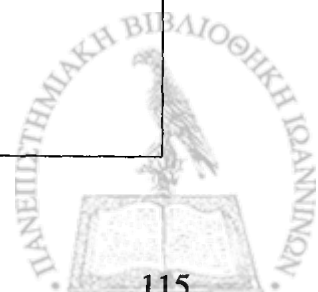
Σχήμα 6.25.2 Πορεία κάτω επεισοδίων (τουλάχιστον 2 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\leq 0,60\text{mm}$ ) από 1988-2003.



Σχήμα 6.26.1 Πορεία άνω επεισοδίων από 1988-2003.

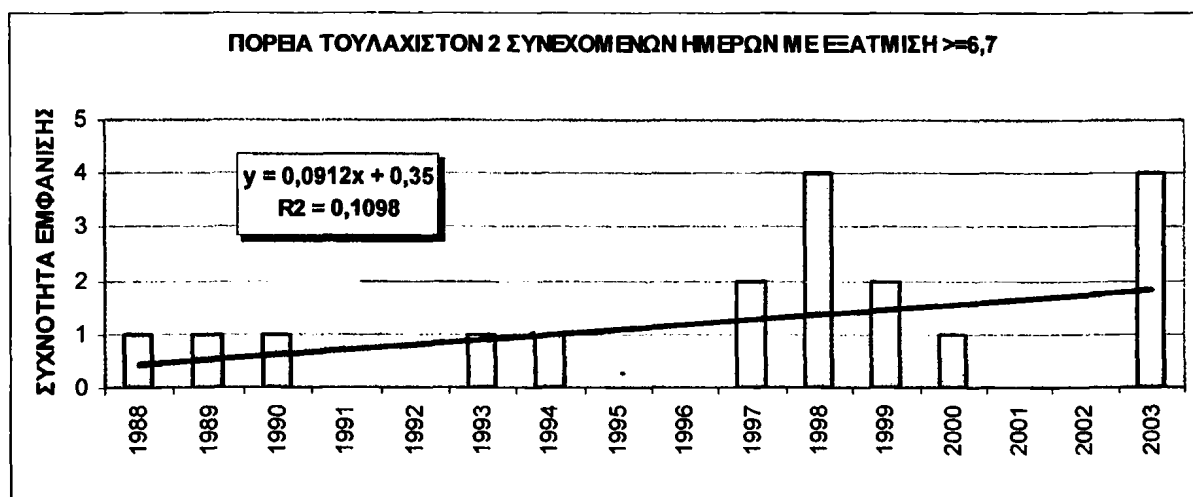


Σχήμα 6.26.2 Πορεία κάτω επεισοδίων από 1988-2003.

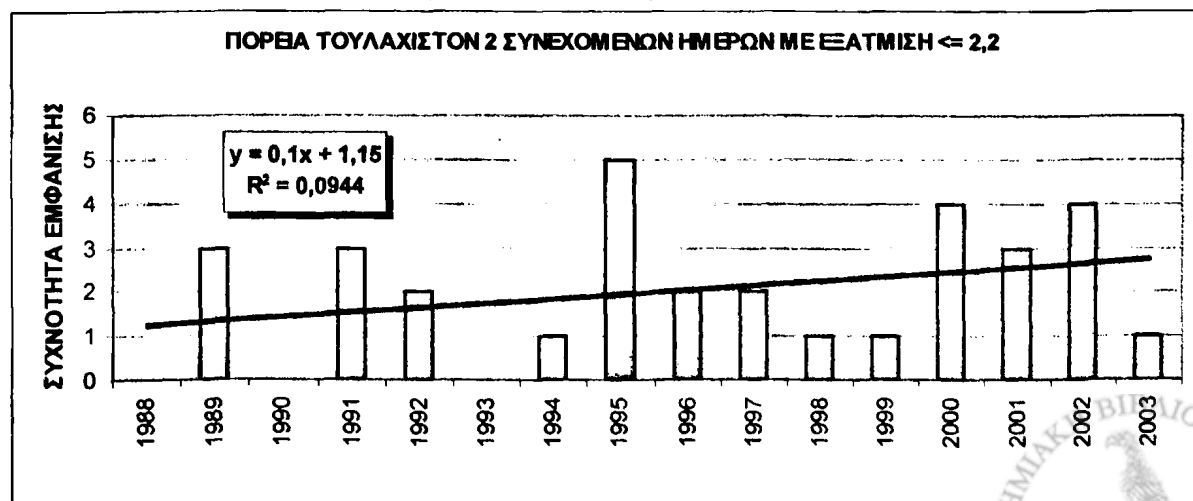


### 6.4.3 ΑΚΡΑΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

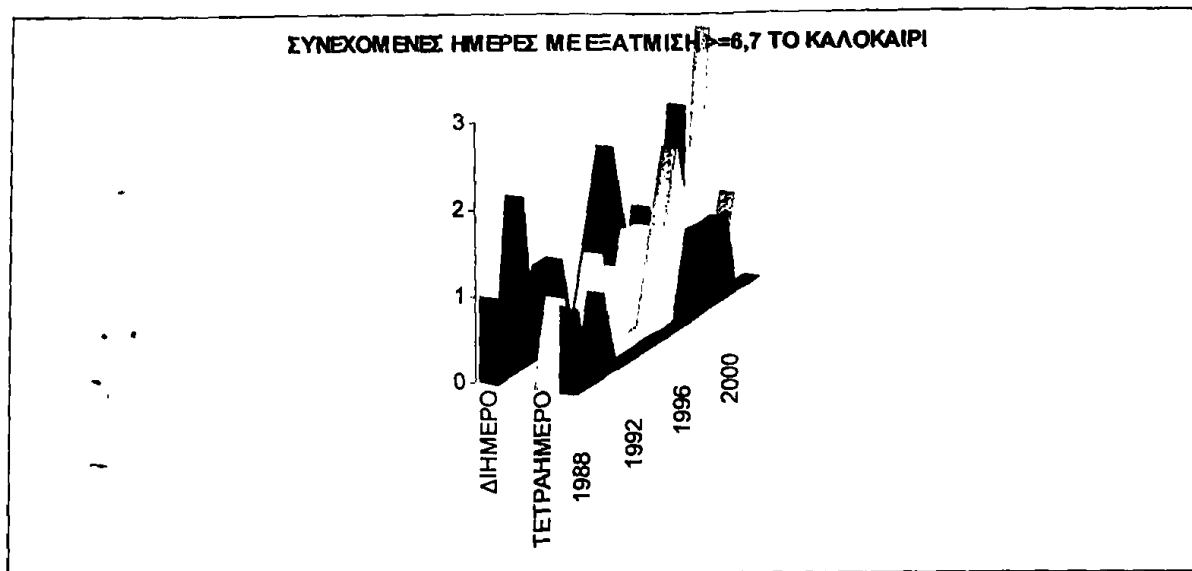
Για το καλοκαίρι, όπως και στην περίπτωση της άνοιξης, υπάρχουν τα άνω και κάτω ακραία επεισόδια εξάτμισης. Άνω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης είναι αυτό το οποίο αναφέρεται σε μια ακολουθία τουλάχιστον δυο ημερών με μέση ημερήσια εξάτμιση  $\geq 6,70\text{mm}$  η καθεμία, ενώ κάτω ακραίο επεισόδιο είναι αυτό που αναφέρεται σε μια ακολουθία τουλάχιστον δυο ημερών, με μέση ημερήσια εξάτμιση  $\leq 2,20\text{mm}$ . Στα παρακάτω σχήματα 6.27.1 και 2, παρουσιάζεται η πορεία των άνω και κάτω ακραίων επεισοδίων για το χρονικό διάστημα από 1988 έως 2003. Και στις δυο περιπτώσεις η γραμμική τάση είναι θετική αλλά όχι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Τα περισσότερα άνω ακραία επεισόδια εμφανίστηκαν τα έτη 1998, 2003 ενώ το 1991, 1992, 1995, 1996, 2001, 2002 δεν υπήρξαν καθόλου άνω ακραία επεισόδια. Τα περισσότερα κάτω ακραία επεισόδια εμφανίστηκαν το 1995 ενώ το 1988, 1990 και 1993 δεν υπήρξε κανένα κάτω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης. Στα σχήματα 6.28.1 και 2, φαίνεται ξεχωριστά η πορεία των συνεχόμενων ημερών (δihήμερα, τριήμερα, τετραήμερα, >πενθήμερα) που παρουσιάζουν εξάτμιση  $\geq 6,70\text{mm}$  και  $\leq 2,20\text{mm}$  αντίστοιχα και με αυτό τον τρόπο γίνεται γνωστή ακριβώς η διάρκεια των άνω και κάτω ακραίων επεισοδίων την εποχή του καλοκαιριού από 1988 έως 2003.



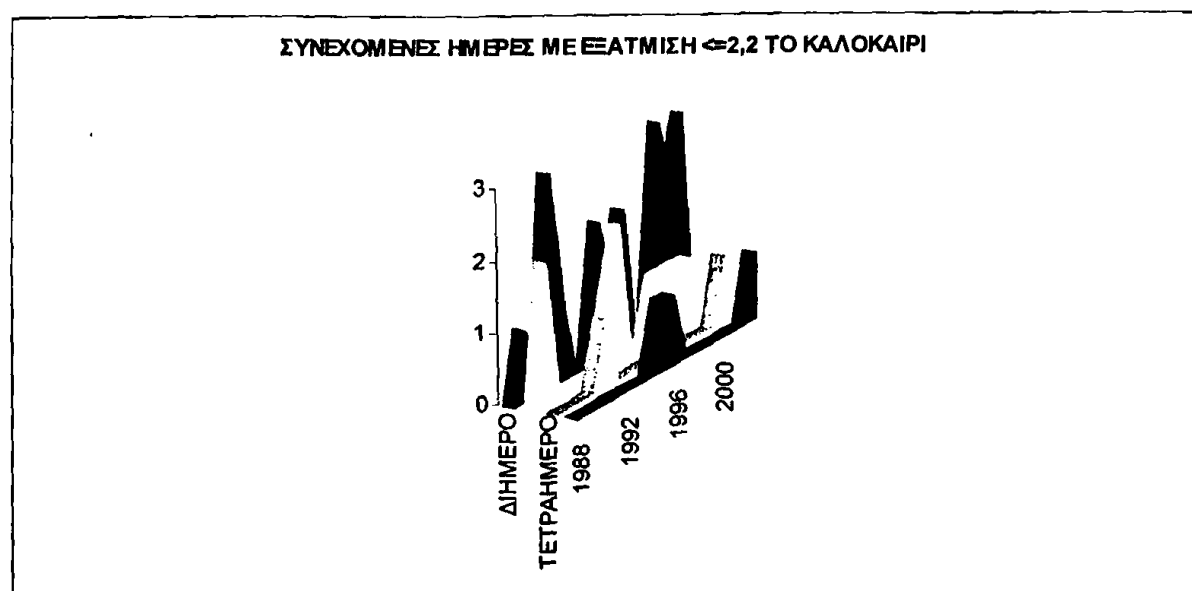
Σχήμα 6.27.1 Πορεία άνω επεισοδίων (τουλάχιστον 2 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\geq 6,70\text{mm}$ ) από 1988-2003.



Σχήμα 6.27.2 Πορεία κάτω επεισοδίων (τουλάχιστον 2 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\leq 2,20\text{mm}$ ) από 1988-2003.



*Σχήμα 6.28.1 Πορεία άνω επεισοδίων από 1988-2003.*

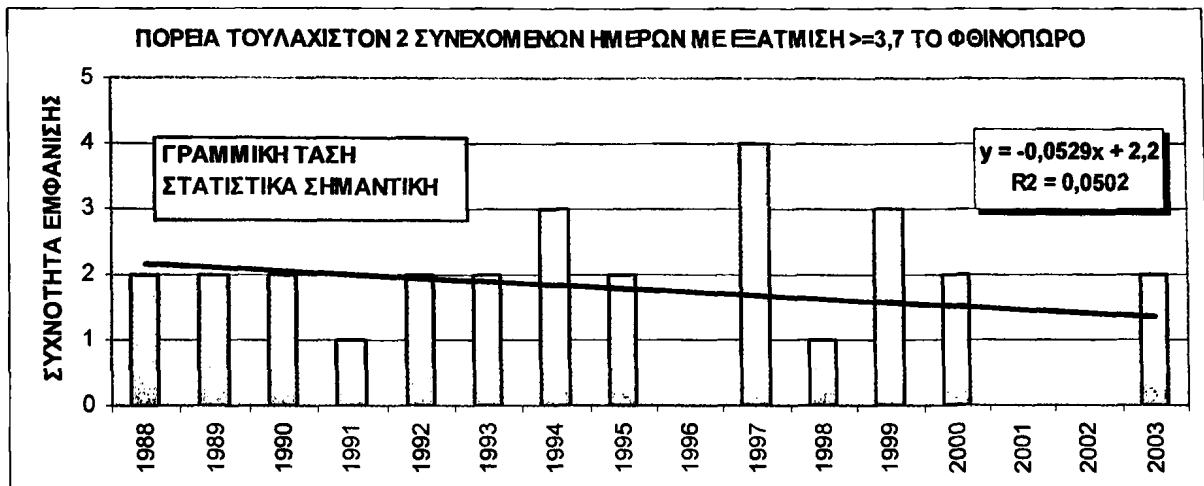


*Σχήμα 6.28.2 Πορεία κάτω επεισοδίων από 1988-2003.*

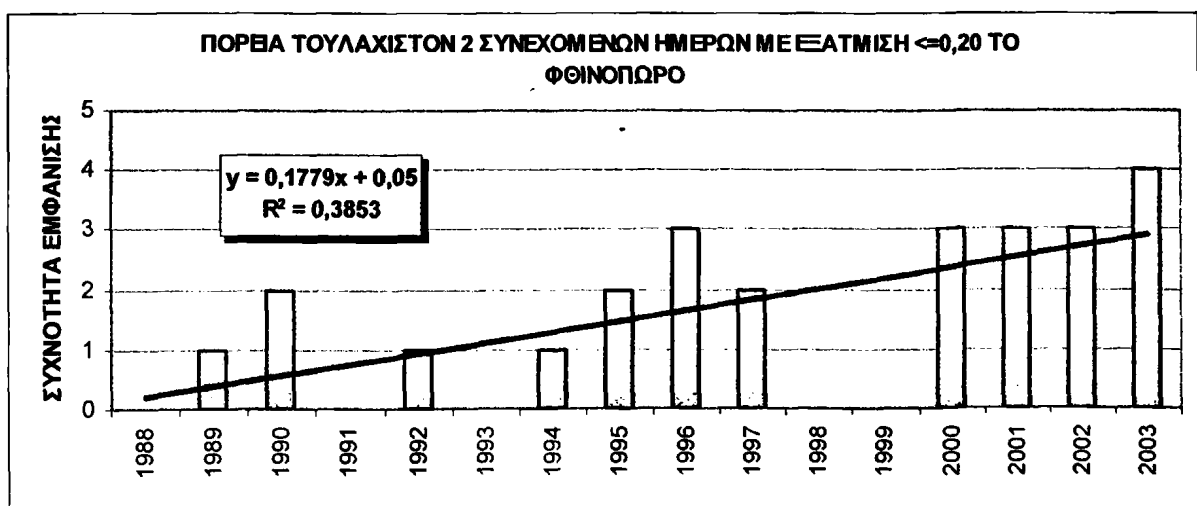
#### 6.4.4 ΑΚΡΑΙΑ ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΤΟ ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

Για το φθινόπωρο, όπως και παραπάνω υπάρχουν άνω και κάτω ακραία επεισόδια εξάτμισης. Άνω ακραίο επεισόδιο εξάτμισης είναι αυτό το οποίο αναφέρεται σε μια ακολουθία τουλάχιστον δυο ημερών με μέση ημερήσια εξάτμιση  $\geq 3,70\text{mm}$  η καθεμία ενώ κάτω ακραίο επεισόδιο είναι αυτό που αναφέρεται σε μια ακολουθία τουλάχιστον δυο ημερών, με μέση ημερήσια εξάτμιση  $\leq 0,20\text{mm}$ . Στα παρακάτω σχήματα 6.29.1 και 2, παρουσιάζεται η πορεία των άνω και κάτω ακραίων επεισοδίων για το χρονικό διάστημα από 1988 έως 2003. Και στις δυο περιπτώσεις η γραμμική τάση είναι αρνητική και για τα άνω ακραία επεισόδια στατιστικά σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Τα περισσότερα άνω ακραία επεισόδια εξάτμισης

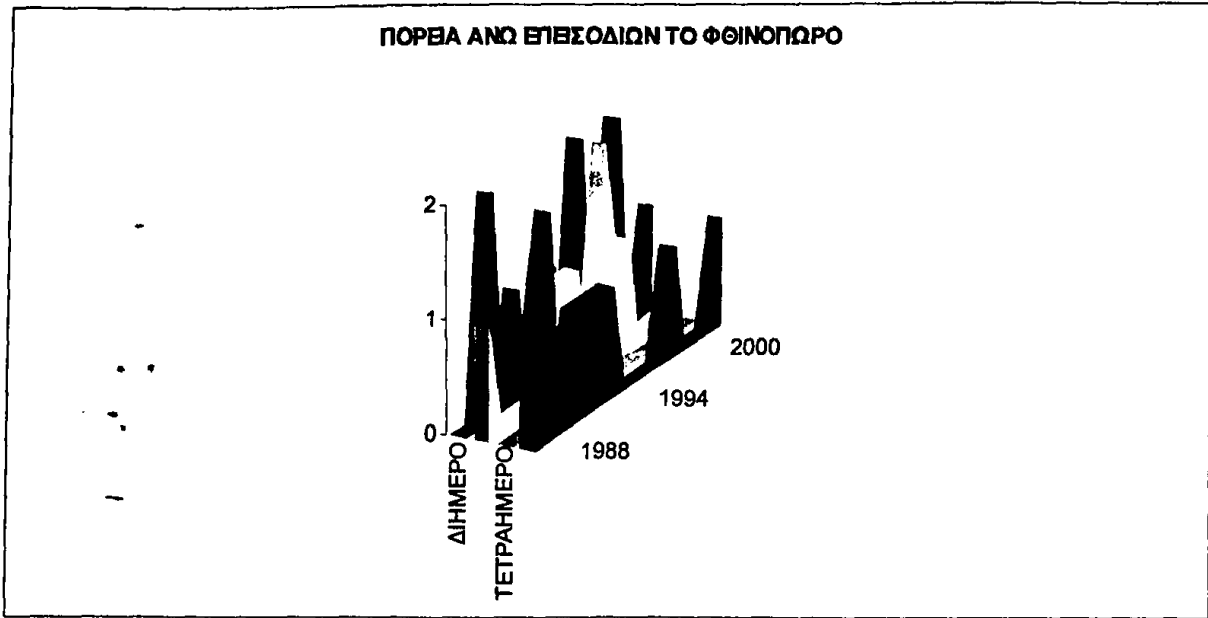
εμφανίστηκαν το 1997 ενώ το 1996,2001 και 2002 δεν υπήρξε κανένα άνω επεισόδιο. Στην περίπτωση των κάτω επεισοδίων εξάτμισης, τα περισσότερα εμφανίστηκαν το 2003 ενώ το 1988, 1991,1993,1998 και 1999 δεν υπήρξε κανένα τέτοιο επεισόδιο. Στα σχήματα 6.30.1 και 6.30.2, φαίνεται ξεχωριστά η πορεία των συνεχόμενων ημερών (διήμερα, τριήμερα, τετραήμερα, >πενθήμερα) που παρουσιάζουν εξάτμιση  $\geq 3,70\text{mm}$  και  $\leq 0,20\text{mm}$  αντίστοιχα και με αυτό τον τρόπο γίνεται γνωστή ακριβώς η διάρκεια και η εμφάνιση των ακραίων άνω και κάτω επεισοδίων την εποχή του φθινοπώρου από 1988 έως 2003.



Σχήμα 6.29.1 Πορεία άνω επεισοδίων (τουλάχιστον 2 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\geq 3,70\text{mm}$ ) από 1988-2003.



Σχήμα 6.29.2 Πορεία κάτω επεισοδίων (τουλάχιστον 2 συνεχόμενες ημέρες με εξάτμιση  $\leq 0,20\text{mm}$ ) από 1988-2003.



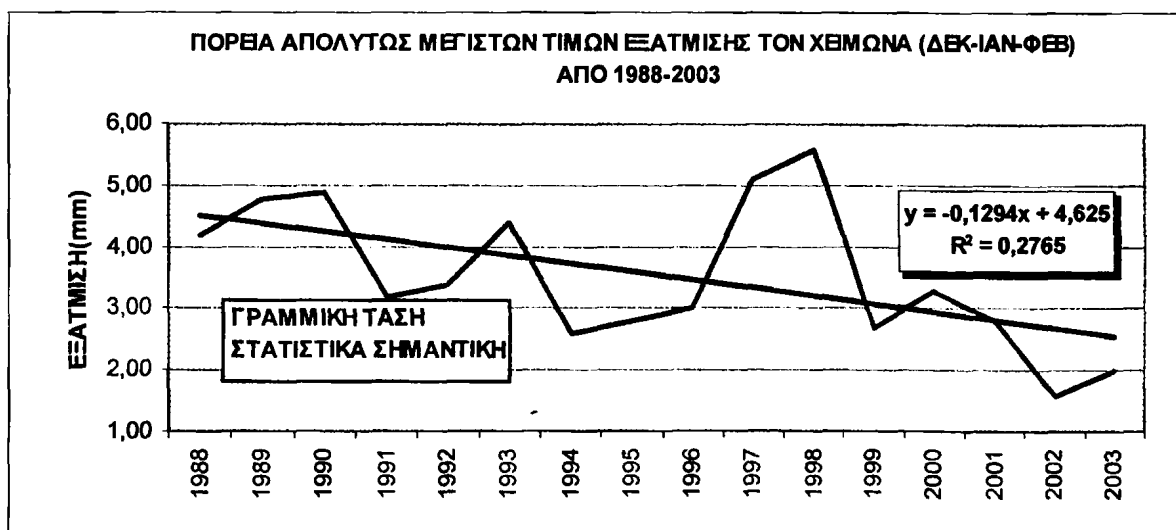
Σχήμα 6.30.1 Πορεία άνω επεισοδίων από 1988-2003.



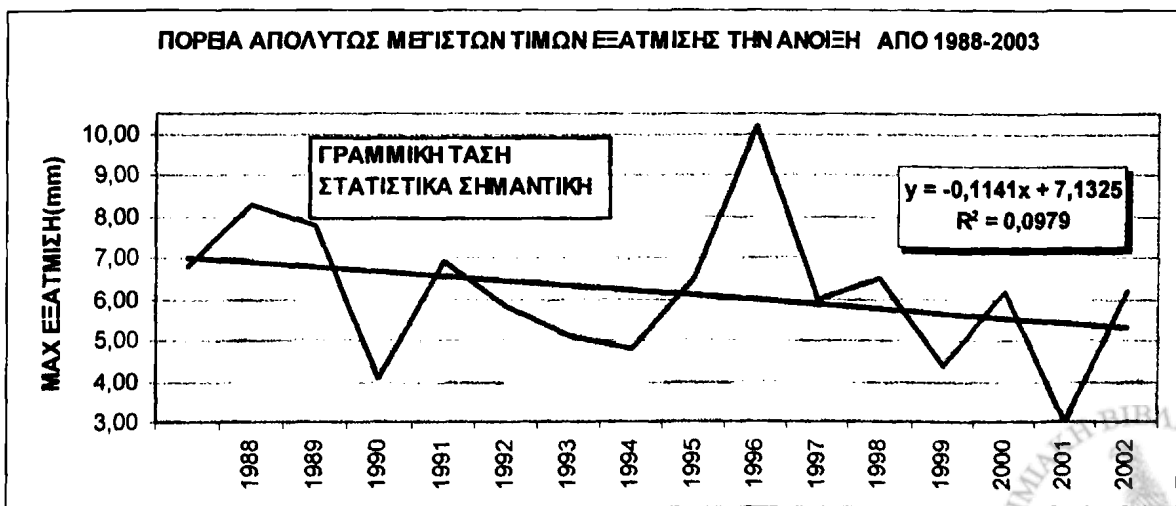
Σχήμα 6.30.2 Πορεία κάτω επεισοδίων από 1988-2003.

## 6.5 ΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΜΕΓΙΣΤΩΝ – ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

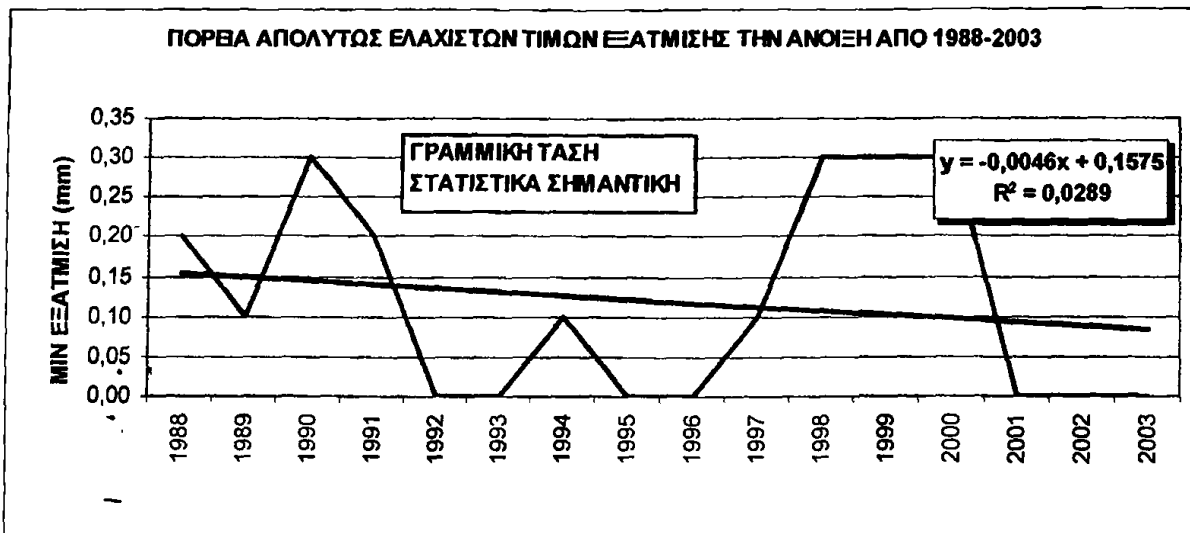
Στην παρούσα παράγραφο, εξετάστηκαν οι τάσεις των απολύτως μεγίστων και ελαχίστων τιμών εξάτμισης ανά έτος. Η μελέτη έγινε για κάθε εποχή ξεχωριστά (Feidas et al., 2004). Σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να διαπιστώσουμε πότε εμφανίζονται οι ακραίες μέγιστες και ελάχιστες τιμές ημερήσιας εξάτμισης και αν συμπίπτουν οι τάσεις με τις χρονοσειρές γενικά της εξάτμισης για κάθε εποχή (Κεφάλαιο 4, παράγραφος 4.3). Στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η πορεία των απολύτως μεγίστων και ελαχίστων τιμών εξάτμισης για κάθε εποχή από το 1988-2003 ενώ πάνω στα σχήματα εμφανίζεται η γραμμή παλινδρόμησης και η εξίσωσή της καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης  $R^2$ . Γενικά, όλες οι τάσεις βρέθηκαν αρνητικές και στατιστικά σημαντικές σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% εκτός από τις απολύτως μέγιστες τιμές του καλοκαιριού. Συγκεκριμένα οι τάσεις των απολύτως μεγίστων τιμών τον χειμώνα συμφωνούν με αυτές των θετικών ακραίων επεισοδίων αλλά και της ημερήσιας πορείας της εξάτμισης. Αντίθετα, το καλοκαίρι οι τάσεις των απολύτως μεγίστων και ελαχίστων τιμών δεν συμφωνούν με αυτές των ακραίων θετικών και αρνητικών επεισοδίων.



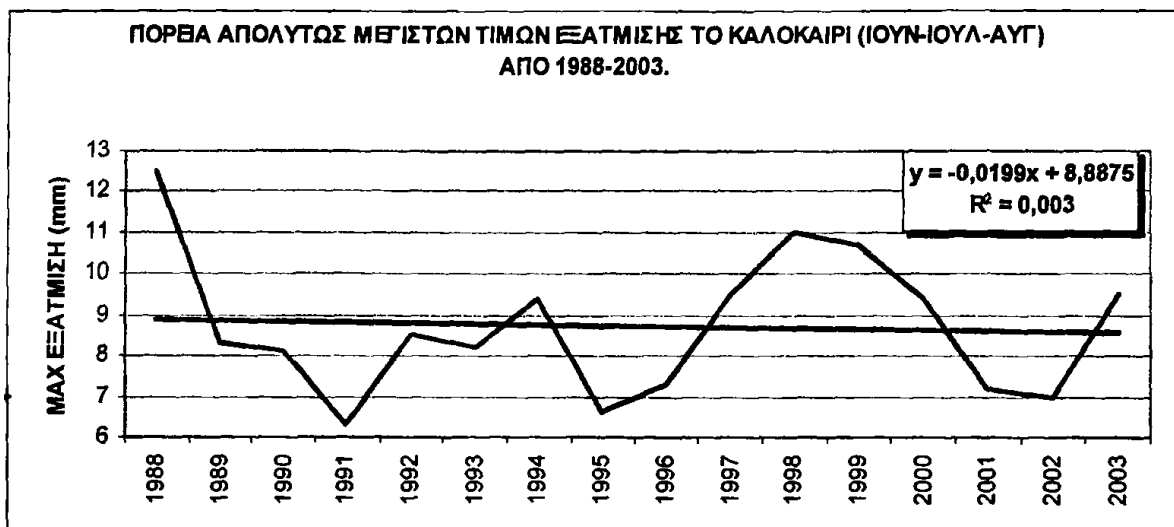
Σχήμα 6.31.1 Πορεία των απολύτως μεγίστων τιμών εξάτμισης τον χειμώνα (Δεκ-Ιαν-Φεβ) από 1988-2003.



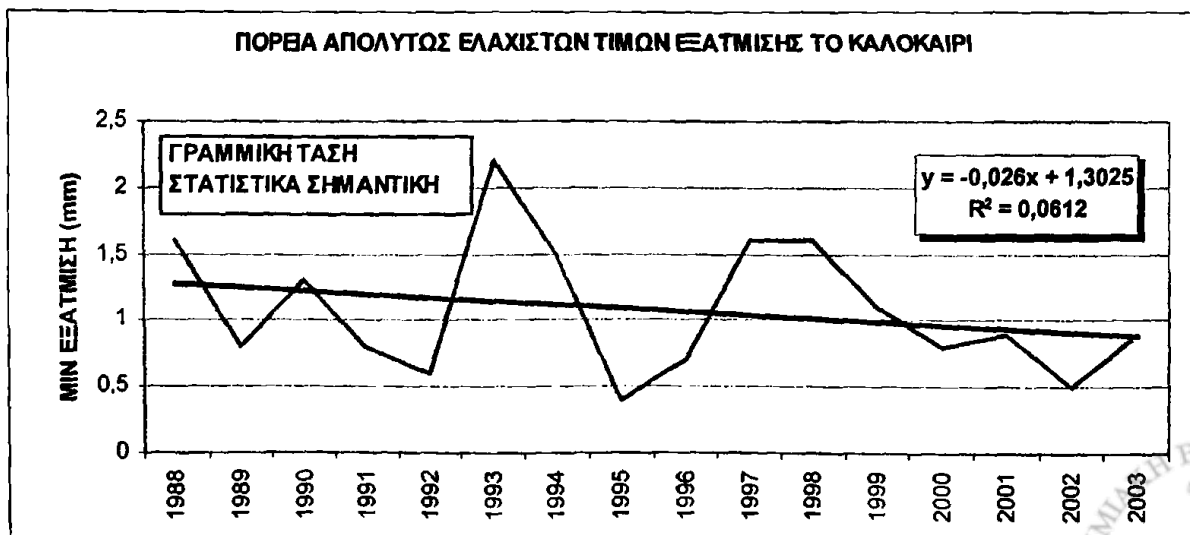
Σχήμα 6.31.2 Πορεία των απολύτως μεγίστων τιμών εξάτμισης την άνοιξη (Μαρ-Απρ-Μαι) από 1988-2003.



Σχήμα 6.31.3 Πορεία των απολύτως ελαχίστων τιμών εξάτμισης την άνοιξη (Μαρ-Απρ-Μαι) από 1988-2003.

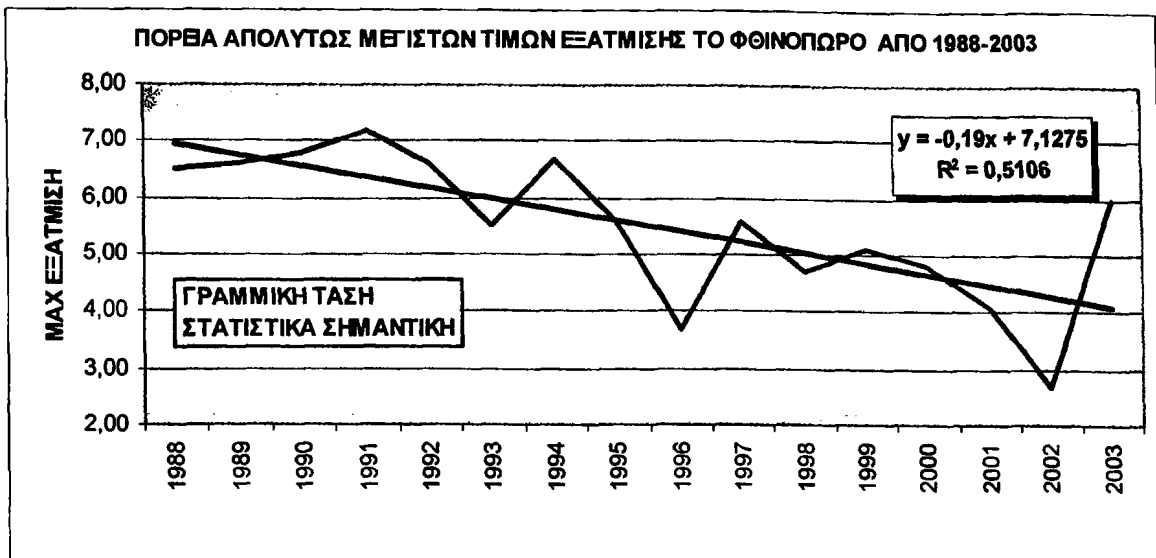


Σχήμα 6.31.4 Πορεία των απολύτως μεγίστων τιμών εξάτμισης το καλοκαίρι (Ιουν-Ιουλ-Αυγ) από 1988-2003.

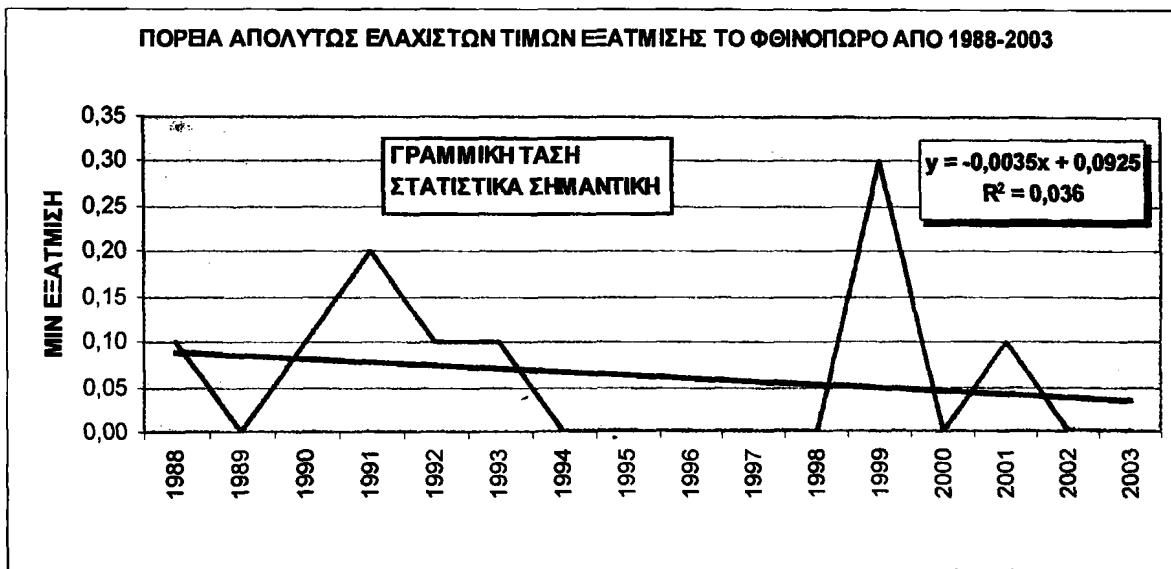


Σχήμα 6.31.5 Πορεία των απολύτως ελαχίστων τιμών εξάτμισης το καλοκαίρι (Ιουν-Ιουλ-Αυγ) από 1988-2003.





Σχήμα 6.31.6 Πορεία των απολύτως μεγίστων τιμών εξάτμισης το φθινόπωρο (Σεπ-Οκτ-Νοε) από 1988-2003.



Σχήμα 6.31.7 Πορεία των απολύτως ελαχίστων τιμών εξάτμισης το φθινόπωρο (Σεπ-Οκτ-Νοε) από 1988-2003.

## 6.6 ΣΥΝΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΕΣ ΜΕ ΑΚΡΑΙΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια να αναζητηθούν οι συνοπτικές καταστάσεις για την περιοχή της Κ. Ευρώπης και της Μεσογείου, οι οποίες ευνοούν την εμφάνιση συνθηκών με ακραίες ημερήσιες τιμές εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι μέσες ημερήσιες τιμές πίεσης για τα 189 σημεία του πλέγματος της γεωγραφικής περιοχής που ορίζεται από τους μεσημβρινούς  $10^{\circ}$  Δ και  $40^{\circ}$  Α και από τους παράλληλους  $30^{\circ}$  Β και  $50^{\circ}$  Β, προερχόμενα από το NCEP-NCAR.

Για την πίεση κοντά στην επιφάνεια της γης, η εφαρμογή της Παραγοντικής ανάλυσης (Factor analysis) με περιστροφή "varimax" οδήγησε σε παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν πάνω από το 85% περίπου της ολικής διακύμανσης. Για την ταξινόμηση των ημερών (χαρτών) στους παράγοντες, η τιμή του φορτίου (loading), επιλέχθηκε να είναι υψηλότερη από το 0,60, γεγονός που σημαίνει ότι το 36% τουλάχιστον της χωρικής διακύμανσης μιας ημέρας ερμηνεύεται από έναν συγκεκριμένο παράγοντα. Στη συνέχεια χαράχθηκαν οι ισοπληθείς των κανονικοποιημένων τιμών πίεσης (scores), -στην ουσία ισοβαρείς-, οι οποίες αντιπροσωπεύουν συνοπτικές καταστάσεις κάτω από τις οποίες εμφανίστηκαν ακραίες περιπτώσεις και επεισόδια εξάτμισης. Σημειώνουμε ότι η κανονικοποίηση γίνεται ως προς το χώρο, δηλαδή η μέση χωρική τιμή είναι ίση με το μηδέν και η χωρική διακύμανση ίση με την μονάδα.

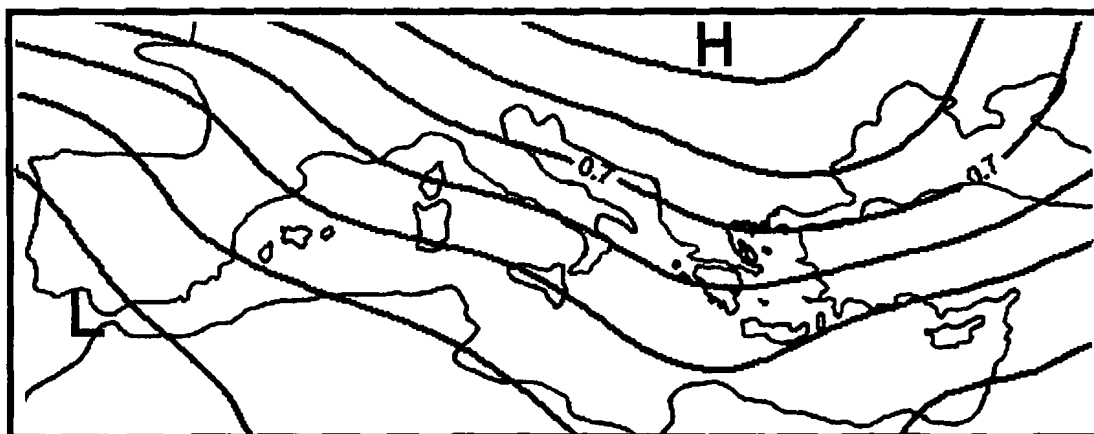
### 6.6.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΧΕΙΜΩΝΑ

Στην περίπτωση του χειμώνα, οι ημέρες ομαδοποιούνται σε 4 παράγοντες, οι οποίοι εξηγούν το 85% της ολικής διακύμανσης. Από τις 140 ημέρες που ανήκουν στο άνω δεκατημόριο (υψηλή εξάτμιση) ταξινομούνται ικανοποιητικά οι 126, με loading  $\geq 0,60$ . Παρατηρήθηκε όμως ότι εκτός από θετικά, υπάρχουν κάποιες ημέρες οι οποίες ανήκουν στον πρώτο παράγοντα και εμφανίζουν υψηλά αρνητικά φορτία (11 ημέρες). Αυτές οι ημέρες αποτέλεσαν έναν άλλο ξεχωριστό παράγοντα, ο οποίος έχει τηλεσύνδεση χρονική με τον πρώτο. Αυτό σημαίνει ότι για τις συγκεκριμένες ημέρες επικρατεί ακριβώς η αντίστροφη κυκλοφορία, από αυτή των ημερών με τα άνω φορτία, πάνω από την Κεντρική Ευρώπη και την Μεσόγειο, η οποία όμως προκαλεί τα ίδια αποτελέσματα (θετικές ακραίες περιπτώσεις εξάτμισης). Ο αριθμός ημερών, το ποσοστό της ολικής διακύμανσης που ερμηνεύει ο κάθε παράγοντας και ο μέσος όρος εξάτμισης των ημερών που ταξινομούνται σε αυτόν, παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 6.2. Στη συνέχεια, για τις παραπάνω περιπτώσεις ακραίων καταστάσεων εξάτμισης, κατασκευάστηκαν οι αντίστοιχοι χάρτες (scores), κοντά στην επιφάνεια της γης, για την περιοχή της Κεντρικής Ευρώπης και της Μεσογείου, έτσι ώστε να αποκαλυφθούν τα χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας που ευνοούν τα ακραία φαινόμενα εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων.

**Πίνακας 6.2**

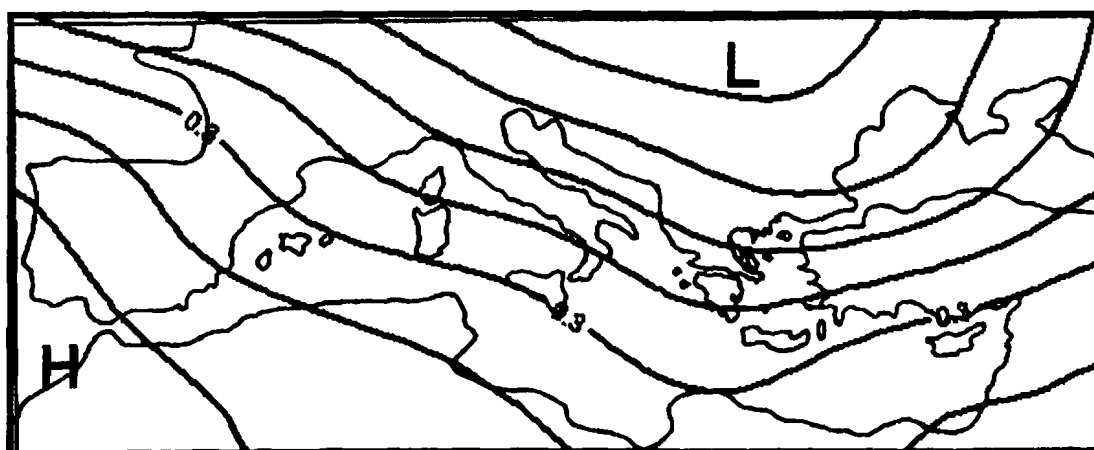
ΧΕΙΜΩΝΑΣ	Factor 1+	Factor 1-	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Σύνολο
Αρ. Ημερών	41	11	46	15	13	126
Ποσοστό ολικής διακύμανσης (%)	29		29	14	13	85
Μέσος Όρος (mm)	3,07	2,30	2,87	2,60	2,60	

Ο factor 1+ (σχήμα 6.38.1) παρουσιάζει έντονη αντικυκλωνική δραστηριότητα πάνω από την Κ.Ευρώπη και την Μεσόγειο. Αυτή η κατάσταση οδηγεί αφενός σε ψυχρή μεταφορά θερμότητας πάνω από την ανατολική Ελλάδα, που οφείλεται σε εισβολή ψυχρού αέρα προερχόμενου από την Β.Α. Ευρώπη και αφετέρου ξηρό καταβατικό άνεμο πάνω από την δυτική Ελλάδα (Ιωάννινα), εξαιτίας της οροσειράς της Πίνδου (φαινόμενο Föhn). Αυτή η συνοπτική κατάσταση εμφανίστηκε 41 από τις 126 ημέρες προκαλώντας μέση ημερήσια εξάτμιση 3,07mm, αρκετά υψηλή για την περίοδο του χειμώνα. Ο ίδιος «τύπος καιρού» σύμφωνα με τον Machairas (1973), προκαλεί μεγάλα ποσά εξάτμισης και στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.



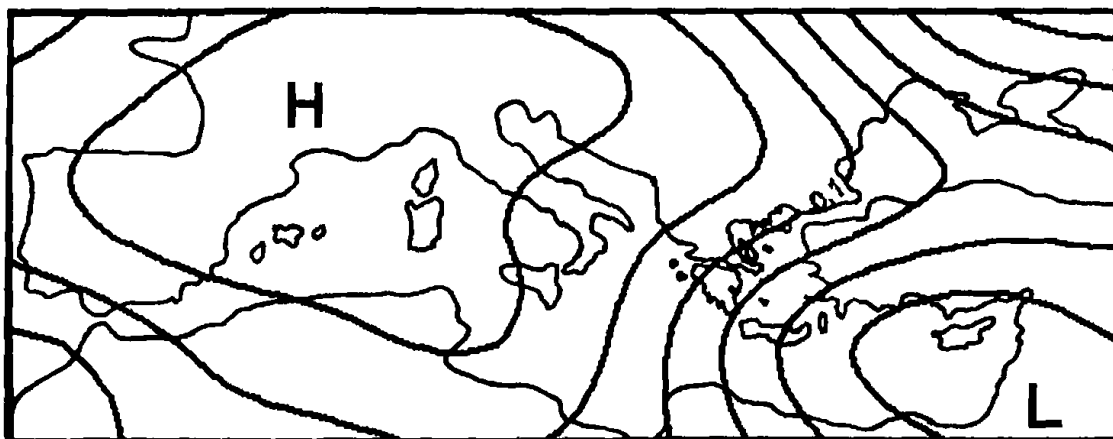
Σχήμα 6.38.1 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 1+.

Ο factor 1- (σχήμα 6.38.2), παρουσιάζει έντονη υφειακή δραστηριότητα πάνω από τη Κ. Ευρώπη και την Μεσόγειο, λόγω εξασθένησης των αντικυκλωνικών εξάρσεων που συνδέονται με τον αντικυκλώνα των Αζορών. Αυτή η κατάσταση επιτρέπει στους δυτικούς ανέμους να επικρατούν πάνω από την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου και επομένως πάνω από την δυτική Ελλάδα (Λώλης, 2002). Επιπρόσθετα, όπως φαίνεται και στον χάρτη, οι ισοβαρικές καμπύλες είναι αρκετά πυκνές μεταξύ τους, γεγονός που μας δείχνει ότι ο άνεμος πάνω από την δυτική Ελλάδα είναι αρκετά ισχυρός. Επομένως, κυρίαρχο ρόλο στην συγκεκριμένη περίπτωση (αυξημένη εξάτμιση 2,30mm) κατέχει ο άνεμος.



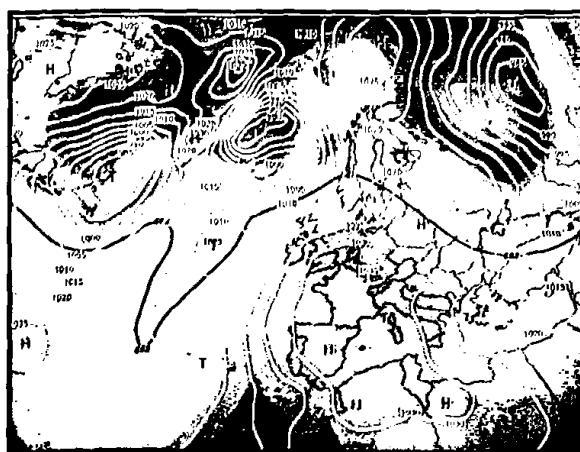
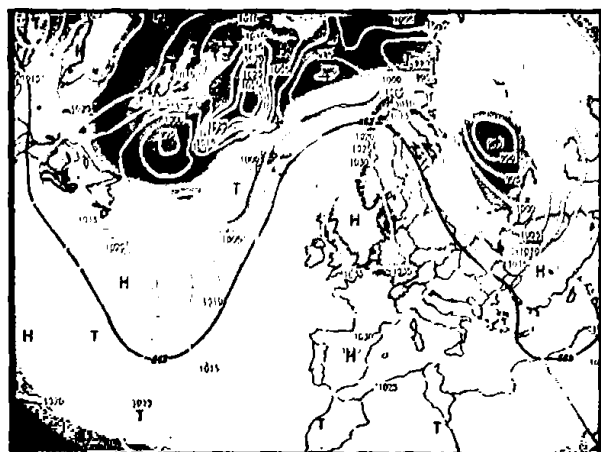
Σχήμα 6.38.2 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 1-.

Στον factor 2 του χειμώνα, (σχήμα 6.38.3), επικρατεί ένα χαμηλό με κέντρο κοντά στην περιοχή της Κύπρου και ένας ισχυρός αντικυκλώνας πάνω από τη δυτική Ευρώπη. Ο συνδυασμός τους, επηρεάζει την δυτική Ελλάδα προκαλώντας καταβατικούς βορειοανατολικούς ανέμους. Εξαιτίας του αντικυκλώνα, παρατηρείται σύγκλιση των αερίων μαζών στην ανώτερη ατμόσφαιρα και κατολίσθηση αυτών. Επομένως, θα επικρατεί καλοκαιρία πάνω από τη δυτική Ελλάδα, που σημαίνει ηλιοφάνεια και σχετικά αυξημένη θερμοκρασία. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα τη υψηλή εξάτμιση στην περιοχή των Ιωαννίνων παρουσιάζοντας μέση ημερήσια τιμή 2,87mm. Στην κατηγορία αυτή ομαδοποιήθηκαν 46 ημέρες, οι οποίες ερμηνεύουν το 29% της ολικής διακύμανσης.



Σχήμα 6.38.3 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 2.

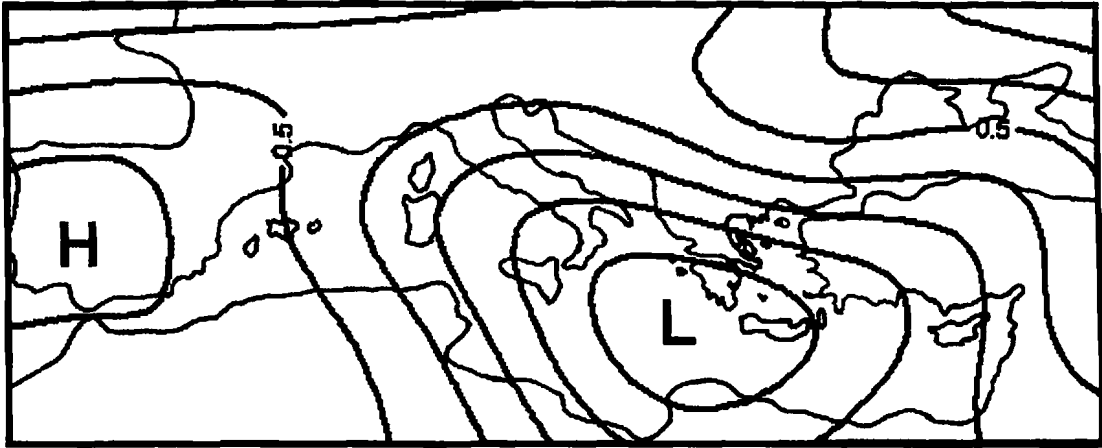
Για να εξετάσουμε ακριβώς τι συμβαίνει, έγινε επιλογή δυο ημερών που ανήκουν στον factor 2 με υψηλή τιμή φορτίου και μελετήθηκε η κυκλοφορία που επικρατούσε στα 500hPa όπως και στη επιφάνεια. Φαίνεται καθαρά και στους δυο χάρτες ότι η Β.Δ Ελλάδα επηρεάζεται από εκτεταμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία η οποία προκαλεί καλοκαιρία και αυξημένη θερμοκρασία όπως έχει αναφερθεί παραπάνω και πιθανόν αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο παρατηρήθηκε αυξημένη η τιμή της ημερήσιας εξάτμισης.



Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφάνειας 30/1/1992.

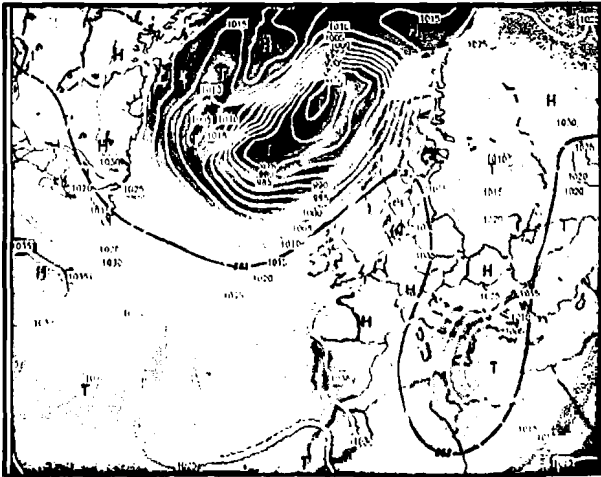
Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφάνειας 14/2/1998.

Στον factor 3, σχήμα 6.38.4, επικρατεί ένα καλά οργανωμένο χαμηλό πάνω από την Μεσόγειο και την Ελλάδα ενώ στην δυτική Ευρώπη επεκτείνεται ο αντικυκλώνας των Αζορών. Το χαμηλό προκαλεί έντονους ανατολικούς, καταβατικούς ανέμους στην δυτική Ελλάδα (πυκνές ισοβαρείς καμπύλες) που έχουν σαν αποτέλεσμα την αυξημένη εξάτμιση. Στην κατηγορία αυτή ομαδοποιήθηκαν 15 ημέρες, εξηγώντας το 14% της ολικής διακύμανσης και με μέση ημερήσια εξάτμιση 2,60mm.



Σχήμα 6.38.4 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 3.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν 2 ημέρες (14 και 15 Ιαν. 1995) που συγκαταλέγονται σε αυτόν τον παράγοντα. Σύμφωνα με τους Ziakouroulo and Marinaki (1996), τους Lagouvaro et al, (1999) και τους Pytharouli et al, (2000), χαρακτηρίστηκαν ημέρες όπου εμφανίστηκε μεσογειακός στρόβιλος μέσης κλίμακας με χαρακτηριστικά τροπικού κυκλώνα, στην περιοχή μεταξύ Ιταλίας και Ελλάδας (χάρτες α,β). Στον στρόβιλο ήταν εμφανή, το «μάτι του κυκλώνα», ο θερμός πυρήνας, και η σχετικά μικρές του διαστάσεις (ακτίνα ίση με 150km). Αυτός κατά κανόνα, συνδέεται με έντονα καιρικά φαινόμενα, όπως οι θυελλώδεις άνεμοι των οποίων οι ταχύτητες μπορεί να φτάσουν τα 65kts. Επομένως σε αυτή την περίπτωση, παρατηρήθηκε αυξημένη εξάτμιση, την εποχή του χειμώνα όχι λόγω αντικυκλωνικής κυκλοφορίας (καλοκαιρία) αλλά λόγω ενός καλά οργανωμένου χαμηλού (δυνατοί άνεμοι).

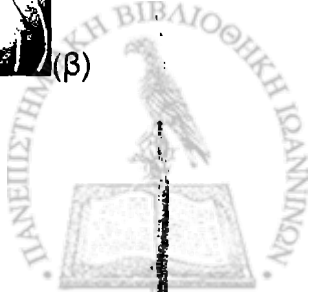


(α)

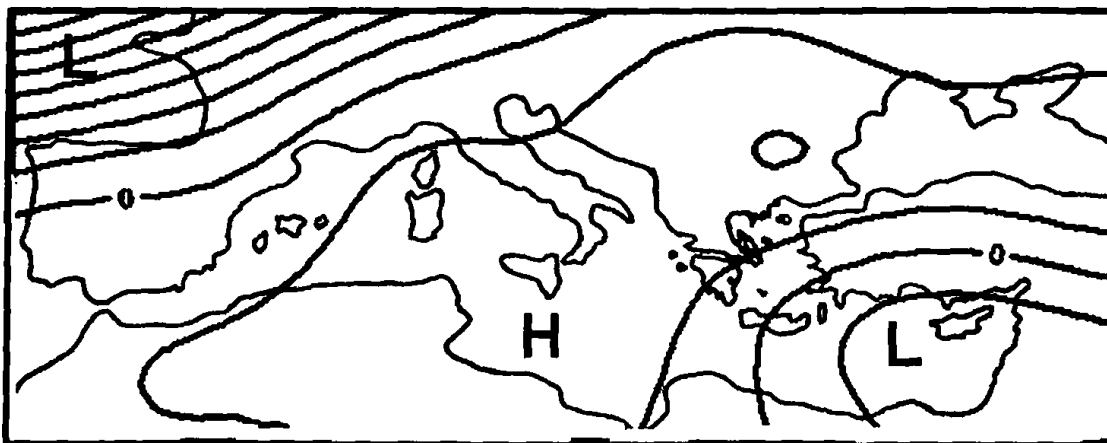


(β)

Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφάνειας 14/1/1995.  
 Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφάνειας 15/1/1995.



Στον factor 4 του χειμώνα, συγκαταλέγονται 13 ημέρες που παρουσιάζουν μέση ημερήσια εξάτμιση 2,60mm. Σε αυτή την περίπτωση, όπως φαίνεται και στον χάρτη, επικρατεί εκτεταμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία σε ολόκληρη σχεδόν τη Μεσόγειο και την Ελλάδα, η οποία προφανώς σχετίζεται με ευστάθεια των αερίων μαζών και ηλιοφάνεια, προκαλώντας αυξημένη εξάτμιση, στην περιοχή των Ιωαννίνων. Σε συμφωνία βρίσκεται και η μελέτη του Machaira (1973), για την αυξημένη εξάτμιση στην περιοχή της Θεσσαλονίκης με αυτόν τον τύπο καιρού.



Σχήμα 6.38.5 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 4.

Μελετώντας τις συνοπτικές καταστάσεις που απεκάλυψε η παραγοντική ανάλυση για την αυξημένη εξάτμιση στην περιοχή των Ιωαννίνων για την εποχή του χειμώνα, διαπιστώνουμε ότι εκτός από την καλοκαιρία (αντικυκλωνική κυκλοφορία) που ήταν αναμενόμενο να προκαλεί αυξημένη ημερήσια εξάτμιση, σημαντική αιτία είναι και ο άνεμος. Αυτό το αποτέλεσμα ενισχύεται λόγω των υψηλών ποσοστών αντιπροσώπευσης της ολικής διακύμανσης αλλά και της αυξημένης μέσης ημερήσιας εξάτμισης των πρώτων παραγόντων.

## 6.6.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Η ίδια μεθοδολογία χρησιμοποιήθηκε και για την εποχή του καλοκαιριού, με την διαφορά ότι εξετάστηκαν τόσο οι ημέρες με υψηλή εξάτμιση (άνω ακραίες καταστάσεις) όσο και οι ημέρες με χαμηλή εξάτμιση (κάτω ακραίες καταστάσεις). Στην πρώτη περίπτωση αποκαλύπτονται συνοπτικές καταστάσεις που ευνοούν εξάτμιση μεγαλύτερη του άνω δεκατημορίου ενώ στην δεύτερη περίπτωση συνοπτικές καταστάσεις που ευνοούν εξάτμιση μικρότερη του κάτω δεκατημορίου.

### 6.6.2.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΑΝΩ ΔΕΚΑΤΗΜΟΡΙΟ)

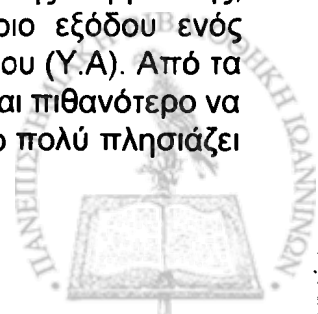
Στην πρώτη περίπτωση, με τη βοήθεια της παραγοντικής ανάλυσης, οι ημέρες ομαδοποιήθηκαν σε 4 παράγοντες, οι οποίοι εξηγούν το 90% της ολικής διακύμανσης. Από τις 143 ημέρες που ανήκουν στο άνω δεκατημόριο και παρουσιάζουν μέση ημερήσια εξάτμιση  $\geq 6,70\text{mm}$  (υψηλή εξάτμιση), ταξινομούνται ικανοποιητικά οι 128 με loading  $\geq 0,60$ .

Πίνακας 6.3

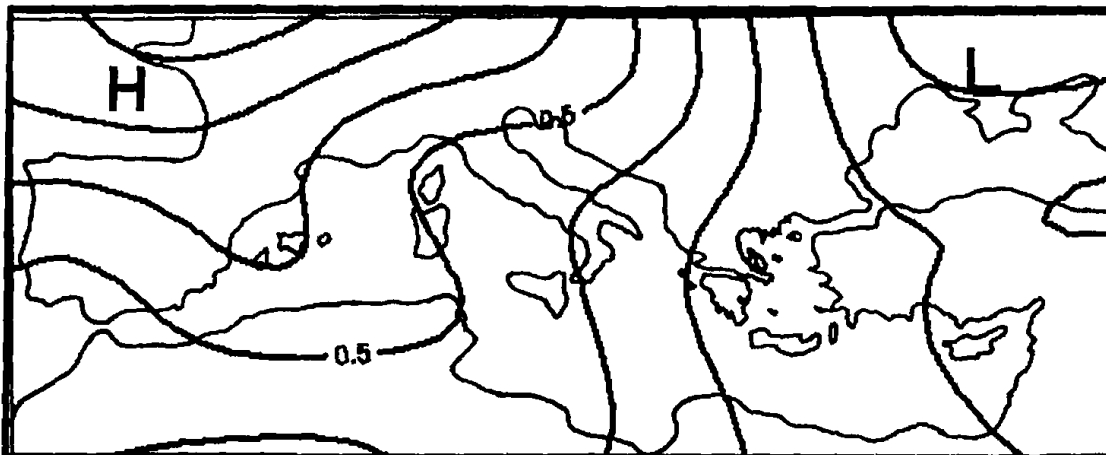
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΑΝΩ ΔΕΚΑΤΗΜΟΡΙΟ)	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Σύνολο
Αρ. Ημερών	68	43	11	6	128
Ποσοστό ολικής διακύμανσης (%)	40	29	12	9	90
Μέσος Όρος (mm)	7,72	7,62	7,69	7,52	

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω πίνακα (6.3), ο πρώτος παράγοντας περιλαμβάνει 68 ημέρες και εξηγεί το 40% της ολικής διακύμανσης, με μέση ημερήσια εξάτμιση 7,72mm. Η συνοπτική κατάσταση που επικρατεί πάνω από την Κ.Ευρώπη και την Μεσόγειο σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζεται στο σχήμα 6.39.1. Επικρατεί εκτεταμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία, πάνω από τη δυτική Ελλάδα και το Ιόνιο. Αυτό έχει σαν συνέπεια την μεταφορά αρνητικού στροβιλισμού πάνω από την περιοχή των Ιωαννίνων και την θέρμανση από πάνω προς τα κάτω των αερίων μαζών, λόγω των καθοδικών κινήσεων. Τελικά, επικρατεί καλοκαιρία η οποία θα συνοδεύεται με αυξημένη ηλιοφάνεια και ίσως έτσι εξηγείται η αυξημένη εξάτμιση.

Στον factor 1, ανήκει η ημέρα κατά την οποία παρουσιάστηκε η μεγαλύτερη μέση ημερήσια εξάτμιση (12,5mm στις 8/7/1988) καθόλη τη διάρκεια των 16 ετών της μελέτης. Ο καύσωνας της 5-9 Ιουλίου του 1988 προκλήθηκε, σύμφωνα με τους Brikas and Karakostas, (2002), όταν ο υποτροπικός αεροχείμαρρος ενισχύθηκε και μετατοπίστηκε βορείως των Βαλκανίων, με αποτέλεσμα την επικράτηση τροπικών αερίων μαζών στα Βαλκάνια. Η θερμή μεταφορά έπαιξε μικρό ρόλο στην έλευση του κύματος καύσωνα, ενώ σημαντικότερη ήταν η αδιαβατική θέρμανση λόγω κυρίως της μεσημβρινής κυκλοφορίας του δακτυλίου του Hadley. Αυτή η κατολίσθηση σχετίστηκε με την δημιουργία του θερμού αντικυκλώνα επάνω από τα Βαλκάνια. Στην Ελληνική περιοχή το κύμα καύσωνα εντάθηκε (7-8 Ιουλίου) λόγω αδιαβατικής θέρμανσης, οφειλόμενης σε οριζόντια σύγκλιση μάζας στο δεξιό τεταρτημόριο εξόδου ενός αντικυκλωνικά κυρτωμένου μεγίστου του Υποτροπικού Αεροχείμαρρου (Υ.Α). Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες είναι πιθανότερο να παρατηρηθούν όταν αρχίσει η κίνηση του (Υ.Α) προς νότο. Όσο πιο πολύ πλησιάζει

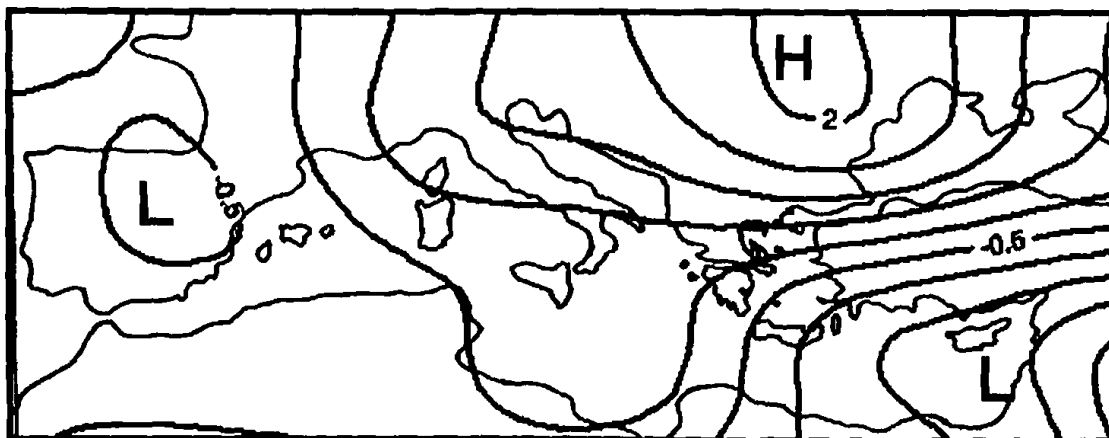


ο Υ.Α στη χώρα, τόσο πιο έντονες γίνονται οι καθοδικές κινήσεις. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει σημαντική ψυχρή μεταφορά, η άνοδος της θερμοκρασίας λόγω της κατολισθήσεως θα είναι σημαντική. Επομένως, για τον συγκεκριμένο παράγοντα, κύρια αιτία για την αυξημένη εξάτμιση το καλοκαίρι (μεγαλύτερη όλων των παραγόντων), είναι η σημαντική άνοδος της θερμοκρασίας. Στον ίδιο τύπο καιρού καταλήγει και ο Machairas (1973), για να εξηγήσει την αυξημένη εξάτμιση στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 6.39.1 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 1.

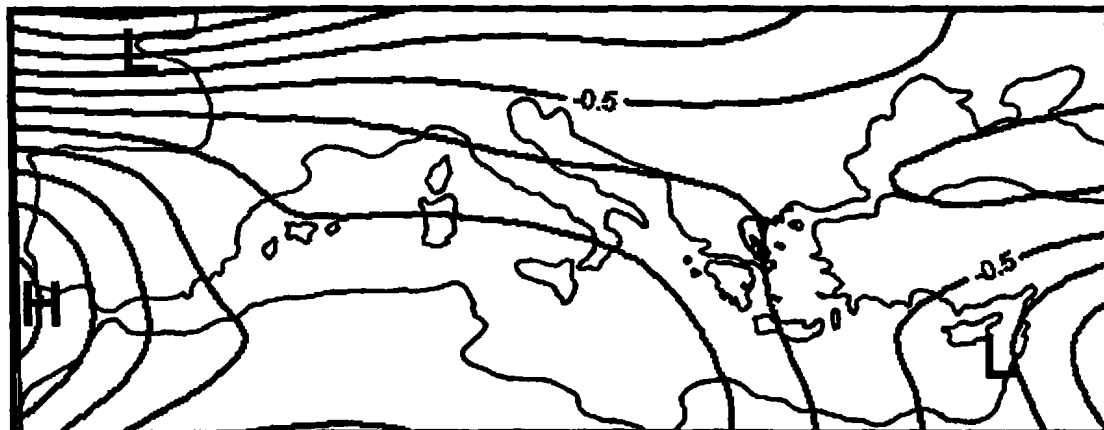
Ο factor 2, συγκεντρώνει 43 ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 7,62mm και εξηγώντας το 29% της ολικής διακύμανσης. Η συνοπτική κατάσταση έχει ως εξής: Εκτεταμένος αντικυκλώνας στην ανατολική Ευρώπη και το καλά οργανωμένο θερμικό χαμηλό της ΝΔ Ασίας (Πακιστάν) το οποίο εκτείνεται μέχρι την ανατολική Μεσόγειο. Η αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από τη Β.Δ Ελλάδα προκαλεί ηλιοφάνεια και καλοκαιρία ενώ οι άνεμοι πνέουν από ανατολικές διευθύνσεις και είναι ξηροί καταβατικοί λόγω της οροσειράς της Πίνδου (φαινόμενο Föhn). Επομένως σε αυτή την περίπτωση, σημαντική αιτία για την ενίσχυση του φαινομένου της εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων, είναι η αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας της ηλιοφάνειας αλλά και ο ξηρός άνεμος.



Σχήμα 6.39.2 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 2.

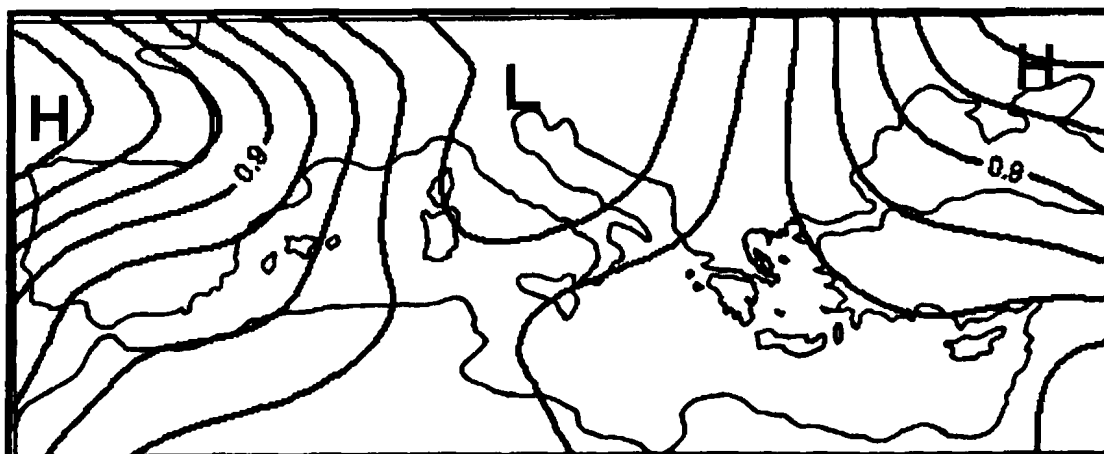


Στον factor 3, ταξινομούνται 11 ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 7,69mm και εξηγώντας το 12% της ολικής διακύμανσης. Στο σχήμα 6.39.3 παρουσιάζεται η συνοπτική κατάσταση που αντιπροσωπεύει τον τρίτο παράγοντα. Είναι οι τυπικές ημέρες του συμβατικού καλοκαιριού με τον αντικυκλώνα των Αζορών (καλά οργανωμένο), να φτάνει μέχρι και την ανατολική Ελλάδα, μεταφέροντας θερμές αέριες μάζες και ενισχύοντας το φαινόμενο της εξάτμισης.

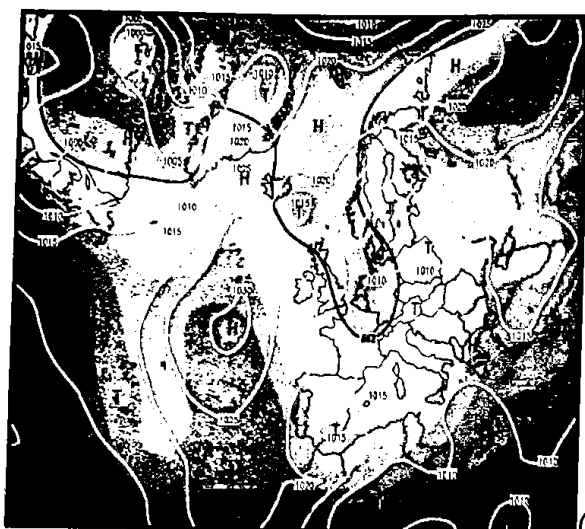


Σχήμα 6.39.3 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 3.

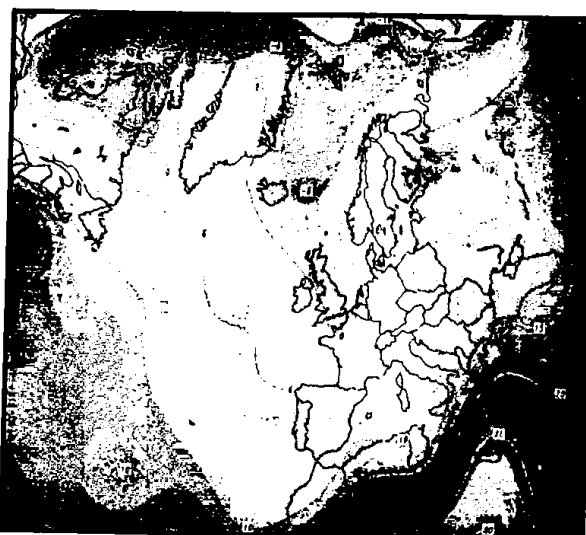
Ο factor 4, αντιπροσωπεύει 9 ημέρες, με μέση ημερήσια εξάτμιση 7,52mm και εξηγώντας το 9% της ολικής διακύμανσης. Στο σχήμα 6.39.4 παρουσιάζεται η συνοπτική κατάσταση που αντιπροσωπεύει τον τέταρτο παράγοντα. Υπάρχει ο αντικυκλώνας των Αζορών αρκετά καλά οργανωμένος όπως και ένας άλλος αντικυκλώνας ανατολικά της Ελλάδας. Για να εξετάσουμε ακριβώς τι συμβαίνει, έγινε επιλογή μιας ημέρας που ανήκει στον factor 4 με υψηλή τιμή φορτίου και μελετήθηκε η κυκλοφορία που επικρατούσε στα 850 και 500hPa. Με τον τρόπο αυτό, είναι εφικτό να εξηγηθεί ο λόγος που παρατηρήθηκε αυξημένη εξάτμιση στην περιοχή των Ιωαννίνων. Πράγματι, η 5/6/1989 στον χάρτη των 500hPa δείχνει ότι η Β.Δ Ελλάδα επηρεάζεται από την αντικυκλωνική κυκλοφορία, ενώ ο χάρτης των 850hPa δείχνει ότι υπάρχει θερμή εισβολή από την ανατολική Μεσόγειο.



Σχήμα 6.39.4 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 4.



(α)



(β)

Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας  
Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa

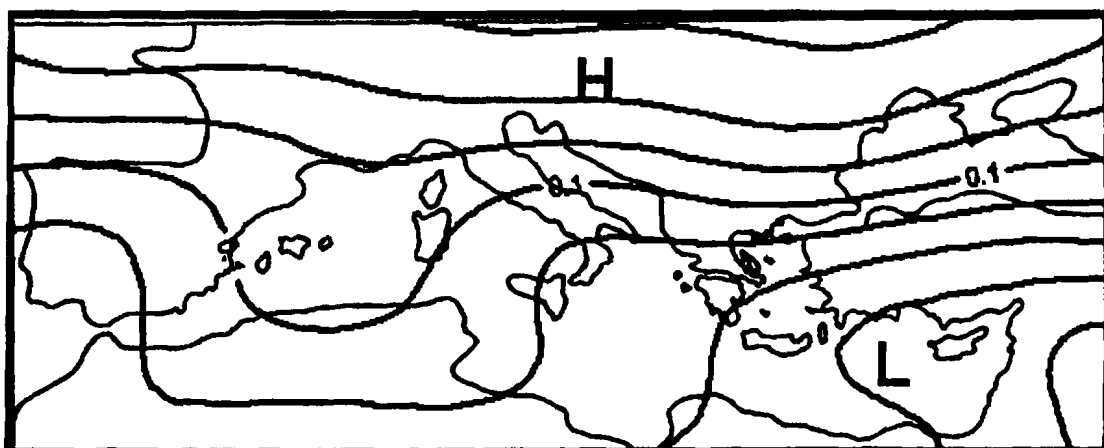
### 6.6.2.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΚΑΤΩ ΔΕΚΑΤΗΜΟΡΙΟ)

Στην δεύτερη περίπτωση, οι ημέρες ομαδοποιήθηκαν σε 5 παράγοντες, οι οποίοι εξηγούν το 87% της ολικής διακύμανσης. Από τις 146 ημέρες που ανήκουν στο κάτω δεκατημόριο με ημερήσια εξάτμιση  $\leq 2,20\text{mm}$  (μικρή εξάτμιση), ταξινομούνται ικανοποιητικά οι 124 με loading  $\geq 0,60$ .

**Πίνακας 6.4**

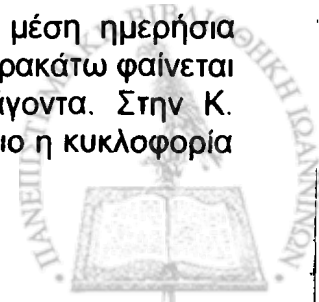
ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ (ΚΑΤΩ ΔΕΚΑΤΗΜΟΡΙΟ)	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Σύνολο
Αρ. Ημερών	63	18	15	16	12	124
Ποσοστό ολικής διακύμανσης (%)	34	16	15	13	9	87
Μέσος Όρος (mm)	1,65	1,66	1,62	1,61	1,99	

Ο factor 1, σχήμα 6.40.1, συγκεντρώνει 63 ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 1,65mm και εξηγώντας το 34% της ολικής διακύμανσης. Η συνοπτική κατάσταση που επικρατεί σε αυτή την περίπτωση είναι ένας εκτεταμένος αντικυκλώνας πάνω από σχεδόν όλη την Ευρώπη και ένα καλά οργανωμένο χαμηλό (θερμικό χαμηλό ΝΔ Ασίας) στην νοτιοανατολική Ελλάδα, που φτάνει μέχρι το Ιόνιο και τη νότια Ιταλία. Αυτή η κυκλωνική κυκλοφορία, προκαλεί καταρχήν σύγκλιση των αερίων μαζών που κατά την άνοδό τους ψύχονται και συμπυκνώνονται, δίνοντας έτσι ένα εκτεταμένο νεφικό σύστημα το οποίο είναι υπεύθυνο για την παρατηρούμενη καλοκαιρία και επομένως τη μειωμένη εξάτμιση. Τα ευρήματα βρίσκονται σε συμφωνία με τα αντίστοιχα των Houssos and Bartzokas (2005). Αυτοί διαπίστωσαν ότι η επέκταση του θερμικού χαμηλού της ΝΔ Ασίας μέχρι την Κ. Μεσόγειο σε συνδυασμό με την εξασθένηση του αντικυκλώνα των Αζορών και την τοπική ατμοσφαιρική αστάθεια (συνοπτική κατάσταση που αντιπροσωπεύει ο factor 1), προκαλεί εξαιρετικά μεγάλα ύψη βροχής στην περιοχή των Ιωαννίνων, το καλοκαίρι.

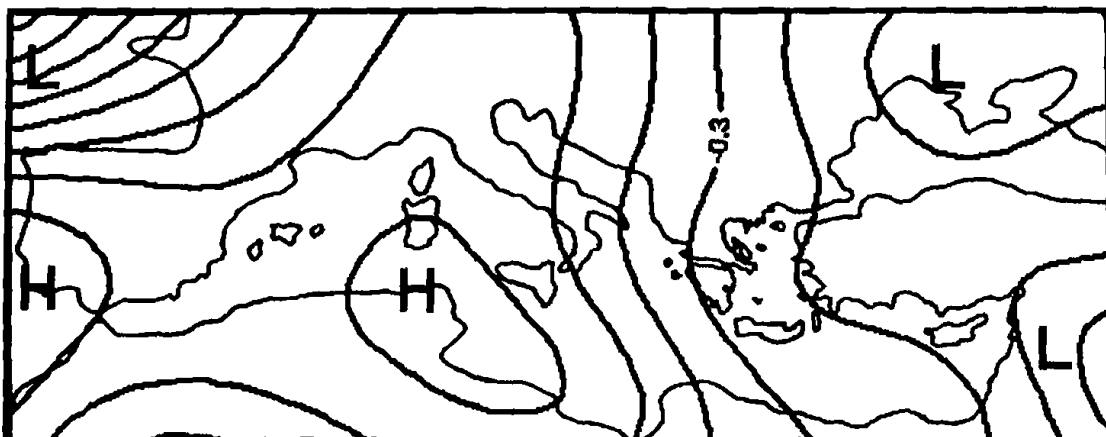


Σχήμα 6.40.1 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 1.

Ο factor 2, σχήμα 6.40.2, αντιπροσωπεύει 18 ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 1,66mm και εξηγώντας το 16% της ολικής διακύμανσης. Παρακάτω φαίνεται η συνοπτική κατάσταση που αντιπροσωπεύει τον δεύτερο παράγοντα. Στην Κ. Ευρώπη επικρατεί αντικυκλωνική κυκλοφορία, ενώ πάνω από το Ιόνιο η κυκλοφορία

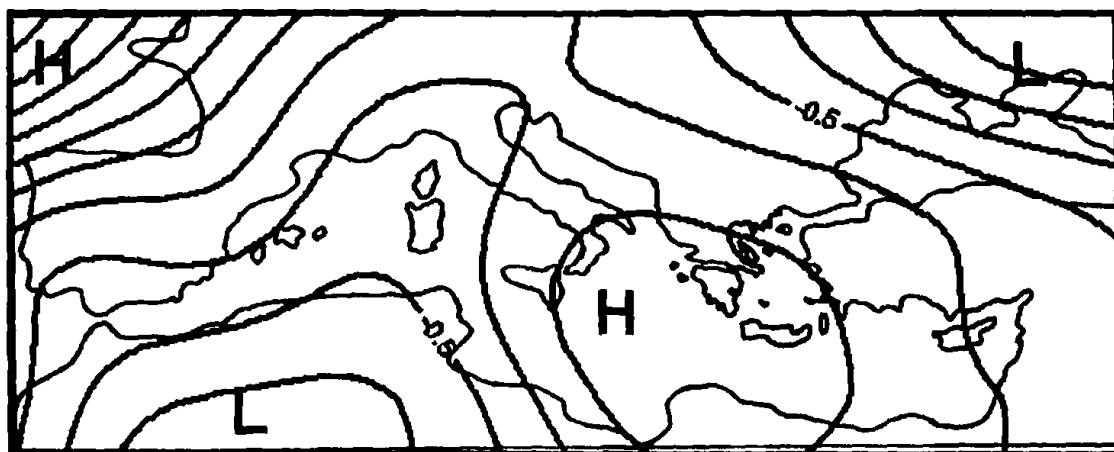


είναι κυκλωνική, λόγω της trough που υπάρχει εκεί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επικράτηση βορείων ψυχρών ανέμων και την μειωμένη εξάτμιση στην ΒΔ. Ελλάδα.



Σχήμα 6.40.2 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 2

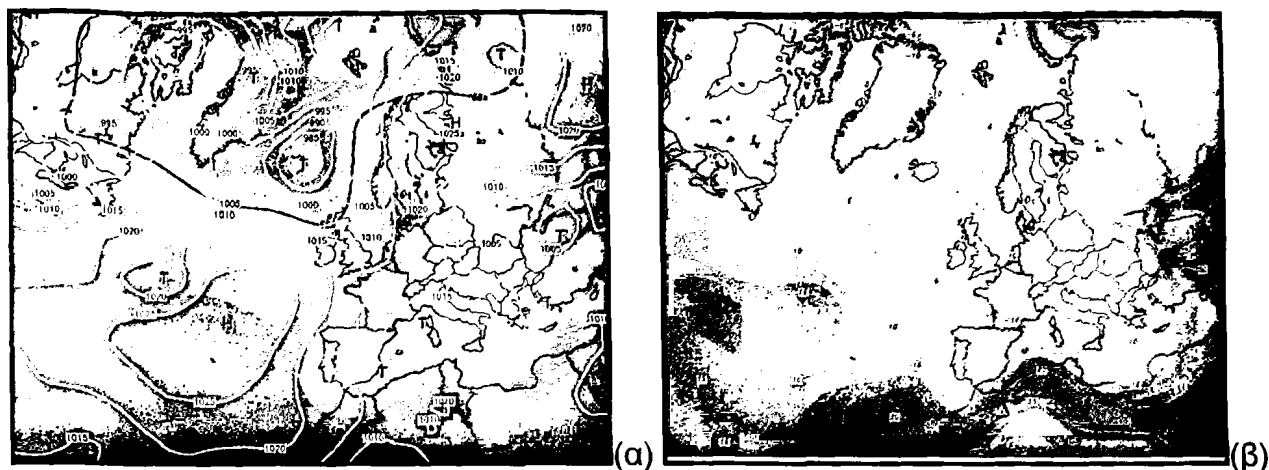
Ο factor 3 σχήμα 6.40.3, συγκεντρώνει 15 ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 1,62mm και εξηγώντας το 15% της ολικής διακύμανσης. Παρακάτω, φαίνεται η συνοπτική κατάσταση που αντιπροσωπεύει τον τρίτο παράγοντα. Υπάρχει μια εκτεταμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία η οποία έχει επεκταθεί και πάνω από τον Ελλαδικό χώρο, όπως και ένα σαχαριανό χαμηλό το οποίο δημιουργεί trough προς βορράν. Στην επιφάνεια φαίνεται ότι το πεδίο είναι ομαλό, επομένως είναι ευνοϊκές οι συνθήκες για την εμφάνιση παραγόντων οι οποίοι είναι αποτέλεσμα αστάθειας (κατακόρυφη ανάπτυξη νεφών).



Σχήμα 6.40.3 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 3.

Για να εξετάσουμε ακριβώς τι συμβαίνει, έγινε επιλογή μιας ημέρας η οποία ανήκει στον factor 3 με υψηλή τιμή φορτίου και μελετήθηκε η κυκλοφορία που επικρατούσε στα 500, 850hPa καθώς και στην επιφάνεια. Με τον τρόπο αυτό είναι εφικτό να εξηγηθεί η αιτία για την οποία παρατηρήθηκε ελαττωμένη εξάτμιση στην περιοχή των Ιωαννίνων, με κυκλοφορία που αντιπροσωπεύει ο factor 3. Πράγματι, στον χάρτη (α), φαίνεται ότι στα 500hPa υπάρχει οργανωμένη κυκλωνική διαταραχή, η οποία λόγω των συνεπαγόμενων ψυχρών μαζών μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για την εκδήλωση φαινομένων αστάθειας. Επιπλέον, στον χάρτη των 850 hPa,

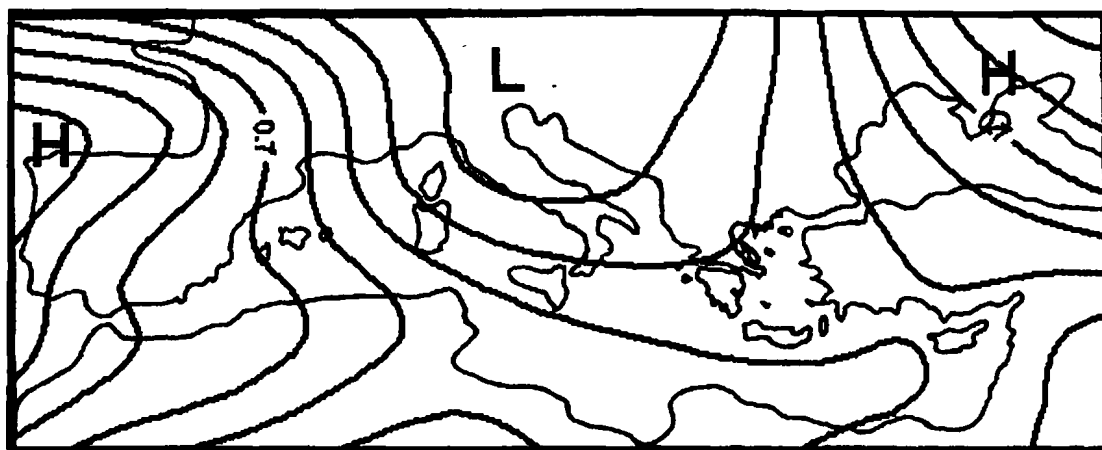
παρατηρείται ότι η θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή για την περίοδο του καλοκαιριού, γεγονός που συνηγορεί στα παραπάνω ευρήματα.



Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa και πίεση επιφανείας 31/8/1989.

Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa 31/8/1989.

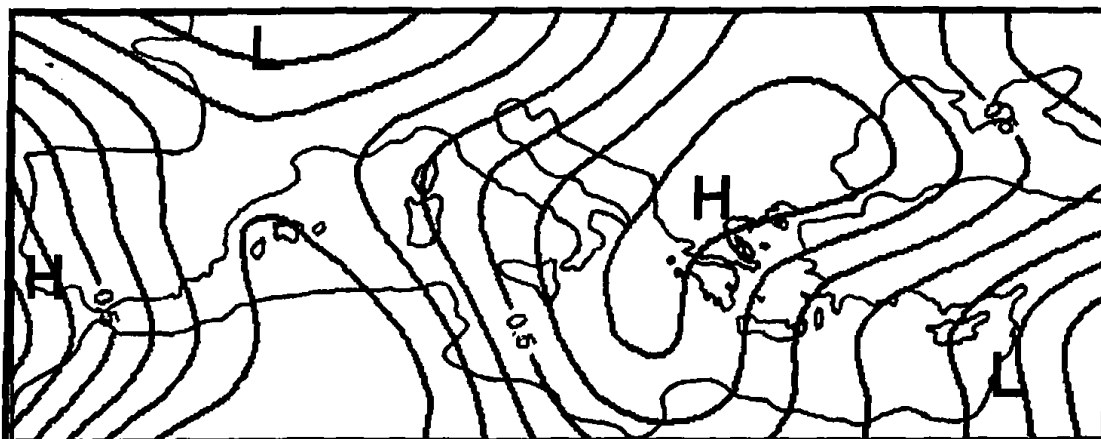
Ο factor 4, αντιπροσωπεύει 16 ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 1,61mm (την μικρότερη εξάτμιση που παρουσιάστηκε από τους 5 παράγοντες) και εξηγώντας το 13% της ολικής διακύμανσης. Η συνοπτική κατάσταση στην συγκεκριμένη περίπτωση έχει ως εξής: Κυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την Κ. Ευρώπη, η οποία επηρεάζει και το ΒΔ τμήμα της Ελλάδας. Αυτή η κυκλοφορία προκαλεί δυτικούς ανέμους στην περιοχή των Ιωαννίνων, οι οποίοι είναι εμπλουτισμένοι με υδατμούς από το Ιόνιο και δεν ευνοούν το φαινόμενο της εξάτμισης (κορεσμένη ατμόσφαιρα).



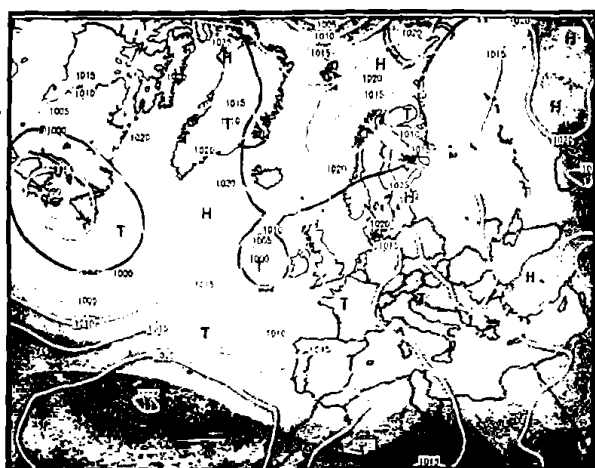
Σχήμα 6.40.4 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 4



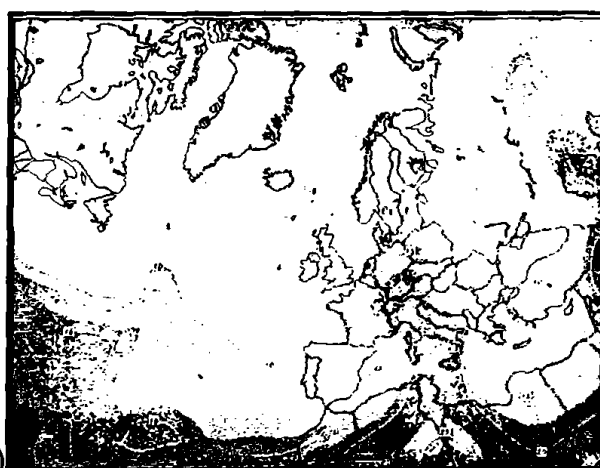
Ο factor 5, αντιπροσωπεύει 12 ημέρες με μέση ημερήσια εξάτμιση 1,99mm και εξηγώντας το 9% της ολικής διακύμανσης. Πάνω από την περιοχή των Βαλκανίων επικρατεί εκτεταμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία ενώ πάνω από την Ελλάδα η κυκλοφορία τείνει να είναι κυκλωνική. Εξετάζοντας μια συγκεκριμένη ημέρα (6/06/1998) με υψηλό φορτίο, φαίνεται ότι πάνω από τη Β.Δ Ελλάδα η κυκλοφορία της ατμόσφαιρας είναι όντως κυκλωνική και η θερμοκρασία παρατηρήθηκε ότι είναι σχετικά χαμηλή για την εποχή του καλοκαιριού, γεγονός που δικαιολογεί τη μειωμένη εξάτμιση.



Σχήμα 6.40.5 Συνοπτική κατάσταση πάνω από την Κ.Ευρώπη και τη Μεσόγειο που αντιπροσωπεύει τον factor 5



(α)



(β)

Χάρτης (α): Γεωδυναμικό ύψος στα 500hPa 6/6/1998.

Χάρτης (β): Γεωδυναμικό ύψος και θερμοκρασία στα 850hPa 6/6/1998.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### 7.1 ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΗΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ

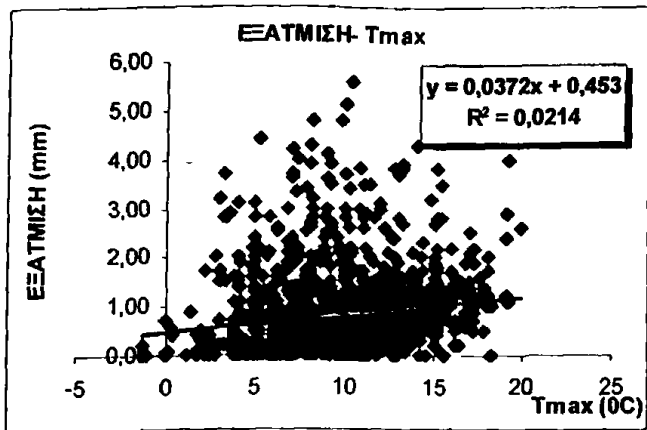
Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται μια προσπάθεια συσχέτισης της ημερήσιας εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων, με άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους, ενώ με την μέθοδο της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης γίνεται εφικτός ο προσδιορισμός της μέσης ημερήσιας εξάτμισης (εξαρτημένης μεταβλητής) χρησιμοποιώντας κάποιες από τις μετεωρολογικές παραμέτρους (ανεξάρτητες μεταβλητές). Η συσχέτιση και η γραμμική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε για κάθε εποχή του έτους ξεχωριστά. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν, προέρχονται από τον μετεωρολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, για τη χρονική περίοδο από 1988 έως 2003. Ειδικά, τα δεδομένα για την ταχύτητα του ανέμου, προέρχονται από το ανεμόμετρο του εξωτερικού σταθμού εξατμίσεως και συγκεκριμένα μετράται η ταχύτητα του ανέμου σε km/h, πάνω από την επιφάνεια της λεκάνης εξατμίσεως κατά την διάρκεια της ημέρας.

#### 7.2.1 ΧΕΙΜΩΝΑΣ

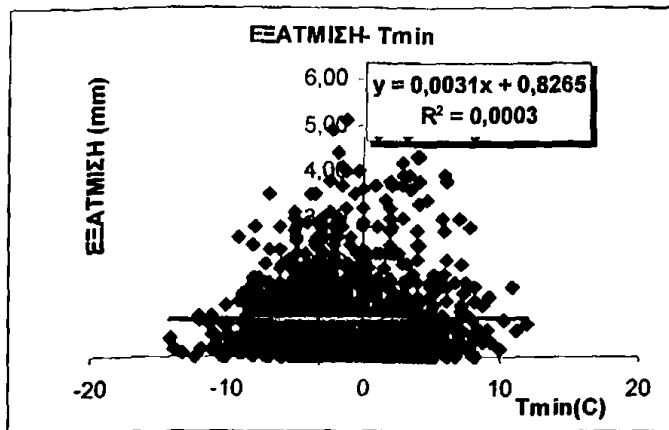
Για την εποχή του χειμώνα (Δεκ-Ιαν-Φεβ), έγινε συσχέτιση της χρονοσειράς της ημερήσιας εξάτμισης, με τις αντίστοιχες χρονοσειρές των ημερησίων τιμών μέγιστης, ελαχίστης, μέσης θερμοκρασίας, θερμοκρασιακού εύρους και ταχύτητας του ανέμου. Επιπλέον, έγινε ξεχωριστά η συσχέτιση των τιμών συνολικής ημερήσιας βροχόπτωσης με τις αντίστοιχες ημερήσιες τιμές εξάτμισης. Οι συντελεστές συσχέτισης της εξάτμισης με καθεμία από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 95%, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.1.1. Η σχέση της ημερήσιας εξάτμισης με καθεμιά παράμετρο εμφανίζεται στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν, σχήματα 7.1.1.α,β,γ,φ,ε,στ. Πάνω σε αυτά εμφανίζεται η γραμμή και η εξίσωση παλινδρόμησης καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ). Παρατηρείται ότι σχετικά μεγάλο συντελεστή, παρουσιάζει η συσχέτιση μεταξύ εξάτμισης και ταχύτητας ανέμου ( $R^2=0,49$ ), γεγονός που σημαίνει ότι ο άνεμος εξηγεί το 49% της ολικής διακύμανσης της εξάτμισης. Αντίθετα, οι υπόλοιπες μετεωρολογικές παράμετροι δεν δείχνουν να συμβάλουν (ξεχωριστά η καθεμία) καθοριστικά στην ολική διακύμανση της εξάτμισης, παρόλα αυτά, έχουν μια θετική συσχέτιση όπως φαίνεται και στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνουν οι τιμές των παραμέτρων, υπάρχει τάση να αυξάνεται και η μέση ημερήσια εξάτμιση. Από την άλλη πλευρά, αρνητική συσχέτιση παρουσιάζει η ημερήσια εξάτμιση, όπως ήταν αναμενόμενο, με την ημερήσια βροχόπτωση.

**Πίνακας 7.1.1** Συντελεστές συσχέτισης της ημερήσιας εξάτμισης με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους για την εποχή του χειμώνα.

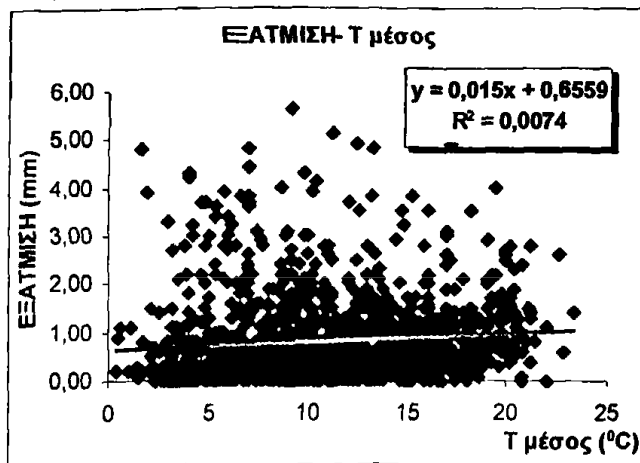
ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ	R	$R^2$	ΟΡΙΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ $\rho_1$	ΟΡΙΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ $\rho_2$
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,146	0,021	0,093	0,198
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΕΛΑΧ. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,016	0,000	0,000	0,069
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,086	0,007	0,032	0,138
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΟ ΘΕΡΜΟΚΡ. ΕΥΡΟΣ	0,092	0,008	0,038	0,144
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΑΝΕΜΟΣ	<b>0,700</b>	<b>0,490</b>	<b>0,671</b>	<b>0,726</b>
ΕΞΑΤΜΙΣΗ- ΒΡΟΧΟΠΤ.	-0,115	0,013		



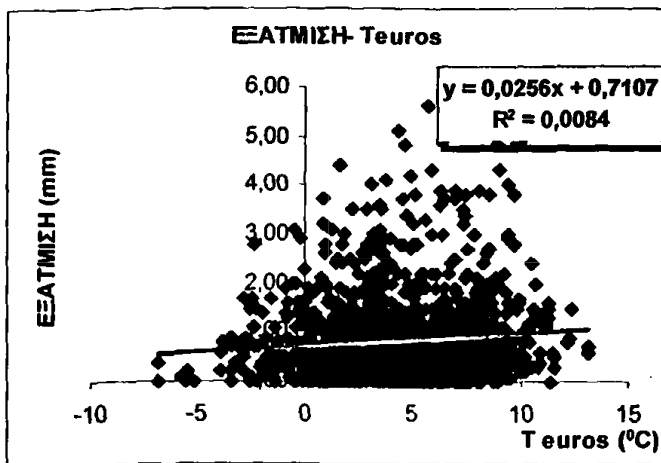
(α)



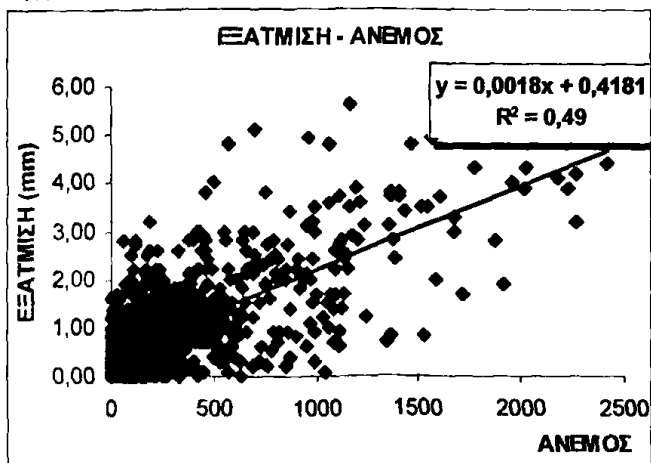
(β)



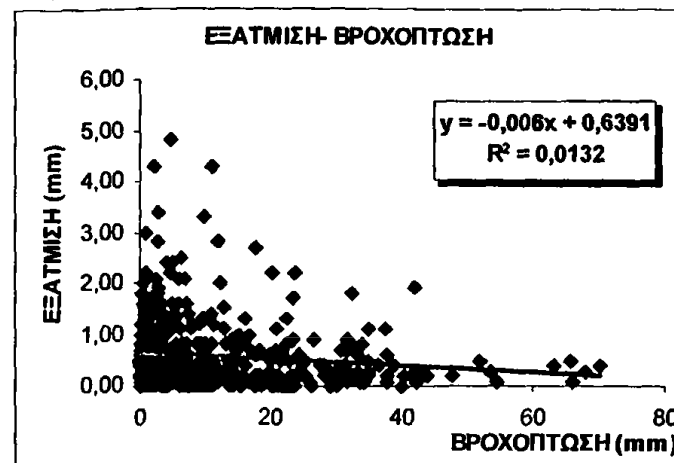
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Σχήμα 7.1.1.α,β,γ,δ,ε,στ Διαγράμματα διασποράς της ημερήσιας εξάτμισης α) με την μέγιστη θερμοκρασία β) με την ελάχιστη θερμοκρασία γ) με την μέση θερμοκρασία δ) με το θερμοκρασιακό εύρος ε) με την ταχύτητα του ανέμου και στ) με την συνολική ημερήσια βροχόπτωση.



Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (κεφάλαιο 3 - μέθοδος stepwise SPSS13) επί των προαναφερθέντων χρονοσειρών, με σκοπό να εκτιμηθεί η ημερήσια εξάτμιση (εξαρτημένη μεταβλητή) με τη βοήθεια κάποιων άλλων ερμηνευτικών μεταβλητών (ανεξάρτητες μεταβλητές). Εφαρμόζοντας το πολλαπλό γραμμικό μοντέλο

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + \varepsilon,$$

όπου Y η προβλεπόμενη εξάτμιση,  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  η μέγιστη θερμοκρασία, η ελάχιστη θερμοκρασία, η μέση θερμοκρασία, το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος και η ταχύτητα του ανέμου αντίστοιχα,  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  οι άγνωστες σταθερές και  $\varepsilon$  το τυπικό σφάλμα, λαμβάνουμε τους ακόλουθους πίνακες:

**Πίνακας 7.1.2**

Μοντέλο	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R Square	Std.Error of the Estimate
1	0,733	0,537	0,536	0,578

**Πίνακας 7.1.3**

Μοντέλο	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	B		
Σταθερά	-0,154	0,054		-2,852	0,004
Ταχ.Ανέμου	0,00182	0,000	0,727	38,707	0,000
Μέση Θερμοκρασία	0,053	0,005	0,304	10,916	0,000
Ελάχιστη Θερμοκρασία	0,028	0,005	0,145	5,237	0,000

Ο πίνακας 7.1.2, παρουσιάζει τη συνολική μεταβλητότητα του μοντέλου και συγκεκριμένα:

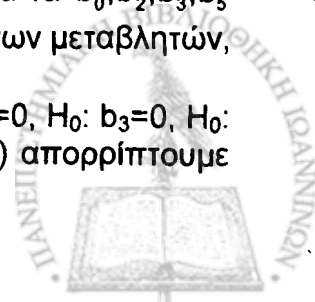
- Το R<sup>2</sup> είναι ίσο με την μεταβλητότητα των προσαρμοσμένων τιμών (SSR) ως προς την συνολική παρατηρούμενη μεταβλητότητα (SST). Συνεπώς το πηλίκο (συντελεστής προσδιορισμού), μπορεί να θεωρηθεί ότι εκφράζει το ποσοστό της μεταβλητότητας των παρατηρήσεων που ερμηνεύεται από το μοντέλο.
- Διαπιστώνεται ότι το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να εξηγήσει σχεδόν το 54% της ολικής μεταβλητότητας της εξάτμισης.

- Το προσαρμοσμένο R<sup>2</sup>, δίνεται από τη σχέση:  $R^2(\text{adjusted}) = 1 - \frac{SSE/(n-2)}{SST/(n-1)}$ ,

όπου SSE εκφράζει την μεταβλητότητα των πραγματικών τιμών της εξάτμισης σε σχέση με τις αντίστοιχες προσαρμοσμένες και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο πιο αξιόπιστο θεωρείται το μοντέλο .

Ο πίνακας 7.1.3, παρουσιάζει τους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών και πιο συγκεκριμένα:

- Παρατηρείται ότι το μοντέλο έχει εξαιρέσει κάποιες από τις ανεξάρτητες μετεωρολογικές παραμέτρους και λαμβάνει υπόψιν του, μόνο την ελάχιστη και την μέση θερμοκρασία καθώς και την ταχύτητα του ανέμου.
- Λαμβάνονται οι εκτιμήσεις -0,154, 0,028, 0,053, 0,00182, για τα  $b_0, b_2, b_3, b_5$  αντίστοιχα και φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η τιμή των ανεξάρτητων μεταβλητών, τόσο αυξάνεται και η μέση ημερήσια εξάτμιση (θετικά τα  $b_i$ ).
- Τα t-τεστ του πίνακα αφορούν τους ελέγχους  $H_0: b_0=0, H_0: b_2=0, H_0: b_3=0, H_0: b_5=0$  αντίστοιχα. Από τα p-value (0,004, 0,000, 0,000, 0,000) απορρίπτουμε

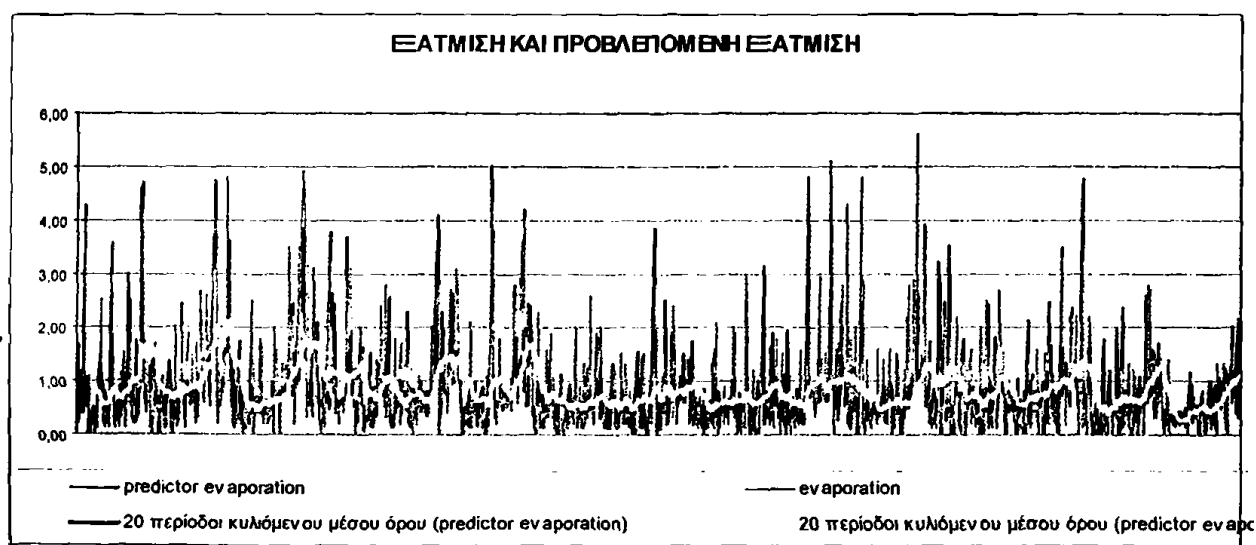


όλες τις παραπάνω υποθέσεις, για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Επομένως, οι μεταβλητές της ελάχιστης και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας καθώς και της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται πως επηρεάζουν την μεταβλητότητα της ημερήσιας εξάτμισης.

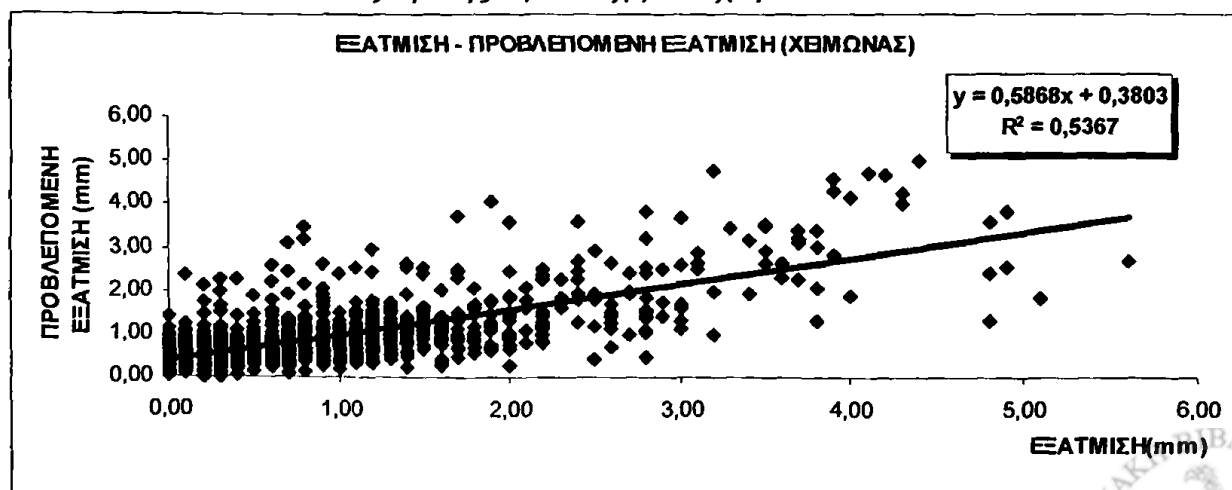
Η εξίσωση που προκύπτει τελικά από το συγκεκριμένο μοντέλο και θα εκτιμήσει την προβλεπόμενη εξάτμιση, με την βοήθεια των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι :

$$\text{Εξάτμιση} = 0,028T_{\min} + 0,053 \bar{T} + 0,00182V_{\text{WIND}} - 0,154$$

Παρατηρείται ότι η εκτίμηση της προβλεπόμενης εξάτμισης γίνεται κάνοντας χρήση έκτός από την ταχύτητα του ανέμου, την ελάχιστη και την μέση θερμοκρασία, οι οποίες μεμονωμένα δεν παρουσιάζουν σημαντική συσχέτιση με την πραγματική εξάτμιση. Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία της πραγματικής και της προβλεπόμενης εξάτμισης καθώς και οι κινητοί μέσοι όροι τους (σχήμα 7.1.2). Ακόμη, παρουσιάζεται και το διάγραμμα διασποράς της πραγματικής με την προβλεπόμενη εξάτμιση. Πάνω στο διάγραμμα έχει σχεδιαστεί η γραμμή παλινδρόμησης και η εξίσωση που την ερμηνεύει, σχήμα 7.1.3.

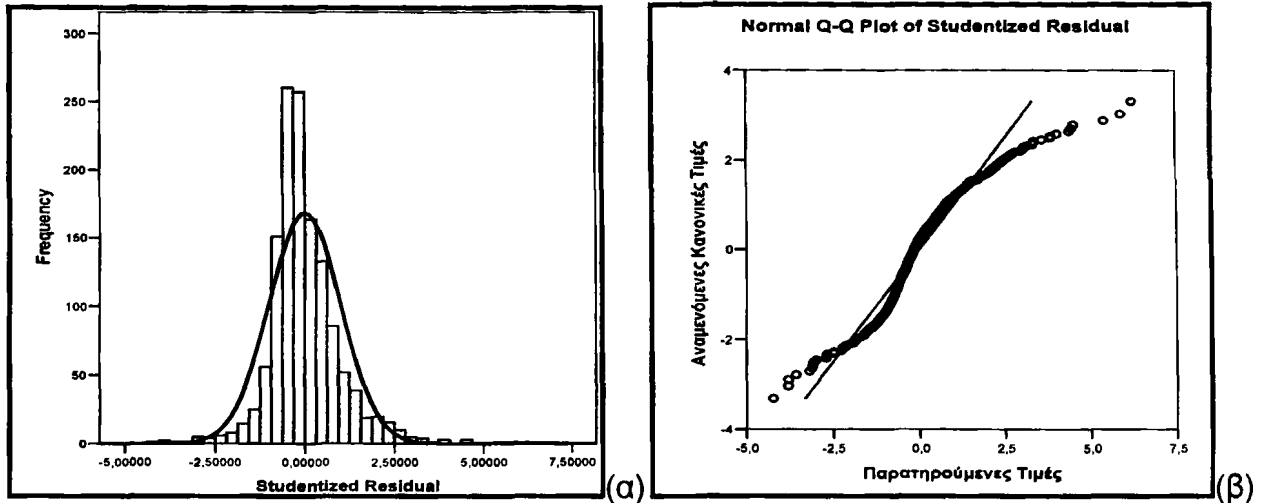


Σχήμα 7.1.2 Πορεία της πραγματικής και της προβλεπόμενης μέσης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή του χειμώνα.



Σχήμα 7.1.3. Διάγραμμα διασποράς πραγματικής και προβλεπόμενης μέσης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή του χειμώνα.

Τέλος, θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι οι παρατηρήσεις μας προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο πολλαπλό μοντέλο, έτσι ώστε τα συμπεράσματα που προκύπτουν να θεωρούνται αξιόπιστα. Ο έλεγχος της ορθότητας του πολλαπλού μοντέλου γίνεται με την βοήθεια των τυποποιημένων σφαλμάτων, τα οποία θα πρέπει να ακολουθούν την κανονική κατανομή. Για την περίπτωση του χειμώνα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 7.1.4.α,β, τα τυποποιημένα σφάλματα ακολουθούν την κανονική κατανομή και αυτό επαληθεύεται με το τεστ Kolmogorov – Smirnov.



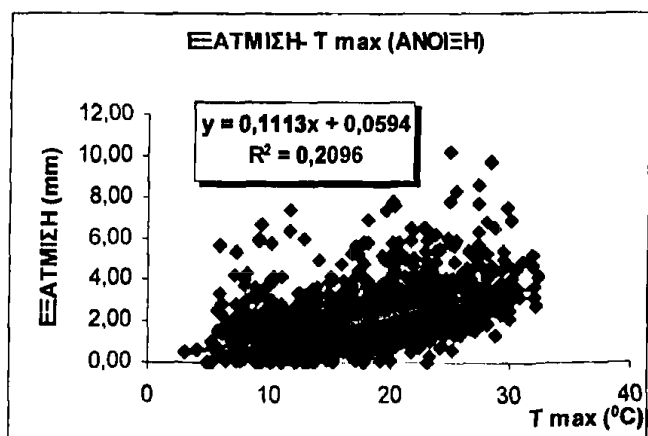
Σχήμα 7.1.4. α,β Ιστόγραμμα συχνότητας τυποποιημένων σφαλμάτων και προσαρμογή στην κανονική κατανομή.

## 7.2.2 ΑΝΟΙΞΗ

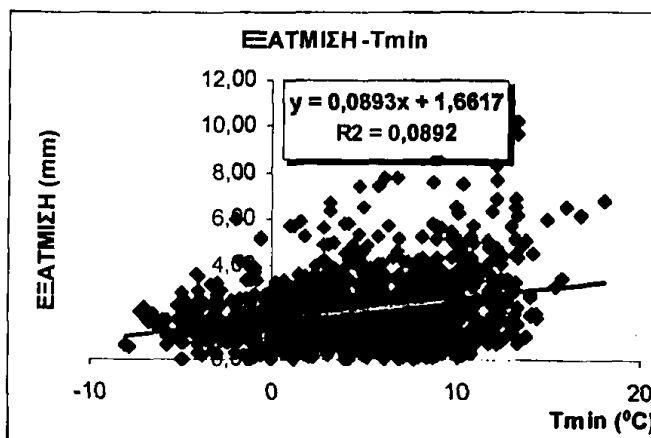
Για την εποχή της άνοιξης (Μαρ–Απρ–Μάιος), έγινε συσχέτιση της χρονοσειράς της ημερήσιας εξάτμισης, αρχικά με τις αντίστοιχες χρονοσειρές των ημερησίων τιμών μέγιστης – ελαχίστης - μέσης θερμοκρασίας, θερμοκρασιακού εύρους, ταχύτητας του ανέμου και στη συνέχεια με τις αντίστοιχες τιμές ημερήσιας βροχόπτωσης (μόνο τις ημέρες που παρουσιάστηκε βροχόπτωση). Οι συντελεστές συσχέτισης της εξάτμισης με καθεμία από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 95%, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.2.1. Η σχέση της ημερήσιας εξάτμισης με καθεμιά παράμετρο εμφανίζεται στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν, σχήματα 7. 2.1,α,β,γ,δ,ε,στ. Πάνω σε αυτά εμφανίζεται, όπως και προηγουμένως, η γραμμή και η εξίσωση παλινδρόμησης καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ). Παρατηρείται ότι σχετικά μεγάλους συντελεστές παρουσιάζουν η εξάτμιση σε σχέση με την μέγιστη θερμοκρασία ( $R^2 = 0,210$ ) και με το μέσο θερμοκρασιακό εύρος ( $R^2 = 0,185$ ) και ουσιαστικά αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη θερμοκρασία και το θερμοκρασιακό εύρος εξηγούν το 21 και 18,5% αντίστοιχα της ολικής διακύμανσης της εξάτμισης. Αντίθετα, οι υπόλοιποι μετεωρολογικοί παράμετροι δεν δείχνουν να συμβάλλουν (ξεχωριστά η καθεμιά) καθοριστικά στην ολική διακύμανση της εξάτμισης. Παρόλα αυτά, έχουν μια θετική συσχέτιση, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνουν οι τιμές των παραμέτρων, υπάρχει τάση να αυξάνεται και η ημερήσια εξάτμιση. Αρνητική συσχέτιση παρουσιάζει η εξάτμιση με την ημερήσια βροχόπτωση, όπως βέβαια ήταν αναμενόμενο. Ο συντελεστής συσχέτισης κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με τον αντίστοιχο της εποχής του χειμώνα.

Πίνακας 7.2.1 Συντελεστές συσχέτισης της ημερήσιας εξάτμιση με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους για την εποχή της άνοιξης.

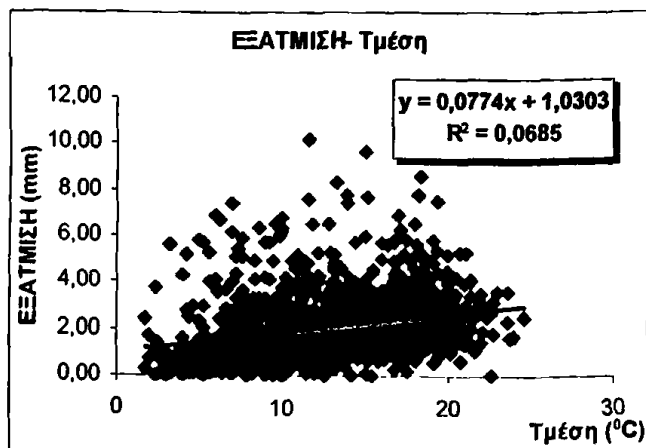
ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ	R	R <sup>2</sup>	ΟΡΙΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ $\rho_1$	ΟΡΙΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ $\rho_2$
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,458	0,210	0,444	0,522
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,299	0,089	0,268	0,360
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,262	0,069	0,237	0,331
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ -	0,431	0,185	0,413	0,494
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΑΝΕΜΟΣ	0,305	0,093	0,256	0,351
ΕΞΑΤΜΙΣΗ-ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	-0,168	0,028		



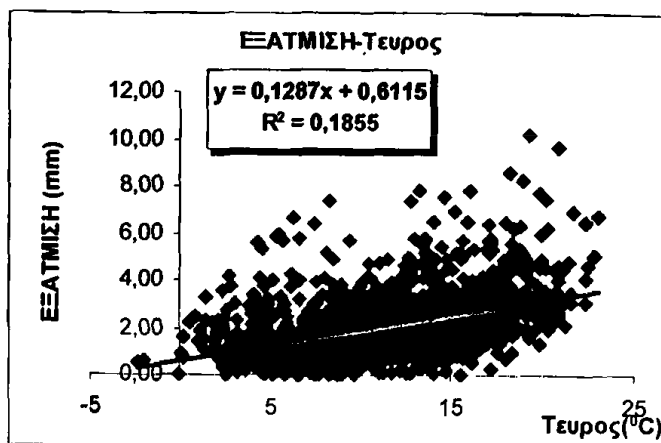
(α)



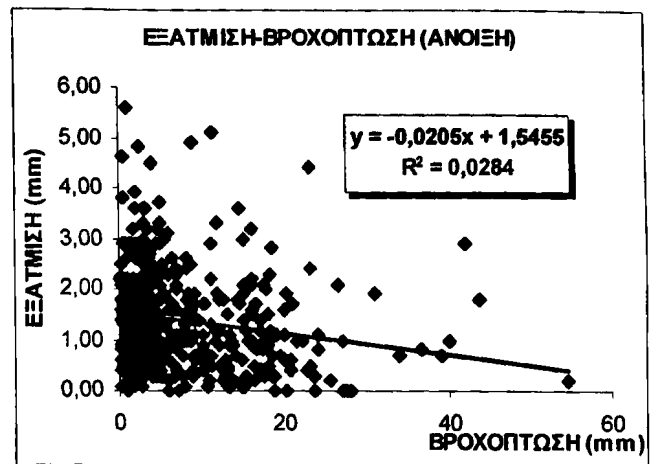
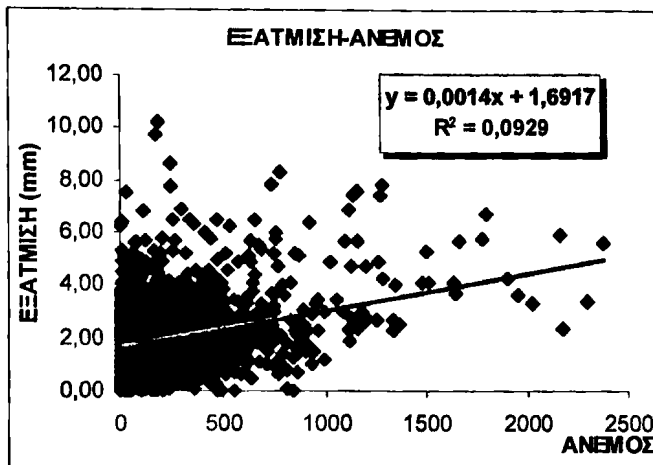
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

(στ)

Σχήμα 7.2.1.α,β,γ,δ,ε,στ Διαγράμματα διασποράς της ημερήσιας εξάτμισης α) με την μέγιστη θερμοκρασία β) με την ελάχιστη θερμοκρασία γ) με την μέση θερμοκρασία δ) με το θερμοκρασιακό εύρος ε) με την ταχύτητα του ανέμου και στ) με την συνολική ημερήσια βροχόπτωση.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής παλινδρόμησης επί των προαναφερθέντων χρονοσειρών, με σκοπό να εκτιμηθεί η ημερήσια εξάτμιση (εξαρτημένη μεταβλητή) με τη βοήθεια κάποιων άλλων ερμηνευτικών μεταβλητών (ανεξάρτητες). Εφαρμόζοντας το πολλαπλό γραμμικό μοντέλο

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + \varepsilon,$$

όπου  $Y$  η προβλεπόμενη εξάτμιση,  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  η μέγιστη θερμοκρασία, η ελάχιστη θερμοκρασία, η μέση θερμοκρασία, το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος και η ταχύτητα του ανέμου αντίστοιχα,  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  οι άγνωστες σταθερές και  $\varepsilon$  το τυπικό σφάλμα, λαμβάνουμε τους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 7.2.2 και 7.2.3

Μοντέλο	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R Square	Std.Error of the Estimate	
1	0,685	0,470	0,469	0,995	
Μοντέλο	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	B		
Σταθερά	-1,522	0,107		-14,186	0,000
Μέγιστη Θερμοκρασία	0,161	0,005	0,661	31,783	0,000
Ταχύτητα Ανέμου	0,003	0,000	0,549	26,404	0,000

Ο πίνακας 7.2.2, παρουσιάζει τη συνολική μεταβλητότητα του μοντέλου και συγκεκριμένα το μοντέλο μπορεί να εξηγήσει σχεδόν το 47% της ολικής μεταβλητότητας της εξάτμισης.

Ο πίνακας 7.2.3, παρουσιάζει τους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών και πιο συγκεκριμένα:

- Παρατηρείται ότι το μοντέλο έχει εξαιρέσει κάποιες από τις ανεξάρτητες μετεωρολογικές παραμέτρους και λαμβάνει υπόψιν του, μόνο την μέγιστη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου.

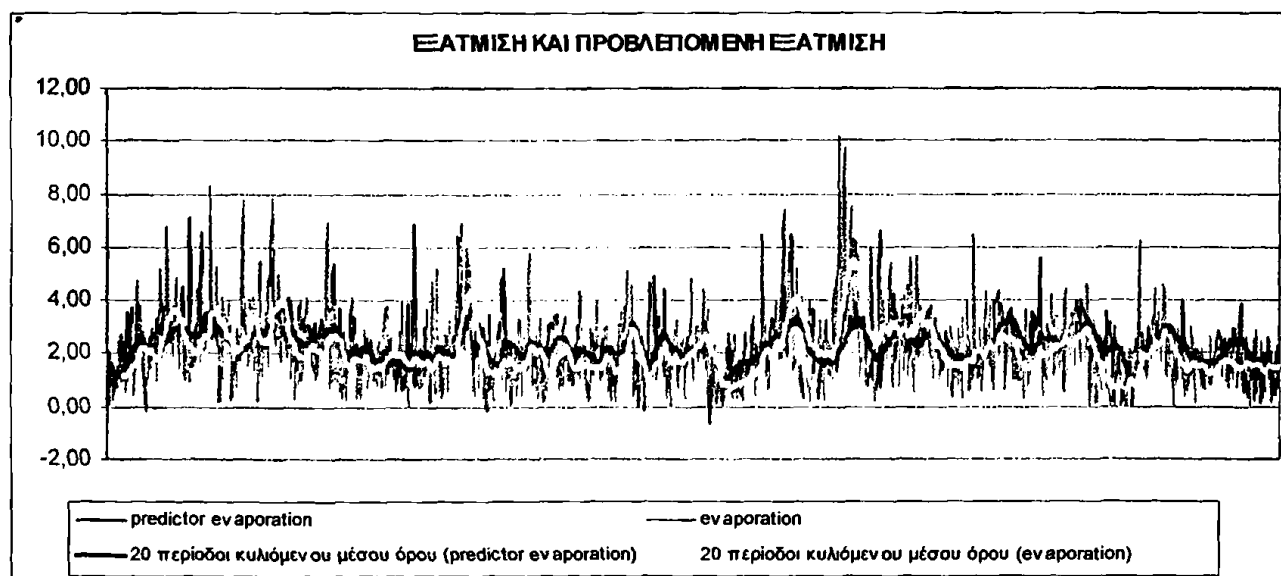


- Λαμβάνονται οι εκτιμήσεις -1,522 , 0,161, 0,003, για τα  $b_0, b_1, b_5$  αντίστοιχα και φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η τιμή των ανεξάρτητων μεταβλητών, τόσο αυξάνεται και η ημερήσια εξάτμιση (θετικά τα  $b_i$ ).
- Τα t-τεστ του πίνακα αφορούν τους ελέγχους  $H_0: b_0=0$ ,  $H_0: b_1=0$ ,  $H_0: b_5=0$  αντίστοιχα. Από τα p-value (0,000, 0,000, 0,000) απορρίπτουμε όλες τις παραπάνω υποθέσεις, για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Επομένως, οι μεταβλητές της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας καθώς και της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται πως επηρεάζουν την μεταβλητότητα της μέσης ημερήσιας εξάτμισης.

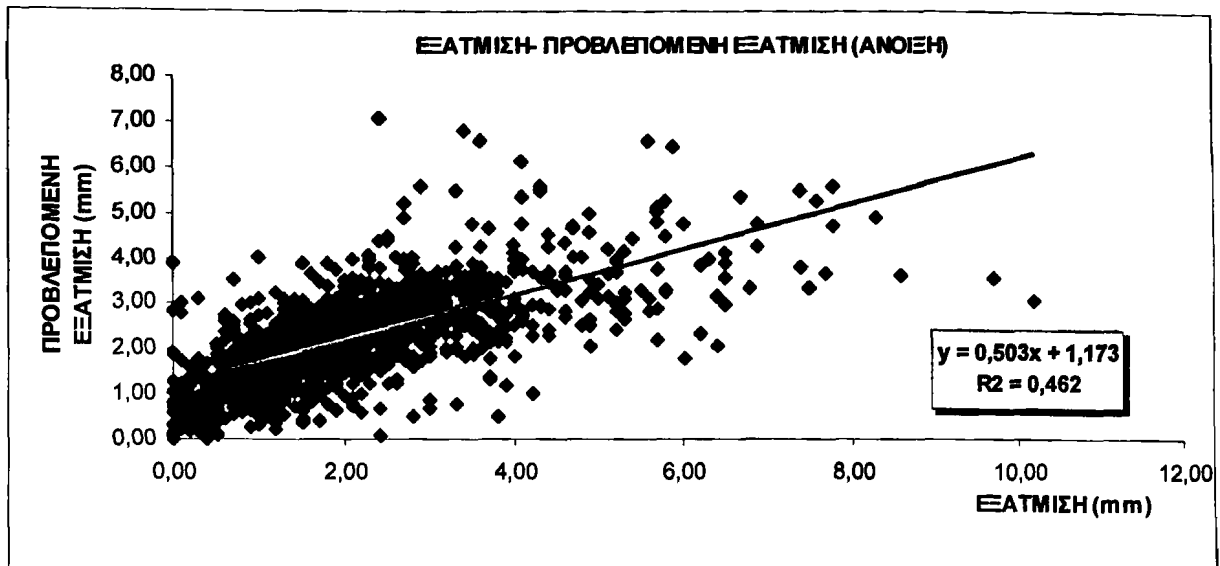
Η εξίσωση που προκύπτει τελικά από το συγκεκριμένο μοντέλο και θα εκτιμήσει την προβλεπόμενη εξάτμιση με τη βοήθεια των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι:

$$\text{Εξάτμιση} = 0,161 T_{max} + 0,003 V_{WIND} - 1,522$$

Παρατηρείται ότι η εκτίμηση της προβλεπόμενης εξάτμισης πραγματοποιείται με την βοήθεια της μέγιστης θερμοκρασίας και της ταχύτητας του ανέμου. Οι δυο μεταβλητές παρουσιάζουν τους μεγαλύτερους συντελεστές συσχέτισης, ενώ έχει εξαιρεθεί το θερμοκρασιακό εύρος, το οποίο μεμονωμένα παρουσίαζε αρκετά υψηλή συσχέτιση με την ημερήσια εξάτμιση. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην πολυσυγγραμικότητα των ανεξάρτητων μεταβλητών. Δηλαδή, η μεταβλητή του θερμοκρασιακού εύρους, έχει υψηλή συσχέτιση με τις δυο άλλες μεταβλητές και έτσι όταν βρίσκεται μόνο αυτή στο μοντέλο φαίνεται να επηρεάζει την εξάτμιση, απλώς διότι «συμμεταβάλλεται» με τις άλλες δυο. Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία της πραγματικής και της προβλεπόμενης εξάτμισης με τους κινητούς μέσους όρους καθώς και το διάγραμμα διασποράς σχήματα 7.2.2 και 3.

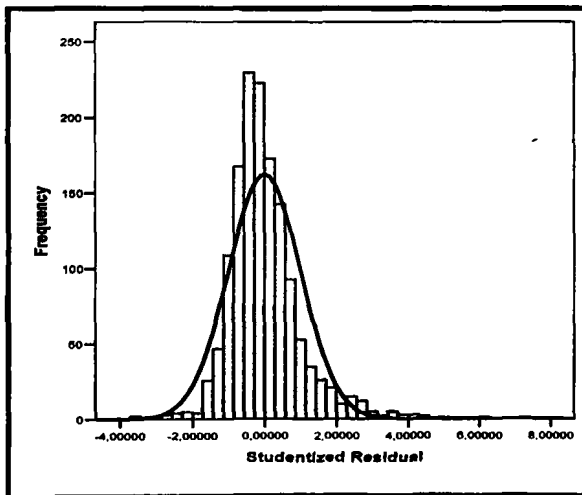


Σχήμα 7.2.2 Πορεία της πραγματικής και της προβλεπόμενης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή της άνοιξης.

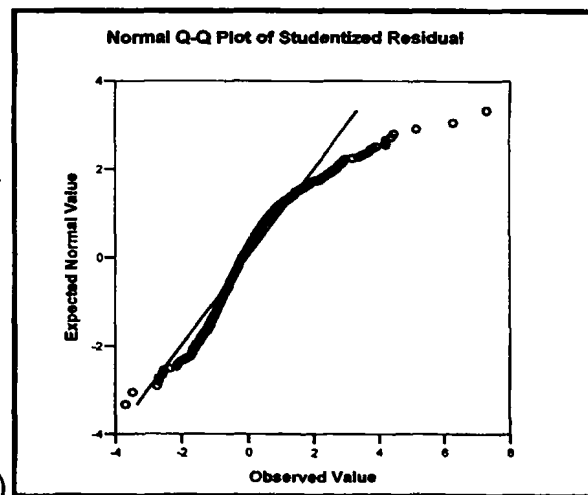


Σχήμα 7.2.3 Διάγραμμα διασποράς πραγματικής και προβλεπόμενης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή της άνοιξης.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ορθότητας του πολλαπλού μοντέλου, όπως και στην περίπτωση του χειμώνα, έτσι ώστε οι παρατηρήσεις μας να προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο πολλαπλό μοντέλο. Όπως φαίνεται στα σχήματα 7.2.4.α,β τα τυποποιημένα σφάλματα ακολουθούν την κανονική κατανομή και αυτό επιβεβαιώνεται με το τεστ Kolmogorov –Smirnov.



(α)



(β)

Σχήμα 7.2.4.α,β Ιστόγραμμα συχνότητας τυποποιημένων σφαλμάτων και προσαρμογή στην κανονική κατανομή.

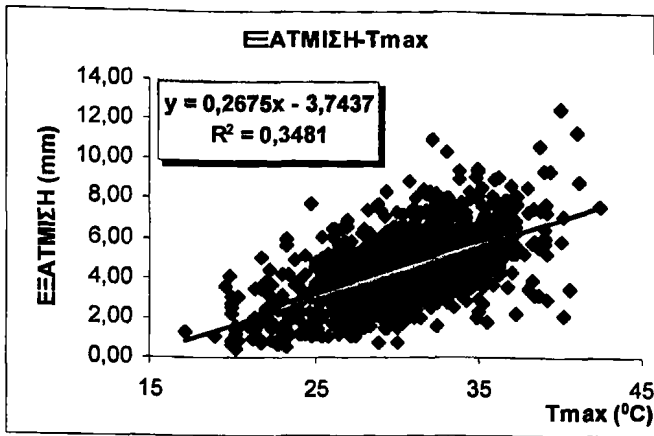
### 7.2.3 ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ

Για την εποχή του καλοκαιριού (Ιουν-Ιουλ-Αυγ), έγινε συσχέτιση της χρονοσειράς της ημερήσιας εξάτμισης, αρχικά με τις αντίστοιχες χρονοσειρές των ημερησίων τιμών μεγίστης, ελαχίστης, μέσης θερμοκρασίας, θερμοκρασιακού εύρους, ταχύτητας του ανέμου και στη συνέχεια με τις αντίστοιχες τιμές ημερήσιας βροχόπτωσης (μόνο τις ημέρες που παρουσιάστηκε βροχόπτωση). Οι συντελεστές συσχέτισης της εξάτμισης με καθεμία από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 95%, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.3.1. Η σχέση της ημερήσιας εξάτμισης με καθεμιά παράμετρο εμφανίζεται στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν, σχήματα 7. 3.1,α,β,γ,δ,ε,στ. Πάνω σε αυτά εμφανίζεται, όπως και προηγουμένως, η γραμμή και η εξίσωση παλινδρόμησης καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ). Παρατηρείται ότι σχετικά μεγάλους συντελεστές παρουσιάζουν η εξάτμιση σε σχέση με την μέγιστη θερμοκρασία ( $R^2=0,350$ ) και το μέσο θερμοκρασιακό εύρος ( $R^2=0,273$ ) και ουσιαστικά αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη θερμοκρασία και το θερμοκρασιακό εύρος εξηγούν το 35 και 27,3% αντίστοιχα της ολικής διακύμανσης της εξάτμισης. Αντίθετα, οι υπόλοιπες μετεωρολογικές παράμετροι δεν δείχνουν να συμβάλλουν (ξεχωριστά η καθεμία) καθοριστικά στην ολική διακύμανση της εξάτμισης, παρόλα αυτά έχουν μια θετική συσχέτιση, όπως φαίνεται και στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνουν οι τιμές των παραμέτρων, υπάρχει τάση να αυξάνεται και η ημερήσια εξάτμιση. Αρνητική συσχέτιση, παρουσιάζει η εξάτμιση με την ημερήσια βροχόπτωση και ο συντελεστής συσχέτισης κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα όπως και τις προηγούμενες εποχές. Χαρακτηριστικό είναι ότι την εποχή του καλοκαιριού ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την μεταβολή της ημερήσιας εξάτμισης είναι η θερμοκρασία (μέγιστη, θερμοκρασιακό εύρος και μέση) σε αντίθεση με τον χειμώνα όπου κυρίαρχος παράγοντας είναι ο άνεμος.

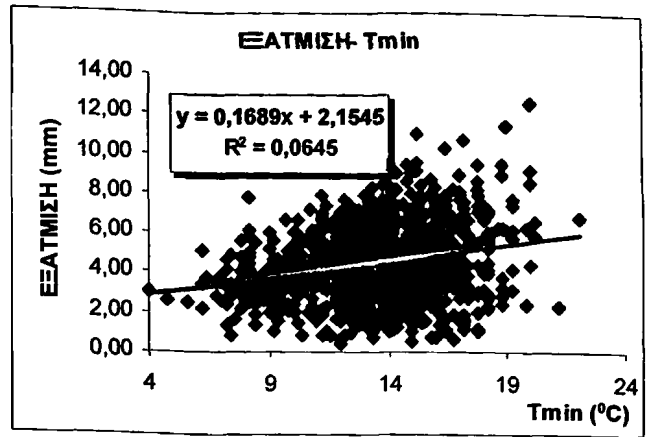
**Πίνακας 7.3.1. Συντελεστές συσχέτισης της ημερήσιας εξάτμισης με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους για την εποχή του καλοκαιριού**

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ	R	R <sup>2</sup>	ΟΡΙΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ	
			$\rho_1$	$\rho_2$
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,592	0,350	0,558	0,624
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,262	0,068	0,214	0,309
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,467	0,218	0,426	0,506
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	0,523	0,273	0,485	0,559
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΑΝΕΜΟΣ	0,417	0,174	0,371	0,459
ΕΞΑΤΜΙΣΗ-ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	-0,122	0,014		

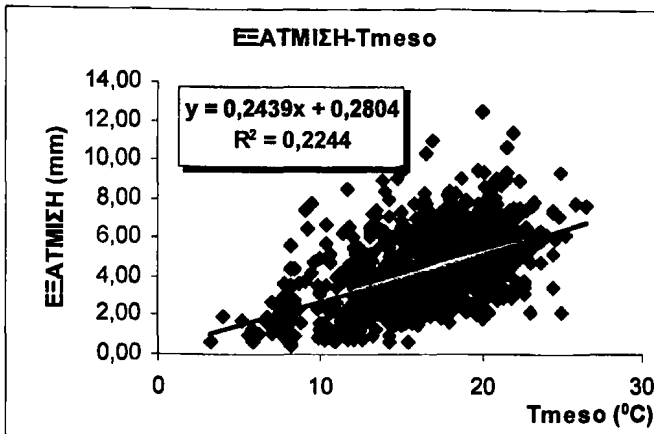




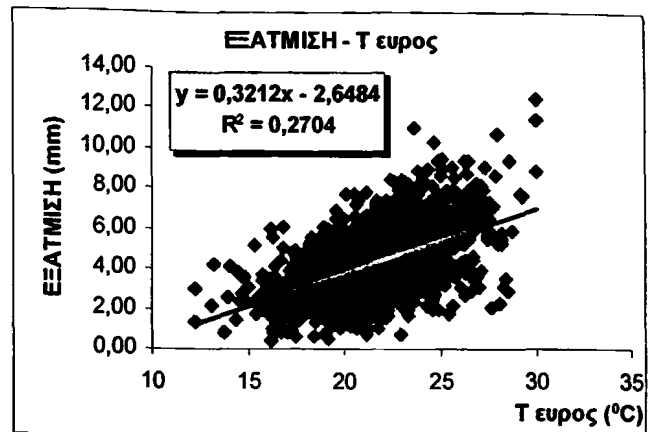
(α)



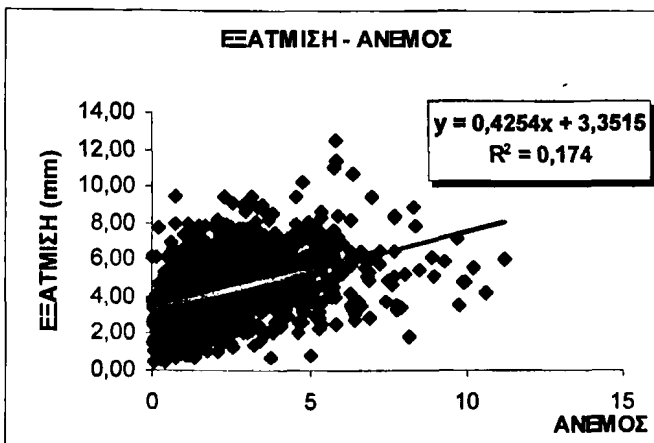
(β)



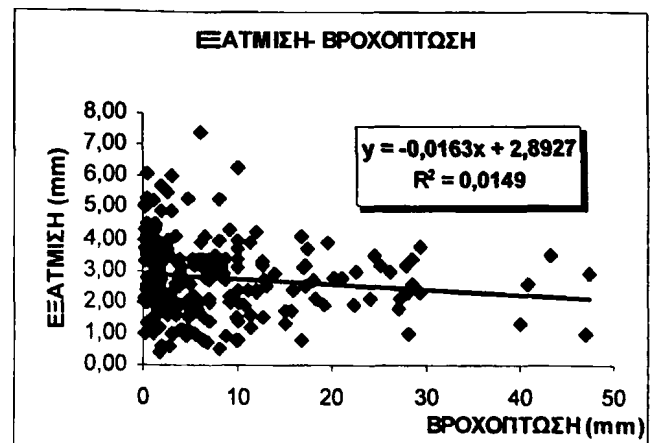
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Σχήμα 7.3.1.α,β,γ,δ,ε,στ Διαγράμματα διασποράς της ημερήσιας εξάτμισης α)με την μέγιστη θερμοκρασία β)με την ελάχιστη θερμοκρασία γ)με την μέση θερμοκρασία δ)με το θερμοκρασιακό εύρος ε) με την ταχύτητα του ανέμου και στ)με την συνολική ημερήσια βροχόπτωση.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης επί των προαναφερθέντων χρονοσειρών, με σκοπό να εκτιμηθεί η ημερήσια εξάτμιση (εξαρτημένη μεταβλητή) με τη βοήθεια κάποιων άλλων ερμηνευτικών μεταβλητών (ανεξάρτητες μεταβλητές). Εφαρμόζοντας το πολλαπλό γραμμικό μοντέλο  $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + \varepsilon$ , όπως και προηγουμένως λαμβάνουμε τους ακόλουθους πίνακες:

**Πίνακας 7.3.2**

Μοντέλο	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R Square	Std.Error of the Estimate
1	0,704	0,496	0,495	1,21275

**Πίνακας 7.3.3.**

Μοντέλο	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	B		
Σταθερά	-4,181	0,273		-15,332	0,000
Μέγιστη Θερμοκρασία	0,338	0,022	0,745	15,575	0,000
Θερμοκρασιακό Εύρος	-0,123	0,030	-0,199	-4,152	0,000
Ταχύτητα Ανέμου	0,004	0,000	0,383	19,889	0,000

Ο πίνακας 7.3.2, παρουσιάζει τη συνολική μεταβλητότητα του μοντέλου και συγκεκριμένα, το μοντέλο μπορεί να εξηγήσει σχεδόν το 50% της ολικής μεταβλητότητας της εξάτμισης.

Ο πίνακας 7.3.3, παρουσιάζει τους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών και πιο συγκεκριμένα:

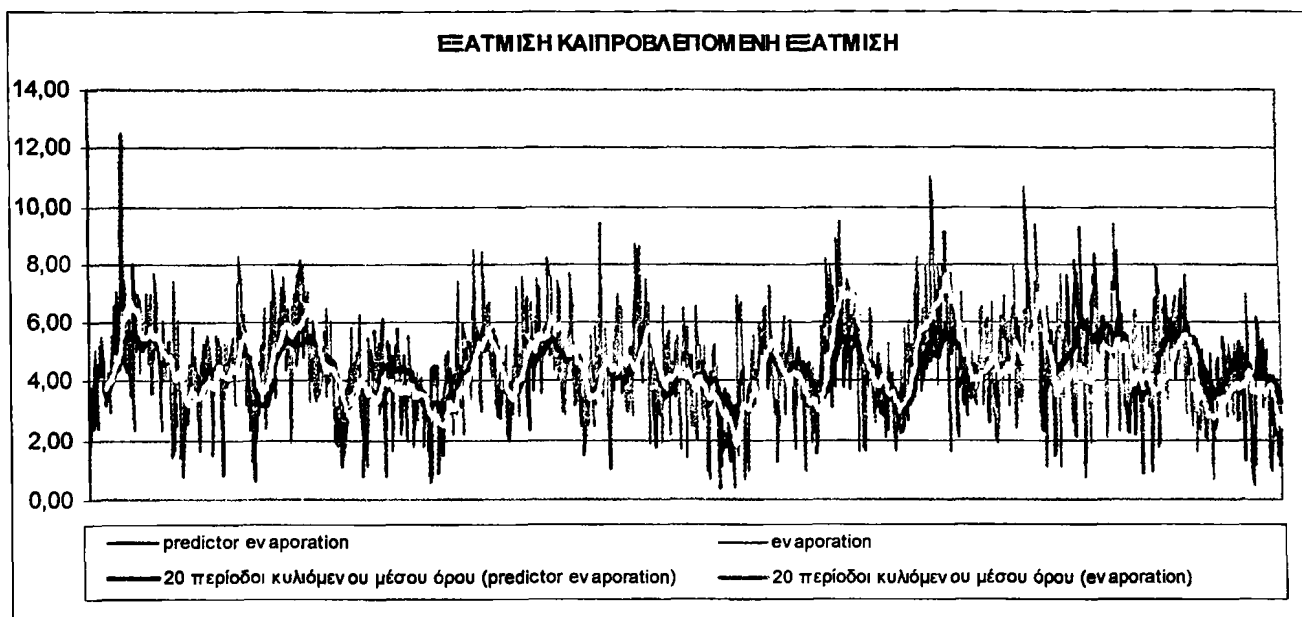
- Παρατηρείται ότι το μοντέλο έχει εξαιρέσει κάποιες από τις ανεξάρτητες μετεωρολογικές παραμέτρους και λαμβάνει υπόψιν του, μόνο την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το θερμοκρασιακό ημερήσιο εύρος και την ταχύτητα του ανέμου. Αυτό βέβαια, είναι αναμενόμενο διότι την εποχή του καλοκαιριού οι παραπάνω τρεις μετεωρολογικές παράμετροι παρουσιάζουν αρκετά υψηλή συσχέτιση με την εξάτμιση.
- Λαμβάνονται οι εκτιμήσεις, -4,181 , 0,338 , -0,123 , 0,004 , για τα  $b_0, b_1, b_4, b_5$  και φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η μέγιστη θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου τόσο αυξάνεται και η ημερήσια εξάτμιση (θετικά  $b_1, b_4$ ). Λόγω της συμμεταβλητότητας των παραπάνω παραμέτρων, η μείωση που φαίνεται να προκαλεί το θερμοκρασιακό εύρος στην προβλεπόμενη εξάτμιση, αντισταθμίζεται από την αύξηση των υπολοίπων ( $T_{max}, V_{WIND}$ ).
- Τα t-τεστ του πίνακα αφορούν τους ελέγχους  $H_0: b_0=0$ ,  $H_0: b_1=0$ ,  $b_4=0$  και  $b_5=0$  αντίστοιχα. Από τα p-value (0,000, 0,000, 0,000, 0,000) απορρίπτουμε όλες τις παραπάνω υποθέσεις, για επίπεδο σημαντικότητας 5%. Επομένως, οι μεταβλητές της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας του θερμοκρασιακού ημερήσιου εύρους καθώς και της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται πως επηρεάζουν την μεταβλητότητα της μέσης ημερήσιας εξάτμισης.

Η εξίσωση που προκύπτει τελικά από το συγκεκριμένο μοντέλο και θα εκτιμήσει την προβλεπόμενη εξάτμιση, με την βοήθεια των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι:

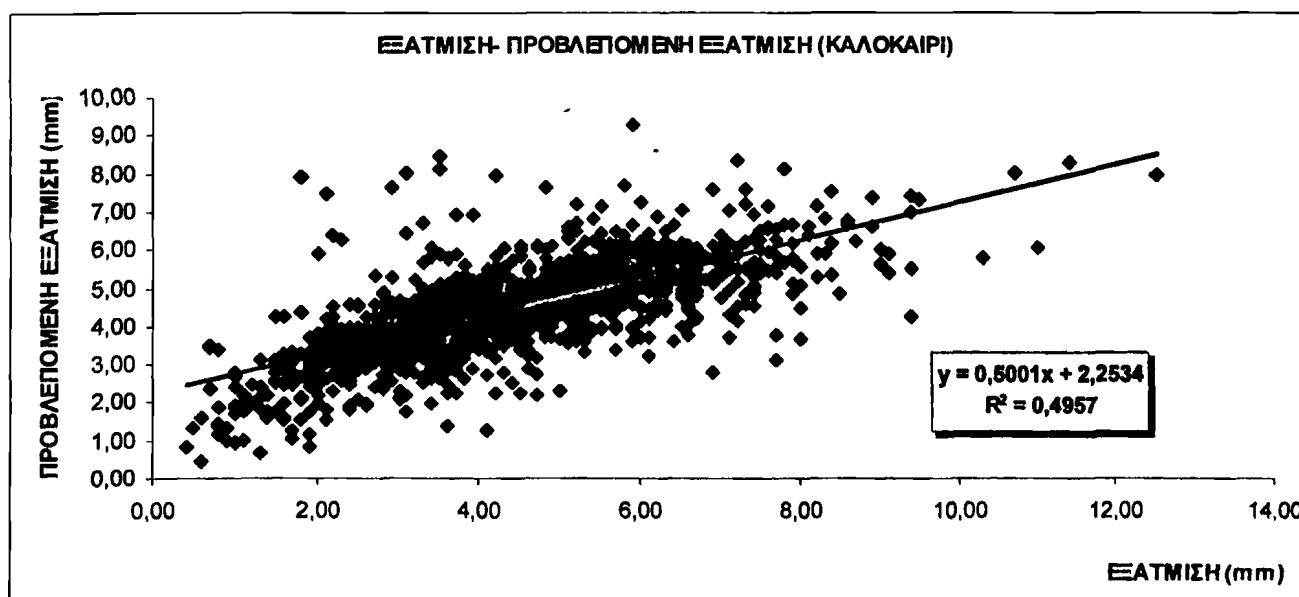
$$\text{Εξάτμιση} = 0,338 T_{max} - 0,123\Delta T + 0,004 V_{WIND} - 4,181$$



Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία της πραγματικής και της προβλεπόμενης εξάτμισης όπως και οι κινητοί μέσοι όροι τους (σχήμα 7.3.2). Ακόμη εμφανίζεται και το διάγραμμα διασποράς της πραγματικής και της προβλεπόμενης εξάτμισης με την εξίσωση και την γραμμή παλινδρόμησης, σχήμα 7.3.3.



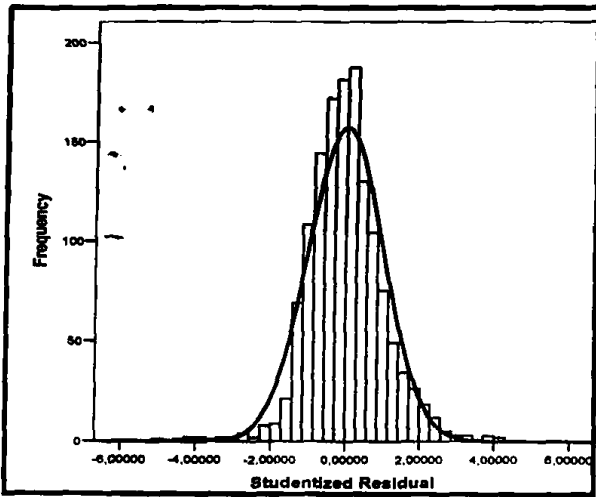
Σχήμα 7.3.2 Πορεία της πραγματικής και της προβλεπόμενης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή του καλοκαιριού.



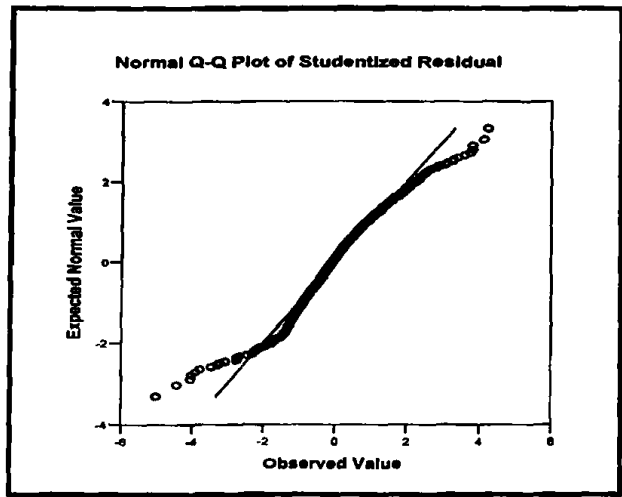
Σχήμα 7.3.3 Διάγραμμα διασποράς πραγματικής και προβλεπόμενης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή του καλοκαιριού.



Τέλος, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ορθότητας του πολλαπλού μοντέλου, έτσι ώστε οι παρατηρήσεις μας να προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο πολλαπλό μοντέλο και τα συμπεράσματα που προκύπτουν να είναι αξιόπιστα. Όπως φαίνεται και στα σχήματα 7.3.4.α,β, τα τυποποιημένα σφάλματα ακολουθούν την κανονική κατανομή και αυτό επιβεβαιώνεται με το τεστ Κολμογοροφ – Smirnov.



(α)



(β)

Σχήμα 7.3.4.α,β Ιστόγραμμα συχνότητας τυποποιημένων σφαλμάτων και προσαρμογή στην κανονική κατανομή.

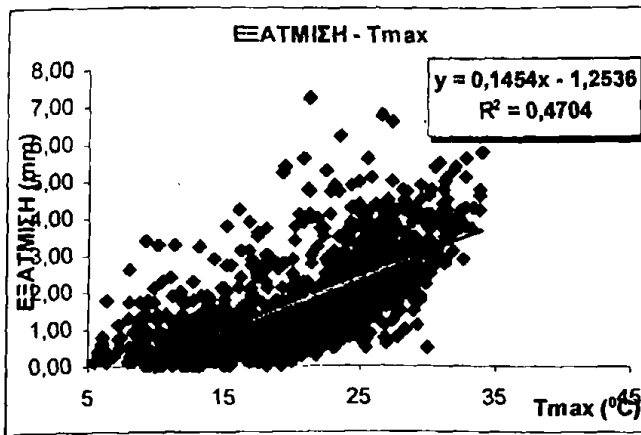
## 7.2.4 ΦΘΙΝΟΠΩΡΟ

Για την εποχή του φθινοπώρου (Σεπ-Οκτ-Νοε), έγινε παρομοίως συσχέτιση της χρονοσειράς της ημερήσιας εξάτμισης, με τις αντίστοιχες χρονοσειρές των ημερησίων τιμών μέγιστης-ελαχίστης-μέσης θερμοκρασίας, θερμοκρασιακού εύρους και ταχύτητας του ανέμου. Επιπλέον, έγινε ξεχωριστά συσχέτιση των τιμών της ημερήσιας βροχόπτωσης με τις αντίστοιχες ημερήσιες τιμές εξάτμισης. Οι συντελεστές συσχέτισης της εξάτμισης με καθεμία από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, καθώς και τα όρια εμπιστοσύνης για επίπεδο σημαντικότητας 95%, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.4.1. Η σχέση της ημερήσιας εξάτμισης με καθεμία παράμετρο εμφανίζεται στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν, σχήματα 7.4.1.α,β,γ,δ,ε,στ. Πάνω σε αυτά εμφανίζεται η γραμμή και η εξίσωση παλινδρόμησης καθώς και ο συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ). Παρατηρείται ότι σχετικά μεγάλο συντελεστή, παρουσιάζουν η εξάτμιση με την μέγιστη θερμοκρασία ( $R^2=0,470$ ) και το θερμοκρασιακό εύρος ( $R^2=0,397$ ) και ακολουθεί η σχέση με την ταχύτητα του ανέμου ( $R^2=0,232$ ). Όπως και στην περίπτωση του καλοκαιριού, κυρίαρχο ρόλο στην μεταβολή της εξάτμισης φαίνεται να έχει η θερμοκρασία και όχι ο άνεμος. Αντίθετα, οι υπόλοιπες μετεωρολογικές παράμετροι δεν δείχνουν να συμβάλλουν (ξεχωριστά η καθεμία) καθοριστικά στην ολική διακύμανση της εξάτμισης. Παρόλα αυτά, έχουν μια θετική συσχέτιση όπως φαίνεται και στα διαγράμματα διασποράς που ακολουθούν. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνουν οι τιμές των παραμέτρων, υπάρχει τάση να αυξάνεται και η ημερήσια εξάτμιση. Αρνητική συσχέτιση και την εποχή του φθινοπώρου παρουσιάζει η εξάτμιση με την ημερήσια βροχόπτωση.

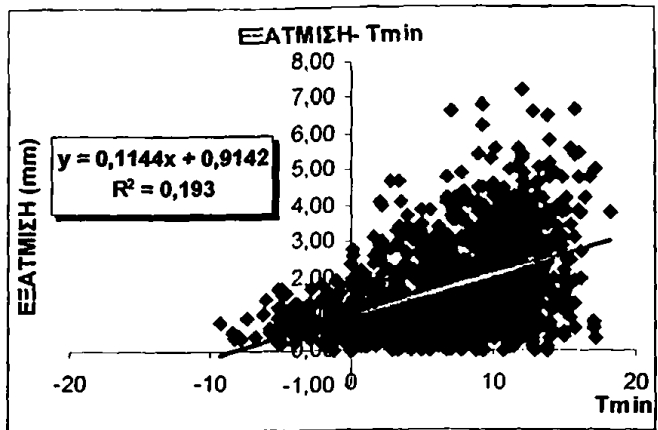
**Πίνακας 7.4.1** Συντελεστές συσχέτισης της ημερήσιας εξάτμισης με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους την εποχή του φθινοπώρου.

ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ	R	$R^2$	ΟΡΙΟ ΕΜΠΙΣΤΟΣΥΝΗΣ	
			$\rho_1$	$\rho_2$
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,686	<b>0,470</b>	0,657	0,713
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,439	0,193	0,396	0,481
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	0,431	0,186	0,387	0,473
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΜΕΣΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΟ ΕΥΡΟΣ	0,630	<b>0,397</b>	0,597	0,660
ΕΞΑΤΜΙΣΗ - ΑΝΕΜΟΣ	0,482	0,232	0,439	0,521
ΕΞΑΤΜΙΣΗ-ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	-0,158	0,025		

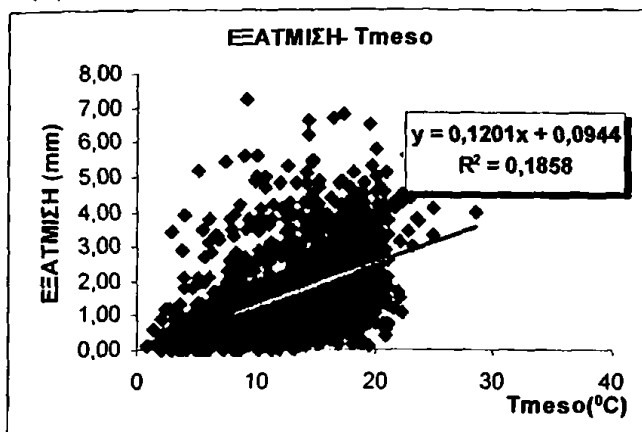




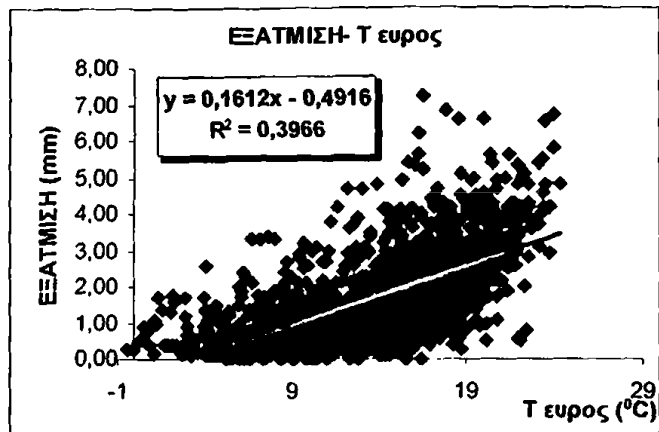
(α)



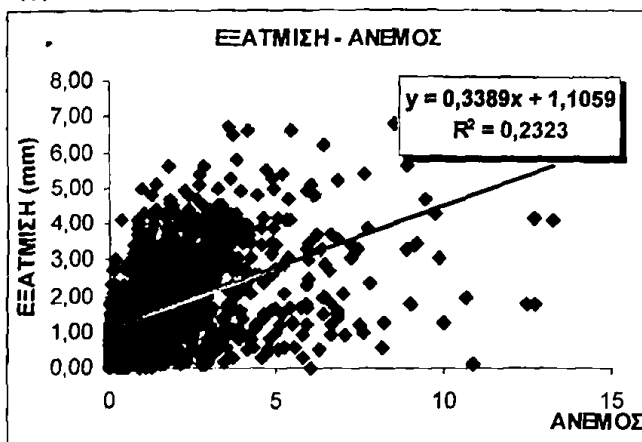
(β)



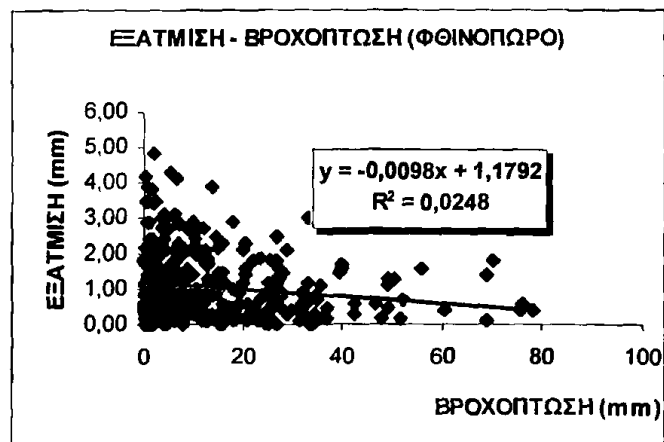
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Σχήμα 7.4.1.α,β,γ,δ,ε,στ, Διαγράμματα διασποράς της ημερήσιας εξάτμισης α) με την μέγιστη θερμοκρασία β) με την ελάχιστη θερμοκρασία γ) με την μέση θερμοκρασία δ) με το θερμοκρασιακό εύρος ε) με την ταχύτητα του ανέμου και στ) με την συνολική ημερήσια βροχόπτωση.

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης (μέθοδος stepwise) επί των προαναφερθέντων χρονοσειρών, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η ημερήσια εξάτμιση (εξαρτημένη μεταβλητή) με τη βοήθεια κάποιων άλλων ερμηνευτικών μεταβλητών (ανεξάρτητες μεταβλητές). Εφαρμόζοντας το πολλαπλό γραμμικό μοντέλο  $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + \varepsilon$ , όπως και προηγουμένως λαμβάνουμε τους ακόλουθους πίνακες:

**Πίνακας 7.4.2**

Μοντέλο	R	R <sup>2</sup>	Adjusted R Square	Std.Error of the Estimate
1	0,804	0,647	0,646	0,770

**Πίνακας 7.4.3.**

Μοντέλο	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std.Error	B		
Σταθερά	-1,747	0,078		-22,350	0,000
Μέγιστη Θερμοκρασία	0,201	0,009	0,947	21,227	0,000
Θερμοκρασιακό Εύρος	-0,086	0,012	-0,336	-7,448	0,000
Ταχύτητα Ανέμου	0,003	0,000	0,435	26,053	0,000

Ο πίνακας 7.4.2, παρουσιάζει όπως και προηγουμένως τη συνολική μεταβλητότητα του μοντέλου και φαίνεται ότι το συγκεκριμένο μοντέλο μπορεί να εξηγήσει σχεδόν το 65%, της ολικής μεταβλητότητας της εξάτμισης. Εν συγκρίσει με τα μοντέλα των υπολοίπων εποχών, αυτό του φθινοπώρου παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό που μπορεί να εκτιμήσει την πραγματική εξάτμιση.

Ο πίνακας 7.4.3, παρουσιάζει τους συντελεστές των ανεξάρτητων μεταβλητών και πιο συγκεκριμένα :

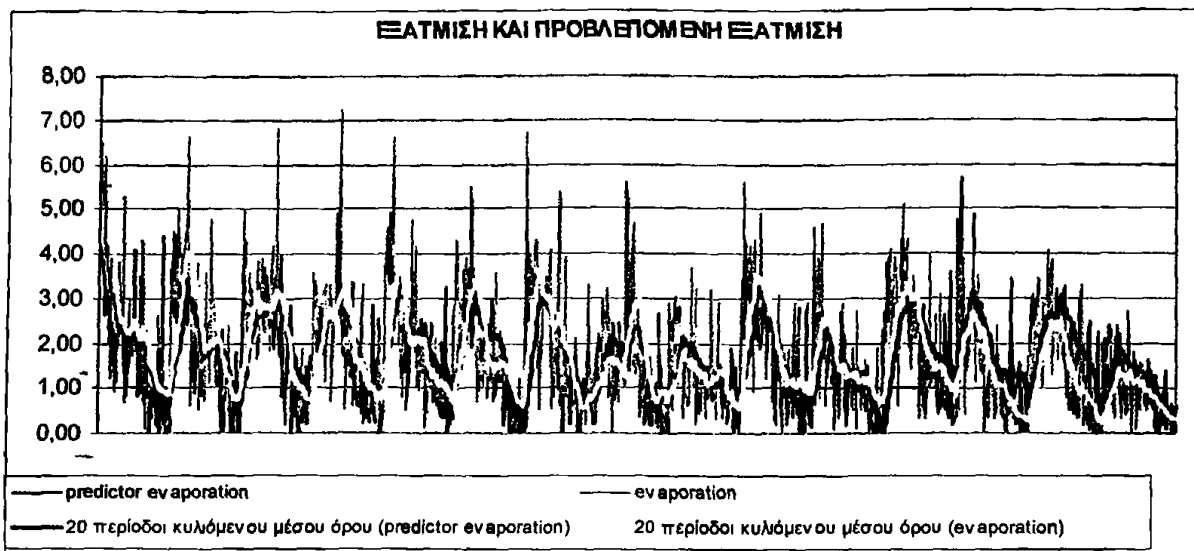
- Το μοντέλο έχει εξαιρέσει κάποιες από τις ανεξάρτητες μετεωρολογικές μεταβλητές (ίδιες με αυτές του μοντέλου του ) καλοκαιριού και λαμβάνει υπόψιν του, την μέγιστη θερμοκρασία, το θερμοκρασιακό εύρος και την ταχύτητα του ανέμου.
- Λαμβάνονται οι εκτιμήσεις -1,747 , 0,201 , -0,086 , 0,003 , για τα για τα  $b_0, b_1, b_4, b_5$  και φαίνεται ότι όσο αυξάνεται η μέγιστη θερμοκρασία και η ταχύτητα του ανέμου τόσο αυξάνεται και η ημερήσια εξάτμιση (θετικά  $b_1, b_4$ ). Λόγω της συμμεταβλητότητας των παραπάνω παραμέτρων, η μείωση που φαίνεται να προκαλεί το θερμοκρασιακό εύρος στην προβλεπόμενη εξάτμιση, αντισταθμίζεται από την αύξηση των υπολοίπων ( $T_{max}, V_{WIND}$ ).
- Τα t-τεστ του πίνακα αφορούν τους ελέγχους  $H_0:b_0=0$ ,  $H_0:b_1=0$ ,  $H_0:b_4=0$  και  $H_0:b_5=0$  αντίστοιχα. Από τα p-value (0,000, 0,000, 0,000, 0,000) απορρίπτουμε όλες τις παραπάνω υποθέσεις, για επίπεδο σημαντικότητας 0,05. Επομένως, οι μεταβλητές της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας του θερμοκρασιακού ημερήσιου εύρους καθώς και της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται πως επηρεάζουν την μεταβλητότητα της μέσης ημερήσιας εξάτμισης.

Η εξίσωση που προκύπτει τελικά από το συγκεκριμένο μοντέλο και θα εκτιμήσει την προβλεπόμενη εξάτμιση, με την βοήθεια των ανεξάρτητων μεταβλητών είναι:

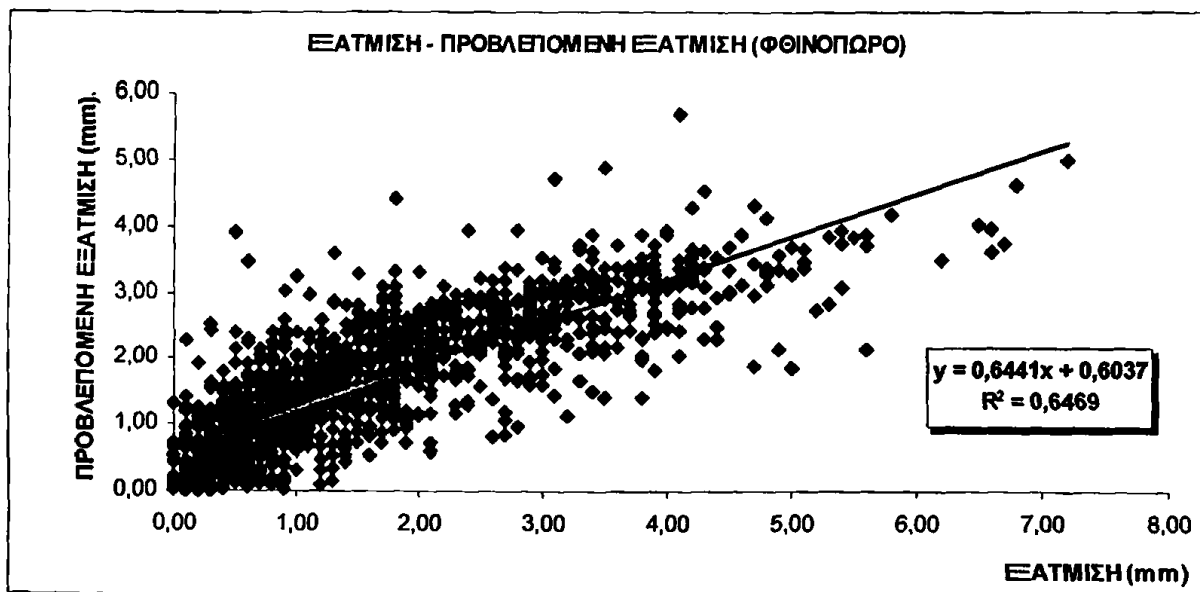
$$Εξάτμιση = 0,201 T_{max} - 0,086\Delta T + 0,003V_{WIND} - 1,747$$

Παρακάτω παρουσιάζεται η πορεία της πραγματικής και της προβλεπόμενης εξάτμισης όπως και οι κινητοί μέσοι όροι τους (σχήμα 7.4.2). Φαίνεται ότι οι πορείες σχεδόν συμμεταβάλλονται, γεγονός που επαληθεύει την αξιοπιστία του μοντέλου. Ακόμη εμφανίζεται το διάγραμμα διασποράς της πραγματικής και της προβλεπόμενης εξάτμισης με την εξίσωση και την γραμμή παλινδρόμησης, καθώς και τον συντελεστή συσχέτισης R<sup>2</sup>.





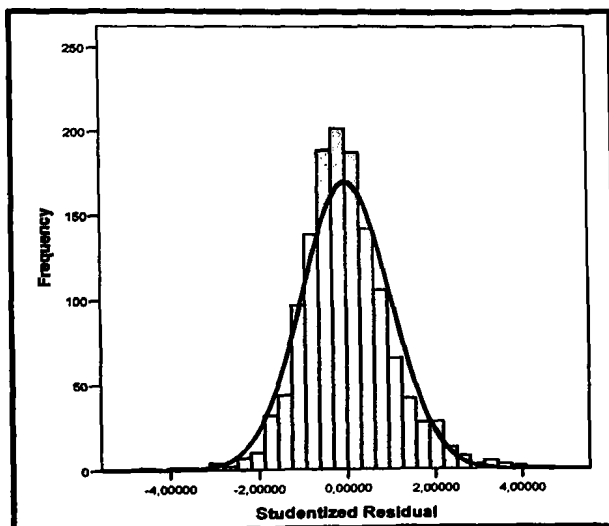
Σχήμα 7.4.2 Πορεία πραγματικής και προβλεπόμενης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή του φθινοπώρου.



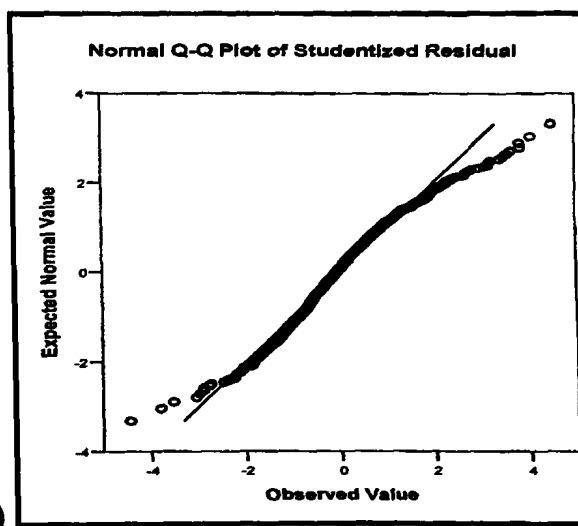
Σχήμα 7.2.3 Διάγραμμα διασποράς πραγματικής και προβλεπόμενης ημερήσιας εξάτμισης την εποχή του φθινοπώρου.



Τέλος, έγινε έλεγχος της ορθότητας του μοντέλου με την βοήθεια των τυποποιημένων σφαλμάτων, τα οποία και στην περίπτωση του φθινοπώρου ακολουθούν την κανονική κατανομή, σχήματα 7.4.4.α,β, γεγονός που επαληθεύτηκε κάνοντας χρήση του τεστ Kolmogorov – Smirnov.



(α)



(β)

Σχήμα 7.4.4.α,β Ιστόγραμμα συχνότητας τυποποιημένων σφαλμάτων και προσαρμογή στην κανονική κατανομή.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία, έγινε μια προσπάθεια να μελετηθεί το φαινόμενο της εξάτμισης στην περιοχή των Ιωαννίνων, για την 16ετή περίοδο 1988-2003. Τα δεδομένα προέρχονται από στιγμομέτρηση των ταινιών του αυτογραφικού εξατμισιμέτρου WILD, του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκαν κατά κύριο λόγο, η Ανάλυση Fourier, η Factor Ανάλυση και η Regression Ανάλυση. Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων είναι δυνατό να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω.

Η ημερήσια πορεία της εξάτμισης προσομοιάζει με απλή ημιτονοειδή καμπύλη, παρουσιάζοντας μέγιστο στις 14:00 - 16:00 (0,15mm το χειμώνα και 0,90mm το καλοκαίρι) και ελάχιστο στις 4:00 - 6:00 (0,03mm το χειμώνα και 0,05mm το καλοκαίρι). Η αρμονική ανάλυση της ημερήσιας πορείας για κάθε εποχή, απεκάλυψε 2 αρμονικούς όρους, από τους οποίους ο πρώτος, ένα 24ωρο ημιτονοειδές κύμα, βρέθηκε ότι παρουσιάζει μέγιστο στις 15:00 (όλες τις εποχές), εξηγώντας το 77% της κύμανσης τον χειμώνα, το 82% την άνοιξη, το 84% το καλοκαίρι και το 80% το φθινόπωρο. Το μικρό σχετικά ποσοστό του χειμώνα, πρέπει να οφείλεται στην πολύ μικρή και σχεδόν σταθερή τιμή της εξάτμισης κατά την διάρκεια των νυχτερινών ωρών. Ο δεύτερος αρμονικός (12ωρη κύμανση), παρουσιάζει μέγιστα περίπου στις 3:00 και 15:00, εξηγώντας το 13% της διακύμανσης το χειμώνα, το 9,5% την άνοιξη, 7% το καλοκαίρι και 11% το φθινόπωρο και ίσως είναι ένα μαθηματικό κατασκεύασμα αμφιβόλου φυσικής ερμηνείας.

Η μεγαλύτερη αύξηση της εξάτμισης παρουσιάζεται από τις 11:00 ως τις 13:00 (0,05mm για το χειμώνα και 0,29mm το καλοκαίρι) και έτσι εξηγείται το ότι ο μέγιστος ρυθμός εξάτμισης αρχίζει όταν έχουμε μέγιστη εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και διατηρείται το επόμενο δίωρο που αντιστοιχεί με το μέγιστο της θερμοκρασίας. Αντίθετα, η μεγαλύτερη μείωση πραγματοποιείται από τις 17:00 ως τις 19:00 (-0,05mm το χειμώνα και -0,27mm το καλοκαίρι) προφανώς λόγω της μείωσης της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

Η ενδοετήσια πορεία της εξάτμισης προσομοιάζει και αυτή με απλή ημιτονοειδή καμπύλη, παρουσιάζοντας μέγιστο τον Ιούλιο (153mm) και ελάχιστο το Δεκέμβριο (16mm). Η αρμονική ανάλυση της ενδοετήσιας πορείας της εξάτμισης πραγματοποιήθηκε με ημερήσιες, πενθήμερες και μηνιαίες τιμές. Στην πρώτη περίπτωση η ανάλυση έδειξε ότι ο πρώτος αρμονικός, ένα ημιτονοειδές κύμα με περίοδο 365 ημερών, παρουσιάζει μέγιστο την 191<sup>η</sup> ημέρα, εξηγώντας το 86% της πραγματικής κύμανσης. Ο δεύτερος αρμονικός (6μηνιαία κύμανση), εξηγεί το 9% της κύμανσης και πιθανόν να είναι ένα μαθηματικό κατασκεύασμα, αμφιβόλου φυσικής ερμηνείας. Στην δεύτερη περίπτωση, βρέθηκε ότι ο πρώτος αρμονικός όρος είναι ένα ημιτονοειδές κύμα το οποίο παρουσιάζει μέγιστο το 39<sup>ο</sup> πενθήμερο του έτους, εξηγώντας το 88% της κύμανσης. Ο δεύτερος αρμονικός όρος, παρουσιάζει μέγιστο περίπου το 7<sup>ο</sup> και 43<sup>ο</sup> πενθήμερο, εξηγώντας το 9% της κύμανσης και ίσως είναι ένα μαθηματικό κατασκεύασμα αμφιβόλου φυσικής ερμηνείας. Η ανάλυση με μηνιαίες τιμές εξάτμισης, έδειξε ότι ο πρώτος αρμονικός είναι ένα ημιτονοειδές κύμα το οποίο παρουσιάζει μέγιστο στα μέσα Ιουλίου, εξηγώντας το 82% της κύμανσης, ενώ ο δεύτερος αρμονικός παρουσιάζει μέγιστα περίπου στις αρχές Φεβρουαρίου και Αυγούστου, εξηγώντας το 8% της ετήσιας κύμανσης.

Η μεγαλύτερη αύξηση της εξάτμισης από μήνα σε μήνα, παρατηρείται από το μήνα Μάιο στον μήνα Ιούλιο (35mm), ενώ αντίθετα η μεγαλύτερη μείωση συμβαίνει

από το μήνα Αύγουστο στο μήνα Σεπτέμβριο (-60mm), γεγονός που συμπίπτει με τη μέγιστη μεταβολή της θερμοκρασίας (έναρξη και τέλος καλοκαιρινής περιόδου).

Η μελέτη της κατανομής των συχνοτήτων αποκάλυψε ότι το χειμώνα, οι μεγάλες συχνότητες εμφανίζονται στις μικρές τιμές ημερήσιας εξάτμισης και ιδιαίτερα στο διάστημα από 0-0,20mm, με ποσοστό περίπου 29%, ενώ το 90% των περιπτώσεων βρίσκεται μεταξύ 0 και 1,80mm. Το καλοκαίρι, η κατανομή πλησιάζει περισσότερο την κατανομή Gauss με το 90% των περιπτώσεων να βρίσκεται μεταξύ 2 και 7,70mm. Η κατανομή της άνοιξης μοιάζει με αυτή του καλοκαιριού ενώ του φθινοπώρου προσεγγίζει αυτή του χειμώνα.

Το test Mann-Kendall δείχνει ότι υπάρχει στατιστικά σημαντική τάση μείωσης της εξάτμισης κατά το χειμώνα και το φθινόπωρο. Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγει και η εξέταση του αριθμού ημερών με εξάτμιση άνω ή κάτω από συγκεκριμένα κατώφλια. Πιο συγκεκριμένα, ο αριθμός ημερών με χαμηλή εξάτμιση κατά την περίοδο του χειμώνα και του φθινοπώρου αυξάνεται ενώ αυτός με υψηλή εξάτμιση μειώνεται.

Η εφαρμογή της Factor Ανάλυσης, επί των χωρο-σειρών πίεσης, πάνω από την Κ. Ευρώπη και την Μεσόγειο, με σκοπό την αναζήτηση των κύριων συνοπτικών χαρτών που σχετίζονται με ακραίες καταστάσεις εξάτμισης στα Ιωάννινα, οδήγησε σε παράγοντες οι οποίοι ερμηνεύουν πάνω από το 85% της ολικής διακύμανσης. Στην περίπτωση του χειμώνα (αυξημένη εξάτμιση) βρέθηκε ότι κυρίαρχο ρόλο στους 3 πρώτους παράγοντες κατέχει ο ξηρός καταβατικός άνεμος, ενώ ο 4<sup>ος</sup> παράγοντας σχετίζεται με εκτεταμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την Μεσόγειο. Για το καλοκαίρι διακρίνονται 2 περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση (αυξημένη εξάτμιση), βρέθηκε ότι κυρίαρχο ρόλο και στους 4 παράγοντες κατέχει η εκτεταμένη αντικυκλωνική κυκλοφορία σε συνδυασμό με τον ξηρό καταβατικό άνεμο, ενώ για την περίπτωση της χαμηλής εξάτμισης το καλοκαίρι οι 5 παράγοντες απεκάλυψαν την ύπαρξη κυκλωνικής κυκλοφορίας πάνω από το Ιόνιο.

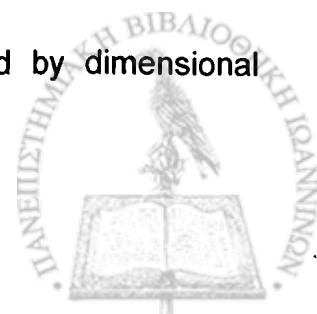
Τέλος, η συσχέτιση της εξάτμισης με διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους, έδειξε ότι για την εποχή του χειμώνα η εξάτμιση σχετίζεται αρκετά καλά με την ταχύτητα του ανέμου ενώ την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο με την μέγιστη θερμοκρασία και το μέσο θερμοκρασιακό εύρος. Στη συνέχεια με τη βοήθεια της μεθόδου της πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης, εκτιμήθηκε η ημερήσια εξάτμιση χρησιμοποιώντας διάφορες μετεωρολογικές μεταβλητές. Για την εποχή του χειμώνα, βρέθηκε ότι η ημερήσια εξάτμιση μπορεί να εκτιμηθεί από την ταχύτητα του ανέμου, την ελάχιστη και τη μέση θερμοκρασία, την άνοιξη με τη βοήθεια της μέγιστης θερμοκρασίας και της ταχύτητας του ανέμου ενώ το καλοκαίρι και το φθινόπωρο με την μέγιστη θερμοκρασία, το μέσο θερμοκρασιακό εύρος και την ταχύτητα του ανέμου.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

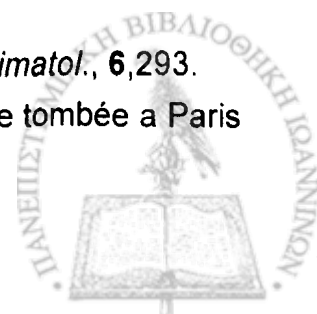
1. Γκίρτης. Γ, (1976) Πιθανότητες Στατιστική Στοχαστικά Ανεξίξεις και Εφαρμογαί.
2. Ερμηνευτικό Λεξικό Μετεωρολογικών και Κλιματικών Όρων (1998), Ελληνική Μετεωρολογική Εταιρεία, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Ινστιτούτο Μετεωρολογίας και Φυσικής του Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος.
3. Καραπιπέρης. Ν.Λ, (1967) *Πρακτική Μετεωρολογία*.
4. Καρλής. Δημήτρης, (2005) *Πολυμεταβλητή Στατιστική Ανάλυση*, Σταμούλη Α.Ε.
5. Κουτσογιάννης. Δ και Ξανθόπουλος. Θ, (1999) *Τεχνική Υδρολογία, Σημειώσεις μαθήματος Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου*.
6. Κυριαζόπουλος. Δ.Β και Λιβαδάς. Κ.Γ, (1974) *Πρακτική Μετεωρολογία*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/κης .
7. Λώλης. Χ, (2002) *Συμβολή στη μελέτη της αλληλεπίδρασης κατώτερης τροπόσφαιρας – επιφάνειας θάλασσας στις περιοχές της Μεσογείου και του βόρειου Ατλαντικού*, Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Ιωαννίνων .
8. Μαλδογιάννης. Θ, (1971) *Το Κλίμα των Ιωαννίνων*, Διδακτορική Διατριβή, Παν/μιο Ιωαννίνων.
9. «Μετεωρολογικά» εις «Αριστοτέλης – Άπαντα», εκδόσεις ΚΑΚΤΟΣ, Αθήνα, 1994 .
10. Σαχσαμάνογλου. Χ.Σ, Μπλούτσος. Α.Α, (2000) *Φυσική Κλιματολογία*, Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
11. Bartzokas. A and Metaxas. D.A, (1993) Covariability and Climatic Changes of the Lower –Troposphere Temperatures over Northern Hemisphere, *Nuovo Cimento*, **16**:359-373.
12. Brikas. D.P, Karakostas. T.S, (2002) The position of the sub-tropical jet stream during heat waves, Πρακτικά 7<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας - Κλιματολογίας, Παν/μιο Ιωαννίνων 2002, 203-210.
13. Bruce. J.P and Glark. R.H, (1966) *Introduction to Hydrometeorology*, Pergamon, 135pp .
14. Brutsaert H.W, (1982) *Evaporation into the Atmosphere, Theory, History and Applications*, D.Reidel Publishing Company.
15. Brutsaert. W, Parlange. M, (1998) Hydrologic cycle explains the evaporation paradox, *Nature*, **396**,30.
16. Cahoon. J, Costelo. T, Ferguson. J, (1991) Estimating pan evaporation using limited meteorological observations, *Agr. Forest Meteorol.*, **55**:181-190.
17. Dalezios. N, Loukas. A, Bampzelis. D, (2002) Spatial variability of reference evapotranspiration in Greece, *Phys. Chem. Earth*, **27**:1031-1038.

18. Dalton. J, (1802) Experimental essays on the constitution of mixed gases; on the force of stream or vapor from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation and on the expansion of gases by heat, *Mem. Manchester Lit. and Phil. Soc.*, **5**, 535-602.
19. Diels. H, (1879) *Doxographi Graeci*, G.Reimer, Berlin, 854pp.
20. Domonkos. P, (1998) Statistical characteristics of extreme temperature anomaly groups in Hungary, *Theor. Appl. Climatol.*, **59** (3-4): 165-179.
21. Domonkos. P, (2001) Temporal accumulations of extreme daily mean temperature anomalies, *Theor. Appl. Climatol.*, **68** (1-2): 17-32.
22. Domonkos. P, Kysely. J, Piotrowicz. K, Petrovic. P, Likso. T, (2003) Variability of extreme temperature events in South-Central Europe during the 20th century and its relationship with large-scale circulation, *Int. J. CLIMATOL.*, **23** (9): 987-1010.
23. Esteban. P, Jones. P.D, Martin-Vide. J, Mases. M, (2005) Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra, Pyrenees, *Int. J. Climatol.*, **25** (3): 319-329.
24. Feidas. H, Makrogiannis. T, Bora-Senta. E, (2004) Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001, *Theor. Appl. Climatol.*, **79** (3-4): 185-208.
25. Fotiadi. Angeliki, (2003) Echanges biosphère- atmosphère des oxides d'azote et de l'isoprène en région Méditerranéenne (programme ESCOMPTE).
26. Gilbert. O, (1907) *Die meteorologischen Theorien des Griechischen Altertums*, B.G Teubner, Leipzig, 746pp.
27. Horel. J.D, (1981) A rotated principal component analysis of the interannual variability of the northern hemisphere 500mb height field. *Mon. Weather. Rev.*, **109**,2080.
28. Houssos. E.E and Bartzokas. A, Extreme precipitation events in NW Greece, Proceedings of the 7th EGU Plinius Conference on "Mediterranean Storms". 5-7 October 2005, Rethymnon, Crete (in press).
29. Isidore de Seville, (1960) *De natura rerum – Traite de la nature*, J.Fontaine, Feret et fils, Eds., Bordeaux, 466pp.
30. Jammalamadaka. S.R, Taufer. E, (2003) Testing exponentially by comparing the empirical distribution function of the normalized spacings with that of the original data, *J. Nonparametr. Stat*, **15** (6): 719-729.
31. Kahlig. P, (1990) A general evaporation formula derived by dimensional analysis, *Ann. Geophys- Atm. Hydr.*, **8** (3):167-170.



32. Kerr. R.A, (2005) Atmospheric science - Is Katrina a harbinger of still more powerful hurricanes?, *Science* , **309** (5742): 1807-1807.
33. Kidron. J.G, (2005) Measurements of evaporation with a novel mini atmometer in the Negev, *Weather*, Vol.**60**, No 9.
34. Knippertz. P, Martin. J.E, (2005) Tropical plumes and extreme precipitation in subtropical and tropical West Africa, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **131** (610): 2337-2365.
35. Lagouvardos. K, Kotroni. V, Nickovic. S, Jovic. D, Kallos. G, (1999) Observations and model simulations of a winter sub-synoptic vortex over the central Mediterranean, *Meteorol. Appl.*, **6**, 371-383.
36. Liu. B, Xu. M, Henderson. M, Gong. W, (2004) A spatial analysis of pan evaporation trends in China, 1955-2000, *J. Geophys. Res.*, **109**: D15102.
37. Livadas. G.C and Machairas. P.C, (1972) Evaporation in Thessaloniki-Greece, *Meteorologika*, **18**, 169-194.
38. Loukas. A, Vasiliades. L, Domenikiotis. C, Dalezios. N, (2005) Basin-wide actual evapotranspiration estimation using NOAA/AVHRR satellite data, *Phys. Chem. Earth*, **30**:69-79.
39. Lucio. P.S, (2005) Changes in occurrences of meteorological extreme events over Continental Portugal, Proceedings of 7th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), 12-16 September 2005, Utrecht, Netherlands.
40. Luterbacher. J, Dietrich. D, Xoplaki. E, Grosjean. M, Wanner. H, (2004) European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500, *Science*, **303** (5663): 1499-1503.
41. Luterbacher. J, Rickli. R, Xoplaki. E, Tinguely. C, Beck. C, Pfister. C and Wanner. H, (2001) The Late Maunder Minimum (1675-1715) - A Key Period for Studying Decadal Scale Climatic Change in Europe, *Climatic Change*, **49**, 441-462.
42. Machairas. P.C, (1973) Evaporation and weather types, *Meteorologika*, **30**, 301-323.
43. Manly. B.F.J, (1986) *Multivariate Statistical Methods: A Primer*, Chapman & Hall, London, pp 59.
44. Martin. J.E, (1998) The structure and evolution of a continental winter cyclone. Part II: Frontal forcing of an extreme snow event, *Mon. Weather Rev.*, **126** (2): 329-348.
45. Metaxas. D.A and Repapis. C.C, (1977) Evaporation in the Mediterranean, *Riv. Meteor. Aeron*, **XXXVII**, 311-312.
46. Moberg. A, Jones. P.D, Barriendos. M, Bergstrom. H, Camuffo. D, Cocheo.

- C, Davies. T.D, Demaree. G, Maugeri. M, Martin – Vide. J, Rodriguez. R, Verhoeve. T, (2000) Day-to-day temperature variability trends in 160-to-275 year long European Instrumental records, *J. Geophys. Res-Atmos.*, **105** (D18): 22849-22868.
47. Molina-Martínez. J.M, Martínez-Alvarez. V, Gonzalez-Real. M.M, Baille. A, (2005) A simulation model for predicting hourly pan evaporation from meteorological data, *J. Hydrol.*, 1-12.
48. Naveau. P, Nogaj. M, Ammann. C, Yiou. P, Colley. D, Jomelli. V, (2005) Statistical methods for the analysis of climate extremes, *C.R.Geoscience*, **337** 1013-1022.
49. Neuwirth. F, (1978) Estimation of evaporation from an open water surface using longterm means, *Arch. Meteor. Geophys. B*, **25**(4):337-344.
50. Neuwirth. F, (1980) The estimation of evaporation of lake Neusiedl from simple climate data, *Arch. Meteor. Geophys. A*, **29** (4):373-386.
51. Neuwirth. F, (1981) Analysis of long standing measurements of potential evaporation in Vienna, measured by the wild evaporimeter and by the class-a pan as also in comparison with values, estimated by the methods of Penman, Thornthwaite and Turc, *Arch. Meteor. Geophys. A*, **30** (1-2):119-133.
52. Overland. J.E and Preisendorfer. R.W, (1982) A Significance Test for Principal Components Applied to Cyclone Climatology, *Mon. Weather. Rev.*, **110**,1.
53. Panofsky. Hans and Brier. Glenn, (1968) *Some Applications of Statistics to Meteorology*, University Park, Pennsylvania.
54. Papaioannou. G, Vouraki. K, Kerkides. P, (1996) Piche evaporimeter data as a substitute for Penman equation's aerodynamic term, *Agr. Forest Meteorol.*, **82**:83-92.
55. Penman. H.L, (1948) Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. Lon. Ser-A*, **193**, 120-45.
56. Perrault. P, (1733) Expérience sur froid, 1670, *Historie de l'Académie Royale des Sciences*, **1**,115-116.
57. Peterson. T, Golubev. V, Groisman. P, (1995) Evaporation losing its strength, *Nature*, **377**, 687-688.
58. Pitharoulis. I, Craig. G, Ballard. S, (2000) The hurricane-like Mediterranean cyclone of January 1995, *Meteorol. Appl.*, **7**, 261-279.
59. Rebetz. M, (2001) Changes in daily and nightly day to day temperature variability during the twentieth century for two stations in Switzerland, *Theor. Appl. Climatol*, **69**, 13-21.
60. Richman. M.B, (1986) Rotation of Principal Components, *J.Climatol.*, **6**,293.
61. Sedileau, (1730) Observations de la quantité de l'eau de pluie tombée a Paris



- durant près de trois années & de la quantité de l'évaporation, 29 fév.1692, *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, **10**, 29-36.
62. Strangeways. I, (2001) Back to basics: The "met. Enclosure" Part 7- Evaporation, *Weather*, Vol **56**.
63. Tzavelas. G, Paliatsos. A and Prezerakos. N, (2005) Distribution of the extreme annual precipitation over urban areas, *Adv & Appl. In Stat*, **5**(1), 111-123.
64. Wang. Y.Q, Zhou. L, (2005) Observed trends in extreme precipitation events in China during 1961-2001 and the associated changes in large-scale circulation, *Geophys. Res. Lett.*, **32** (9): art. no. L09707.
65. Wiesner. C.J, (1970) *Hydrometeorology*, Chapman and Hall LTD 71pp.
66. World Meteorological Organization, (1998) The global climate system review, climate system monitoring December 1993 –May 1996. Nichols. J.M, (ed.) World Climate Data and Monitoring Programme, WMO- No.856.
67. Xoplaki. E, Gonzalez-Rouco. F.J, Gyalistras. D, Luterbacher. J, Rickli. R and Wanner. H, (2003) Interannual summer air temperature variability over Greece and its connection to the large-scale atmospheric circulation and Mediterranean SSTs 1950-1999, *Clim. Dynam.*, **20**, 537-554.
68. Xoplaki. E, Luterbacher. J, Paeth. H, Dietrich. D, Steiner. N, Grosjean. M, Wanner. H, (2005) European spring and autumn temperature variability and change of extremes over the last half millennium, *Geophys. Res. Lett.*, **32** (15): art. no. L15713.
69. Xoplaki. E, Maheras. P, Luterbacher. J, (2001) Variability of climate in meridional Balkans during the periods 1675-1715 and 1780-1830 and its impact on human life, *Climatic Change*, **48**, 581-615.
70. Ziakopoulos. D, Marinaki. A, (1996) Mediterranean mesoscale vortices with tropical cyclone features, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Hellenic Conference on Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere, 25-27 September, Athens, Greece, 154-159.