



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

Π.Μ.Σ. ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ & ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ

Κατεύθυνση : Διαχείριση φυσικών και ανθρωπογενών καταστροφών

**Συμβολή στην ανάπτυξη ενός συστήματος
προειδοποίησης για επικράτηση υψηλών
θερμοκρασιών στο λεκανοπέδιο της
Αθήνας, που ενέχουν κίνδυνο για την
ανθρώπινη υγεία.**

Αναστασία Παπακρίβου

Αθήνα, Μάρτιος 2011

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:

‘Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου’

Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Καταστροφών

**Συμβολή στην ανάπτυξη ενός συστήματος προειδοποίησης για επικρά-
τηση υψηλών θερμοκρασιών στο λεκανοπέδιο της Αθήνας, που ενέχουν
κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.**

Διπλωματική εργασία της **Αναστασίας Παπακρίβου**

Επιβλέπων Καθηγητής **Π. Κατσαφάδος Λέκτορας ΧΠΑ**

Αθήνα, Μάρτιος 2011

Πίνακας Περιεχομένων

Πίνακας Περιεχομένων	1
Ευρετήριο Πινάκων	3
Ευρετήριο Σχημάτων	4
Ευρετήριο Γραφημάτων	5
Ευρετήριο Εικόνων	6
Ευρετήριο Μετεωρολογικών Χαρτών	8
Ακρωνύμια και Συντομογραφίες	10
Πρόλογος	11
Περίληψη	12
Abstract	13
Εισαγωγή	15
ΜΕΡΟΣ Α'	21
Κεφάλαιο 1: Η αναγκαιότητα ύπαρξης συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για υψηλές θερμοκρασίες, που ενέχουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.	21
1.1 Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στην ανθρώπινη υγεία	21
1.2 Η παρατηρούμενη τάση αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης	27
1.3 Η αύξηση της τρωτότητας του πληθυσμού	37
Κεφάλαιο 2: Οι καύσωνες και οι εφαρμοζόμενες πρακτικές για έγκαιρες προειδοποιήσεις	45
2.1 Ορισμοί	45
2.2 Ιστορικοί καύσωνες	49
2.3 Συστήματα προειδοποιήσεων για καύσωνες	56
2.4 Παράδειγμα ολοκληρωμένης διαχείρισης θερμικού κινδύνου – Φιλαδέλφεια -ΗΠΑ	65
ΜΕΡΟΣ Β'	71
Κεφάλαιο 3: Συμβολή στην ανάπτυξη συστήματος προειδοποίησης για επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών που σχετίζονται με θνησιμότητα στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας	71
3.1 Υπολογισμός μέσης και υπερβάλλουσας θνησιμότητας	71
3.2 Ανάλυση Μετεωρολογικών δεδομένων	81
3.2.1 Περιγραφή Τύπων Καιρού	94

3.3 Θνησιμότητα και Τύποι Καιρού	108
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	111
Βιβλιογραφία	119
Παράρτημα Α	
Καταγραφή σε παγκόσμιο επίπεδο, ανά περιοχή, των επεισοδίων καύσωνα και των απωλειών, που σχετίζονται με αυτά.	127
Παράρτημα Β	
Μετεωρολογικοί Χάρτες	131
Παράρτημα Γ	
Μέγιστες Θερμοκρασίες στην Ελλάδα	163

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1. Επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στην ανθρώπινη υγεία	22
Πίνακας 2. Ηλικία και Θνησιμότητα σε επεισόδια καύσωνα	38
Πίνακας 3. Οι μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές στην Ευρώπη την περίοδο 1998 – 2009 και οι εξ αυτών ανθρώπινες απώλειες.....	50
Πίνακας 4. Ιστορική καταγραφή των κυμάτων καύσωνα στην Αυστραλία	51
Πίνακας 5. Θάνατοι στην Ευρώπη από τον καύσωνα του 2003	54
Πίνακας 6. Τα εν χρήση συστήματα προειδοποίησης (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).....	63
Πίνακας 7. Επίπεδα προειδοποιήσεων για υψηλές θερμοκρασίες (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010)	65
Πίνακας 8. Μεταβολή του πληθυσμού στην Αττική	73
Πίνακας 9. Περιπτώσεις αυξημένης θνησιμότητας 1993 – 2000.....	78
Πίνακας 10. Ποσοστό θνησιμότητας 1993 – 2000	80
Πίνακας 11. Σχέση αρχικών μεταβλητών με τις προσδιορισθείσες κύριες συνιστώσες (Factor Loadings χωρίς περιστροφή - Extraction: Principal components).....	87
Πίνακας 12. Σχέση αρχικών μεταβλητών με τις προσδιορισθείσες κύριες συνιστώσες (Factor Loadings με περιστροφή Varimax normalized - Extraction: Principal components).....	88
Πίνακας 13. Απόλυτες και σχετικές συχνότητες εμφάνισης τύπων καιρού.....	93
Πίνακας 14. Μέσες Τιμές των ατμοσφαιρικών Παραμέτρων ανά τύπο καιρού	106
Πίνακας 15. Εμφάνιση τύπων καιρού ανά μήνα (Περίοδος 1993-2000).....	107
Πίνακας 16. Θνησιμότητα και τύπος καιρού.....	108
Πίνακας 17. Η ανά τύπο καιρού προβλεπόμενη υπερβάλλουσα θνησιμότητα (ανά 100000 κατοίκους).	112
Πίνακας 18. Μέγιστες θερμοκρασίες, άνω των 44°C, στην Ελλάδα την θερινή περίοδο (Ιούνιος – Ιούλιος- Αύγουστος). Πηγή: επεξεργασμένο αρχείο EMY	163

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1. Το ενεργητικό σύστημα ελέγχου (The control system, Fiala et al., 2001).....	25
Σχήμα 2. Το παθητικό σύστημα ελέγχου (The passive system Fiala et al., 1999, 2001).....	26
Σχήμα 3. Αποκλίσεις της μέσης ετήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας της γης της περιόδου 1880 -2008. Πηγή: NCDC/NESDIS/NOAA	27
Σχήμα 4. Οι εκτιμώμενες μεταβολές της θερμοκρασίας από το 1990 μέχρι το 2100 με βάση πιθανά διαφορετικά σενάρια. Πηγή: Climate Change 2001 – IPCC Third Assessment Report.....	28
Σχήμα 5. Σενάρια για την πορεία της θερμοκρασίας μέχρι το έτος 2100, βασισμένα σε μια σειρά διαφορετικών σεναρίων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και πλανητικών κλιματικών μοντέλων. Πηγή: IPCC Fourth Assessment Report (2007).....	29
Σχήμα 6. Πιθανά μελλοντικά σενάρια θέρμανσης βασισμένα σε τρία σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Πηγή : NASA – Earth Observatory – Global Warming 2007.....	30
Σχήμα 7. Οι αποκλίσεις της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της περιόδου 1850 – 2010 από την μέση τιμή της περιόδου 1961-1990. Πηγή: WMO (WMO - Press Realease No 906, 2011).....	31
Σχήμα 8. Εκτίμηση της έντασης των θερμών επεισοδίων την περίοδο 2080 – 2099 για την Β. Αμερική (χάρτες αριστερά) και την Ευρώπη (χάρτες δεξιά). Πηγή : Meehl και Tebaldi (2004)	33
Σχήμα 9. Ευρωπαϊκές ετήσιες μέσες θερμοκρασιακές αποκλίσεις, της περιόδου 1850-2009, σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου 1850-1999 (σε °C).....	34
Σχήμα 10. Παρατηρηθείσες αλλαγές στους δείκτες θερμών διαστημάτων της περιόδου 1976-2009 (σε ημέρες ανά δεκαετία). Πηγή: KNMI (http://eca.knmi.nl/ensembles), Haylock et al., 2008.....	35
Σχήμα 11. Εκτιμώμενος αριθμός τροπικών νυχτών για την Ευρώπη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούνιος-Αύγουστος) 1961-1990 και 2071-2100 (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον).	36
Σχήμα 12. Η δημογραφική έκρηξη του πληθυσμού άνω των 65 ετών. Πηγή: Ηνωμένα Έθνη - Πρόγραμμα γήρανσης του πληθυσμού (UN - The Ageing of the World's Population).....	38
Σχήμα 13. Κατανομή του πληθυσμού παγκοσμίως κατά περιοχές και ηλικιακές ομάδες, 2010 και 2050. Πηγή : Η.Ε. (UN - Economic & Social Affairs).....	40
Σχήμα 14. Διάγραμμα ροής που καταδεικνύει τη λειτουργία ενός τυπικού HHWS στα πλαίσια ενός ευρύτερου σχεδίου αντιμετώπισης των υψηλών θερμοκρασιών (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).	48
Σχήμα 15. Αριθμός θανάτων ανά έτος στην Ινδία για το διάστημα 1979-2004 που αποδίδονται σε κύματα καύσωνα. Πηγή: Akhtar (2007).....	52
Σχήμα 16. Ο αλγόριθμος του συστήματος προειδοποίησης (Kalkstein et. al., 1996)	66

Ευρετήριο Γραφημάτων

Γράφημα 1. Κατανομή της μέσης θνησιμότητας της θερινής περιόδου. Περίοδος 1993-2000. Απόλυτες μέσες τιμές, Κεντρικός κινούμενος μέσος τριών ημερών και ένδεκα ημερών. Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία.	74
Γράφημα 2. Ανά έτος (1993-1995) κατανομή της θνησιμότητας σε σχέση με την αντίστοιχη μέση κινούμενου μέσου 11 ημερών.	75
Γράφημα 3. Ανά έτος (1996-1998) κατανομή της θνησιμότητας σε σχέση με την αντίστοιχη μέση κινούμενου μέσου 11 ημερών.	76
Γράφημα 4. Ανά έτος (1999-2000) κατανομή της θνησιμότητας σε σχέση με την αντίστοιχη μέση κινούμενου μέσου 11 ημερών.	77
Γράφημα 5. Εποπτική απεικόνιση της ανά έτος και μήνα κατανομής του αριθμού ημερών αυξημένης θνησιμότητας για την περίοδο μελέτης 1993 -2000.	79
Γράφημα 6. Εποπτική απεικόνιση της ανά έτος και μήνα κατανομής του ποσοστού αυξημένης θνησιμότητας (μπάρες) και αθροιστικά ανά έτος (συνεχής γραμμή).	80
Γράφημα 7. Scree Plot – Οριζόντιος άξονας το πλήθος των ιδιοτιμών διατεταγμένων από την μεγαλύτερη προς την μικρότερη (αριστερά – δεξιά)– Κατακόρυφος άξονας ιδιοτιμές.	85
Γράφημα 8. Οριζόντιος άξονας περιπτώσεις (cases) – Κατακόρυφος άξονας αποστάσεις με βάση τη μέθοδο της μέσης ευκλείδειας απόστασης με βάρη (Weighted pair-group average).	91
Γράφημα 9. Δενδροδιάγραμμα (Tree Diagram). Οριζόντιος άξονας περιπτώσεις (cases) – Κατακόρυφος άξονας αποστάσεις με βάση τη μέθοδο της μέσης ευκλείδειας απόστασης με βάρη (Weighted pair-group average).	92
Γράφημα 10. Συχνότητες εμφάνισης (%) των τύπων καιρού	93
Γράφημα 11. Συχνότητες εμφάνισης (%) των τύπων καιρού ανά μήνα.	107
Γράφημα 12. Συχνότητες εμφάνισης (%) των ημερών αυξημένης θνησιμότητας ανά μήνα και τύπο καιρού.	110
Γράφημα 13. Η υπερβάλλουσα θνησιμότητα σαν ποσοστό (%) της συνολικής της περιόδου 1993-2000 ανά μήνα και ανά τύπο καιρού.	110
Γράφημα 14. Ημέρες εμφάνισης του 2 ^{ου} τύπου καιρού σε συνδυασμό με την υπερβάλλουσα θνησιμότητα και την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία. Δεξιός κατακόρυφος άξονας: Υπερβάλλουσα θνησιμότητα σε ποσοστό ανά 100000 κατοίκους. Αριστερός κατακόρυφος άξονας: Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.	113

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1. Αστική θερμική νησίδα. Παρίσι 4-13 Αυγούστου 2003, Πυκνότητα δόμησης, χρήση γης και θερμοκρασία. Πηγή: B. Dousset ESA: user consultation meeting, Athens 8 June 2007.	41
Εικόνα 2. Παρίσι 4-13 Αυγούστου 2003, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, την νύχτα (αριστερά) και την ημέρα(δεξιά). Πηγή: B. Dousset ESA: user consultation meeting, Athens 8 June 2007.	42
Εικόνα 3. Ορισμοί θερμών επεισοδίων και σχετικών γεγονότων. Robinson, P. J. (2001)	46
Εικόνα 4. Δέκα προτεινόμενοι δείκτες για τον έλεγχο των ακραίων κλιματικών γεγονότων (Frich et al. 2002)	47
Εικόνα 5. Ιδιοτιμές. - Επεξήγηση της διακύμανσης του μοντέλου	86
Εικόνα 6. Η συμμετοχικότητα – εταιρική σχέση των παραγόντων στις αρχικές μεταβλητές (communality).	89
Εικόνα 7 . Συνοπτική κατάσταση της 15 ^{ης} Ιουλίου 1999 (τύπος καιρού 1). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).	95
Εικόνα 8. Συνοπτική κατάσταση της 31 ^{ης} Ιουλίου 1998 (τύπος καιρού 2). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).	97
Εικόνα 9. Συνοπτική κατάσταση της 7 ^{ης} Ιουνίου 1997 (τύπος καιρού 3). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά: Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια.(Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).	99
Εικόνα 10. Συνοπτική κατάσταση της 14 ^{ης} Ιουνίου 2000 (τύπος καιρού 4). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).	101
Εικόνα 11. Συνοπτική κατάσταση της 19 ^{ης} Ιουνίου 2000 (τύπος καιρού 5). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).	103
Εικόνα 12. Συνοπτική κατάσταση της 22 ^{ας} Ιουνίου 1999 (τύπος καιρού 6). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).	105
Εικόνα 13. Συνοπτική κατάσταση της 1ης (αριστερά) και 2ας(δεξιά) Αυγούστου 1998. Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες 12UTC).....	114

Εικόνα 14. Συνοπτική κατάσταση της 3ης (αριστερά) και 4ης(δεξιά) Αυγούστου 1998. Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες 12UTC)..... 115

Εικόνα 15. Συνοπτική κατάσταση της 5ης (αριστερά) και 6ης(δεξιά) Αυγούστου 1998. Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες 12UTC)..... 116

Ευρετήριο Μετεωρολογικών Χαρτών

Παράρτημα Β

Χάρτης 1. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 500hPa - 0000UTC.....	133
Χάρτης 2. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 500hPa - 1200UTC.....	133
Χάρτης 3. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 850hPa - 0000UTC.....	134
Χάρτης 4. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 850hPa - 1200UTC.....	134
Χάρτης 5. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- Επιφάνεια (SFC) - 0000UTC.....	135
Χάρτης 6. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- Επιφάνεια (SFC) - 1200UTC.....	135
Χάρτης 7. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- 500hPa - 0000UTC.....	136
Χάρτης 8. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- 500hPa - 1200UTC.....	136
Χάρτης 9. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- 850hPa - 0000UTC.....	137
Χάρτης 10. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- 850hPa - 1200UTC.....	137
Χάρτης 11. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- Επιφάνεια (SFC) -000UTC.....	138
Χάρτης 12. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- Επιφάνεια (SFC)-1200UTC.....	138
Χάρτης 13. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 500hPa - 0000UTC.....	139
Χάρτης 14. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 500hPa - 1200UTC.....	139
Χάρτης 15. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 850hPa - 0000UTC.....	140
Χάρτης 16. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 850hPa -1200UTC.....	140
Χάρτης 17. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- Επιφάνεια (SFC) - 0000UTC.....	141
Χάρτης 18. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- Επιφάνεια (SFC) - 1200UTC.....	141
Χάρτης 19. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 500hPa - 0000UTC.....	142
Χάρτης 20. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 500hPa - 1200UTC.....	142
Χάρτης 21. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 850hPa - 0000UTC.....	143
Χάρτης 22. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 850hPa - 1200UTC.....	143
Χάρτης 23. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000-Επιφάνεια (SFC)-0000UTC.....	144
Χάρτης 24. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000-Επιφάνεια (SFC)-1200UTC.....	144
Χάρτης 25. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 500hPa - 0000UTC.....	145
Χάρτης 26. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 500hPa - 1200UTC.....	145
Χάρτης 27. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 850hPa - 0000UTC.....	146

Χάρτης 28. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 850hPa - 1200UTC	146
Χάρτης 29. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- Επιφάνεια (SFC) -1200UTC	147
Χάρτης 30. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- Επιφάνεια (SFC) -1200UTC	147
Χάρτης 31. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 500hPa - 0000UTC	148
Χάρτης 32. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 500hPa - 1200UTC	148
Χάρτης 33. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 850hPa - 0000UTC	149
Χάρτης 34. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 850hPa - 1200UTC	149
Χάρτης 35. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- Επιφάνεια (SFC) -0000UTC	150
Χάρτης 36. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- Επιφάνεια (SFC) -1200UTC	150
Χάρτης 37. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -01/08/1998 - 1200UTC.....	153
Χάρτης 38. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -02/08/1998 - 1200UTC.....	153
Χάρτης 39. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -03/08/1998 - 1200UTC.....	154
Χάρτης 40. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -04/08/1998 - 1200UTC.....	154
Χάρτης 41. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -05/08/1998 - 1200UTC.....	155
Χάρτης 42. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -06/08/1998 - 1200UTC.....	155
Χάρτης 43. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -01/08/1998 - 1200UTC.....	156
Χάρτης 44. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -02/08/1998 - 1200UTC.....	156
Χάρτης 45. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -03/08/1998 - 1200UTC.....	157
Χάρτης 46. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -04/08/1998 - 1200UTC.....	157
Χάρτης 47. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -05/08/1998 - 1200UTC.....	158
Χάρτης 48. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -06/08/1998 - 1200UTC.....	158
Χάρτης 49. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 01/08/1998 - 1200UTC	159
Χάρτης 50. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 02/08/1998 - 1200UTC	159
Χάρτης 51. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 03/08/1998 - 1200UTC	160
Χάρτης 52. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 04/08/1998 - 1200UTC	160
Χάρτης 53. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 05/08/1998 - 1200UTC	161
Χάρτης 54. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 06/08/1998 - 1200UTC	161

Ακρωνύμια και Συντομογραφίες

AMS: American Meteorological Society

ECMWF: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts/Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπροθέσεων Προγνώσεων

EEA: European Environment Agency/ Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος

EM-DAT: Emergency Events Database/ Διεθνής Βάση Δεδομένων Καταστροφών

EPI: Earth Policy Institute/ Περιβαλλοντικός Οργανισμός (Washington U.S.)

ESA: European Space Agency

FEMA: Federal Emergency Management Agency (U.S.)/Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Κρίσεων Η.Π.Α.

HHWS: Heat Health Warning System

HWDI: Heat wave duration index

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

KNMI: Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut/Βασιλικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ολλανδίας

Met Office: Meteorological Office/ το επίσημο όνομα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας του Ηνωμένου Βασιλείου

MSL: Mean Sea Level/ Μέση Στάθμη Θάλασσας

NASA: National Aeronautics and Space Administration / Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος

NCAR: National Center for Atmospheric Research (U.S.)

NCDC: National Climatic Data Center (U.S.)

NCEP: National Centers for Environmental Prediction (U.S.)

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (U.S.)

PCA: Principal Component Analysis

PCM: Parallel Climate Model

PWWS: Philadelphia Hot Weather Health Watch/Warning System

SMSA: Metropolitan Statistical Area (U.S.)

UTC: Coordinated Universal Time/ο τυποποιημένος χρόνος με τον οποίο ρυθμίζονται διεθνώς τα ρολόγια.

WHO: World Health Organization/ Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας

WMO: World Meteorological Organization/Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός

Πρόλογος

Η νοτιοανατολική Ευρώπη και ως εκ τούτου και η Ελλάδα, είναι από τις περιοχές, που προβλέπεται ότι θα πλήττονται από ολοένα συχνότερα και εντονότερα κύματα καύσωνα στο μέλλον, με αποτέλεσμα να αποκτά ιδιαίτερη σημασία η θωράκιση των τοπικών κοινωνιών απέναντι στον εξ αυτών κίνδυνο.

Η δυνατότητα πρόβλεψης του μεγέθους ενός επερχόμενου κινδύνου και άρα η στοχευμένη κινητοποίηση των μηχανισμών αντιμετώπισής του, οδηγεί σε εξοικονόμηση πόρων, κάτι που αποτελεί προτεραιότητα στην εποχή μας. Η ανάπτυξη λοιπόν ενός συστήματος προειδοποίησης μιας κοινωνίας, όχι απλώς για επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών, αλλά και για το πιθανό μέγεθος των επιπτώσεών τους στην ανθρώπινη υγεία, λειτουργεί προς αυτή την κατεύθυνση. Αυτό ήταν το κίνητρο που οδήγησε στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος, ενώ ο πρόσφατος καταστροφικός καύσωνας στη Ρωσία (καλοκαίρι 2010) λειτούργησε καταλυτικά, στο να διαλυθεί οποιαδήποτε αμφιβολία για την αναγκαιότητα ύπαρξης τέτοιων συστημάτων.

Σε αυτό το σημείο οφείλω να ευχαριστήσω την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία, για την άμεση ανταπόκριση στο αίτημα, για την παροχή των δεδομένων θνησιμότητας, καθώς και την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία για τη διάθεση των μετεωρολογικών δεδομένων και πιο συγκεκριμένα τον συνάδελφο κ. Αθ. Σαραντόπουλο. Επίσης ευχαριστώ θερμά τον κ. Π. Κατσαφάδο, Λέκτορα στο Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου και επιβλέποντα της εργασίας μου, για την εξαιρετική συνεργασία και την διακριτική καθοδήγηση.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Π. Σκριμιζέα, συνάδελφο και σύντροφό μου στη ζωή, για την πολύτιμη βοήθειά του στη στατιστική επεξεργασία των στοιχείων και τη σύνταξη των αντίστοιχων διαγραμμάτων, αλλά κυρίως γιατί μοιράστηκε μαζί μου τον ενθουσιασμό όλης αυτής της διαδρομής των δύο χρόνων των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη διερεύνηση της δυνατότητας ανάπτυξης, στην περιοχή του λεκανοπεδίου Αθηνών, ενός συστήματος προειδοποίησης για υψηλές θερμοκρασίες, που ενέχουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία και πιο συγκεκριμένα, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν αύξηση της θνησιμότητας.

Προς τον σκοπό αυτό, αρχικά αιτιολογείται η ανάγκη ύπαρξης ενός τέτοιου συστήματος, με κύρια επιχειρήματα τις σοβαρές επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και την αύξηση του, εξ αυτών, κινδύνου στο μέλλον, τόσο λόγω της διαφαινόμενης κλιματικής αλλαγής, όσο και της αύξησης της τρωτότητας του πληθυσμού.

Κατόπιν επιχειρείται η διερεύνηση της σχέσης, που συνδέει τις ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες, οι οποίες κατά την διάρκεια του θέρους συχνά παρατηρούνται στην περιοχή του λεκανοπεδίου Αθηνών, με την αύξηση της θνησιμότητας, που πιθανώς να οφείλεται σε αυτές.

Αναλύοντας λοιπόν δεδομένα ημερήσιας θνησιμότητας, που αφορούν την περιοχή της Αττικής, εκτιμήθηκε η μέση ημερήσια θνησιμότητα και εξ αυτής η ημερήσια υπερβάλλουσα θνησιμότητα, για τους θερινούς μήνες Ιούνιο Ιούλιο, Αύγουστο και για το διάστημα από το 1993 μέχρι και το 2000, ενώ η ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων για το ίδιο διάστημα, οδήγησε στη δημιουργία έξι συνοπτικών τύπων καιρού. Τέλος έγινε προσπάθεια συσχέτισης της ημερήσιας υπερβάλλουσας θνησιμότητας με τους τύπους καιρού, αν και βεβαίως ποτέ δεν θα μπορούσε αυτή να αποδοθεί εξ ολοκλήρου στις δυσμενείς μετεωρολογικές συνθήκες, καθώς ένα πλήθος άλλων παραγόντων θα μπορούσε να την επηρεάσει.

Abstract

The present work investigates the possibility of the development of a heat health warning system for the Athens basin (Attica – Greece), to anticipate heat waves that may result in an excess of anticipated mortality.

Firstly, the reasons for the implementation of such a system were clarified. The arguments that justify the need for such a system are the serious repercussions of elevated temperatures in human health, the future increase of this kind of danger because of the expected climatic change and the increase of human vulnerability. Subsequently, an investigation was attempted in order to determine the relation between the particularly high temperatures that occur over the Athens basin during summer and the excess mortality, as a percentage of it could be heat related.

By analyzing data of daily mortality that concern the region of Attica and the average daily mortality, the daily excess mortality of the Summer periods of the years from 1993 until 2000 was estimated. The analysis of the same period's meteorological data led to the creation of six synoptic weather types. In the end, an effort was made in order to find the cross-correlation of daily excess mortality and each one of the weather types, even though it is difficult to connect deaths directly with weather conditions, as they could be attributed to many other factors.

Η σελίδα αυτή είναι κενή

Εισαγωγή

Το φετινό καλοκαίρι (2010) χαρακτηρίστηκε, από μετεωρολογικής άποψης, από τον καταστροφικό καύσωνα στη Ρωσία, με τις ιδιαίτερες επιπτώσεις του στην Μόσχα. Επανήλθε λοιπόν στην επικαιρότητα η ανάγκη για έγκαιρες προειδοποιήσεις, ως μέσο μετριασμού των επιπτώσεων των υψηλών θερμοκρασιών, κυρίως στα μεγάλα αστικά κέντρα, όπου ένα πλήθος δευτερογενών αιτίων εντείνει τα καταστροφικά αποτελέσματα και αποδείχθηκε επικίνδυνη η περί του αντιθέτου άποψη, η οποία έχει ως βασικό επιχείρημα την διαπιστωμένη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης, τόσο σε ατομικό επίπεδο, όσο και σε επίπεδο οργανωμένης κοινωνίας, μετά τις εμπειρίες από παρόμοια περιστατικά, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών (Αθήνα 1987, Σικάγο 1995, Παρίσι 2003).

Τα κύματα καύσωνα αποτελούν παγκοσμίως μια σημαντική απειλή, αφού τα εξαιτίας τους καταγραφόμενα ποσοστά θνησιμότητας είναι υψηλότερα ακόμη και από αυτά που σχετίζονται με τυφώνες, σεισμούς και πλημμύρες (Red Cross- Red Crescent, 2004) .

Η επικινδυνότητά τους εντείνεται και από το γεγονός ότι, καθώς πρόκειται για μη αναγνωρισμένη, σιωπηρή καταστροφή, η οποία μάλιστα αφορά κυρίως ηλικιωμένους και περιθωριοποιημένους ανθρώπους, τα προγράμματα αντιμετώπισής τους είναι περιορισμένα και λίγοι άνθρωποι ανησυχούν και επαγρυπνούν για τον εξ αυτών κίνδυνο, ενώ οι κυβερνήσεις και οι αρχές δημόσιας υγείας συχνά αποτυγχάνουν να ενεργοποιηθούν έγκαιρα (Red Cross- Red Crescent, 2004) .

Με δεδομένα λοιπόν, τις σοβαρές επιπτώσεις που προκαλεί ένα κύμα καύσωνα στην ανθρώπινη υγεία (Pascal M. et al, 2004, Sheridan and Kalkstein, 2004, Fouillet, 1996), την αύξηση της τρωτότητας του πληθυσμού λόγω της γήρανσής του (UN - The Ageing of the World's Population and UN - Economic & Social Affairs), αλλά και τις δυσοίωνες προβλέψεις για τάση αύξησης της συχνότητας και έντασης των θερμών επεισοδίων, σαν αποτέλεσμα και του ενδεχομένου της κλιματικής αλλαγής (WHO /WMO/UNEP, 1996), οι κοινότητες ανά τον κόσμο οφείλουν να αναπτύξουν συστήματα προειδοποίησης και αντιμετώπισης του φαινομένου.

Τα κύματα καύσωνα αποτελούν πρωτίστως μια αστική καταστροφή (Red Cross- Red Crescent, 2004), τόσο λόγω του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, δηλαδή της, λόγω της πυκνής δόμησης, παρατηρούμενης υψηλότερης θερμοκρασίας στις αστικές

περιοχές σε σχέση με το περιαστικό περιβάλλον, όσο και εξ αιτίας ενός συνόλου κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων.

Τα περισσότερα από τα ισχύοντα συστήματα προειδοποίησης βασίζονται σε μία μόνο μετεωρολογική παράμετρο, συνήθως τη θερμοκρασία ή μια τροποποιημένη μορφή της (αισθητή θερμοκρασία¹), και όταν αυτή προβλέπεται να υπερβεί την τιμή, που έχει καθορισθεί ως κατώτατο όριο, για να χαρακτηριστεί μια ημέρα ως ημέρα καύσωνα, τότε εκδίδεται προειδοποίηση, για τους φορείς και το κοινό. Σε μια καταγραφή των χρησιμοποιούμενων συστημάτων προειδοποίησης για υψηλές θερμοκρασίες, από την επιτροπή που έχουν συγκροτήσει από κοινού ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) και ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO), γνωστή ως Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health (2010), αναφέρεται ότι αυτή η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε τουλάχιστον 13 ευρωπαϊκές χώρες (Βέλγιο, Γαλλία, Ελβετία, Ελλάδα, Ηνωμένο Βασίλειο, Ισπανία, Λευκορωσία, Λιθουανία, Ολλανδία, Ουγγαρία, Πολωνία, Πορτογαλία και Ρουμανία). Στις περιπτώσεις αυτές το ίδιο σύστημα ισχύει για ολόκληρη τη χώρα, παρόλο που τα όρια επικινδυνότητας μπορεί να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, εντός της ίδιας χώρας.

Στις ΗΠΑ και στον Καναδά, εφαρμόζεται ένας αξιοσημείωτος αριθμός συστημάτων, που βασίζονται στον Heat Index ή στον Humidex, δηλαδή σε δείκτες που εκτός της θερμοκρασίας συνδυάζουν και την υγρασία, άλλη μία παράμετρο, που έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζει σημαντικά την αντοχή του ανθρώπινου οργανισμού σε περιόδους καύσωνα. Όμως τα συστήματα προειδοποίησης που βασίζονται σε απλούς βιομετεωρολογικούς δείκτες αποδεικνύονται ανεπαρκή καθόσον (Kalkstein et. al., 1996):

- ✓ Βασίζονται στη παραδοχή ότι οι άνθρωποι επηρεάζονται από τον συνδυασμό ορισμένων μόνο μετεωρολογικών μεταβλητών και αγνοούν άλλες, που μελέτες έχουν αποδείξει ότι παίζουν σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, η νεφοκάλυψη επηρεάζει τη θνησιμότητα κατά τη διάρκεια καύσωνα, καθώς ο αίθριος ουρανός

¹ Η αισθητή θερμοκρασία αναφέρεται στην θερμοκρασία όπως τη νοιώθει ο άνθρωπος και όχι όπως αυτή καταγράφεται από τα όργανα μέτρησης. Γενικά υπάρχουν πολλοί μέθοδοι εκτίμησης αυτής της θερμοκρασίας εκ των οποίων η πιο απλή βασίζεται στον συνδυασμό της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος με την υγρασία, δηλαδή ορίζεται ως η θερμοκρασία, η οποία παράγει την ίδια δυσφορία με αυτή, που αισθάνεται ο άνθρωπος κάτω από τις τρέχουσες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

αυξάνει το συσσωρευμένο θερμικό φορτίο στις κατοικίες, κυρίως σε υποβαθμισμένες αστικές περιοχές, όπου επικρατούν οι κακής ποιότητας κατασκευές. Επίσης η ταχύτητα του ανέμου, ως παράγων αφυδάτωσης, μπορεί να αυξήσει το θερμικό φορτίο στον ανθρώπινο οργανισμό, σε υψηλές θερμοκρασίες.

- ✓ Δεν λαμβάνουν υπόψη την αρνητική επίπτωση του αριθμού των διαδοχικών ημερών σε συνθήκες καύσωνα, ούτε το γεγονός ότι οι καύσωνες νωρίς το καλοκαίρι (πρώιμοι) συνδυάζονται με αυξημένη θνησιμότητα σε σχέση με τους όψιμους.

Καθώς λοιπόν ο ανθρώπινος οργανισμός αποκρίνεται στο συνολικό αποτέλεσμα της ταυτόχρονης επίδρασης όλων των μετεωρολογικών παραμέτρων και επί πλέον σημαντικό ρόλο στη νοσηρότητα - θνησιμότητα παίζουν η γεωγραφική θέση της πόλης, το μέγεθος του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και οι συνθήκες στέγασης (Kalkstein et. al., 1996), τα συστήματα αυτά σε μερικές περιπτώσεις έχουν αντικατασταθεί από άλλα, βασισμένα στη «συνοπτική μέθοδο». Η συνοπτική μέθοδος είναι μια ολιστική προσέγγιση του θέματος, που βασίζεται ακριβώς στη φιλοσοφία ότι ο ανθρώπινος οργανισμός επηρεάζεται από το σύνολο των μετεωρολογικών συνθηκών, όπως αυτές περιγράφονται από ένα πλήθος μετεωρολογικών παραμέτρων.

Τα συστήματα προειδοποίησης που βασίζονται στη συνοπτική μέθοδο, δηλαδή τη μέθοδο των «αερίων μαζών» ή «τύπων καιρού», χρησιμοποιούν προγνωστικά μετεωρολογικά δεδομένα για να προβλέψουν, αν τις επόμενες ημέρες θα επικρατήσει μια αέρια μάζα, που συνδέεται ιστορικά με αυξημένη θνησιμότητα (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Κάποιες φορές συνυπάρχουν και τα δύο συστήματα. Στην Ιταλία συστήματα βασισμένα στην αισθητή θερμοκρασία χρησιμοποιούνται σε δέκα πόλεις, τέσσερις από τις οποίες εφαρμόζουν παράλληλα και τη συνοπτική μέθοδο (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010). Οι μέθοδοι αναλυτικά περιγράφονται στο κεφάλαιο 2.3.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει θεσμοθετημένο σύστημα προειδοποίησης για κύματα καύσωνα. Γενικά η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία εκδίδει προειδοποιήσεις για υψηλές θερμοκρασίες, με βάση την μέγιστη προβλεπόμενη θερμοκρασία (Tmax) και άτυπα εφαρμόζει τον κανόνα των τριών διαδοχικών ημερών με μέγιστη προβλεπόμενη θερμοκρασία πάνω από 37°C.

Αξίζει να αναφερθούν δύο σημαντικές ερευνητικές προσπάθειες που αφορούν την Αθήνα από τους Tselepidaki I.G. et al. (1995) και Kassomenos P. et al. (2001). Στην πρώτη επιχειρείται η συσχέτιση της θνησιμότητας με ένα σύνθετο θερμοϋγρομετρικό δείκτη και στη δεύτερη η θνησιμότητα με, εκ των προτέρων καθορισμένους, τύπους καιρού.

Στην παρούσα εργασία επιχειρείται η ανάπτυξη ενός συστήματος προειδοποίησης για επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν αύξηση της θνησιμότητας στην περιοχή της Αττικής, κατ' αναλογία με το συνοπτικό σύστημα, που εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στη Φιλαδέλφεια των ΗΠΑ το 1995 (Philadelphia Hot Weather Health Watch/Warning System – PWWS) και του οποίου η επαλήθευση των αποτελεσμάτων το χαρακτήρισε ως την πλέον ίσως επιτυχημένη προσπάθεια παγκοσμίως (Red Cross- Red Crescent, 2004) .

Η εργασία χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη.

Στο Α' μέρος καταδεικνύεται η γενική ανάγκη ύπαρξης συστημάτων προειδοποίησης για υψηλές θερμοκρασίες (κύματα καύσωνα), αναπτύσσοντας τρία βασικά επιχειρήματα:

- ✓ Τις επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στην ανθρώπινη υγεία
- ✓ Την παρατηρούμενη τάση αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης, που έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας, της διάρκειας, αλλά και της έντασης των κυμάτων καύσωνα στο μέλλον
- ✓ Την αύξηση της τρωτότητας του πληθυσμού, αποτέλεσμα τόσο της συνεχούς γήρανσής του όσο και της συνεχούς αστικοποίησής του

Στο Β' μέρος παρουσιάζεται η μέθοδος, στην οποία μπορεί να βασιστεί η ανάπτυξη ενός συστήματος προειδοποίησης. Η μέθοδος αυτή συνδυάζει δεδομένα ημερήσιας θνησιμότητας, για την περιοχή της Αττικής, που προέρχονται από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία και μετεωρολογικά δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, που αφορούν πρωτογενείς πληροφορίες από τις κύριες συνοπτικές παρατηρήσεις των ωρών 06, 12, 18 UTC του Μετεωρολογικού Σταθμού της Νέας Φιλαδέλφειας. Η μελέτη εστιάζει στους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο της περιόδου 1993-2000 και τα βήματα που ακολουθήθηκαν ήταν τα εξής:

- ✓ Υπολογίσθηκε η μέση ημερήσια θνησιμότητα, για την περίοδο μελέτης και από τη διαφορά αυτής από την πραγματική ημερήσια θνησιμότητα, προέκυψε η υπερβάλλουσα ημερήσια θνησιμότητα.
- ✓ Οι μετεωρολογικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου, η θερμοκρασία του σημείου δρόσου (υγρασία), η διεύθυνση του ανέμου, η ένταση του ανέμου και η νεφοκάλυψη και μάλιστα για τρεις διαφορετικές ώρες της ημέρας. Έτσι στην πραγματικότητα κάθε ημέρα χαρακτηρίστηκε από 18 παραμέτρους. Στην συνέχεια με την χρήση στατιστικών μεθόδων (ανάλυση σε κύριες συνιστώσες και ανάλυση της ομοιομορφίας των ομάδων) προέκυψαν 6 τύποι ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (τύποι καιρού), οι οποίοι και περιγράφηκαν. Τέλος ακολούθησε το κρισιμότερο σημείο του εγχειρήματος, δηλαδή η
- ✓ Συσχέτιση της υπερβάλλουσας θνησιμότητας με τους τύπους καιρού.

Είναι προφανές ότι ένα σύστημα ολοκληρωμένης διαχείρισης του θερμικού κινδύνου περιλαμβάνει και τις δράσεις της πολιτείας, που στοχεύουν στο μετριασμό των επιπτώσεων. Η παρούσα εργασία εστιάζει στην εύρεση της σχέσης μετεωρολογικών δεδομένων και θνησιμότητας, ενώ ενδεικτικά αναφέρονται οι δράσεις σε περιπτώσεις καύσωνα, της πολιτείας Φιλαδέλφειας των ΗΠΑ. Η ανάπτυξη ενός συστήματος ολοκληρωμένης διαχείρισης του θερμικού κινδύνου, με επιχειρησιακή αξία, προϋποθέτει την συνεργασία της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας με τις υπηρεσίες Υγείας και την Πολιτική Προστασία.

Η σελίδα αυτή είναι κενή

ΜΕΡΟΣ Α΄

Κεφάλαιο 1: Η αναγκαιότητα ύπαρξης συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για υψηλές θερμοκρασίες, που ενέχουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Τα κύματα καύσωνα είναι ένα αναδυόμενο πρόβλημα, που αφορά τη δημόσια υγεία, στην όξυνση του οποίου συμβάλλουν τόσο η διαπιστούμενη κλιματική αλλαγή, όσο και οι διαμορφούμενες δημογραφικές και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Στο κεφάλαιο αυτό λοιπόν επιχειρείται η αιτιολόγηση της αναγκαιότητας ύπαρξης έγκαιρης προειδοποίησης για τα κύματα καύσωνα, μέσω της διερεύνησης τόσο της φυσιολογίας της θερμότητας (thermophysiology) και των επιδράσεων του ζεστού καιρού στην ανθρώπινη υγεία, όσο και των παραγόντων που εντείνουν τα καταστροφικά αποτελέσματα, δηλαδή της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της τρωτότητας του πληθυσμού.

1.1 Οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στην ανθρώπινη υγεία

Όταν ο ανθρώπινος οργανισμός εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να υπάρξουν πλήθος συνεπειών, τόσο άμεσων όσο και έμμεσων (Pascal et al, 2004).

Ένας καύσωνας είναι πρώτιστα ένα οξύ πρόβλημα, με γενικά άμεσες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και οι συσχετισμοί μεταξύ της θερμότητας και της θνησιμότητας μικραίνουν γενικά μετά από μια ημέρα (Kalkstein and Corrigan, 1986). Οι άμεσες συνέπειες ποικίλουν από απλές μυϊκές κράμπες (heat cramps) και εξάντληση με αφυδάτωση (heat exhaustion with dehydration), μέχρι σοβαρή εγκεφαλική βλάβη, λόγω θερμοπληξίας (severe heat strokes) και θάνατο (Πίνακας 1). Η θερμοπληξία μπορεί να εμφανιστεί σε λιγότερο από 24 ώρες μετά από την έκθεση στις υψηλές θερμοκρασίες (Pascal et al, 2004).

Σύμφωνα με τους Pascal et al. (2004) οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν επίσης να επιδεινώσουν χρόνιες ασθένειες, συμπεριλαμβανομένων των καρδιαγγειακών παθήσεων και των αναπνευστικών ασθενειών. Ο χρόνος, που μεσολαβεί μεταξύ της έκθεσης στις υψηλές θερμοκρασίες και των έμμεσων επιπτώσεων στην υγεία, εξαρτάται από το είδος

των προϋπαρχουσών ασθενειών. Αρκετές μελέτες έχουν δείξει ότι η αιχμή της θνησιμότητας επιτυγχάνεται μια έως δύο ημέρες μετά από την θερμότερη ημέρα του κύματος καύσωνα (Pascal et al, 2004).

Ο καύσωνας έχει αποδειχθεί ως το πλέον θανατηφόρο από όλα τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα. Από το 1979 ως το 1999, οι θάνατοι 8015 Αμερικανών συνδέθηκαν άμεσα με την έκθεση σε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες (Centers for Disease Control, 2002).

Πίνακας 1. Επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στην ανθρώπινη υγεία

Πηγή: Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010.

Κλινική κατάσταση	Συμπτώματα
Δερματικός ερεθισμός (Heat rash)	Μικρές κόκκινες φλύκταινες (itchy papules) εμφανίζονται στο πρόσωπο, τον λαιμό, το ανώτερο στήθος, κάτω από τους μαστούς, στη βουβωνική χώρα. Εμφανίζεται σε οποιαδήποτε ηλικία αλλά κυρίως στα μικρά παιδιά και ευνοείται η εμφάνιση σταφυλόκοκκου. Αποδίδεται στην έντονη εφίδρωση κατά τη διάρκεια του ζεστού και υγρού καιρού.
Οίδημα (Heat oedema)	Οίδημα των κάτω άκρων, συνήθως των αστραγάλων. Σχετίζεται με την περιφερική αγγειακή λειτουργία και την κατακράτηση υγρών και αλάτων.
Ηλίαση (Heat syncope)	Περιλαμβάνει σύντομη απώλεια συνείδησης ή ορθοστατικό ίλιγγο. Κοινή στους ασθενείς με καρδιαγγειακή πάθηση ή σε όσους λαμβάνουν διουρητικά. Αποδίδεται σε αφυδάτωση, την περιφερική αγγειακή λειτουργία και τη μειωμένη φλεβική επιστροφή με συνέπεια τη μειωμένη καρδιακή λειτουργία.
Θερμικές κράμπες (Heat cramps)	Επίπονοι μυϊκοί σπασμοί, συχνότερα στα πόδια, στους βραχίονες ή την κοιλιά, συνήθως στο τέλος επίμονης άσκησης. Μπορεί να αποδοθούν σε αφυδάτωση, στην απώλεια ηλεκτρολυτών μέσω έντονης εφίδρωσης και στην κούραση των μυών.
Θερμική εξάντληση (Heat exhaustion)	Τα συμπτώματα περιλαμβάνουν έντονη δίψα, αδυναμία, δυσφορία, ανησυχία, ίλιγγο, λιποθυμία και πονοκέφαλο. Η θερμοκρασία του σώματος μπορεί να είναι κανονική, λίγο κάτω από τη φυσιολογική ή ελαφρώς ανυψωμένη (λιγότερο από 40°C). Ο σφυγμός είναι αδύναμος με τάση για υπόταση και η αναπνοή γρήγορη και επιφανειακή. Δεν υπάρχει καμία αλλαγή στη διανοητική κατάσταση. Αποδίδονται στη μείωση του ύδατος ή/και του άλατος στον οργανισμό, ως αποτέλεσμα της έκθεσης στην υψηλή περιβαλλοντική θερμότητα ή της έντονης σωματικής άσκησης.

Θερμοπληξία (Heatstroke)	Η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται γρήγορα ξεπερνώντας τους 40°C και συνδέεται με ανωμαλίες του κεντρικού νευρικού συστήματος, όπως η κατάπληξη, η σύγχυση ή το κώμα. Συχνά παρατηρείται ζεστό ξηρό δέρμα, ναυτία, υπόταση, ταχυκαρδία και γρήγορη αναπνοή. Η θερμοπληξία προκύπτει από την έκθεση σε μια υψηλή περιβαλλοντική θερμοκρασία (classic heatstroke) ή σε δεύτερο βαθμό από έντονη σωματική δραστηριότητα (exertional heatstroke) που καταβάλλει τους μηχανισμούς αποβολής θερμότητας.
-----------------------------	--

Στην πραγματικότητα αυτός ο αριθμός υποτιμά τον αληθινό αντίκτυπο των υψηλών θερμοκρασιών, καθώς δεν είναι σαφές πότε ένας θάνατος συνδέεται με έναν καύσωνα, και τα πιστοποιητικά θανάτου συχνά δεν προσδιορίζουν πότε οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να λειτούργησαν καταλυτικά στην επιδείνωση προϋπάρχουσας καρδιαγγειακής, αναπνευστικής, ή άλλης νόσου (Kalkstein and Valimont,1987, Ellis and Nelson,1978).

Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια του ιδιαίτερα θερμού καλοκαιριού του 1980 στις Ηνωμένες Πολιτείες, περίπου 10.000 θάνατοι μπορεί να συνδέονταν με τις υψηλές θερμοκρασίες (National Climatic Data Center,2002), ενώ κατά την διάρκεια του καύσωνα που έπληξε την Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003, μόνο στη Γαλλία χάθηκαν περίπου 15.000 ανθρώπινες ζωές (New York Times,2003, Sheridan and Kalkstein,2004, Red Cross- Red Crescent, 2004).

Για τα ανθρώπινα όντα είναι κρίσιμη η διατήρηση της θερμοκρασίας του σώματός τους σταθερής, μέσα σε ένα στενό εύρος, που κυμαίνεται από περίπου 36,3 έως 37,1°C, προκειμένου να διασφαλιστεί η εύρυθμη λειτουργία των εσωτερικών οργάνων και του εγκεφάλου, εξασφαλίζοντας έτσι τις βέλτιστες συνθήκες άνεσης, απόδοσης και υγείας του οργανισμού. Αντίθετα η θερμοκρασία του δέρματος και των άκρων μπορεί να ποικίλουν έντονα, καθώς εξαρτώνται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, βάσει των μηχανισμών προσαρμογής που αναπτύσσονται για τη διατήρηση του συστήματος παραγωγής-απώλειας θερμότητας σε ισορροπία (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Η θερμότητα στον ανθρώπινο οργανισμό παράγεται με τις μεταβολικές διαδικασίες, όπως η πέψη της τροφής, καθώς επίσης και σαν αποτέλεσμα της σωματικής δραστηριότητας, παραδείγματος χάριν με το τρέξιμο. Μερικές φορές εάν η παραχθείσα θερμότητα δεν είναι ικανοποιητική το "τουρτούρισμα" βοηθά στην αύξησή της, ενώ σε περίπτωση

πλεονάσματος, αυτό πρέπει να απελευθερωθεί στο περιβάλλον (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Το σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον με ροή αισθητής² θερμότητας, με επαφή, με ροή λανθάνουσας³ θερμότητας (εξάτμιση), με ακτινοβολία (μικρού και μεγάλου μήκους) και με την αναπνοή, λανθάνουσα και αισθητή (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

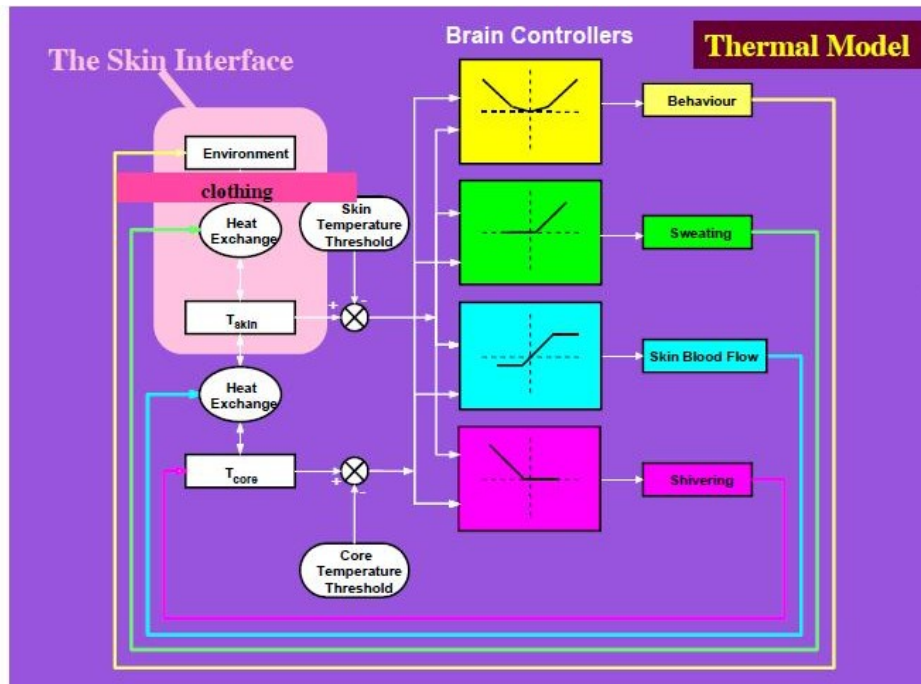
Στην ανταλλαγή θερμότητας, για να είναι αποδοτική η διαδικασία, πρέπει να υφίσταται έντονη διαφορά θερμοκρασίας και υγρασίας μεταξύ της επιφάνειας του δέρματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος. Κατά τη διάρκεια ενός κύματος καύσωνα, όταν η περιβάλλουσα θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του δέρματος (32-33°C), ο μόνος μηχανισμός για την αποβολή της θερμότητας είναι η εξάτμιση. Όταν ο ιδρώτας εξατμίζεται από την επιφάνεια του σώματος, για κάθε γραμμάριο ή χιλιοστόλιτρο ύδατος που εξατμίζεται, αποβάλλονται 0,58Kcal θερμότητας (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Στη μέγιστη αποδοτικότητα σε ένα ξηρό περιβάλλον χωρίς κλιματισμό, με την εφίδρωση μπορεί να αποβληθούν περίπου 600Kcal σε μία ώρα από ένα οργανισμό. Όταν όμως αυξηθεί η υγρασία του περιβάλλοντος, αυτός ο μηχανισμός γίνεται λιγότερο αποτελεσματικός. Η εξάτμιση γίνεται επίσης λιγότερο αποτελεσματική όσο μειώνεται η ένταση του ανέμου, ή εάν η κυκλοφορία του αέρα εμποδίζεται π.χ. από στενά ενδύματα, τα οποία αποτρέπουν την απομάκρυνση από το δέρμα του διαποτισμένου με ιδρώτα αέρα (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Ο ανθρώπινος οργανισμός μπορεί να χωριστεί σε δύο αλληλεπιδρώντα θερμορυθμιστικά συστήματα (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010, Fiala et al, 1999,2001):

² Αισθητή θερμότητα ονομάζεται η ενέργεια που απορροφάται ή ελευθερώνεται κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός υλικού.

³ Λανθάνουσα θερμότητα ονομάζεται η ενέργεια που απορροφάται ή ελευθερώνεται κατά την αλλαγή φάσης ενός υλικού.

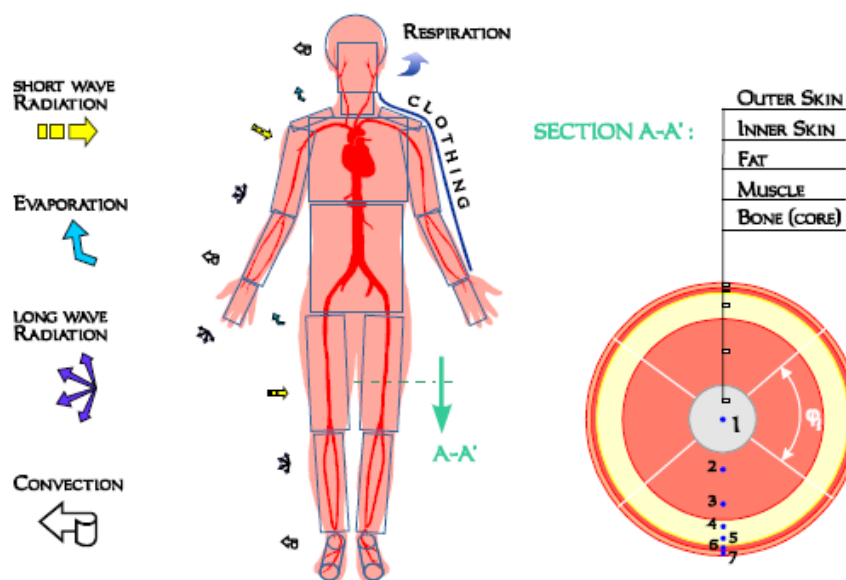


Σχήμα 1. Το ενεργητικό σύστημα ελέγχου (The control system, Fiala et al., 2001)

(α) το ενεργητικό σύστημα ελέγχου (active control system), που περιλαμβάνει τις θερμορρυθμιστικές διαδικασίες της θερμογένεσης με το «τουρτούρισμα» (shivering), της εφίδρωσης, και της περιφερικής ροής αίματος (cutaneous vasomotion) (Σχήμα 1), και

(β) το παθητικό σύστημα ελέγχου (passive control system), που αφορά το ανθρώπινο σώμα και τα φαινόμενα μεταφοράς θερμότητας που εμφανίζονται σε αυτό και στην επιφάνειά του (Σχήμα 2).

Υπό συνθήκες ευεξίας το ενεργητικό σύστημα παρουσιάζει το χαμηλότερο επίπεδο δραστηριότητας, ένδειξη απουσίας πίεσης του οργανισμού. Αύξηση της δυσφορίας συνδέεται με αύξηση της πίεσης και με ανάλογα αποτελέσματα στο καρδιαγγειακό και αναπνευστικό σύστημα (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).



Σχήμα 2. Το παθητικό σύστημα ελέγχου (The passive system Fiala et al., 1999, 2001)

Όταν η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του σώματος και της ατμόσφαιρας παρακωλύεται, παράγεται πίεση (ο οργανισμός πιέζεται). Οι άνθρωποι με περιορισμένη ικανότητα προσαρμογής, όπως εκείνοι που δεν είναι σε καλή φυσική κατάσταση, μπορεί να πεθάνουν από συνδυασμό αιτιών. Στις περιπτώσεις όμως τέτοιων θανάτων, που σχετίζονται με τον ζεστό καιρό, πάντα στο επίκεντρο υπάρχει αδύναμο θερμορρυθμιστικό σύστημα (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Στον ανθρώπινο οργανισμό, όταν αυτός εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλείται αύξηση της κυκλοφορίας του αίματος, προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία του στους 37°C, μέσω της αύξησης της απώλειας θερμότητας λόγω ακτινοβολίας, όπως επίσης και εφίδρωση, ώστε να επιτευχθεί ψύξη λόγω εξάτμισης του ιδρώτα.

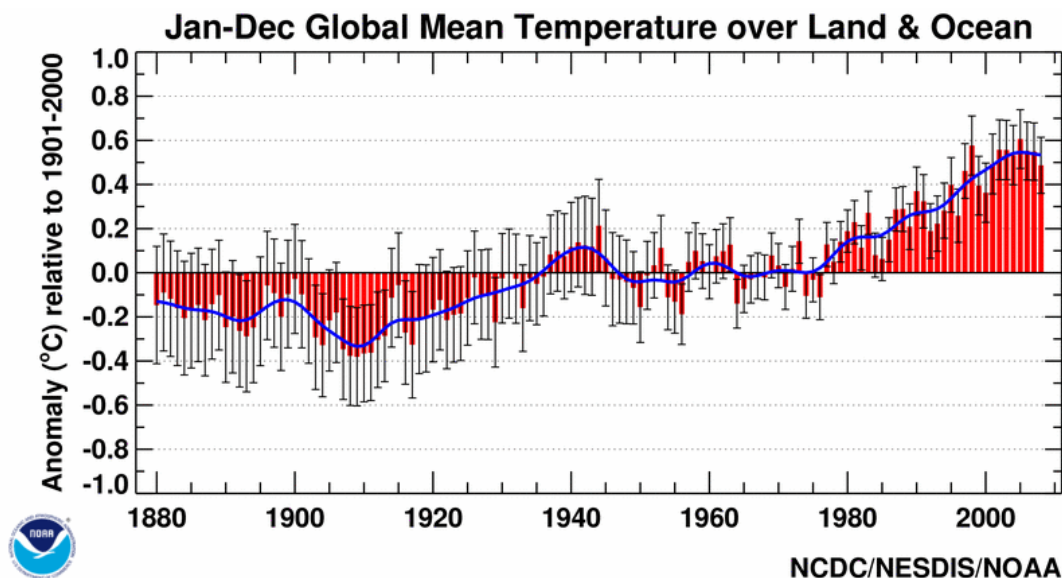
Καθώς όμως η θερμοκρασία ανεβαίνει, η καρδιά πρέπει να εργαστεί σκληρά για να ανταπεξέλθει, θέτοντας σε κίνδυνο και άλλα ζωτικά όργανα. Κάτω από υπερβολικά επίπεδα πίεσης, το σώμα δεν μπορεί από κάποιο σημείο και μετά να εξισορροπήσει την αύξηση της θερμοκρασίας και μπορεί να επέλθει ο θάνατος. Για τον λόγο αυτό πρέπει να αποφεύγονται οι επίπονες εργασίες σε περιόδους καύσωνα (Sheridan and

Kalkstein,2004, Red Cross- Red Crescent, 2004). Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν απαιτείται πολύ επί πλέον θερμότητα για να προκαλέσει τον θάνατο σε κάποιον που είναι ευάλωτος (Red Cross- Red Crescent, 2004).

1.2 Η παρατηρούμενη τάση αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της γης

Στη Διακυβερνητική Διάσκεψη για την κλιματική αλλαγή το 2001, ανακοινώθηκε ότι κατά την 25ετία που προηγήθηκε, η μέση επιφανειακή θερμοκρασία της γης αυξήθηκε κατά $0,56^{\circ}\text{C}$ και ότι προβλεπόταν επί πλέον άνοδος μέχρι το τέλος του αιώνα, από $1,4^{\circ}\text{C}$, σύμφωνα με το πιο αισιόδοξο σενάριο, έως και $5,8^{\circ}\text{C}$, με βάση το πιο απαισιόδοξο, με αποτέλεσμα να αναμένεται αύξηση της συχνότητας, αλλά και της έντασης των κυμάτων καύσωνα (Red Cross- Red Crescent, 2004) .

Στο Σχήμα 3 απεικονίζεται η πορεία της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της γης (ξηρά και θάλασσα) για την περίοδο από το 1880 μέχρι και το 2008, σαν αποκλίσεις από την μέση τιμή του 20^{ου} αιώνα (1901-2000) (NOAA – National Climatic Data Center, 2008) , από όπου επιβεβαιώνεται η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας της γης (κατά $0,56^{\circ}\text{C}$) στο διάστημα 1975 - 2000.

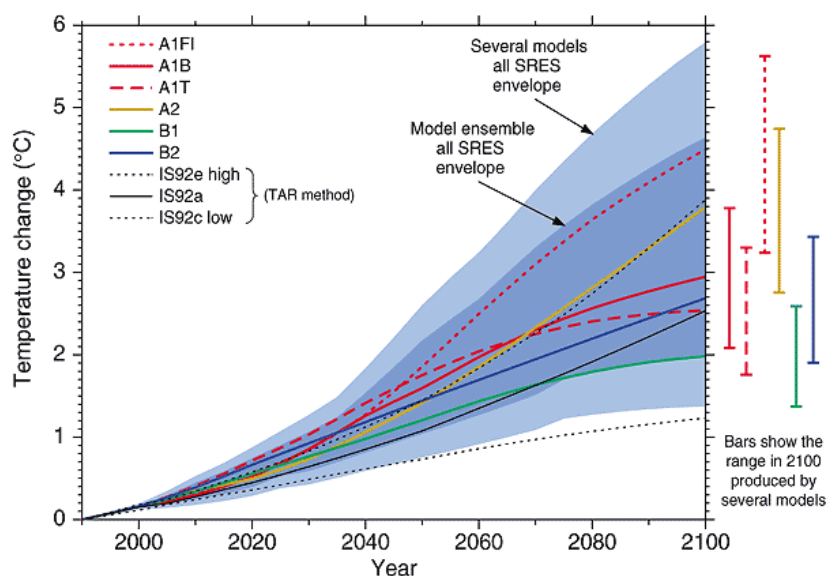


Σχήμα 3. Αποκλίσεις της μέσης ετήσιας επιφανειακής θερμοκρασίας της γης της περιόδου 1880 - 2008. Πηγή: NCDC/NESDIS/NOAA

Στο Σχήμα 4 απεικονίζεται η πορεία της θερμοκρασίας με βάση πιθανά διαφορετικά σενάρια. Σύμφωνα με αυτά η μέση άνοδος της θερμοκρασίας, για την περίοδο 2071-2100, εκτιμάται από 1,4°C μέχρι 5,8°C σε σχέση με τις τιμές του 1990 (IPCC Climate Change 2001) .

Πιο πρόσφατα, η IPCC, στην τέταρτη έκθεσή της το 2007, με βάση τη διαπίστωση ότι, λόγω των αβεβαιοτήτων για τις μελλοντικές εκπομπές και τις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, της καθαρής συμβολής τους στην ατμοσφαιρική θέρμανση, αλλά και της απόκρισης του κλιματικού συστήματος, υπάρχει αβεβαιότητα και στις εκτιμήσεις για την μελλοντική μεταβολή της θερμοκρασίας, επικαιροποίησε τις προηγούμενες εκτιμήσεις της και κατέληξε ότι η μέση θερμοκρασία επιφάνειας της γης είναι πιθανό να αυξηθεί κατά 1,1-6,4°C μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, σε σχέση με τη δεκαετία 1980-1990, με μια καλύτερη εκτίμηση από 1,8-4,0°C (IPCC Climate Change 2007) .

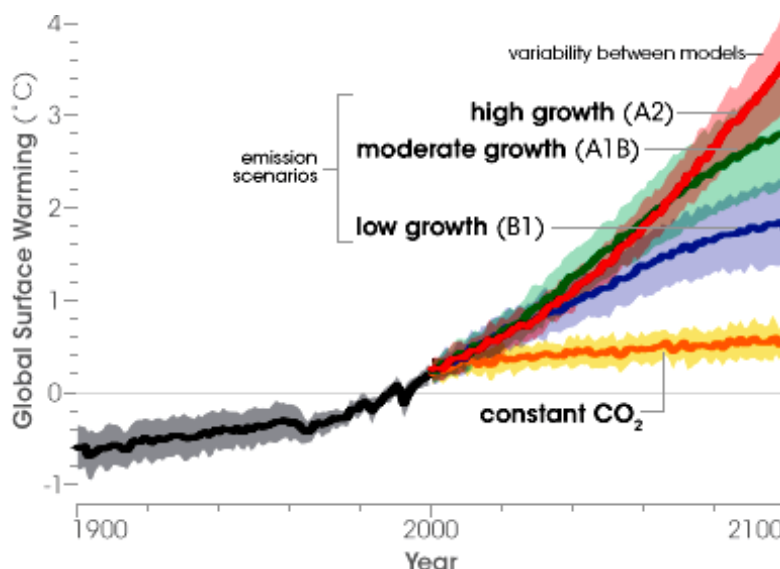
Σύμφωνα με διάφορες πρόσφατες μελέτες, ακόμα κι αν η σύνθεση της σημερινής ατμόσφαιρας σταθεροποιούνταν (κάτι που θα υπονοούσε μια δραματική μείωση των τρεχουσών εκπομπών), οι θερμοκρασίες του αέρα στην επιφάνεια της γης θα συνέχιζαν να αυξάνονται μέχρι 0,9°C.



Σχήμα 4. Οι εκτιμώμενες μεταβολές της θερμοκρασίας από το 1990 μέχρι το 2100 με βάση πιθανά διαφορετικά σενάρια. Πηγή: Climate Change 2001 – IPCC Third Assessment Report.

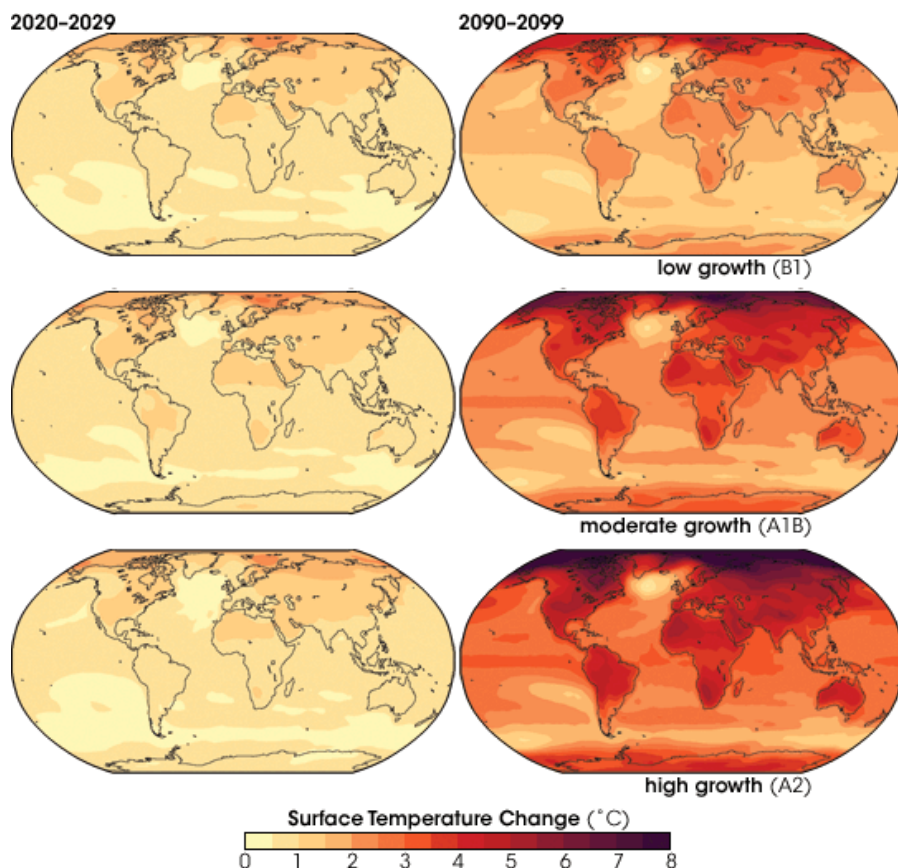
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, τα σενάρια, που υποθέτουν την υψηλότερη αύξηση των εκπομπών αερίου θερμοκηπίου, παρέχουν τις εκτιμήσεις για την μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας. Η πορτοκαλί γραμμή ("σταθερό CO₂") είναι η θερμοκρασία της γης με τις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου σταθεροποιημένες στα επίπεδα του έτους 2000 (IPCC Climate Change, 2007) .

Η θέρμανση αυτή δεν θα διανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλη την υδρόγειο και θα διαφέρει με την εποχή, με τους χειμώνες να θερμαίνονται περισσότερο από τα καλοκαίρια στις περισσότερες περιοχές.



Σχήμα 5. Σενάρια για την πορεία της θερμοκρασίας μέχρι το έτος 2100, βασισμένα σε μια σειρά διαφορετικών σεναρίων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και πλανητικών κλιματικών μοντέλων. Πηγή: IPCC Fourth Assessment Report (2007).

Στο Σχήμα 6 περιγράφονται πιθανά μελλοντικά σενάρια θέρμανσης βασισμένα σε τρία σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, που αφορούν χαμηλή, μέση, και υψηλή αύξηση εκπομπών (NASA Earth Observatory, 2007) .

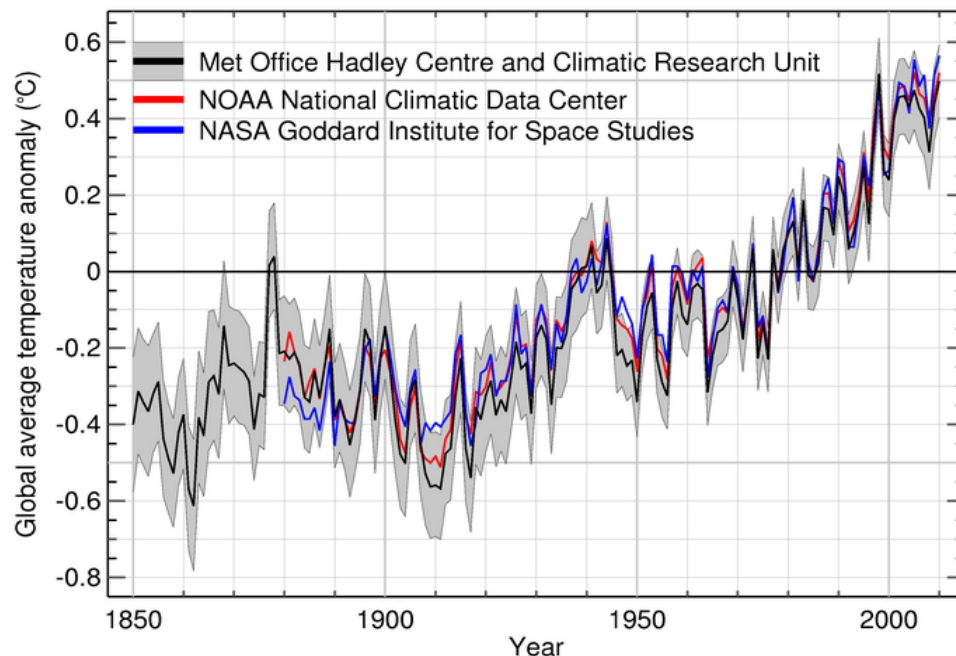


Σχήμα 6. Πιθανά μελλοντικά σενάρια θέρμανσης βασισμένα σε τρία σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Πηγή : NASA – Earth Observatory – Global Warming 2007

Οι μελέτες δέχονται ότι ένα μέρος της θέρμανσης που συνδέεται με παρελθοντική ανθρωπίνη δραστηριότητα δεν έχει πραγματοποιηθεί ακόμα, λόγω της θερμότητας που έχει αποθηκευτεί στον ωκεανό, και ότι η γη είναι δεσμευμένη να συνεχίσει να θερμαίνεται. Επιπλέον, πολλά από τα αέρια θερμοκηπίου που έχουν εκπεμφθεί ήδη παραμένουν στην ατμόσφαιρα για δεκαετίες ή και περισσότερο και θα συνεχίσουν να συμβάλλουν στη θέρμανση κατά τη διάρκεια της παρουσίας τους (U.S Environmental Protection Agency).

Λίγα μόλις χρόνια μετά τις εκθέσεις της IPCC, στη 16^η σύνοδο των μελών των Η.Ε. με θέμα την κλιματική αλλαγή (Cancun Μεξικό 29 Νοεμβρίου έως 10 Δεκεμβρίου 2010), οι πρόσφατες ανακοινώσεις επιβεβαιώνουν τις προβλέψεις αυτών των εκθέσεων με τον πιο κατηγορηματικό τρόπο (WMO - Press Release No 906, 2011).

Θεωρείται λοιπόν σχεδόν βέβαιο, ότι το έτος 2010 θα ταξινομηθεί στα κορυφαία τρία θερμότερα έτη, από τότε που άρχισαν να τηρούνται κλιματικά αρχεία με ενόργανες μετρήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων, δηλαδή από το 1850 (WMO - Press Realease No 906, 2011).



Σχήμα 7. Οι αποκλίσεις της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της περιόδου 1850 – 2010 από την μέση τιμή της περιόδου 1961-1990. Πηγή: WMO (WMO - Press Realease No 906, 2011)

Επίσης με βάση τα στοιχεία του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (WMO), η δεκαετία 2001-2010 έχει καταγραφεί ως η θερμότερη δεκαετής περίοδος στο αρχείο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7, όπου με βάση τα στοιχεία τριών διαφορετικών πηγών – προσεγγίσεων (The MetOffice, NASA, NOAA) απεικονίζονται οι αποκλίσεις της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας της περιόδου 1850 – 2010 από την μέση τιμή της περιόδου 1961-1990. Για το διάστημα αυτό η θερμοκρασία σε πλανητικό επίπεδο έχει υπολογιστεί ότι είναι, κατά μέσο όρο, $0,43^{\circ}\text{C}$ πάνω από το μέσο όρο της περιόδου 1961-1990, η μεγαλύτερη τιμή που έχει καταγραφεί για δεκαετή περίοδο (WMO - Press Realease No 906, 2011).

Επί πλέον, για το διάστημα από τον Ιανουάριο έως τον Οκτώβριο του 2010, η θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης (ξηράς και θάλασσας) εκτιμάται περίπου

0,55°C ($\pm 0,11^\circ\text{C}$) πάνω από την μέση ετήσια τιμή της περιόδου 1961-1990, που ήταν 14°C (WMO - Press Release No 906, 2011).

Ένα παγκόσμιο κλιματικό μοντέλο⁴ δείχνει ότι υπάρχει ευδιάκριτο προγνωστικό σήμα για τις μεταβολές των κυμάτων καύσωνα στο μέλλον. Λαμβάνοντας υπόψη τους καύσωνες στο Σικάγο το 1995 και στο Παρίσι το 2003, το μοντέλο προβλέπει, ότι οι μελλοντικοί καύσωνες στην Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική θα γίνουν πιο συχνοί, πιο έντονοι και μεγαλύτερης διάρκειας στο δεύτερο μισό του 21^{ου} αιώνα.

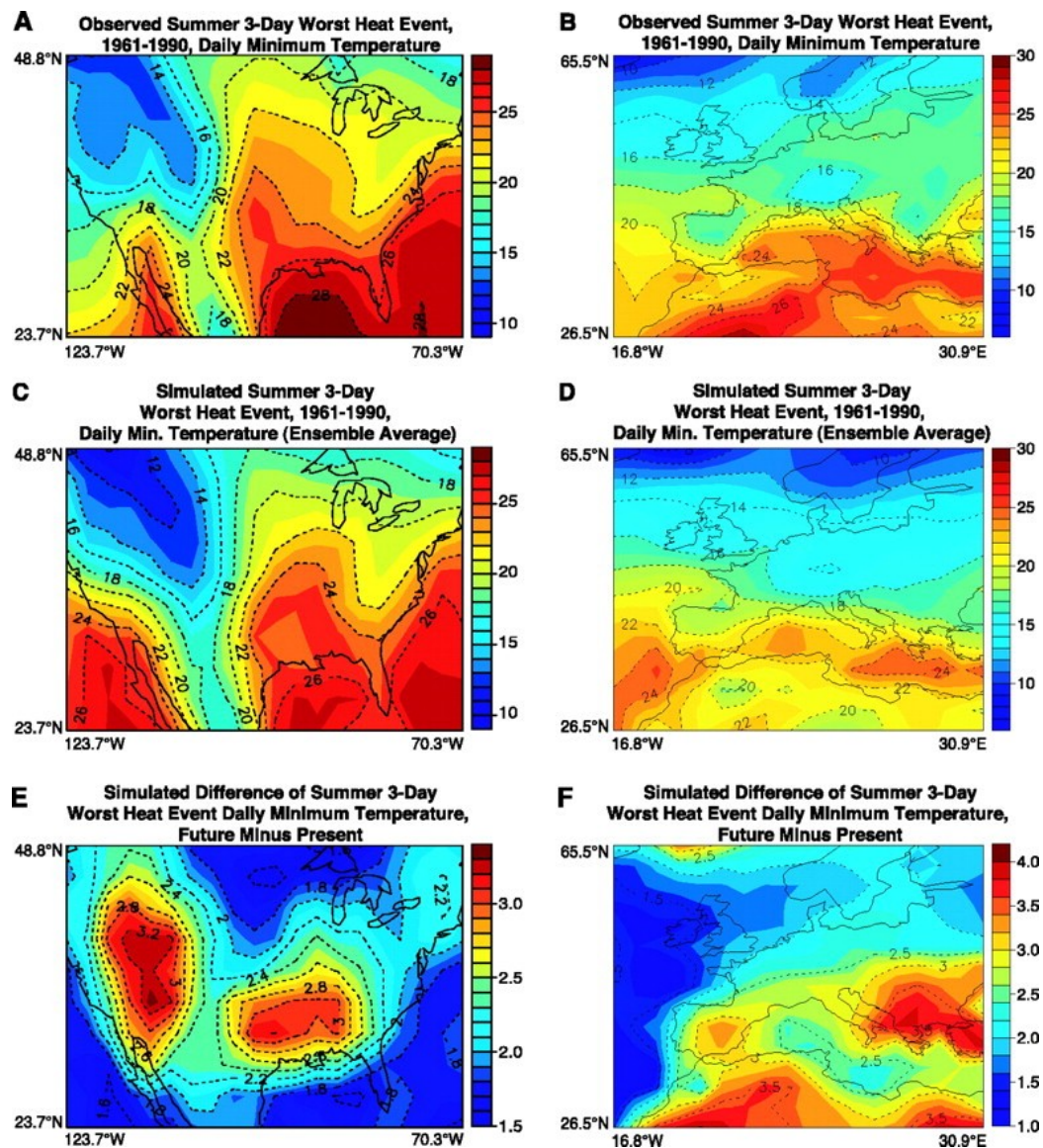
Οι προβλέψεις του μοντέλου, αλλά και οι παρατηρούμενες τιμές, δείχνουν ότι στις μέρες μας τα κύματα καύσωνα στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική συμπίπτουν με ειδικό πρότυπο ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, που εντείνεται από τη συνεχιζόμενη αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου, καταδεικνύοντας ότι θα δημιουργούνται πιο ισχυροί καύσωνες σε αυτές τις περιοχές στο μέλλον (Meehl and Tebaldi, 2004).

Σε ένα μελλοντικό θερμότερο κλίμα, με αυξημένες μέσες θερμοκρασίες, φαίνεται ότι τα κύματα καύσωνα θα γίνονται εντονότερα, μεγαλύτερης διάρκειας, ή/και συχνότερα (UN - The Ageing of the World's Population, UN - Economic & Social Affairs, Meehl and Tebaldi, 2004).

Καθώς η ένταση των κυμάτων καύσωνα σχετίζεται με την ελάχιστη θερμοκρασία και εντείνεται με την αύξηση του αριθμού διαδοχικών ημερών με υψηλές ελάχιστες (Karl and Knight, 1997), οι Meehl και Tebaldi (2004), χρησιμοποίησαν σαν δείκτη το επεισόδιο τριών διαδοχικών ημερών με την υψηλότερη μέση ελάχιστη τιμή θερμοκρασίας, σε ετήσια βάση, και με τις επαναanalύσεις (reanalysis) των U.S. National Centers for Environmental Prediction (NCEP) και National Center for Atmospheric Research (NCAR) για την περίοδο 1961-1990 παρήγαγαν αναλύσεις του παραπάνω δείκτη.

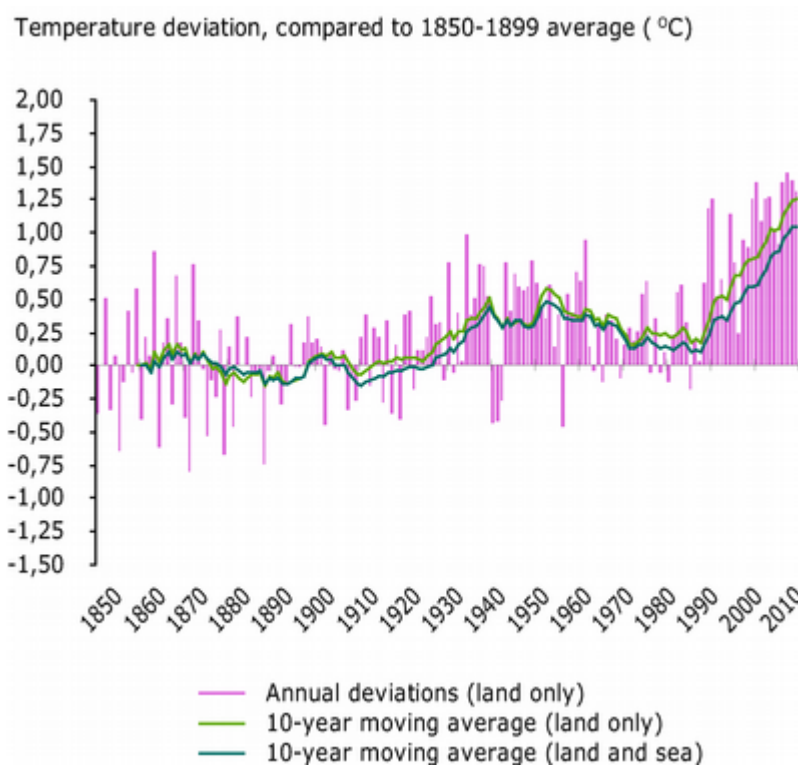
⁴ Parallel Climate Model (PCM). Το μοντέλο προσομοιώνει τις αλληλεπιδράσεις της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, της επιφάνειας της γης και τον πάγο της θάλασσας. Έχει ανάλυση περίπου 2,8°, στην ατμόσφαιρα και λιγότερο από 1° στους ωκεανούς. Το PCM έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την προσομοίωση της μεταβλητότητας του κλίματος και της κλιματικής αλλαγής σε μια ποικιλία εφαρμογών για το κλίμα του 20ού και 21ου αιώνα.

(<http://www.cgd.ucar.edu/pcm/>)



Σχήμα 8. Εκτίμηση της έντασης των θερμών επεισοδίων την περίοδο 2080 – 2099 για την Β. Αμερική (χάρτες αριστερά) και την Ευρώπη (χάρτες δεξιά). Πηγή : Meehl και Tebaldi (2004)

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας ένα κλιματικό μοντέλο προσπάθησαν, επιτυχώς τελικά, να αποδώσουν την εικόνα των θερμών αυτών επεισοδίων και να το προβάλουν στο μέλλον (2080 – 2099) με την μορφή των αποκλίσεων από την τριακονταετία 1961-1990, για δύο ευρείες περιοχές, την Β. Αμερική και την Ευρώπη. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 8 και προοιωνίζουν αύξηση της έντασης αυτών των θερμών επεισοδίων στο μέλλον.



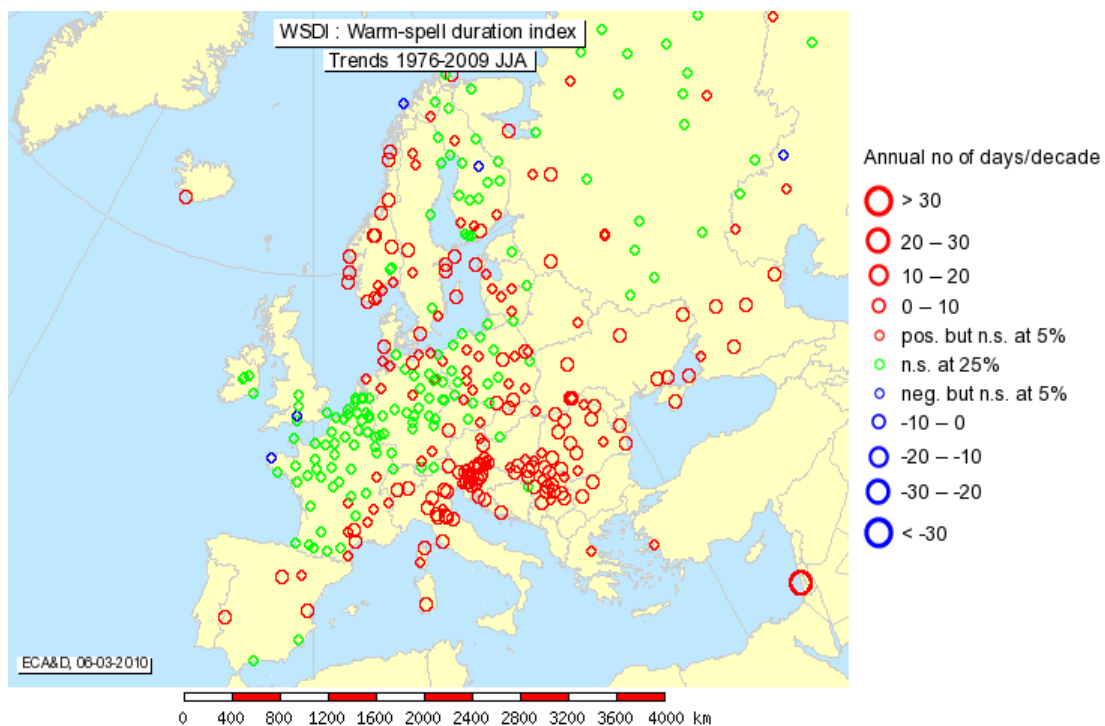
Σχήμα 9. Ευρωπαϊκές ετήσιες μέσες θερμοκρασιακές αποκλίσεις, της περιόδου 1850-2009, σε σχέση με τη μέση τιμή της περιόδου 1850-1999 (σε °C).

Πηγή : KNMI (<http://climexp.knmi.nl/>), Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον.

Ειδικότερα για την Ευρώπη, αυτή έχει θερμανθεί περισσότερο από τον παγκόσμιο μέσο όρο. Η ετήσια μέση θερμοκρασία για την ξηρά της, μέχρι το 2009, ήταν 1,3°C πάνω από τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1850 - 1899, και για το συνδυασμό ξηράς και θάλασσας 1°C πάνω. Εξετάζοντας τις ηπειρωτικές περιοχές, εννέα από τα τελευταία 12 έτη ήταν μεταξύ των θερμότερων ετών από 1850 (Σχήμα 9 - Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον).

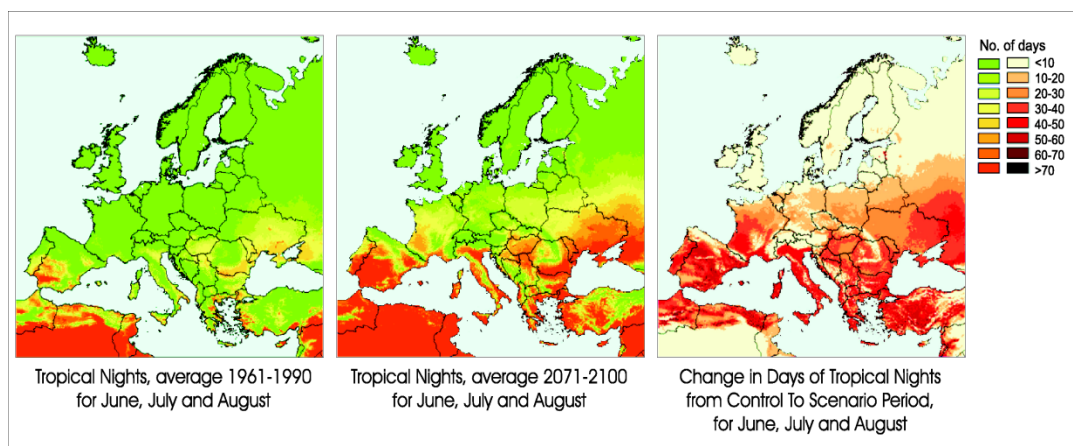
Η ετήσια μέση θερμοκρασία στην Ευρώπη προβλέπεται ότι θα αυξηθεί αυτόν τον αιώνα, με τη μεγαλύτερη θέρμανση πάνω από την ανατολική και βόρεια Ευρώπη το χειμώνα, και πάνω από τη νότια Ευρώπη το καλοκαίρι (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον).

Τα περιστατικά υψηλών θερμοκρασιών σε ολόκληρη την Ευρώπη, συμπεριλαμβανομένων των κυμάτων καύσωνα, προβλέπεται ότι θα γίνουν συχνότερα, πιο έντονα και μεγαλύτερης διάρκειας αυτό τον αιώνα, ενώ η μεταβλητότητα των χειμερινών θερμοκρασιών και ο αριθμός ακραίων περιπτώσεων χαμηλών θερμοκρασιών και παγετού προβλέπεται ότι θα μειωθούν περαιτέρω. Σύμφωνα με τα σενάρια, οι ευρωπαϊκές περιοχές, που πρόκειται να επηρεασθούν περισσότερο, είναι η χερσόνησος της Ιβηρικής και των Απεννίνων και η νοτιοανατολική Ευρώπη (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, Αστικό Περιβάλλον).



Σχήμα 10. Παρατηρηθείσες αλλαγές στους δείκτες θερμών διαστημάτων της περιόδου 1976-2009 (σε ημέρες ανά δεκαετία). Πηγή: KNMI (<http://eca.knmi.nl/ensembles>), Haylock et al., 2008.

Στο Σχήμα 10 απεικονίζεται η κατανομή του δείκτη διάρκειας θερμών διαστημάτων. Ως τέτοιος ορίζεται μια περίοδος έξι διαδοχικών ημερών με τη μέση ημερήσια θερμοκρασία να υπερβαίνει το 90° εκατοστημόριο της βασικής γραμμής της θερμοκρασίας δηλαδή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας της περιόδου 1961-1990 (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, Αστικό Περιβάλλον). Ο δείκτης αυτός είναι από ουδέτερος μέχρι θετικός στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης.



Σχήμα 11. Εκτιμώμενος αριθμός τροπικών νυχτών για την Ευρώπη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Ιούνιος-Αύγουστος) 1961-1990 και 2071-2100 (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, Αστικό Περιβάλλον).

Μία επίσης σημαντική παράμετρος για τις αστικές περιοχές είναι η αύξηση του αριθμού των «τροπικών νυχτών» δηλαδή αυτών κατά τις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 20°C. Η παράμετρος αυτή συνδέεται στενά με την υγεία του πληθυσμού δεδομένου ότι μια «τροπική νύχτα» μετά από «μια μέρα καύσωνα» μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των επιπέδων δυσφορίας των πολιτών (WWF Ελλάς, 2009). Στο Σχήμα 11 απεικονίζεται η εξέλιξη του αριθμού των «τροπικών νυχτών» στην Ευρώπη. Είναι σαφής η προβλεπόμενη αύξηση του μέσου αριθμού ημερών στην κεντρική και νότια Ευρώπη για την περίοδο 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο 1961-1990.

Η μεταβλητότητα του κλίματος είναι γνωστό χαρακτηριστικό του κλίματος και τα κύματα καύσωνα αντιπροσωπεύουν μια πλευρά αυτής της μεταβλητότητας. Με την κλιματική αλλαγή, η μεταβλητότητα του κλίματος και επομένως τα περιστατικά των κυμάτων καύσωνα είναι πιθανό να αυξηθούν (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Τα στοιχεία προκύπτουν από την ανάλυση των μακροπρόθεσμων κλιματικών αρχείων, που αναφέρονται σε αύξηση της συχνότητας και της διάρκειας των περιστατικών ακραίων θερμοκρασιών. Επιπροσθέτως, οι μελέτες διαμόρφωσης της κλιματικής αλλαγής, με τη χρήση των περιοχικών κλιματικών μοντέλων δείχνουν ότι καλοκαίρια όπως αυτό, που έζησε ολόκληρη η Ευρώπη το 2003, με τις καταστρεπτικές συνέπειες, μπο-

ρούν πολύ καλά να είναι αντιπροσωπευτικά αυτού, που το μέλλον επιφυλάσσει για την Ευρωπαϊκή κοινωνία στο τελευταίο μέρος του 21ου αιώνα.

Γενικά η κοινωνία βρίσκεται αντιμέτωπη όχι μόνο με την τρέχουσα μεταβλητότητα του κλίματος, αλλά και με την εξεύρεση τρόπων προσαρμογής σε ένα κλίμα με ενδεχομένως διαφορετικής μορφής κύματα καύσωνα (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Για την προσαρμογή στα νέα κύματα καύσωνα του μέλλοντος, πρέπει να εξεταστεί μια σειρά επιλογών, βραχυπρόθεσμων, μεσοπρόθεσμων, μακροπρόθεσμων. Μεταξύ μιας σειράς πιθανών μέσων προσαρμογής είναι και η ανάπτυξη συστημάτων προειδοποίησης (Heat Health Warning Systems - HHWS). Η εφαρμογή τους, που βασίζεται σε ένα συνδυασμό προγνώσεων 3 έως 10 ημερών οι οποίες αφορούν ασυνήθιστα θερμό καιρό και ενός αποτελεσματικού συνόλου στρατηγικών επέμβασης για την αντιμετώπισή τους, είναι ένας τρόπος με τον οποίο η κοινωνία μπορεί να αναμετρηθεί με τις προκλήσεις που τίθενται από τα τυπικά κύματα καύσωνα, αλλά και μιας διαφορετικής μορφής των κυμάτων αυτών στο μέλλον (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

1.3 Η αύξηση της τρωτότητας του πληθυσμού

Η αντοχή σε ένα κύμα καύσωνα εξαρτάται από τα προσωπικά χαρακτηριστικά του καθενός, όπως η ηλικία, η φυσική κατάσταση, το γένος, ο εγκλιματισμός, ο σωματότυπος και το βάρος (Havenith, G., 2005). Από αυτά τα πλέον σημαντικά είναι η ηλικία και η φυσική κατάσταση και συχνά είναι αλληλένδετα. Μεγάλη ηλικία και/ή κακή φυσική κατάσταση σημαίνουν κακό καρδιαγγειακό σύστημα, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα μειωμένη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

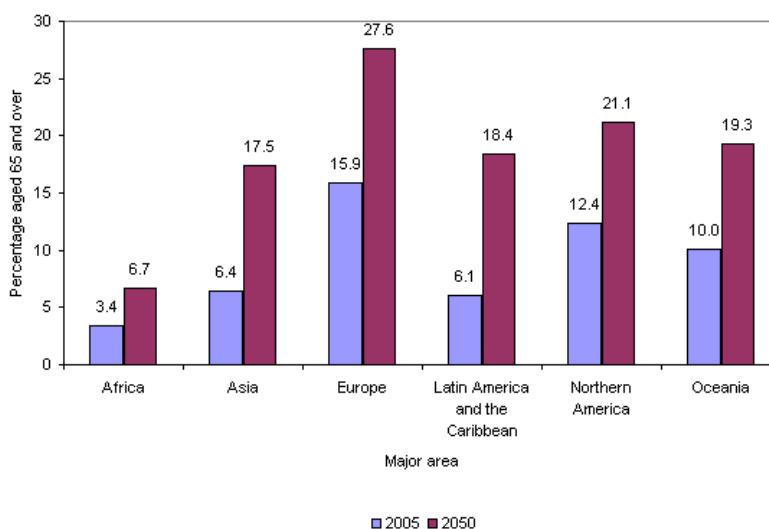
Οι ηλικιωμένοι λοιπόν είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στα κύματα καύσωνα, καθώς ήδη μπορεί να υποφέρουν από καρδιαγγειακά νοσήματα, τα οποία η ζέστη επιδεινώνει (Red Cross- Red Crescent, 2004) .

Αυτό έδειξαν και τα στοιχεία στο κύμα καύσωνα που έπληξε τη Γαλλία το καλοκαίρι του 2003. Με βάση αυτά επηρεάστηκαν πρωτίστως όσοι ήταν άνω των 75 ετών αποτε-

λώντας το 70% των καταγραφέντων θανάτων, ενώ οι ηλικίες από 45 μέχρι 74 το 30% (Red Cross- Red Crescent, 2004), (Canoui-Poitaine F. et al,2006) (Πίνακας 2).

Πίνακας 2. Ηλικία και Θνησιμότητα σε επεισόδια καύσωνα	
Ηλικία	Αύξηση Θνησιμότητας
45 - 74 έτη	20 %
75 - 94 έτη	70 %
πάνω από 94 έτη	120 %
Πηγή: Munich Re Foundation	

Ένας γηράσκων λοιπόν πληθυσμός, όπως προκύπτει από στοιχεία των Ηνωμένων Εθνών, είναι ένας ιδιαίτερα ευάλωτος πληθυσμός. Στο Σχήμα 12 απεικονίζεται η προβλεπόμενη μέχρι το 2050 δημογραφική έκρηξη του πληθυσμού ηλικίας άνω των 65 ετών. Με βάση τον πληθυσμό του 2005, ο πληθυσμός αυτός σχεδόν θα τριπλασιαστεί στην Ασία και τις χώρες της Λατινικής Αμερικής και θα διπλασιαστεί στις υπόλοιπες περιοχές.



Σχήμα 12. Η δημογραφική έκρηξη του πληθυσμού άνω των 65 ετών. Πηγή: Ηνωμένα Έθνη - Πρόγραμμα γήρανσης του πληθυσμού (UN - The Ageing of the World's Population).

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά το έτος 2050 πάνω από το $\frac{1}{4}$ του πληθυσμού της Ευρώπης θα είναι ηλικίας άνω των 65 ετών, το μεγαλύτερο ποσοστό παγκοσμίως. Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται η κατανομή του πληθυσμού παγκοσμίως κατά περιοχές και ηλικιακές ομάδες, το 2010 και το 2050 (UN - Economic & Social Affairs). Έτσι, σε παγκόσμιο επίπεδο, τα 759 εκατ. πληθυσμού άνω των 65 ετών κατά το 2010, προβλέπεται να ξεπεράσουν τα δύο δισεκατομμύρια το 2050.

Η πληθυσμιακή ομάδα με ηλικία άνω των 60 ετών είναι αυτή που παγκοσμίως αυξάνει με τον ταχύτερο ρυθμό. Στις πλέον αναπτυγμένες χώρες ο πληθυσμός ηλικίας 60 και άνω αυξάνει με ρυθμό μεγαλύτερο από ποτέ (1,9% ετησίως) και προβλέπεται να αυξηθεί περισσότερο από 50% τις επόμενες τέσσερις δεκαετίες, ανεβαίνοντας από 264 εκατομμύρια το 2009 σε 416 εκατομμύρια το 2050. Οι αντίστοιχοι αριθμοί για τις λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές είναι από 475 εκατομμύρια το 2009 σε 1,6 δισεκατομμύρια το 2050 (UN - Economic & Social Affairs).

Στην αύξηση της τρωτότητας του πληθυσμού όμως, σημαντικά συμβάλλει το γεγονός, ότι ο γηράσκων αυτός πληθυσμός σε μεγάλο βαθμό είναι αστικός πληθυσμός, αφού με βάση τα στοιχεία της 2^{ης} Παγκόσμιας Ολομέλειας για τη Γήρανση του πληθυσμού, που έλαβε χώρα στη Μαδρίτη το 2002, σχεδόν το ήμισυ του ηλικιωμένου πληθυσμού της γης κατοικεί σε αστικές περιοχές, με το ποσοστό αυτό να κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 38% στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες μέχρι 70% στις περισσότερες αναπτυγμένες (UN - The Ageing of the World's Population).

Το στοιχείο αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς οι καύσωνες αποτελούν πρωτίστως αστική καταστροφή, τόσο λόγω ενός πλήθους κοινωνικοοικονομικών παραγόντων, όσο και λόγω του φαινομένου της «αστικής θερμικής νησίδας», δηλαδή της, λόγω της πυκνής δόμησης, παρατηρούμενης υψηλότερης θερμοκρασίας στις αστικές περιοχές σε σχέση με το περιαστικό περιβάλλον. Λόγω αυτού του φαινομένου η θερμοκρασία στα αστικά κέντρα μπορεί να είναι έως 5-6°C υψηλότερη από τις περιοχές της υπαίθρου (Red Cross- Red Crescent, 2004) .

Σχήμα 13. Κατανομή του πληθυσμού παγκοσμίως κατά περιοχές και ηλικιακές ομάδες, 2010 και 2050.

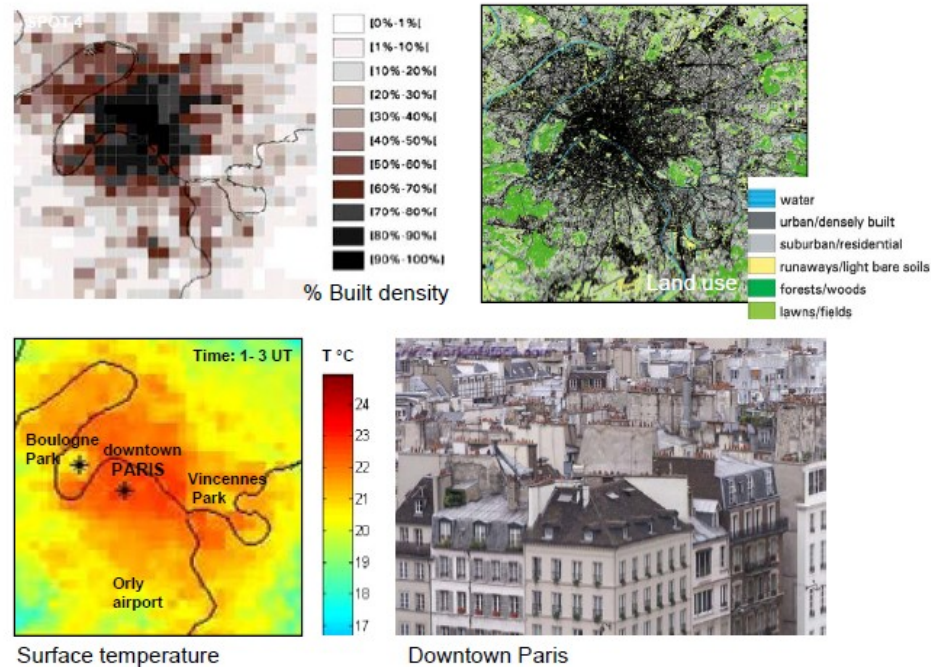
Πηγή : Η.Ε. (UN - Economic & Social Affairs).

TABLE I.6. DISTRIBUTION OF THE POPULATION OF THE WORLD AND MAJOR AREAS BY BROAD AGE GROUPS, 2010 AND 2050
(MEDIUM VARIANT)

Major area	Population in 2010 (millions)					Total	Population in 2050 (millions)					Total
	0-14	15-24	25-59	60+	80+		0-14	15-24	25-59	60+	80+	
World.....	1 862	1 218	3 070	759	106	6 909	1 797	1 209	4 136	2 008	395	9 150
More developed regions.....	204	159	605	269	53	1 237	197	134	528	416	121	1 275
Less developed regions.....	1 657	1 059	2 465	490	52	5 671	1 601	1 074	3 607	1 592	274	7 875
Least developed countries.....	341	173	297	44	3	855	452	288	747	185	18	1 672
Other less developed countries.....	1 316	887	2 168	446	49	4 817	1 149	786	2 860	1 407	256	6 202
Africa.....	416	209	353	55	4	1 033	546	348	892	213	21	1 998
Asia.....	1 092	756	1 906	414	47	4 167	937	645	2 413	1 236	228	5 231
Europe.....	113	93	366	161	31	733	104	70	281	236	66	691
Latin America and the Caribbean.....	163	105	261	59	9	589	124	87	331	186	40	729
Northern America.....	70	49	168	65	13	352	76	52	196	125	36	448
Oceania.....	9	5	16	6	1	36	10	7	23	12	3	51
Percentage distribution by age group												
World.....	27	18	44	11	2	100	20	13	45	22	4	100
More developed regions.....	17	13	49	22	4	100	15	11	41	33	9	100
Less developed regions.....	29	19	43	9	1	100	20	14	46	20	3	100
Least developed countries.....	40	20	35	5	0	100	27	17	45	11	1	100
Other less developed countries.....	27	18	45	9	1	100	19	13	46	23	4	100
Africa.....	40	20	34	5	0	100	27	17	45	11	1	100
Asia.....	26	18	46	10	1	100	18	12	46	24	4	100
Europe.....	15	13	50	22	4	100	15	10	41	34	10	100
Latin America and the Caribbean.....	28	18	44	10	1	100	17	12	45	26	5	100
Northern America.....	20	14	48	18	4	100	17	12	44	28	8	100
Oceania.....	24	15	45	15	3	100	19	13	44	24	7	100

Source: Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat (2009). *World Population Prospects: The 2008 Revision*. New York: United Nations.
NOTE: Refers only to countries or areas with 100,000 persons or more in 2009.

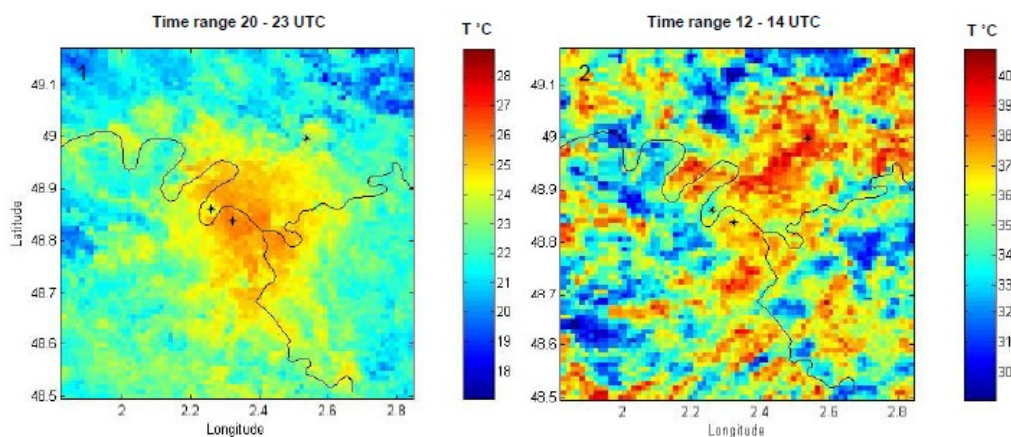
Η εικόνα 1 παρουσιάζει συνδυαστικά την πυκνότητα δόμησης και την κατανομή της επιφανειακής θερμοκρασίας στο Παρίσι, την περίοδο 4-13 Αυγούστου 2003 (φονικό κύμα καύσωνα). Η θερμοκρασία στο κέντρο της πόλης είναι ευκρινώς υψηλότερη από τις γύρω λιγότερο αστικοποιημένες περιοχές.



Εικόνα 1. Αστική θερμική νησίδα. Παρίσι 4-13 Αυγούστου 2003, Πυκνότητα δόμησης, χρήση γης και θερμοκρασία. Πηγή: B. Dousset ESA: user consultation meeting, Athens 8 June 2007.

Το σημαντικότερο ίσως στοιχείο της θερμικής αστικής νησίδας είναι η διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η δορυφορική θερμογραφία της εικόνας 2 απεικονίζει την θερμική νησίδα στο κέντρο του Παρισιού κατά τη διάρκεια της νύχτας (4-13 Αυγούστου 2003), ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται διασκορπισμένοι θύλακες θερμότητας και στα προάστια.

Αν λοιπόν θεωρηθεί η έκθεση στον κίνδυνο, ως παράγοντας τρωτότητας (Σαπουντζάκη Κ., 2007), τότε οι κάτοικοι των αστικών περιοχών είναι περισσότερο εκτεθειμένοι σε σχέση με τους κατοίκους της υπαίθρου.



Εικόνα 2. Παρίσι 4-13 Αυγούστου 2003, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, την νύχτα (αριστερά) και την ημέρα(δεξιά). Πηγή: B. Dousset ESA: user consultation meeting, Athens 8 June 2007.

Μπορεί μόνο το 0,2% της επιφάνειας της γης να καλύπτεται από αστικές περιοχές, αλλά το 47% του πληθυσμού της κατοικεί σε αστικές περιοχές και το ποσοστό αυτό αυξάνεται ταχύτατα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Μέχρι το 2025, ο πληθυσμός των πόλεων πιθανώς να αυξηθεί στο 60% του συνολικού πληθυσμού (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Για πρώτη φορά στην ανθρώπινη ιστορία στις μικρές και μεγάλες πόλεις κατοικούν περισσότεροι άνθρωποι απ' ότι στις αγροτικές περιοχές. Η Ευρώπη είναι μια από τις πλέον αστικοποιημένες ηπείρους. Περίπου το 75% του ευρωπαϊκού πληθυσμού κατοικεί σε αστικές περιοχές, ποσοστό που έως το 2020 θα ανέλθει στο 80% (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον).

Η πλέον αποδεκτή από τους γεωγράφους απόδοση της έννοιας του κινδύνου είναι αυτή του Keith Smith (1998) καθηγητή των Επιστημών του Περιβάλλοντος στο Πανεπιστήμιο του Stirling «Κίνδυνος είναι ο συνδυασμός της πιθανότητας εκδήλωσης μιας απειλής με τις απώλειες που συνεπάγεται για τα στοιχεία που ενσωματώνουν ανθρώπινη αξία, λόγω της ποικιλότροπης έκθεσής τους σε αυτή την απειλή» (Σαπουντζάκη Κ., 2007).

Με βάση λοιπόν αυτόν τον ορισμό και με δεδομένη τόσο την αύξηση της πιθανότητας εκδήλωσης καυσώνων στο μέλλον, όσο και της ευαισθησίας του πληθυσμού απέναντι σε αυτούς, αποτελεί βεβαιότητα η μελλοντική αύξηση του εξ αυτών κινδύνου.

Οποιαδήποτε προσπάθεια να μετριασθούν τα αποτελέσματα ενός κύματος καύσωνα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό των μετεωρολογικών συνθηκών που μπορεί πιθανότατα να οδηγήσουν σε μια δυσάρεστη αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού. Έτσι απαιτείται η εφαρμογή, αφενός συστημάτων προειδοποίησης, τα οποία θα εντοπίζουν αυτές τις μετεωρολογικές συνθήκες, και αφετέρου ενός σχεδίου μετριασμού των επιπτώσεων για την προστασία του (Sheridan and Kalkstein, 2004).

Η σελίδα αυτή είναι κενή

Κεφάλαιο 2: Οι καύσωνες και οι εφαρμοζόμενες πρακτικές για έγκαιρες προειδοποιήσεις

2.1 Ορισμοί

Καύσωνας

Ακόμη και στην πιο πρόσφατη προσπάθεια για οργάνωση, συστηματοποίηση και αξιοποίηση όλης της διαθέσιμης γνώσης και εμπειρίας, σε θέματα που αφορούν τους καύσωνες και τα συστήματα προειδοποίησης για τους εξ αυτών κινδύνους, δηλαδή στον οδηγό που ετοιμάζεται να δημοσιοποιήσουν από κοινού ο WMO και ο WHO “Heat Waves and Health: Guidance on Warning System Development”, υπάρχει η παραδοχή έλλειψης ενός γενικά αποδεκτού ορισμού του καύσωνα. Συγκεκριμένα αναφέρεται, ότι “αν και δεν υπάρχει κανένας παγκοσμίως αποδεκτός ορισμός των κυμάτων καύσωνα, αυτά γίνονται αντιληπτά σαν περίοδοι ασυνήθιστα θερμού (ξηρού ή υγρού) καιρού με ύπουλη έναρξη και λήξη, διάρκειας τουλάχιστον 2-3 ημερών με έναν σημαντικό αντίκτυπο στα ανθρώπινα και φυσικά συστήματα, όπως καταδεικνύεται σαφώς από διάφορα καταστρεπτικά γεγονότα κυμάτων καύσωνα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών” (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Παρατίθενται παρακάτω ορισμένες από τις προσπάθειες προσέγγισης του ορισμού, που έχουν γίνει κατά καιρούς.

Σύμφωνα με τους Meehl και Tebaldi (2004) «Δεν υπάρχει κανένας διεθνής ορισμός ενός κύματος καύσωνα, αλλά ακραία γεγονότα, που συνδέονται με ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες, που εμφανίζουν εμμονή, είναι γνωστό ότι έχουν αξιοσημείωτες επιπτώσεις στην ανθρώπινη θνησιμότητα, την οικονομία, και τα οικοσυστήματα».

Η FEMA (Federal Emergency Management Agency part of the U.S. Department of Homeland Security) ορίζει σαν καύσωνα (Heat Wave) μία παρατεταμένη περίοδο υπερβολικής (excessive) θερμοκρασίας, που συχνά συνδυάζεται με υπερβολική υγρασία.

Όμοια ο Robinson παρατηρεί, ότι δεν υπάρχει συγκεκριμένος ορισμός του καύσωνα και ότι οι υπάρχοντες ορισμοί αναφέρονται γενικά σε μια καθορισμένη χρονική περίοδο, κατά τη διάρκεια της οποίας, η θερμοκρασία του αέρα είναι πάνω από ένα κατώτατο όριο (κατώφλι) (Pascal M. et al, 2004). Αυτό το κατώτατο όριο ποικίλλει γεωγραφικά (Pascal M. et al, 2004), (Commission for Climatology Expert Team on Climate and

Health, 2010), καθώς η ευπάθεια του πληθυσμού εξαρτάται από το τοπικό κλίμα, και ο αντίκτυπος των κυμάτων θερμότητας φαίνεται να είναι υψηλότερος στις κρύες και εύκρατες περιοχές, από ότι στις θερμές. Για παράδειγμα, τα βιολογικά κατώτατα όρια ποικίλουν από 41°C στην Ανδαλουσία (Diaz et al., 2002 a, b), σε 27,5°C στο Βέλγιο (Sartor et al., 1995). Από μελέτη του Robinson για τις Ηνωμένες Πολιτείες προέκυψε ο παρακάτω πίνακας (Εικόνα 3) στον οποίο ορίζονται με σαφήνεια τα κύματα καύσωνα (Robinson, 2001).

Heat wave. A period of at least 48 h during which neither the overnight low nor the daytime heat index H_i falls below the NWS heat stress thresholds (80°F and 105°F). At stations where more than 1% of both the high and low H_i observations exceed these thresholds, the 1% values are used as the heat wave thresholds.

Intense heat wave. A period of at least 36 h during which the daytime high exceeds the high threshold for a heat wave by more than 10°F, the overnight low exceeding the low threshold for a heat wave.

Hot spell. A period of at least 48 h during which both the overnight low and daytime high H_i have values exceeding those observed 1% of the time at the station, but where conditions fail to meet the criteria for a heat wave. For stations at which the 1% values exceed the NWS heat stress criteria, a hot spell is defined as an event with values falling above the NWS criteria but below the 1% values.

Warm spell. A period of at least 48 h during which the daytime high H_i exceeds 80°F and both the overnight low and daytime high heat index have values exceeding those observed 2% of the time at the station, but where conditions fail to meet the criteria for a hot spell. For stations at which the 2% values exceed the NWS heat stress criteria, the NWS values are the minima for a warm spell, and the 2% values are the minima for a hot spell.

Extended events occur when the required conditions persist for 96 h or more.

Εικόνα 3. Ορισμοί θερμών επεισοδίων και σχετικών γεγονότων. Robinson, P. J. (2001)

Στο λεξικό της AMS (American Meteorological Society) ως κύμα καύσωνα (heat wave ή hot wave ή warm wave.) αναφέρεται μια περίοδος ανώμαλα και δυσάρεστα ζεστού και συνήθως υγρού καιρού. Για να χαρακτηριστεί «κύμα καύσωνα» μια τέτοια περίοδος, πρέπει να διαρκέσει τουλάχιστον μια ημέρα, αλλά συμβατικά διαρκεί από αρκετές ημέρες μέχρι αρκετές εβδομάδες. Το 1900, ο A. T. Burrows όρισε πιο ξεκάθαρα ένα "hot wave " ως μια περίοδο τριών ή περισσότερων ημερών, σε κάθε μια από τις οποίες, η μέγιστη υπό σκιάν θερμοκρασία φθάνει ή υπερβαίνει τους 90°F (32,2°C). Στην πραγματικότητα, τα κριτήρια ευεξίας για οποιαδήποτε περιοχή, εξαρτώνται από τις κανονικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής (AMS - Glossary).

Στον πίνακα της εικόνας 4 ορίζονται κάποιοι δείκτες για τον έλεγχο των αλλαγών στα κλιματικά ακραία παγκοσμίως. Μεταξύ αυτών υπάρχει ο Heat wave duration index (HWDI), ο οποίος ορίζεται ως: μέγιστη περίοδος που είναι μεγαλύτερη από πέντε συνεχείς ημέρες, κατά τις οποίες η μέγιστη θερμοκρασία υπερβαίνει τις κανονικές ημερήσιες μέγιστες της περιόδου 1961-1900 κατά 5°C.

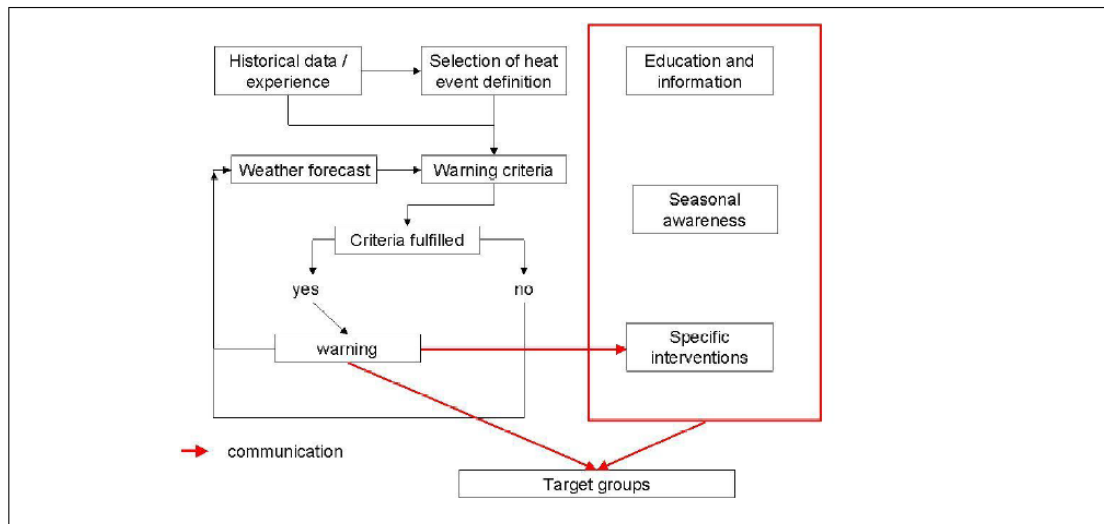
Indicator	Definition	Unit
125	Fd	Total number of frost days (days with absolute minimum temperature $<0^{\circ}\text{C}$)
141	ETR	Intra-annual extreme temperature range: difference between the highest temperature observation of any given calendar year (T_h) and the lowest temperature reading of the same calendar year (T_l)
143	GSL	Growing season length: period between when $T_{\text{day}} > 5^{\circ}\text{C}$ for >5 d and $T_{\text{day}} < 5^{\circ}\text{C}$ for >5 d
144	HWDI	Heat wave duration index: maximum period > 5 consecutive days with $T_{\text{max}} > 5^{\circ}\text{C}$ above the 1961–1990 daily T_{max} normal
194	Tn90	Percent of time $T_{\text{min}} > 90$ th percentile of daily minimum temperature
606	R10	No. of days with precipitation ≥ 10 mm d^{-1}
641	CDD	Maximum number of consecutive dry days ($R_{\text{day}} < 1$ mm)
644	R5d	Maximum 5 d precipitation total
646	SDII	Simple daily intensity index: annual total/number of $R_{\text{day}} \geq 1$ mm d^{-1}
695	R95T	Fraction of annual total precipitation due to events exceeding the 1961–1990 95th percentile

Εικόνα 4. Δέκα προτεινόμενοι δείκτες για τον έλεγχο των ακραίων κλιματικών γεγονότων (Frich et al. 2002)

Στην προκειμένη περίπτωση έμμεσα προκύπτει, ότι κάποια ημέρα μπορεί να χαρακτηριστεί ως ημέρα καύσωνα, όταν η μέγιστη θερμοκρασία της υπερβαίνει κατά πέντε βαθμούς Κελσίου, την κανονική μέση μέγιστη της περιόδου 1961-1990 (Frich et al., 2002).

Συστήματα προειδοποίησης για υψηλές θερμοκρασίες που ενέχουν κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Heat-Health Warning Systems, HHWSs)

Με αφορμή την διογκούμενη ανησυχία για την παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, καθώς και δραματικά γεγονότα κυμάτων καύσωνα του παρελθόντος, σε πολλές χώρες παγκοσμίως έχουν αναπτυχθεί συνεργασίες μεταξύ των μετεωρολογικών υπηρεσιών, των υπηρεσιών πολιτικής προστασίας, και των αρχών δημόσιας υγείας, με σκοπό την ενημέρωση των πολιτών για την προστασία τους από τους κινδύνους των καυσώνων. Σημαντική συνιστώσα αυτού του είδους των σχεδιασμών αποτελούν οι προειδοποιήσεις για την εφαρμογή μέτρων έκτακτης ανάγκης, όταν οι προβλεπόμενες υψηλές θερμοκρασίες αναμένεται να έχουν επιπτώσεις στην υγεία του συνόλου ή μέρους των κατοίκων μιας πόλης ή μιας περιοχής. Γενικά τέτοιες πρωτοβουλίες καλούνται Heat-Health Warning Systems (HHWSs) (Hajat et al, 2010) .



Σχήμα 14. Διάγραμμα ροής που καταδεικνύει τη λειτουργία ενός τυπικού HHWS στα πλαίσια ενός ευρύτερου σχεδίου αντιμετώπισης των υψηλών θερμοκρασιών (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Η ανάπτυξη ενός HHWS συμπεριλαμβάνει έναν αριθμό βημάτων, μεταξύ των οποίων, ακριβή πρόγνωση καιρού, επαγρύπνηση και διασπορά της προειδοποίησης, εντοπισμό των ευάλωτων πληθυσμιακών ομάδων, συνεργασία με τους συμμετόχους (stakeholders), εφαρμογή μιας διαδικασίας μετριασμού των επιπτώσεων και έλεγχο της αποτελεσματικότητας (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Στο Σχήμα 14 απεικονίζεται ένα διάγραμμα ροής, που καταδεικνύει τη λειτουργία ενός τυπικού HHWS, στο πλαίσιο ενός ευρύτερου σχεδίου αντιμετώπισης των υψηλών θερμοκρασιών. Σ' αυτό χρησιμοποιούνται ιστορικά δεδομένα και συσσωρευμένη εμπειρία για τον εντοπισμό ενός πιθανώς επικίνδυνου θερμικού επεισοδίου. Χρησιμοποιώντας κατόπιν μια ακριβή πρόγνωση καιρού, ελέγχεται το αν πληρούνται τα κριτήρια, που έχουν θεσπισθεί για να κηρυχθεί συναγερμός. Αν αυτό συμβεί ενεργοποιούνται μια σειρά ειδικών επεμβάσεων που στοχεύουν στην προστασία του πληθυσμού και κυρίως των ευάλωτων ομάδων. Οι επεμβάσεις αυτές είναι στα πλαίσια ενός ευρύτερου σχεδίου δράσεων, που περιλαμβάνει την εκπαίδευση, πληροφόρηση και ενημέρωση του κοινού και στο οποίο η επικοινωνία παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο.

2.2 Ιστορικοί καύσωνες

Στην αναλυτική έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (EEA Technical Report 13/2010) (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον) καταγράφονται τα αποτελέσματα των επικίνδυνων φυσικών καταστροφών από το 1998 έως το 2009.

Μερικά από τα φαινόμενα αυτά ήταν πρωτοφανή, όπως ο καύσωνας της κεντρικής Ευρώπης το καλοκαίρι του 2003, προκαλώντας 70.000 θανάτους, ιδίως ηλικιωμένων (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η έκθεση αυτή δεν περιλαμβάνει το 2010, που η Ευρώπη βίωσε τον καύσωνα με τις τεράστιες καταστροφές στη Ρωσία.

Στην ίδια έκθεση αναφέρεται ότι, αν και οι ακραίες θερμοκρασίες αποτελούν μέρος της κανονικής διαχρονικής μεταβολής του κλίματος, η συχνότητα εμφάνισης και η έντασή τους έχουν αυξηθεί, ενώ έχει υπολογιστεί ότι η θνησιμότητα αυξάνεται από 1% μέχρι 4% για κάθε ένα βαθμό Κελσίου, που το θερμόμετρο ξεπερνά την τιμή της θερμοκρασίας, η οποία έχει καθορισθεί σαν όριο (threshold), μιας συγκεκριμένης περιοχής (Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον). Στον Πίνακα 3, για την δεκαετία 1998 – 2009, οι ακραίες θερμοκρασίες έχουν τον πρώτο λόγο σαν αιτία θνησιμότητας, με 77.551 θανάτους, εκ των οποίων μόνο 1700 αποδίδονται σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Τα τελευταία χρόνια δημιουργήθηκε η ανάγκη τήρησης συστηματικών αρχείων δεδομένων, που αφορούν φυσικές καταστροφές. Η, από το 1988, υφιστάμενη βάση δεδομένων EM-DAT υποστηρίχτηκε από τον WHO και άλλες υπηρεσίες και οργανισμούς, για να αποτελέσει στο μέλλον μία αξιόπιστη και πλήρη βάση καταγραφής των φυσικών (και όχι μόνο) καταστροφών, καθώς και των αποτελεσμάτων τους.

Πίνακας 3. Οι μεγαλύτερες φυσικές καταστροφές στην Ευρώπη την περίοδο 1998 – 2009 και οι εξ αυτών ανθρώπινες απώλειες.

Φυσικές Καταστροφές	Θάνατοι
Καταιγίδες	729
Ακραίες Θερμοκρασίες	77.551
Δασικές Πυρκαγιές	191
Ξηρασίες	-
Πλημμύρες	1126
Χιονοστιβάδες	130
Κατολισθήσεις	212
Σεισμοί	18.864
Ηφαίστεια	-
Σύνολο	98.803
Πηγή: Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος Technical Report 13/2010	

Στο Παράρτημα Α υπάρχει πίνακας με τα καταγραφέντα, από την EM-DAT, περιστατικά κυμάτων καύσωνα, ανά περιοχή, για το διάστημα 2000-2007, η οποία αποτελεί και την πρώτη, μάλλον, προσπάθεια συστηματικής καταγραφής γεγονότων αυτής της μορφής.

Οι υφιστάμενες, μέχρι τώρα, καταγραφές αφορούν κυρίως ανεξάρτητες κρατικές προσπάθειες ή ερευνητικές δραστηριότητες. Στο γεγονός αυτό συνέβαλε και το ότι οι καύσωνες αποτελούσαν γεγονότα χαμηλής πολιτικής, αφού υπάρχει σημαντική δυσκολία ακόμα και στην καταγραφή των θανάτων, που οφείλονται σε αυτούς. Επομένως η αναζήτηση πλήρους ιστορικού αρχείου είναι δύσκολη και οι όποιες καταγραφές ελλειπείς. Η παρακάτω καταγραφή είναι ενδεικτική και περιλαμβάνει περιστατικά, τα οποία αλιεύτηκαν από τον τύπο, το διαδίκτυο ή παρέπεμψαν σε αυτά ερευνητικές δημοσιεύσεις.

Η Αυστραλία, σύμφωνα με τα αναγραφόμενα στην ιστοσελίδα της Υπηρεσίας Διαχείρισης Εκτάκτων Καταστάσεων, έχει μακρά παράδοση με τους καύσωνες, ο χειρότερος των οποίων σημειώθηκε το 1939 με 438 καταγεγραμμένους θανάτους. Οι περιοχές που επλήγησαν ήταν η νότια Αυστραλία (Βικτώρια και η Νέα Νότια Ουαλία). Στον Πίνακα 4 παρέχεται μία καταγραφή των κυμάτων καύσωνα και των θανάτων, που σχετίζονται με αυτούς (Australian Government – Emergency Management).

Πίνακας 4. Ιστορική καταγραφή των κυμάτων καύσωνα στην Αυστραλία .

Ημερομηνία	Θάνατοι
Ιανουάριος 1896	437
Ιανουάριος 1908	246
Φεβρουάριος 1921	147
Ιανουάριος 1927	130
Ιανουάριος 1939	438
Φεβρουάριος 1959	105
Ιανουάριος 1973	26
Φεβρουάριος 1981	15
Φεβρουάριος 1993	17
Φεβρουάριος 2004	12
Πηγή: Australian Government – Emergency Management	

Από τα πλέον πρόσφατα περιστατικά καύσωνα στην Αυστραλία είναι αυτό του Ιανουαρίου του 2009, κατά τον οποίο επί τρεις ημέρες η μέγιστη θερμοκρασία διατηρήθηκε πάνω από 43°C (στις 30 Ιανουαρίου έφτασε τους 44,2 βαθμούς) και ο οποίος χαρακτηρίστηκε ως ο πλέον σοβαρός από τα μέσα της δεκαετίας του 1880, που υπάρχουν για την περιοχή δεδομένα (ABC News, 30-01-2009).

Η Αυστραλιανή Υπηρεσία Διαχείρισης Εκτάκτων Καταστάσεων (Australian Government – Emergency Management) στο αρχείο της έχει καταγραφές και για καύσωνες στην Ινδία. Σύμφωνα λοιπόν με αυτές, τον Μάιο του 2003 υψηλές θερμοκρασίες, 45 με 49°C, ευθύνονται για 1600 θανάτους σε ολόκληρη τη χώρα αυτή. Τον Μάιο του 2006, με θερμοκρασία 44,5 βαθμών Κελσίου, στο Νέο Δελχί σημειώθηκαν 53 θάνατοι. Ο Akhtar (2007), σε σχετική εργασία του, παραθέτει τον πίνακα του Σχήματος 15, ο οποίος περιέχει τον αριθμό θανάτων ανά έτος που αποδίδονται σε επεισόδια καύσωνα, για την περίοδο από το 1979 μέχρι και το 2004. Συνολικά για την περίοδο αυτή 7633 θάνατοι έχουν αποδοθεί σε κύματα καύσωνα. Από τον πίνακα αυτό προκύπτει ότι τα επεισόδια του 1998 και του 2003 είναι τα επεισόδια με την, μακράν υψηλότερη όλων, θνησιμότητα.

Heat wave deaths in India (1979-2004).	
Year	Number of Deaths
1979	365
1980	106
1981	63
1982	11
1983	185
1984	58
1985	141
1986	155
1987	90
1988	924
1989	43
1990	2
1991	250
1992	114
1993	73
1994	234
1995	410
1996	17
1997	21
1998	1,658
1999	126
2000	55
2001	70
2002	806
2003	1,539
2004	117

Source: De and Mukhopadhyay (1998), updated and corrected by the author with the help of IMD Annual Reports on Disastrous Weather Events.

Σχήμα 15. Αριθμός θανάτων ανά έτος στην Ινδία για το διάστημα 1979-2004 που αποδίδονται σε κύματα καύσωνα. Πηγή: Akhtar (2007)

Σε μια προσπάθεια καταγραφής των σημαντικών ακραίων καιρικών γεγονότων, που επίσης αφορούν την Ινδία τα τελευταία 100 χρόνια, οι Dube et al. (2005), αναφέρονται σε έναν καύσωνα του 1926 (10 με 16 Ιουνίου), ο οποίος είχε χαρακτηριστεί πολύ έντο-

νος. Συσχέτισαν επίσης τον καύσωνα του 1998, στον οποίο αποδόθηκε σημαντικός αριθμός θανάτων, με το φαινόμενο El Nino του 1997.

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, σε ένα καύσωνα του 1901 αποδίδονται 9508 θάνατοι. Επίσης, σημαντικοί καύσωνες εκδηλώθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930, στους οποίους αποδίδονται ανθρώπινες απώλειες, που φθάνουν τις 15000 (Australian Government – Emergency Management). Η περίοδος 1930-36 έμεινε γνωστή στην ιστορία ως "Dust Bowl" και τότε παρατηρήθηκαν μερικά από τα θερμότερα καλοκαίρια στις Ηνωμένες Πολιτείες. Στην ανώτερη κοιλάδα του ποταμού Μισισσιπή, τις πρώτες εβδομάδες του Ιουλίου του 1936 καταγράφηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες εκείνης της περιόδου, και σημειώθηκαν πολλά ρεκόρ. Το διάστημα αυτών των καυτών, ξηρών ημερών αποδείχθηκε επίσης θανάσιμο. Σε εθνικό επίπεδο, περίπου 5000 θάνατοι συνδέθηκαν με το θερμικό αυτό κύμα (NOAA "The heat wave 1936"), .

Στην περιοχή του Los Angeles έχει καταγραφεί ότι ο καύσωνας του 1939 είχε 546 θανάτους και του 1955 και 1963 αντίστοιχα 946 και 580 θανάτους. Επίσης οι Kalkstein και Corrigan (1986) αναφέρουν ότι ο καύσωνας του 1963 κόστισε στις ανατολικές πολιτείες περισσότερους από 4.600 θανάτους. Σύμφωνα με τον National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) στον καύσωνα του 1980 αποδίδονται 1327 θάνατοι, ενώ, το ίδιο επεισόδιο κατά τον Adams (1997) έγινε αιτία να χαθούν τουλάχιστον 1700 ζωές. Από δημοσιεύματα στον τύπο προκύπτει ότι και το καλοκαίρι του 1983, τουλάχιστον 123 άτομα σε εθνικό επίπεδο έχασαν την ζωή τους, εξ αιτίας ενός επεισοδίου καύσωνα, με τα περισσότερα από αυτά στην περιοχή του St. Louis (U.S. The New York Times, 24/7/1983).

Σταθμό όμως αποτέλεσε το κύμα καύσωνα στο Σικάγο τον Ιούλιο του 1995, αφού πέρα από το ότι συνδέθηκε άμεσα με το θάνατο περισσότερων των 500 ανθρώπων (Dematte et al., 1998), ήταν μία περίπτωση που μελετήθηκε διεξοδικά από πολλές συσχετιζόμενες ειδικότητες επιστημόνων όπως Sheridan και Kalkstein (2004), Whitman et al. (1997) και ένα πλήθος χρήσιμων συμπερασμάτων αποτέλεσαν τη βάση για την ανάπτυξη συστημάτων προειδοποίησης (HHWS).

Θερμοκρασίες ρεκόρ καταγράφηκαν και στο διάστημα 16-26 Ιουλίου του 2006, κυρίως στην πολιτεία της Καλιφόρνιας, και 140 θάνατοι συνδέθηκαν άμεσα με αυτές (Warren Blier - NOAA).

Αν για τις Ηνωμένες Πολιτείες η περίπτωση του Σικάγο υπήρξε η πρώτη καλά τεκμηριωμένη περίπτωση, για την Ευρώπη σαν τέτοια πρέπει να θεωρηθεί η περίπτωση του Παρισιού, κατά τον καύσωνα του 2003 (Fouillet, 2996). Όπως σε κάθε καύσωνα έτσι και εδώ, οι ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες συνέβαλαν στην ανθρώπινη θνησιμότητα και είχαν ευρείες οικονομικές επιπτώσεις, προκαλώντας δυσχέρεια και ταλαιπωρία στην καθημερινότητα του πληθυσμού (Meehl and Tebaldi, 2004). Στον πίνακα 5 παρουσιάζεται η θνησιμότητα στις χώρες της Ευρώπης από τον καύσωνα του 2003. Η διαφωνία σε ορισμένες περιπτώσεις ανάμεσα στους αριθμούς του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και του Earth Policy Institute (EPI) οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πολύ δύσκολο κάποιος θάνατος να συσχετισθεί άμεσα με τις υψηλές θερμοκρασίες (Red Cross- Red Crescent, 2004) .

Πίνακας 5. Θάνατοι στην Ευρώπη από τον καύσωνα του 2003

Χώρα	WHO	EPI
Γαλλία	14802	14802
Γερμανία	-	7000
Ισπανία	59*	4230
Ιταλία	3134	4175
Πορτογαλία	2106	1316
Αγγλία και Ουαλία	2045	2045
Ολλανδία	-	1400
Βέλγιο	-	150
Σύνολο	22146	35118
Πηγή: World Health Organization (WHO), 2004. Earth Policy Institute (EPI), 2003.		

Το 2006 σημειώθηκαν επίσης υψηλές θερμοκρασίες κυρίως στη δυτική Ευρώπη. Στο Ηνωμένο Βασίλειο κατερρίφθησαν ρεκόρ θερμοκρασίας, που είχαν αντέξει στον καύσωνα του 2003. Η υπερβάλλουσα θνησιμότητα όμως, 680 θάνατοι, ήταν αισθητά χαμηλότερη από αυτή του 2003 (The MetOffice).

Το καλοκαίρι του 2007 για την, νοτιοανατολική κυρίως, Ευρώπη ήταν ένα από τα θερμότερα, αφού η θερμοκρασία έφθασε τους 40°C σε πολλές περιοχές της Ελλάδας, της Ρουμανίας, της Βουλγαρίας και της Σερβίας, με περισσότερους από 500 θανάτους στην Ουγγαρία και 30 στην Ρουμανία. Στην Ελλάδα αν και τις υψηλές θερμοκρασίες επισκίασαν οι καταστροφικές πυρκαγιές (BBC, Europe bakes in summer heatwave), συνολικά 20 θάνατοι, το καλοκαίρι αυτό, αποδόθηκαν στις υψηλές θερμοκρασίες (Βλάχου, 2010).

Τέλος το καλοκαίρι του 2010 σημαδεύτηκε από τον καταστροφικό καύσωνα στη Ρωσία, που προκάλεσε το θάνατο σε 55736 ανθρώπους και καταγράφηκε ως η δεύτερη, σε αριθμό θυμάτων, φυσική καταστροφή, για το έτος αυτό, μετά τον φονικό σεισμό στην Αϊτή με τους 222500 νεκρούς (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Press Release 25-01-2011).

Όσον αφορά την Ελλάδα, το 1987 είναι το έτος με το σημαντικότερο ίσως επεισόδιο καύσωνα της πρόσφατης ιστορίας, και το οποίο σύμφωνα με τον Ματζαράκη (Matzarakis and Mayer, 1991) ευθύνεται για τον διπλασιασμό της θνησιμότητας την περίοδο εκείνη.

Πιο πρόσφατο επεισόδιο καύσωνα αυτό του 2007. Σε σχετικό δημοσίευμα της εφημερίδας «Καθημερινή» της 09-09-07 αναφέρεται ότι το καλοκαίρι του 2007 ήταν ιδιαίτερα ζεστό και ένα από τα χειρότερα των τελευταίων δεκαετιών, καθώς είχε ένα δραματικό απολογισμό: εκατομμύρια στρέμματα καμένων εκτάσεων, αλλά και απώλειες ζώων. Η δυσφορία στις πόλεις υπήρξε γενικευμένη, προκλήθηκαν θερμοπληξίες (τουλάχιστον 366 περιστατικά, εκ των οποίων 18 θανατηφόρα στους δύο πρώτους καύσωνες), επιβάρυνση της υγείας, καταπόνηση χλωρίδας και πανίδας και πρωτοφανής κατανάλωση ενέργειας.

Στην Ελλάδα, παραδοσιακά ο Ιούλιος είναι ο μήνας, κατά τον οποίο καταγράφονται τα περισσότερα επεισόδια καύσωνα. Στον Πίνακα 18 του Παραρτήματος Γ, περιλαμβάνονται, από το επεξεργασμένο αρχείο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, οι καταγραφές μέγιστης θερμοκρασίας άνω των 44°C. Από τον πίνακα αυτόν προκύπτει ότι το ρεκόρ θερμοκρασίας για ολόκληρη τη χώρα αποτελούν οι 48°C που σημειώθηκαν στην Ελευσίνα και στο Τατόι στις 10 Ιουλίου 1977.

2.3 Συστήματα προειδοποιήσεων για καύσωνες

Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη HHWS, αυξήθηκε κατακόρυφα μετά από περιπτώσεις, όπως ο καύσωνας του 1995 στις ΗΠΑ και του 2003 στην Ευρώπη (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010, Sheridan and Kalkstein, 1998).

Τα HHWSs σχεδιάζονται ώστε να προειδοποιούν τους ιθύνοντες και τον πληθυσμό για επικείμενες επικίνδυνες υψηλές θερμοκρασίες, και να λειτουργούν σαν πηγή πληροφόρησης και συμβουλών για την αποφυγή των αρνητικών συνεπειών αυτών των θερμοκρασιών (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Το, κρισιμότερο ίσως, βήμα στην ανάπτυξη ενός HHWS είναι ο προσδιορισμός της διαδικασίας, για τον καθορισμό των κατώτατων ορίων της θερμοκρασίας (κατώφλιων), πάνω από τα οποία ένα θερμικό κύμα μπορεί να θεωρηθεί επικίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία.

Η πίεση, που ασκείται στον οργανισμό από τις υψηλές θερμοκρασίες, μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας ή απλούς βιομετεωρολογικούς δείκτες, που μπορεί να είναι συνάρτηση μιας, δύο ή πολλών μετεωρολογικών μεταβλητών, ή αριθμητικά μοντέλα (heat budget models), τα οποία προσπαθούν να περιγράψουν με μαθηματικούς όρους, τα ποσά θερμότητας που το ανθρώπινο σώμα δέχεται ή αποβάλλει. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τους διαθέσιμους κάθε φορά πόρους (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Συνδυάζοντας ημερήσιους βιομετεωρολογικούς δείκτες με δεδομένα υγείας και κυρίως τη θνησιμότητα, θεσπίζονται κατώφλια, πάνω από τα οποία οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία αυξάνουν σημαντικά (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Τα περισσότερα από τα ισχύοντα συστήματα προειδοποίησης βασίζονται σε μία μόνο μετεωρολογική παράμετρο, όπως η απλή μέτρηση της θερμοκρασίας ή σε μια τροποποιημένη μορφή της αισθητής θερμοκρασίας (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010, Sheridan and Kalkstein, 1998). Διακρίνονται τρεις βασικές μεθοδολογίες προσέγγισης του θερμικού κινδύνου (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

- α. Οι απλοί βιομετεωρολογικοί δείκτες.
- β. Τα αριθμητικά μοντέλα θερμικού ισοζυγίου (Heat budget models).
- γ. Οι ολιστικές προσεγγίσεις.

Στη συνέχεια δίνεται μια σύντομη περιγραφή για κάθε μία από τις παραπάνω μεθοδολογίες.

α. Απλοί βιομετεωρολογικοί δείκτες (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010)

Heat Index (HI)

Ο Heat Index (HI) είναι ένας δείκτης, που συνδυάζει τη θερμοκρασία αέρα και τη σχετική υγρασία, για να καθορίσει μια αισθητή θερμοκρασία, δηλαδή αυτό που ο άνθρωπος αισθάνεται πραγματικά.

Όταν η σχετική υγρασία είναι υψηλή, ο ρυθμός εξάτμισης ύδατος από το ανθρώπινο σώμα μειώνεται. Αυτό σημαίνει ότι η θερμότητα αφαιρείται από το σώμα με χαμηλότερο ρυθμό, αναγκάζοντάς το να διατηρήσει περισσότερη θερμότητα από ότι σε ξηρό περιβάλλον.

Ο δείκτης HI χρησιμοποιείται ευρέως στις ΗΠΑ και είναι αποτελεσματικός όταν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 80°F (26°C) και η σχετική υγρασία είναι τουλάχιστον 40%.

Η αλγεβρική σχέση για τον υπολογισμό του δείκτη είναι:

$$\begin{aligned} \text{Heat Index (HI)} = & -42,379 + 2,04901523 \cdot T_f + 10,14333127 \cdot RH - \\ & - 0,22475541 \cdot T_f \cdot RH - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot T_f^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot RH^2 + \\ & + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot T_f^2 \cdot RH + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot T_f \cdot RH^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot T_f^2 \cdot RH^2 \end{aligned}$$

όπου T_f : θερμοκρασία αέρα σε βαθμούς *Fahrenheit* & RH η σχετική υγρασία

Για μετατροπή *Celsius* $\leftrightarrow$ *Fahrenheit* $T_c = (T_f - 32) \cdot (\frac{5}{9})$

Humidex

Ο humidex είναι μια καναδική καινοτομία, που χρησιμοποιείται από το 1965. Επινοήθηκε από τους Καναδούς μετεωρολόγους, για να περιγράψει πώς ο ζεστός και υγρός καιρός επιδρά στον μέσο άνθρωπο. Ο humidex συνδυάζει τη θερμοκρασία και την υγρασία σε έναν αριθμό, για να απεικονίσει την αντιληπτή θερμοκρασία.

$$\text{Humidex} = T_c + h$$

$$h = 0,5555 \cdot (e - 10,0)$$

$$e = 6,11 \cdot e^{\frac{5417,7530}{T_d} - \left(\frac{1}{273,16}\right) - \left(\frac{1}{T_d}\right)}$$

όπου,

T_c : θερμοκρασία αέρα σε βαθμούς *Celsius*,

T_d : θερμοκρασία σημείου δρόσου σε βαθμούς *Kelvin*,

e : τάση ατμών σε hPa

Τιμές του humidex κάτω από 29 βαθμούς δηλώνουν κατάσταση ευεξίας – μη δυσφορίας για το σύνολο του πληθυσμού. Τιμές από 30 μέχρι και 39 δηλώνουν μερική δυσφορία ή δυσφορία για μέρος του πληθυσμού, από 40 μέχρι και 45 δηλώνουν υψηλή δυσφορία, ενώ τιμές πάνω από 45 προειδοποιούν για κίνδυνο και πάνω από 54 για θερμοπληξία.

Net Effective Temperature (NET)

Ο δείκτης Net Effective Temperature υπολογίζεται σε καθημερινή βάση από το Αστεροσκοπείο του Hong Kong και για τον υπολογισμό του λαμβάνονται υπόψη η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και η σχετική υγρασία. Ο δείκτης υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{NET} = 37 - (37 - T)/[0,68 - 0,0014 \cdot RH + 1/(1,76 + 1,4 \cdot v^{0,75})] - 0,29 \cdot T \cdot (1 - 0,01 \cdot RH)$$

όπου,

T : θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}C$),

v : ταχύτητα ανέμου (m/s),

RH : σχετική υγρασία (%)

Ο δείκτης είναι υψηλός με υψηλές θερμοκρασίες και περιορίζεται όταν αυξάνεται η ένταση του ανέμου.

Wet-bulb-globe-temperature

Ο δείκτης Wet-bulb-globe-temperature (WBGT) συνδυάζει τη θερμοκρασία και την υγρασία. Στην πραγματικότητα ο WBGT επηρεάζεται επίσης από τον άνεμο και την ακτινοβολία. Ο WBGT μετριέται με τη χρήση συγκεκριμένου οργάνου. Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται ευρέως από τους ερευνητές στον τομέα της υγιεινής και ασφάλειας εργασίας.

Αντί της μέτρησης του WBGT, η Μετεωρολογική Υπηρεσία της Αυστραλίας χρησιμοποιεί ένα τύπο, που συνδυάζει τις τυπικές μετρήσεις της θερμοκρασίας και της υγρασίας, για να υπολογίσει κατ' εκτίμηση τον WBGT σε συνθήκες μέτριας ηλιοφάνειας και ασθενών ανέμων. Ο τύπος αυτός υπερεκτιμά τον WBGT σε συνθήκες συννεφιάς ή ενισχυμένου ανέμου, καθώς και κατά το διάστημα πριν την ανατολή και μετά τη δύση, ενώ αντίθετα σε συνθήκες αίθριου καιρού και χαμηλής υγρασίας τον υποεκτιμά. Η απλοποιημένη αλγεβρική σχέση είναι :

$$WBGT = 0,567 \cdot T_c + 0,393 \cdot e + 3,94$$

όπου,

T_c : θερμοκρασία αέρα ($^{\circ}C$),

e : τάση ατμών (hPa)

Apparent temperature

Η φαινόμενη θερμοκρασία (Apparent Temperature - AT) ορίζεται ως η θερμοκρασία, η οποία παράγει την ίδια δυσφορία με αυτή, που αισθάνεται ο άνθρωπος κάτω από τις τρέχουσες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Είναι μια ρύθμιση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος σε σχέση με την υγρασία. Όσον αφορά την υγρασία, σαν σημείο

αναφοράς ορίζεται η απόλυτη υγρασία, που αντιστοιχεί σε θερμοκρασία σημείου δρόσου 14°C. Εάν η υγρασία είναι υψηλότερη, τότε και η AT θα είναι υψηλότερη από την T και, εάν η υγρασία είναι χαμηλότερη, τότε η AT θα είναι χαμηλότερη την T. Η AT εκτιμάται επιτυχώς για ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών. Επίσης περιλαμβάνει την επίδραση της απόψυξης του αέρα (chill) στις χαμηλές θερμοκρασίες. Μια απλή έκδοση του δείκτη για τις περιπτώσεις υψηλών θερμοκρασιών, είναι ο Heat Index, που έχει αναφερθεί παραπάνω.

Η Αυστραλιανή Μετεωρολογική Υπηρεσία χρησιμοποιεί μια προσέγγιση της AT, που βασίζεται στην θερμική ισορροπία του ανθρώπινου οργανισμού, όπως αυτή περιγράφεται από ένα αριθμητικό μοντέλο. Έτσι, εκτός από την θερμοκρασία και την υγρασία, περιλαμβάνει την ένταση του ανέμου και την ακτινοβολία. Στις αυστραλιανές κλιματικές συνθήκες η απόλυτη ηλιοφάνεια παράγει μία μέγιστη αύξηση της AT περίπου κατά 8°C, όταν ο ήλιος βρίσκεται στην κατακόρυφη του τόπου. Οι αλγεβρικές σχέσεις, που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της AT, είναι οι παρακάτω (με ή χωρίς τον παράγοντα της ακτινοβολίας):

α) Με τον όρο της ακτινοβολίας

$$AT = T_c + 0,348 \cdot e - 0,70 \cdot ws + 0,70 \cdot \frac{Q}{ws + 10} - 4,25$$

β) Χωρίς τον όρο της ακτινοβολίας

$$AT = T_c + 0,33 \cdot e - 0,70 \cdot ws - 4,00$$

όπου,

T_c : θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου (°C),

e : τάση ατμών (hPa),

ws : ένταση ανέμου (m/s) στα 10m,

Q : καθαρή ακτινοβολία ανά μονάδα επιφάνειας του σώματος (W/m²)

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις της AT.

Γενικά τα συστήματα προειδοποίησης που βασίζονται σε απλούς βιομετεωρολογικούς δείκτες σύμφωνα με τους Kalkstein et. al., (1996) αποδεικνύονται ανεπαρκή καθώς:

- ✓ Βασίζονται στη παραδοχή ότι οι άνθρωποι επηρεάζονται από τον συνδυασμό ορισμένων μόνο μετεωρολογικών μεταβλητών και αγνοούν άλλες, που μελέτες έχουν αποδείξει ότι παίζουν σημαντικό ρόλο. Για παράδειγμα, η νεφοκάλυψη επηρεάζει τη θνησιμότητα κατά τη διάρκεια καύσωνα, καθώς ο αίθριος ουρανός αυξάνει το συσσωρευμένο θερμικό φορτίο στις κατοικίες, κυρίως σε υποβαθμισμένες αστικές περιοχές, όπου επικρατούν οι κακής ποιότητας κατασκευές. Επίσης η ταχύτητα του ανέμου, ως παράγων αφυδάτωσης, μπορεί να αυξήσει το θερμικό φορτίο στον ανθρώπινο οργανισμό, σε υψηλές θερμοκρασίες.
- ✓ Δεν λαμβάνουν υπόψη την αρνητική επίπτωση του αριθμού των διαδοχικών ημερών σε συνθήκες καύσωνα, ούτε το γεγονός ότι οι καύσωνες νωρίς το καλοκαίρι (πρώιμοι) συνδυάζονται με αυξημένη θνησιμότητα σε σχέση με τους όψιμους.
- ✓ Επίσης δεν λαμβάνουν υπόψη την γεωγραφική θέση της περιοχής ούτε τις διαφορές μεταξύ αστικού και περιαστικού περιβάλλοντος.

β. Αριθμητικά μοντέλα θερμικού ισοζυγίου (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010)

Η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του θερμικού περιβάλλοντος μπορεί να περιγραφεί με την μορφή εξίσωσης ισοζυγίου ενεργειακής ισορροπίας ή θερμότητας. Η θερμική άνεση ενός ατόμου είναι το αποτέλεσμα της απόκρισης του ανθρώπινου οργανισμού σε οποιαδήποτε διαταραχή του θερμικού του ισοζυγίου. Το ανθρώπινο ενεργειακό (θερμικό) ισοζύγιο περιγράφεται από τη εννοιολογική σχέση:

$$M - W - [Q_H(T_c, v) + Q^*(T_{mrt}, v)] - [Q_L(e, v) + Q_{SW}(e, v)] - Q_{Re}(T_c, e) \pm S = 0$$

όπου,

M: ρυθμός μεταβολισμού (δραστηριότητα),

W: Μηχανική ισχύς (είδος δραστηριότητας),

S: Απόθεμα (μεταβολή στο θερμικό φορτίο του σώματος)

Δέρμα

Q_H : αναταρακτική ροή αισθητής θερμότητας,

Q^* : φορτίο ακτινοβολίας,

Q_L : αναταρακτική ροή λανθάνουσας θερμότητας (διάχυση υδρατμών),

Q_{sw} : αναταρακτική ροή λανθάνουσας θερμότητας (εξάτμιση υδρώτα),

Αναπνοή

Q_{re} : ροή αναπνευστικής θερμότητας (αισθητή και λανθάνουσα)

Μετεωρολογικοί παράμετροι

T_e : θερμοκρασία αέρα

e : τάση ατμών,

v : ένταση ανέμου,

T_{mrt} : μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (μικρού και μεγάλου μήκους κύματος)

Γενικά, υπάρχουν αρκετοί δείκτες που βασίζονται στην θερμική ισορροπία και οι οποίοι περιγράφουν την φυσιολογική απόκριση στη θερμότητα.

γ. Ολιστικές Προσεγγίσεις (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010)

Μία τρίτη συνήθης προσέγγιση, στο θέμα της απόκρισης του οργανισμού στην θερμότητα, είναι η «συνοπτική» μέθοδος. Αυτή περιλαμβάνει την κατηγοριοποίηση των ημερών με βάση τις επικρατούσες «αέριες μάζες» ή «τύπους καιρού». Πρόκειται για ολιστική προσέγγιση, η οποία βασίζεται στην φιλοσοφία ότι ο ανθρώπινος οργανισμός επηρεάζεται από το σύνολο των μετεωρολογικών συνθηκών, όπως αυτές περιγράφονται από ένα πλήθος μετεωρολογικών παραμέτρων, καθώς επίσης ότι σημαντικό ρόλο στη νοσηρότητα-θνησιμότητα παίζουν η γεωγραφική θέση της πόλης, το μέγεθος του φαινομένου της αστικής νησίδας και οι συνθήκες στέγασης (Kalkstein et. al., 1996). Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου σε περιοχές των μέσων πλατών έδειξε ότι οι αποκλίσεις από την «μέση» θνησιμότητα σχετίζονται με συγκεκριμένους «τύπους καιρού».

Τα HHWS που βασίζονται στη μέθοδο των «αερίων μαζών» ή «τύπων καιρού» χρησιμοποιούν προγνωστικά μετεωρολογικά δεδομένα για να προβλέψουν, αν τις επόμενες ημέρες θα επικρατήσει μια αέρια μάζα, που συνδέεται ιστορικά με αυξημένη θνησιμότητα.

Στον Πίνακα 6 περιγράφονται τα εν χρήσει HHWS.

Πίνακας 6. Τα εν χρήση συστήματα προειδοποίησης (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Country	Threshold	Thresholds based on historical mortality	Excess mortality forecast	Duration of heat event included	Seasonality or adaptation included	Regionally variable thresholds	Human expertise
Australia (Queensland)	Tapp			2 days		X	X
Belarus	T						
Belgium	Tmax/Tmin/ Ozone			3 days			
Canada							
Toronto region	Air Mass	X	X	X	X	X	X
Montreal	Tmax/Tmin			X			
All others	Humidex			X			
China							
Hong Kong	ET	?	?	?	?		?
Shanghai	Air Mass	X	X	X	X		X
France	Tmax/Tmin	X		3 days		X	X
Germany	PT			2 days	X	X	X
Greece	Tmax			X			
Hungary (Budapest only)	Tmean	X					
Italy	Air Mass/Tapp	X	X	X	X	X	
Latvia	Tmax			X			
Netherlands	Tmax			X			
Poland	Tmax/Tmin						
Portugal	Tmax	X	X	X		X	X
Romania	ITU						
Slovenia ⁷	Forecaster						X

Spain	Tmax/Tmin	X				X	X
Switzerland	HI						
UK (England/Wales)	Tmax/Tmin	?		X		X	
USA							
Synoptic*	Air Mass	X	X	X	X	X	X
All other	HI			2 days		X	X

T=Temperature, Tapp=Apparent Temperature, Tmax=Maximum Temperature, Tmin=Minimum Temperature, Tmean=Mean Temperature, HI =Heat Index, PT=Perceived Temperature, ET=Equivalent Temperature, ITU=Temperature Humidity Index

**Seattle (Washington), Portland (Oregon), San Francisco and San Jose (California), Phoenix and Yuma (Arizona), Dallas and Houston (Texas), Minneapolis (Minnesota), Chicago (Illinois), St. Louis (Missouri), Dayton, Columbus and Cincinnati (Ohio), Philadelphia (Pennsylvania), Washington (DC), Baltimore (Maryland), New Orleans, Monroe, Shreveport, and Lake Charles (Louisiana), Little Rock and Fort Smith (Arkansas), Memphis (Tennessee), Jackson and Meridian (Mississippi).*

Η λειτουργία των συστημάτων προειδοποίησης που βασίζονται στους απλούς βιομετεωρολογικούς δείκτες προϋποθέτουν τον καθορισμό ορίων ανεκτής διαβίωσης του πληθυσμού. Η υπέρβαση αυτών των ορίων οδηγεί στην έκδοση προειδοποίησης και στην κήρυξη συναγερμού ή επιφυλακής (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Σε μερικές περιπτώσεις οι προγνώσεις χρησιμοποιούνται για να τροφοδοτήσουν αλγόριθμους, που προσπαθούν να εκτιμήσουν το βαθμό των αρνητικών επιπτώσεων των υψηλών θερμοκρασιών στην ανθρώπινη υγεία και με βάση τα αποτελέσματα των αλγορίθμων αυτών εκδίδεται προειδοποίηση και κηρύσσεται συναγερμός ή επιφυλακή (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Την αρμοδιότητα, για την έκδοση προειδοποιήσεων, σε ορισμένες χώρες την έχει η εθνική μετεωρολογική υπηρεσία. Σε άλλες πάλι ο δημόσιος φορέας υγείας αναλαμβάνει αυτή την ευθύνη, έχοντας προηγουμένως ενημερωθεί από την μετεωρολογική υπηρεσία, για τις επικείμενες δυσμενείς συνθήκες θερμοκρασίας (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

Συνήθως υπάρχουν δύο ή τρεις διαφορετικές κατηγορίες προειδοποίησης: μια χαμηλού επιπέδου ανακοίνωση για την προειδοποίηση του πληθυσμού ότι επίκεινται επικίνδυνα

υψηλές θερμοκρασίες, ένα υψηλότερο επίπεδο, που ειδοποιεί για πιθανό κίνδυνο της ανθρώπινης υγείας, και το υψηλότερο επίπεδο προειδοποίησης ή επιφυλακής, με ταυτόχρονη λήψη ενός συνόλου μέτρων και δράσεων από την κοινότητα (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010).

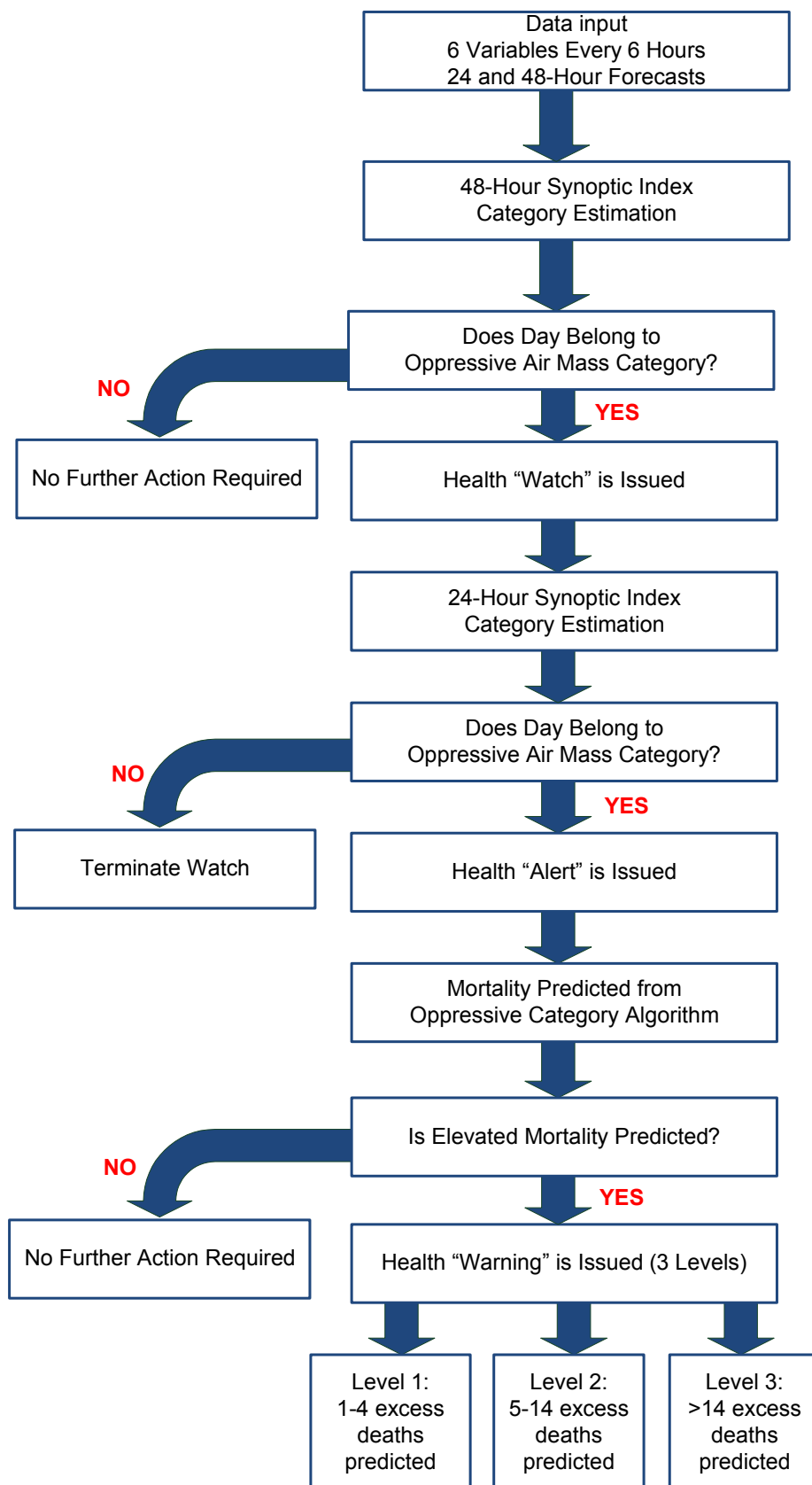
Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται παραδείγματα τρόπων αφύπνισης των κρατικών υπηρεσιών και του κοινού. Είναι φανερό ότι διακρίνονται δύο κατηγορίες: πριν συμβεί το επεισόδιο (pre-alert) και κατά τη διάρκεια της εξέλιξής του (alert).

Πίνακας 7. Επίπεδα προειδοποιήσεων για υψηλές θερμοκρασίες (Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health, 2010)

	Examples of nomenclature	Description
Pre-alert levels (Temporal)	Seasonal vigilance	Activated during the whole summer season, though no heat event is forecast
	Outlook	A heat event is expected during the next 3-5 days
	Watch (warning)	A heat event is expected within the next 24-48 hours
Alert level (Severity)	Heat Alert Heat Advisory Warning Severe Weather Warning	Moderate heat event occurring or imminent
	Excessive Heat Warning Extreme Heat Alert Heat Emergency Maximum Mobilization Extreme Weather Warning	Significant heat event occurring or imminent

2.4 Παράδειγμα ολοκληρωμένης διαχείρισης θερμικού κινδύνου – Φιλαδέλφεια ΗΠΑ

Από το 1995 η πόλη της Φιλαδέλφειας (ΗΠΑ) έχει θέσει σε ισχύ ένα ολοκληρωμένο σύστημα προειδοποίησης και αντιμετώπισης υψηλών θερμοκρασιών - Hot Weather Health Watch/Warning System (PWWS), το οποίο αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων διαχείρισης του θερμικού κινδύνου. Ο αλγόριθμος λειτουργίας του PWWS (Kalkstein et. al., 1996) περιγράφεται στο διάγραμμα του Σχήματος 16.



Σχήμα 16. Ο αλγόριθμος του συστήματος προειδοποίησης (Kalkstein et. al., 1996)

Το σύστημα είναι συντονισμένο με την τοπική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Η πληροφορία μεταβιβάζεται στην Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας της Φιλαδέλφειας (Department of Public Health) από το Κέντρο Κλιματικών Ερευνών του Πανεπιστημίου Delaware και μετά από διαβούλευση λαμβάνεται η απόφαση για έκδοση προειδοποιήσεων.

Το σύστημα προσδιορίζει τον τύπο των αερίων μαζών για μία περίοδο τριών ημερών (σήμερα, αύριο και μεθαύριο). Σύμφωνα με το PWWS, όταν με βάση τα μετεωρολογικά προγνωστικά στοιχεία προβλέπεται να επικρατήσει επιβαρυντική αέρια μάζα :

- ➡ 48 ώρες πριν εκδίδεται **Health Watch**
- ➡ 24 ώρες πριν εκδίδεται **Health Alert**
- ➡ **Health Warning** εκδίδεται, είτε το προηγούμενο απόγευμα, είτε το πρωί της ημέρας που θα επικρατήσει επιβαρυντική αέρια μάζα, μόνο όμως όταν, με βάση τον αλγόριθμο, αυτή συνδέεται με αυξημένη θνησιμότητα.

Επί πλέον πρέπει να συμφωνήσει και το τοπικό γραφείο της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στην έκδοση παρόμοιας προειδοποίησης για πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Υπεύθυνος Κήρυξης Συναγερμού είναι ο επιθεωρητής Δημόσιας Υγείας (Health Commissioner) και προβλέπονται τρία (3) **Επίπεδα Προειδοποίησης HEALTH WARNING:**

- ➡ **Επίπεδο 1-** προβλεπόμενοι θάνατοι 1-4
- ➡ **Επίπεδο 2-** προβλεπόμενοι θάνατοι 5-14
- ➡ **Επίπεδο 3-** προβλεπόμενοι θάνατοι >15

Με την κήρυξη του συναγερμού δρομολογείται μια σειρά παρεμβατικών δραστηριοτήτων από την Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας της πόλης της Φιλαδέλφειας, καθώς και άλλων υπηρεσιών και οργανισμών, στις οποίες περιλαμβάνονται:

1. Ανακοινώσεις στα MME

Τα MME (TV, ραδιοφωνικοί σταθμοί και εφημερίδες) ενημερώνονται πλήρως από τον Επιθεωρητή Δημόσιας Υγείας και συνεργάζονται λειτουργώντας υποστηρικτικά, με το να δημοσιοποιούν τις ανακοινώσεις του PWWS, καθώς και χρήσιμες πληροφορίες προς το κοινό.

2. Προώθηση του «συστήματος φιλικότητας» (buddy system)

Μέσω των ΜΜΕ ενθαρρύνονται οι φίλοι, οι γείτονες, οι συγγενείς, μέλη συλλόγων, ενορίτες εκκλησιών και άλλοι εθελοντές να επισκέπτονται καθημερινά ηλικιωμένα μοναχικά άτομα, για να τους παρέχουν υποστήριξη κατά τη διάρκεια του καύσωνα.

3. Ενεργοποίηση της «Hotline»

Όταν από την Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας κηρύσσεται Warning, ενεργοποιείται μία τηλεφωνική γραμμή άμεσης επικοινωνίας (hotline), από κοινού με το Σωματείο για τους ηλικιωμένους (Philadelphia Corporation for Aging), παρέχοντας πληροφορίες και συμβουλές προς το κοινό, για την αποφυγή θερμοπληξίας. Το νούμερο αυτής της τηλεφωνικής γραμμής δημοσιοποιείται μέσω των ΜΜΕ, αλλά και στα “Crown Lights” μια επιγραφή, που είναι ορατή σε μια ευρεία περιοχή του κέντρου της πόλης της Φιλαδέλφειας.

4. Επισκέψεις κατ οίκον

Ομάδες του τομέα της Υπηρεσίας Δημόσιας Υγείας πραγματοποιούν κατ οίκον επισκέψεις σε άτομα, που χρειάζονται περισσότερη φροντίδα από αυτή που μπορεί να παράσχει η «Hotline», αλλά τα οποία δεν έφτασαν στο σημείο να απαιτείται η επέμβαση των υπηρεσιών «911» (άμεσης βοήθειας).

5. Ομάδα κατ οίκον περιποίησης και προσωπικής φροντίδας

Όταν κηρύσσεται «Watch», η Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας έρχεται σε επαφή με αυτήν την ομάδα, για να την πληροφορήσει για τον επικείμενο καύσωνα και να της προσφέρει πληροφορίες για την προστασία των πολιτών. Επί πλέον κατά τη διάρκεια “Warning” ομάδες του τομέα κάνουν επισκέψεις επιθεώρησης στα σπίτια, για να επιβεβαιώσουν την επάρκεια της φροντίδας κατά του καύσωνα.

6. Αναστολή της υπολειτουργίας των Υπηρεσιών Δημόσιας Χρήσης

Οι Υπηρεσίες Ηλεκτρισμού και ύδρευσης σε περιόδους “Warning” αναστέλλουν πιθανή υπολειτουργία τους.

7. Αύξηση ετοιμότητας του ιατρικού προσωπικού αμέσου δράσεως.

Η ιατρική υπηρεσία αμέσου δράσεως της πυροσβεστικής χρησιμοποιεί τις ανακοινώσεις του PWWS, για να οργανώσει τα προγράμματα του προσωπικού με αυξημένη στελέχωση, ώστε να αντιμετωπισθούν οι αυξημένες απαιτήσεις.

8. Καθημερινή προσέγγιση των αστέγων

Οι Υπηρεσίες Φροντίδας των Αστέγων της πόλης ενεργοποιούν καθημερινές εντατικές δραστηριότητες, για να βοηθήσουν του αστέγους στους δρόμους.

9. Κλιματισμός

Κέντρα ηλικιωμένων επεκτείνουν τα ωράριά τους, λειτουργώντας βράδια και Σαββατοκύριακα. Επί πλέον η Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας έχει τη δυνατότητα να μετακινήσει άτομα υψηλού κινδύνου από τις επικίνδυνες συνθήκες διαβίωσής τους σε κλιματιζόμενα καταλύματα.

Για την ιστορία αξίζει να αναφερθεί ότι το καλοκαίρι του 1995 ήταν το πιο θερμό στην μέχρι τότε ιστορία της Φιλαδέλφειας. Το PWWS ενεργοποιήθηκε για πρώτη φορά στις 12 Ιουλίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου προβλέφθηκαν 16 ημέρες με επιβλαβική αέρια μάζα, για τις 15 από τις οποίες προβλέφθηκε και θνησιμότητα με βάση τον αλγόριθμο. Έτσι το Center for Climate Research συνέστησε στην Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας και στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία την έκδοση Warnings για τις 15 αυτές ημέρες. Η σύγκριση με τη συνολική θνησιμότητα έδειξε ότι το σύστημα υπερεκτίμησε τον αριθμό των θανάτων σε σχέση με αυτόν που κατέγραψε ο ελεγκτής ιατρός της Φιλαδέλφειας. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι το σύστημα έκανε εκτίμηση θνησιμότητας για όλη τη μητροπολιτική στατιστική περιοχή (SMSA), και ότι πολλοί θάνατοι που οφείλονταν στον καύσωνα μπορεί να δηλώθηκαν με άλλη αιτία. Επιπροσθέτως είναι πιθανό λόγω της συνειδητοποίησης που προέκυψε από το κύμα καύσωνα που προηγήθηκε το 1993 και που οδήγησε στη ανάπτυξη του PWWS, να βοήθησε στην μείωση της θνησιμότητας με τα αυξημένα μέτρα αντιμετώπισης.

Σημασία όμως έχει το γεγονός ότι το σύστημα προέβλεψε θανάτους όταν πραγματικά συνέβησαν.

Δεν εκδόθηκε “Warning” από την Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας για όλες τις ημέρες που το Center for Climate Research το συνέστησε. Από τις 15 ημέρες εκδόθηκε για τις 9.

Για να εκδοθεί “*Warning*” πρέπει να υπάρχει και η σύμφωνη γνώμη της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και για τις 6 από τις 15 ημέρες αυτό δεν συνέβηκε. Γι αυτές τις ημέρες εκδόθηκε μόνο “*Health Alert*”. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αρκετοί θάνατοι με αιτία τον καύσωνα καταγράφηκαν αυτές τις ημέρες. Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία δεν συναίνεσε γι αυτές τις 6 ημέρες, καθώς δεν ικανοποιούνταν τα κριτήρια που έχει θεσπισμένα και που βασίζονται στον HEAT INDEX. Το παράρτημα όμως της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στη Φιλαδέλφεια θα έπρεπε να έχει την ευελιξία να παρακάμψει αυτά τα κριτήρια λαμβάνοντας υπόψη τα τοπικά κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η θνησιμότητα υπερεκτιμήθηκε από τον αλγόριθμο, κυρίως προς το τέλος της περιόδου, ενώ στην αρχή αυτό συνέβηκε σε μικρότερο βαθμό. Για το γεγονός αυτό δόθηκε η εξήγηση ότι, οι πιο ευάλωτοι χάθηκαν στη αρχή και όσοι έμειναν ήταν μεγαλύτερης αντοχής, ενώ ταυτόχρονα τα μέτρα που λαμβάνονταν γίνονταν όλο και πιο αποτελεσματικά (Kalkstein et. al., 1996).

ΜΕΡΟΣ Β΄

Κεφάλαιο 3: Συμβολή στην ανάπτυξη συστήματος προειδοποίησης για επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών που σχετίζονται με θνησιμότητα στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας.

Διεθνώς, η ερευνητική προσπάθεια της διάγνωσης και εντοπισμού των χαρακτηριστικών των επεισοδίων υψηλών θερμοκρασιών, κατά τους θερινούς μήνες, τα οποία δυνητικά προκαλούν σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, βασίζεται στην προσπάθεια συσχέτισης της υπερβάλλουσας παρατηρούμενης θνησιμότητας με κάποιες μετεωρολογικές παραμέτρους, οι οποίες χαρακτηρίζουν την αντίστοιχη περίοδο. Μεταξύ των τελευταίων κυρίαρχη θέση έχει η θερμοκρασία του αέρα σε διάφορες εκφάνσεις και κυρίως η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια τιμή της. Με την προσθήκη και άλλων μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως ο άνεμος και η νεφοκάλυψη, επιτυγχάνεται η δημιουργία του κλιματικού ή καιρικού τύπου και ο προσδιορισμός της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ο οποίος ευθύνεται για την επιπλέον αυτή θνησιμότητα, φυσικά με δεδομένο ότι δεν υφίστανται την αντίστοιχη περίοδο άλλοι παράγοντες θνησιμότητας. Στην παρούσα εργασία θα επιχειρηθεί να αναπτυχθούν συνοπτικοί κλιματολογικοί τύποι καιρού, οι οποίοι μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με την υπερβάλλουσα θνησιμότητα.

Γενικά οι συνοπτικοί τύποι είναι ολιστικές απεικονίσεις των καιρικών συνθηκών σε έναν τόπο. Με άλλα λόγια, περιγράφουν τις σχέσεις ανάμεσα στα μετεωρολογικά φαινόμενα που παρατηρούνται τοπικά, με την κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, που είναι το γενικό αίτιο (Barry and Perry, 1973).

Με βάση το γεγονός ότι η Εθνική Στατιστική Υπηρεσία διαθέτε δεδομένα ημερήσιας θνησιμότητας, για την περιοχή της Αττικής, από το 1992 και ότι μετεωρολογικά δεδομένα, σε συνεχές επεξεργασμένο αρχείο, υφίστανται στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Μετεωρολογικός Σταθμός Ν. Φιλαδέλφειας) μέχρι το 2000, η παρούσα μελέτη εστιάζει στην οκταετία από το 1993 μέχρι και το 2000.

3.1 Υπολογισμός μέσης και υπερβάλλουσας θνησιμότητας

Τα δεδομένα ημερήσιας θνησιμότητας για την περιοχή της Αττικής αφορούν τους θερινούς μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο της δεκαετίας 1993 – 2002.

Ο προσδιορισμός της μέσης ημερήσιας θνησιμότητας απασχόλησε όλους τους ερευνητές, που ασχολήθηκαν με το θέμα. Το ζητούμενο σε κάθε περίπτωση ήταν ο προσδιορισμός ενός ορίου, πάνω από το οποίο αυτή θα μπορούσε να αποδοθεί στις υψηλές θερμοκρασίες.

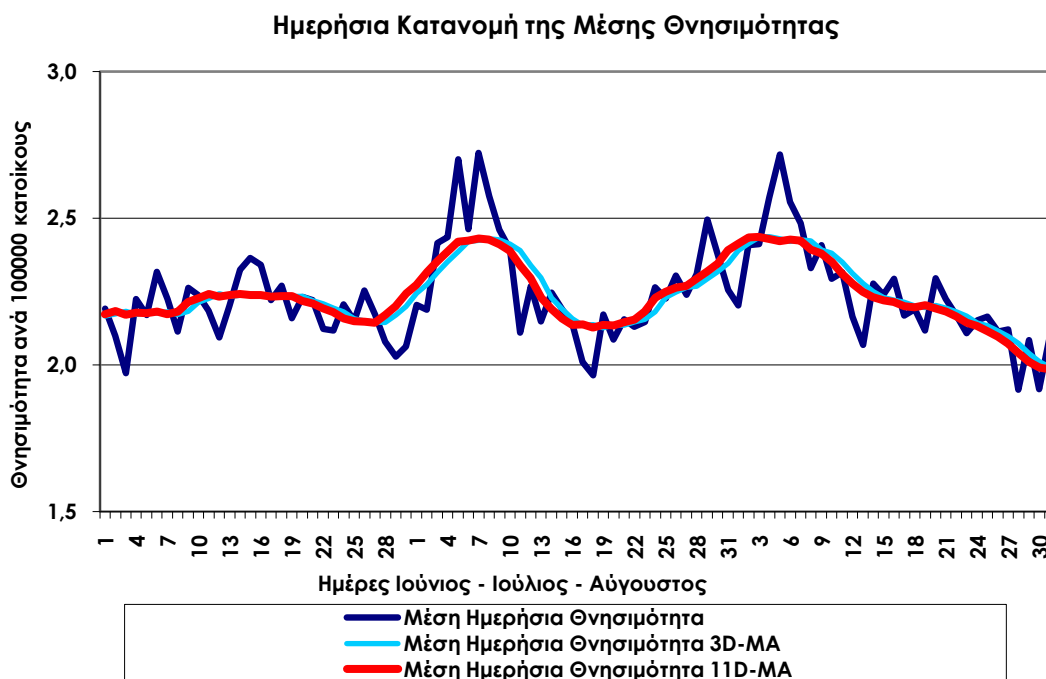
Παράλληλα για την παραγωγή «κανονικών» ημερήσιων τιμών θνησιμότητας θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η μεταβολή του πληθυσμού μέσα στο χρόνο, στην περιοχή μελέτης και να απαλειφθούν περιοδικότητες, ετήσιες ή εποχικές. Οι Kalkstein et al. (1996) προκειμένου να υπολογίσουν τη μέση ημερήσια θνησιμότητα, κατά την ανάπτυξη ενός συστήματος προειδοποίησης για την πόλη της Φιλαδέλφειας των ΗΠΑ, αφού προσάρμοσαν την ημερήσια θνησιμότητα στην μεταβολή του πληθυσμού, κατασκεύασαν μία γραμμή τάσης θνησιμότητας, η οποία προήλθε από την μέση ημερήσια θνησιμότητα, όπως αυτή καταγράφηκε από τα δεδομένα της περιόδου που μελετούσε. Οι Sheridan and Kalkstein (2004) κατά τη φάση ανάπτυξης συστημάτων προειδοποίησης για διάφορες πόλεις ή περιοχές της γης, διαπίστωσαν ότι για «μικρές» μεταβολές του πληθυσμού μεταξύ των ετών, ο κινητός κεντρικός μέσος τριών ετών αποτελεί αποδεκτή προσέγγιση εκτίμησης της μέσης ημερήσιας θνησιμότητας. Από την μελέτη της θνησιμότητας σε ετήσια βάση διαπίστωσαν μία εποχική τάση, με τη θνησιμότητα τον χειμώνα να είναι περίπου 10% αυξημένη σε σχέση με τους θερινούς μήνες. Μελετώντας ξεχωριστά την θερινή περίοδο, διαπίστωσαν ότι δεν υφίσταται γενικά στατιστικά σημαντική εποχική τάση. Εξάιρεση αποτέλεσε, η περίπτωση της Ρώμης, η οποία εμφάνιζε κατά 15% περίπου μείωση της θνησιμότητας μετά την 10^η Αυγούστου και περίπου μέχρι τις αρχές του Σεπτεμβρίου. Το γεγονός εύλογα αποδόθηκε στην σημαντική μείωση του πληθυσμού της πόλης την περίοδο αυτή, λόγω της συνήθειας, γενικά των Ευρωπαίων, να προγραμματίζουν τις διακοπές τους τον Αύγουστο. Το θέμα αντιμετωπίστηκε με τη χρήση ενός κινητού μέσου 11 ημερών. Οι Pascal M. et al. (2004) αναπτύσσοντας έναν παρόμοιο δείκτη προειδοποίησης για την Γαλλία μετά τα δραματικά γεγονότα του καύσωνα του 2003, χρησιμοποίησαν κινούμενο μέσο όρο τριών ετών για διαχρονική ημερήσια προσέγγιση και επίσης μετά από δοκιμές κινούμενο μέσο όρο τριών ημερών για την προσέγγιση εντός του έτους. Οι N. Nicholls et al. (2008) κατά την ανάπτυξη ενός αντίστοιχου συστήματος για την Μελβούρνη της Αυστραλίας χρησιμοποίησαν εκθετική εξομάλυνση των ημερήσιων χρονοσειρών.

Πίνακας 8. Μεταβολή του πληθυσμού στην Αττική		
Έτος	Πληθυσμός	Πηγή: www.economist.gr Τα δεδομένα είναι εκτίμηση του πληθυσμού την 30 ^η Ιουνίου κάθε έτους πλην του 2001 το οποίο είναι έτος απογραφής. Ιδία επεξεργασία.
1992	3627477	
1993	3664438	
1994	3700218	
1995	3735432	
1996	3769742	
1997	3802175	
1998	3831830	
1999	3857562	
2000	3878199	

Στην παρούσα μελέτη, καθώςον υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία του πληθυσμού ανά έτος (Πίνακας 8), δεν εφαρμόστηκε η, από τους Sheridan & Kalkstein (2004), προτεινόμενη προσαρμογή μεταξύ των ετών.

Επιπλέον η ημερήσια θνησιμότητα κανονικοποιήθηκε στον αριθμό θανάτων ανά 100.000 κατοίκους (Nicholls et al., 2008), για την βέλτιστη προσαρμογή των δεδομένων στην, ανά έτος, μεταβολή του πληθυσμού.

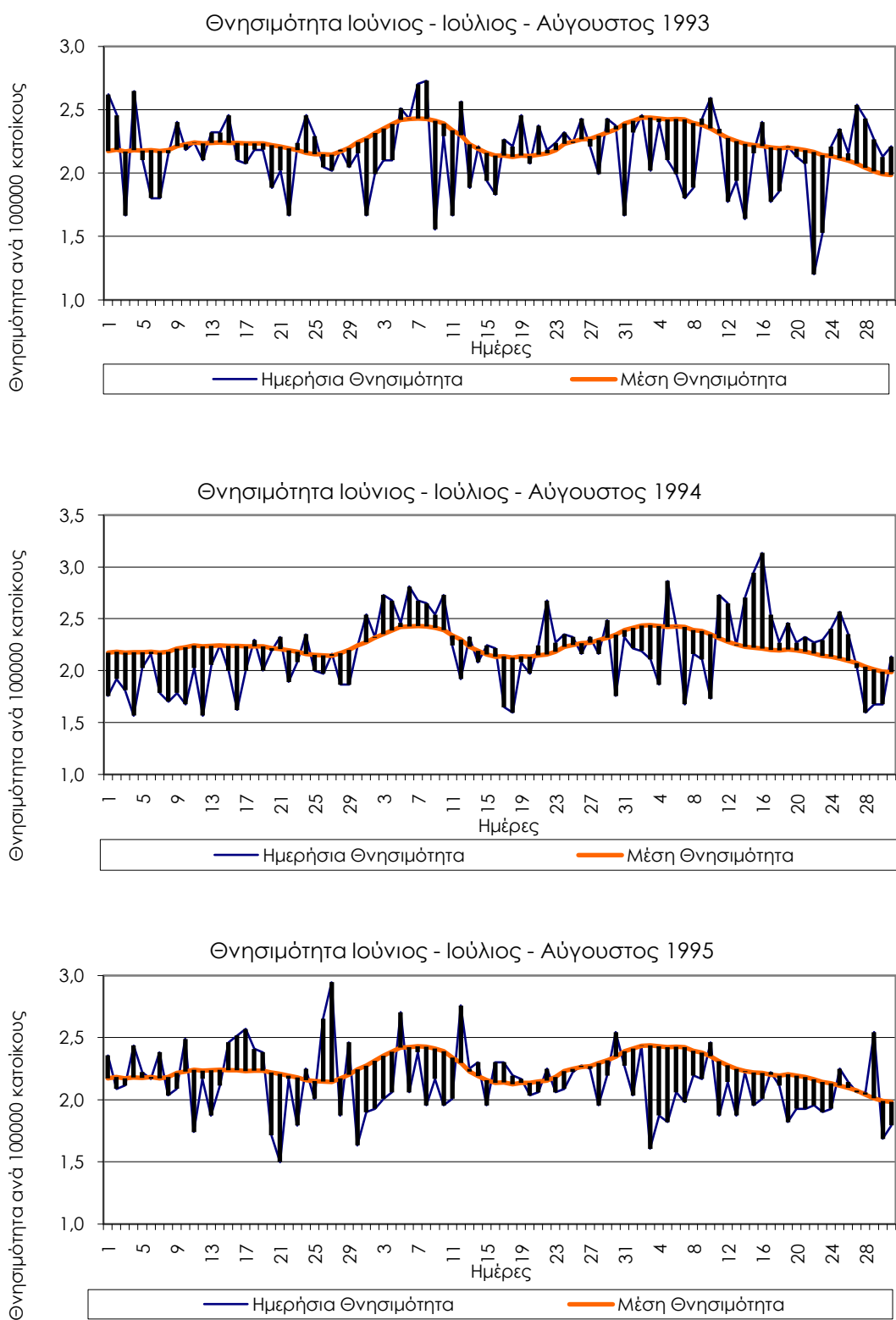
Η ημερήσια θνησιμότητα διορθώθηκε, σύμφωνα με τους Pascal et al. (2004), με βάση τον κινούμενο μέσο όρο τριών ημερών σε επίπεδο έτους, αλλά και με τον προτεινόμενο από τους Sheridan & Kalkstein (2004) κινούμενο μέσο όρο 11 ημερών. Όπως φαίνεται και από το γράφημα 1, δεν υπάρχουν ουσιαστικές διαφορές μεταξύ των δύο εκτιμήσεων.



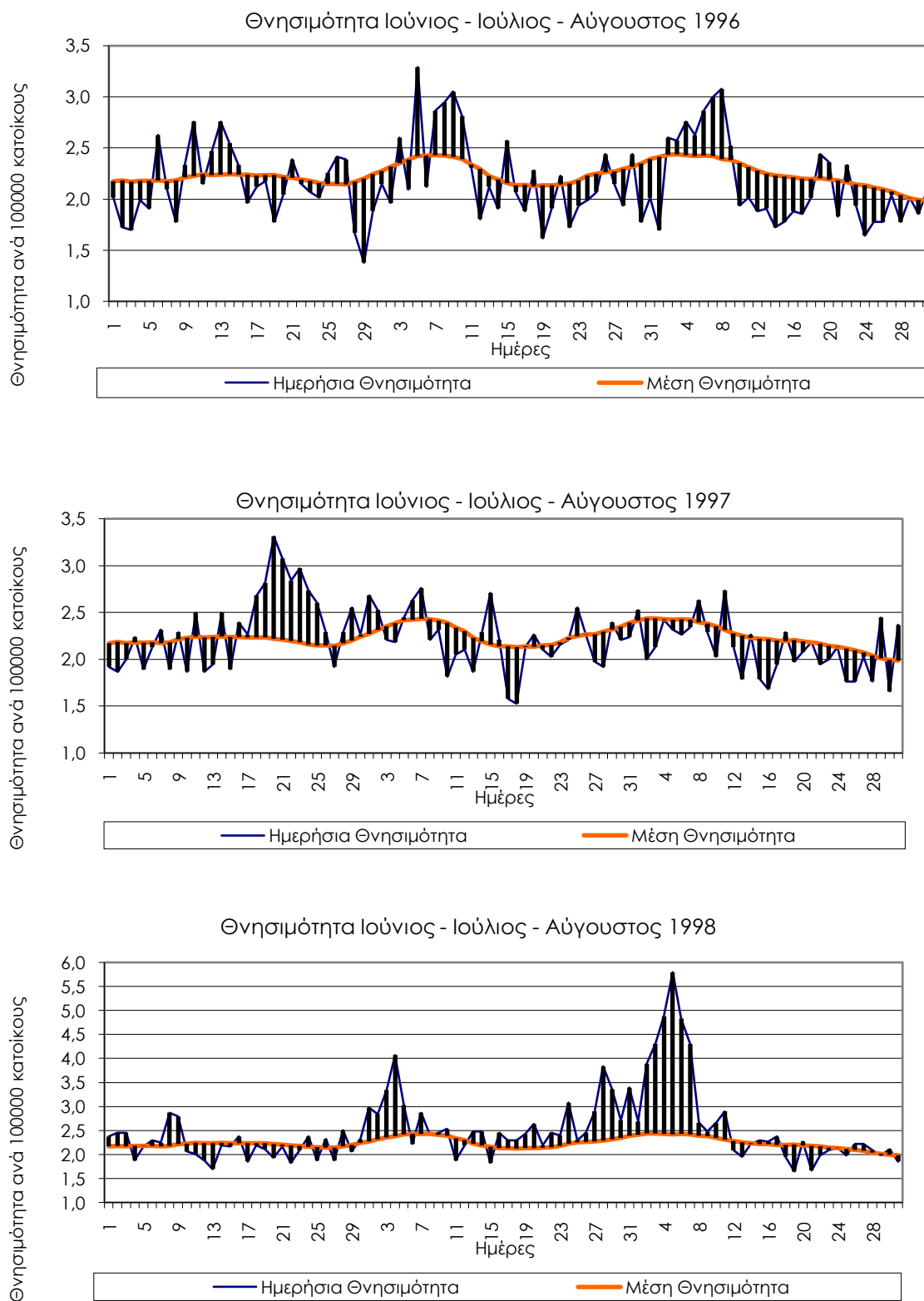
Γράφημα 1. Κατανομή της μέσης θνησιμότητας της θερινής περιόδου. Περίοδος 1993-2000. Απόλυτες μέσες τιμές, Κεντρικός κινούμενος μέσος τριών ημερών και ένδεκα ημερών. Πηγή: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία.

Καθόσον όμως η περίπτωση της Ρώμης προσομοιάζει περισσότερο στον «χαρακτήρα» της Αττικής, προτιμήθηκε τελικώς να χρησιμοποιηθεί ο κινούμενος μέσος 11 ημερών για την εκτίμηση της μέσης ημερήσιας θνησιμότητας (ΕΜΗΘ – Μέση Ημερήσια Θνησιμότητα 11D-MA, Γράφημα 1).

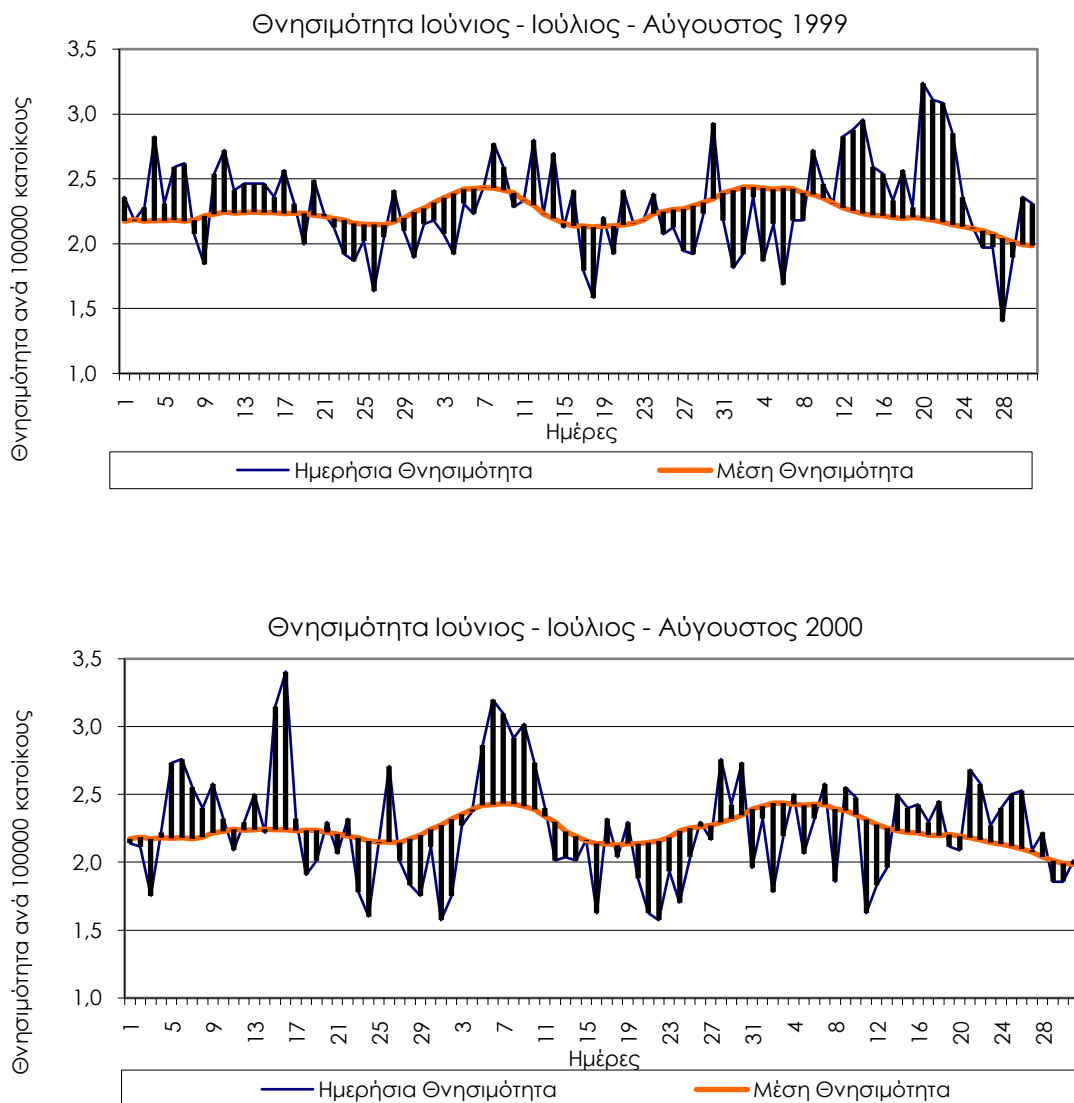
Στις παρακάτω ομάδες γραφημάτων 2,3,4 απεικονίζεται η, ανά έτος, ημερήσια θνησιμότητα κατά τους θερινούς μήνες, με τη μορφή ποσοστού ανά 100000 κατοίκους, σε σχέση με την υπολογισθείσα (κινητός μέσος όρος 11 ημερών) μέση θνησιμότητα (Ε-ΗΜΘ), για το σύνολο της περιόδου 1993 -2000.



Γράφημα 2. Ανά έτος (1993-1995) κατανομή της θνησιμότητας σε σχέση με την αντίστοιχη μέση κινούμενου μέσου 11 ημερών.



Γράφημα 3. Ανά έτος (1996-1998) κατανομή της θνησιμότητας σε σχέση με την αντίστοιχη μέση κινούμενου μέσου 11ημερών.



Γράφημα 4. Ανά έτος (1999-2000) κατανομή της θνησιμότητας σε σχέση με την αντίστοιχη μέση κινούμενου μέσου 11 ημερών.

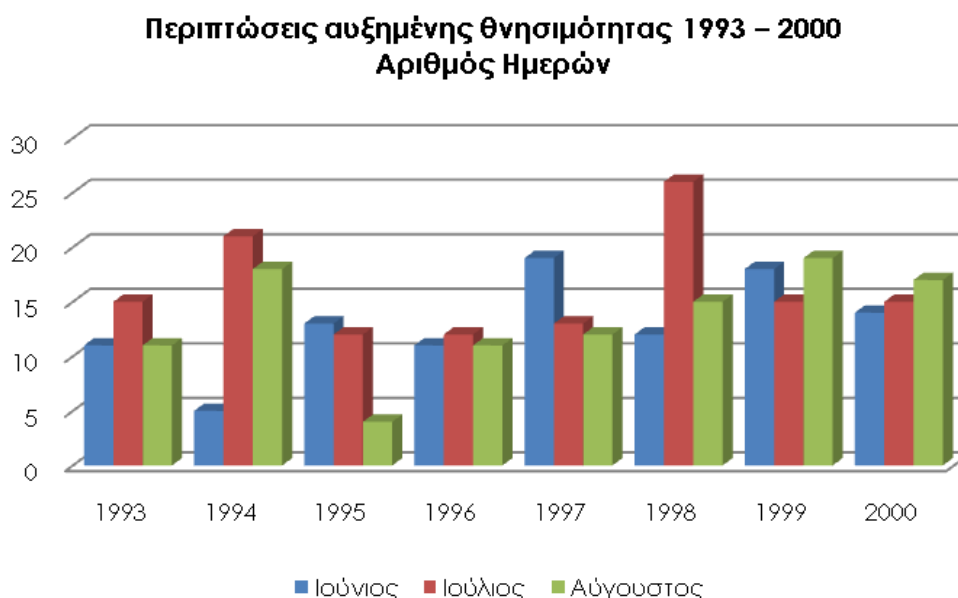
Για κάθε ημέρα και έτος της περιόδου 1993 -2000 εκτιμώνται οι διαφορές μεταξύ ημερήσιας θνησιμότητας (ΗΘ) και εξομαλυσμένης μέσης ημερήσιας θνησιμότητας (ΕΜΗΘ). Οι ημέρες, κατά τις οποίες η διαφορά ανάμεσα στην ημερήσια θνησιμότητα και την εξομαλυσμένη μέση ημερήσια θνησιμότητα ($ΗΘ - ΕΜΗΘ$) έχει θετικό πρόσημο, αποτελούν τις ημέρες υπερβάλλουσας (επιπλέον) θνησιμότητας, οι οποίες και μελετώνται .

Εντοπίστηκαν 339 περιπτώσεις, οι οποίες κατανέμονται ανά έτος και ανά μήνα σύμφωνα με τον Πίνακα 9 και το Γράφημα 5.

Πίνακας 9. Περιπτώσεις αυξημένης θνησιμότητας 1993 – 2000

Αριθμός Ημερών

	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1993	11	15	11	37
1994	5	21	18	44
1995	13	12	4	29
1996	11	12	11	34
1997	19	13	12	44
1998	12	26	15	53
1999	18	15	19	52
2000	14	15	17	46
Σύνολα	103	129	107	339



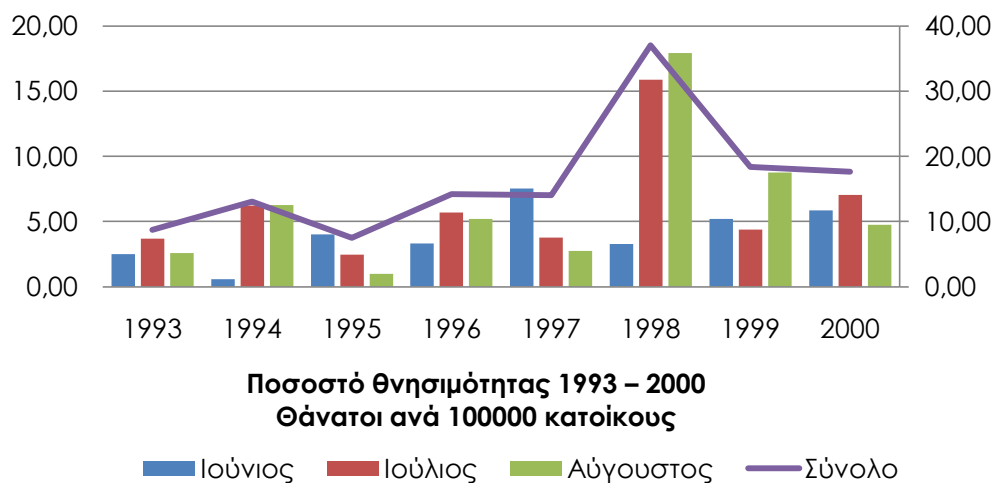
Γράφημα 5. Εποπτική απεικόνιση της ανά έτος και μήνα κατανομής του αριθμού ημερών αυξημένης θνησιμότητας για την περίοδο μελέτης 1993 -2000.

Ο Πίνακας 10, και εποπτικά το Γράφημα 6, περιγράφουν ανά μήνα και ανά έτος τα ποσοστά θνησιμότητας. Από τους Πίνακες 9 και 10 προκύπτει ότι το καλοκαίρι του 1998 παρουσίασε τον μεγαλύτερο αριθμό ημερών με αυξημένη θνησιμότητα, αλλά και την υψηλότερη υπερβάλλουσα θνησιμότητα. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι, αν και το καλοκαίρι του 1999 οι ημέρες αυξημένης θνησιμότητας ήταν περίπου ίσες με του 1998 (52 και 53 ημέρες αντίστοιχα), η υπερβάλλουσα θνησιμότητά του ήταν περίπου η μισή.

Πίνακας 10. Ποσοστό θνησιμότητας 1993 – 2000

Θάνατοι ανά 100000 κατοίκους

	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολο
1993	2,50	3,69	2,58	8,77
1994	0,57	6,22	6,27	13,07
1995	4,01	2,47	0,98	7,46
1996	3,32	5,71	5,21	14,23
1997	7,55	3,76	2,75	14,07
1998	3,26	15,89	17,95	37,10
1999	5,22	4,39	8,77	18,38
2000	5,85	7,03	4,76	17,64
Σύνολα	32,29	49,16	49,27	130,71



Γράφημα 6. Εποπτική απεικόνιση της ανά έτος και μήνα κατανομής του ποσοστού αυξημένης θνησιμότητας (μπάρες) και αθροιστικά ανά έτος (συνεχής γραμμή).

3.2 Ανάλυση Μετεωρολογικών δεδομένων

Στην περιοχή της Αττικής το κλίμα είναι εύκρατο, μεσογειακό και γενικά ήπιο στο μεγαλύτερο μέρος του χρόνου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18,3°C. Πάντως το καλοκαίρι δεν είναι λίγες οι φορές, που η θερμοκρασία υπερβαίνει τους 40°C (καύσωνας). Η Αθήνα φημίζεται για τα ιδιαίτερα θερμά καλοκαίρια της και μάλιστα η υψηλότερη θερμοκρασία που έχει ποτέ καταγραφεί στην Αθήνα, αλλά και στην Ευρώπη, είναι αυτή των 48,8°C στις 10 Ιουλίου του 1977. Αντίδοτο στις υψηλές θερμοκρασίες αποτελούν κατά πρώτο λόγο οι ετησίες άνεμοι (μελτέμια), οι οποίοι πνέουν κυρίως πάνω από το Αιγαίο με μεγαλύτερη συχνότητα την περίοδο από τα μέσα του Ιουλίου μέχρι και τις πρώτες ημέρες του Σεπτεμβρίου. Κατά δεύτερο λόγο η άμεση επαφή με τη θάλασσα δρα ανακουφιστικά τη θερμή περίοδο, μέσω της θαλάσσιας αύρας, για μεγάλη έκταση της Αττικής.

Οι προσπάθειες για τη δημιουργία συνοπτικών τύπων έχουν σαν στόχο να προσδιορίσουν τη φύση και τις μεταβολές της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μέσα στο χρόνο, για μία συγκεκριμένη περιοχή. Οι πρώτες ταξινομήσεις είχαν αρκετά υποκειμενικό χαρακτήρα, αφού βασιζόταν σε συγκρίσεις συνοπτικών χαρτών. Στην εποχή μας πλέον αυτό επιτυγχάνεται με τη διερεύνηση των μεταβολών διαφόρων μετεωρολογικών παραμέτρων, με την εφαρμογή κατάλληλων στατιστικών μεθόδων. Μία από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους στη συνοπτική κλιματολογία είναι η χρήση των ιδιοδιανυσμάτων (Dyer, 1975).

Στην παρούσα μελέτη γίνεται εφαρμογή:

1. της παραγοντικής ανάλυσης (Factor Analysis) με ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis - Sneyers and Goossens, 1968), και
2. της ανάλυσης της ομοιομορφίας των ομάδων (Cluster Analysis), για τη δημιουργία τύπων καιρού στην περιοχή του λεκανοπεδίου της Αθήνας, για την θερινή περίοδο.

Η μέθοδος έχει εφαρμοστεί με διάφορες παραλλαγές (Dyer, 1975, Ronberg and Wang, 1987, Stone, 1987) και στον ελληνικό χώρο από τον Π. Μαχαίρα (1983, 1985). Στη παρούσα εργασία η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση λογισμικού στατιστικής επεξεργασίας δεδομένων (Lewicki and Hill, 2005 - Marques de Sá Joaquim P., 2007).

Αναλυτικά, τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από μετρήσεις στον Μετεωρολογικό Σταθμό της Ν. Φιλαδέλφειας και παρασχέθηκαν από την ΕΜΥ, της οποίας το συνεχές επεξεργασμένο αρχείο φθάνει το 2000. Χρησιμοποιήθηκαν πρωτογενείς πληροφορίες από τις κύριες συνοπτικές παρατηρήσεις των 06, 12, 18 UTC. Οι μετεωρολογικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι παρακάτω:

1. Ατμοσφαιρική πίεση (hPa) ανηγμένη σε επίπεδο θάλασσας.
2. Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου ($^{\circ}\text{C}$)
3. Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου ($^{\circ}\text{C}$)
4. Άνεμος (διεύθυνση και ένταση σε κόμβους)
5. Νεφοκάλυψη (σε όγδοα)

Έτσι στην πράξη χρησιμοποιήθηκαν, για κάθε ημέρα από την 1^η Ιουνίου 1993 μέχρι και την 31^η Αυγούστου 2000, 736 περιπτώσεις, με δέκα οκτώ (18) παραμέτρους για κάθε περίπτωση. Τα δεδομένα του ανέμου (διεύθυνση – ένταση) αναλύθηκαν στις δύο συνιστώσες U και V. Επίσης το σύνολο των δεδομένων μετασχηματίστηκαν στη μορφή των αποκλίσεων, $X - X_m$, όπου η X_m αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή της αντίστοιχης μετεωρολογικής παραμέτρου της περιόδου 1993-2000 (Σκριμιζέας Π. et al., 1999).

Η μέθοδος της ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες είναι μια μέθοδος, η οποία έχει σκοπό να δημιουργήσει γραμμικούς συνδυασμούς των αρχικών μεταβλητών, έτσι ώστε αφενός οι γραμμικοί αυτοί συνδυασμοί να είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους και αφετέρου να περιλαμβάνουν όσο γίνεται μεγαλύτερο μέρος της διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών. Το όφελος από μια τέτοια διαδικασία είναι ότι τελικώς από ένα σύνολο συσχετισμένων μεταβλητών προκύπτει ένα σύνολο ασυσχέτιστων μεταβλητών, τις περισσότερες φορές μικρότερου πλήθους. Στο βαθμό δηλαδή που οι κύριες συνιστώσες, οι οποίες θα προκύψουν, μπορούν να ερμηνεύσουν ένα μεγάλο ποσοστό της διακύμανσης, τότε αυτό σημαίνει πως ο αρχικός αριθμός των μεταβλητών περιορίζεται. Το κόστος της διαδικασίας είναι ότι, σε κάθε περίπτωση, χάνεται κάποιο ποσοστό της συνολικής μεταβλητότητας.

Η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (Principal Component Analysis – PCA) αποτελεί μία από τις μεθόδους της πολυμεταβλητής ανάλυσης και ως στόχο έχει την περιγραφή ενός συνόλου μεταβλητών από λιγότερες στον αριθμό νέες μεταβλητές (ή παράγοντες), α-

συσχέτιστες μεταξύ τους, με βάση τη μεταβλητότητα των δεδομένων. Έτσι δημιουργείται ο πίνακας συνδιακύμανσης (ή ο πίνακας συσχέτισης) μεταξύ των, έστω n τον αριθμό, μεταβλητών από τον οποίο υπολογίζονται οι χαρακτηριστικές ρίζες – ιδιοτιμές ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$) και τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά ανύσματα - ιδιοδιανύσματα. Οι χαρακτηριστικές ρίζες διατάσσονται με φθίνουσα τάξη και αποτελούν τις διακυμάνσεις των κυρίων συνιστώσων. Οι κύριες συνιστώσες προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} Z_1 &= a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n \\ Z_2 &= a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n \\ &\vdots \\ Z_n &= a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n \end{aligned}$$

Όπου $Z_i, i=1,2,\dots,n$, είναι οι κύριες συνιστώσες, $X_i, i=1,2,\dots,n$, οι μεταβλητές και $a_{ij}, i,j=1,2,\dots,n$ τα χαρακτηριστικά ανύσματα, τα οποία υπολογίζονται με τον περιορισμό $a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + \dots + a_{in}^2 = 1 \quad i=1,\dots,n$. Από τις n κύριες συνιστώσες θα επιλεγούν τελικά, με βάση κάποια κριτήρια, ένας αριθμός m από αυτές ($m < n$) οι οποίες θα μελετηθούν (Παπαρηγορίου, 2001).

Η παραγοντική ανάλυση (Factor Analysis), όπως και η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες, έχει επίσης ως στόχο την περιγραφή ενός συνόλου μεταβλητών από λιγότερες στον αριθμό νέες μεταβλητές ή παράγοντες και προσπαθεί να εξηγήσει την συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών ενώ η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες την μεταβλητότητα των δεδομένων. Επίσης στην παραγοντική ανάλυση οι νέες αυτές μεταβλητές ενδεχομένως να συσχετίζονται λίγο και μεταξύ τους (Παπαρηγορίου, 2001). Το σύστημα των γραμμικών εξισώσεων που ακολουθεί περιγράφει την αυτή την ανάλυση:

$$\begin{aligned} X_1 &= a_{11}F_1 + a_{12}F_2 + \dots + a_{1m}F_m + e_1 \\ X_2 &= a_{21}F_1 + a_{22}F_2 + \dots + a_{2m}F_m + e_2 \\ &\vdots \\ X_n &= a_{n1}F_1 + a_{n2}F_2 + \dots + a_{nm}F_m + e_n \end{aligned}$$

Όπου $X_i, i=1,2,\dots,n$, είναι οι κανονικοποιημένες μεταβλητές, $F_i, i=1,2,\dots,m$, οι m , γενικά μη συσχετιζόμενοι κύριοι παράγοντες (common factors) με χαρακτηριστικά τον μηδενικό μέσο και την διακύμανση ίση με τη μονάδα, τα $a_{ij}, i=1,2,\dots,n$ και $j=1,2,\dots,m$ συντελεστές της εξίσωσης που συνήθως αναφέρονται ως παραγοντικά φορτία (factor load-

ings) και τέλος οι παράγοντες $e_i, i=1,2,...,n$ ένας για κάθε μεταβλητή, μη συσχετιζόμενοι με κανέναν από τους κύριους παράγοντες και με μηδενικό μέσο όρο (Παπαρηγορίου, 2001 και Γκίτσης, 2006).

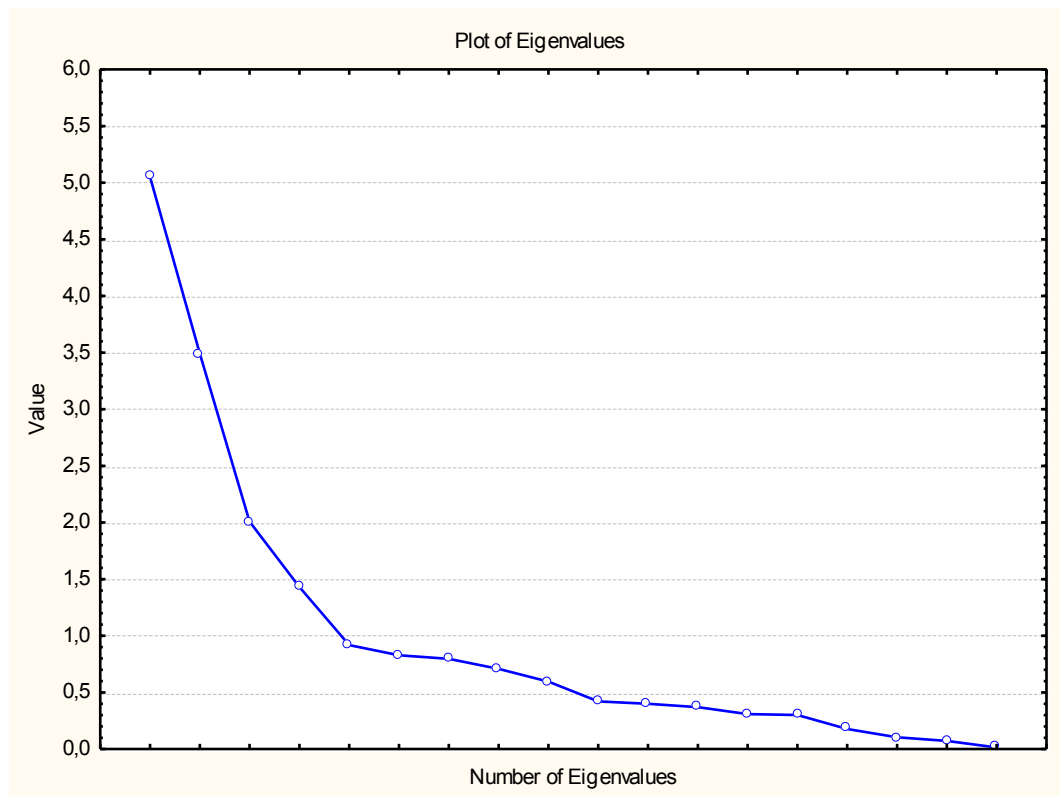
Το άθροισμα των τετραγώνων των παραγοντικών φορτίων $a_{i1}^2 + a_{i2}^2 + ... + a_{im}^2 \quad i=1,...,m$ είναι η συμμετοχικότητα ή εταιρικότητα (communality) της μεταβλητής X_i και αποτελεί το μέρος της διακύμανσης που σχετίζεται με τους κύριους παράγοντες. Προφανώς $-1 \leq a_{ij} \leq 1$ (Γκίτσης, 2006).

Στην παραγοντική ανάλυση τα δεδομένα παριστάνονται με τη μορφή πίνακα στον οποίο οι στήλες είναι οι μεταβλητές (variables) και οι σειρές τα δείγματα (cases). Αρχικά υπολογίζονται τα παραγοντικά φορτία. Από τις προσφιλέστερες μεθόδους υπολογισμού αποτελεί η μέθοδος των κυρίων συνιστωσών. Τα δεδομένα κανονικοποιούνται (τυποποίηση – standardization) για να αποφευχθεί το γεγονός η μία μεταβλητή να έχει υπερβολική επιρροή στην δημιουργία των κυρίων συνιστωσών και για την καλλίτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων γίνεται περιστροφή (factor rotation) με προτεινόμενη την μέθοδο varimax normalized. Η κανονικοποίηση παράγει μεταβλητές με μηδενικό μέσο όρο και διακύμανση ίση με τη μονάδα συνεπώς η συνδιακύμανση των κανονικοποιημένων μεταβλητών βρίσκεται στο διάστημα $[-1,1]$ και αποτελεί την συσχέτιση των αρχικών μεταβλητών (Παπαρηγορίου, 2001).

Στην παρούσα εργασία έγινε η εφαρμογή της μεθόδου της παραγοντικής ανάλυσης με την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες που περιγράφηκε παραπάνω, κατ' αναλογία με την προτεινόμενη μέθοδο από την εργασία των Kalkstein et al. (1987).

Για τον αριθμό των συνιστωσών που επελέγησαν εφαρμόστηκε το Κριτήριο του Kaiser (1958) το οποίο στηρίζεται στην απλή υπόθεση ότι αν οι μεταβλητές είναι ασυσχέτιστες τότε ο πίνακας συσχετίσεων είναι ο μοναδιαίος και όλες οι ιδιοτιμές είναι ίσες με 1. Επομένως κάθε ιδιοτιμή μεγαλύτερη της μονάδας δείχνει την παρουσία κάποιας δομής στα δεδομένα. Επιλέχθηκαν λοιπόν οι μεγαλύτερες της μονάδας ιδιοτιμές και μέσω αυτών προσδιορίστηκαν τέσσερις κύριες συνιστώσες – παράγοντες, που ερμηνεύουν τα δεδομένα σε ποσοστό 67%. Προκειμένου να αυξηθεί το ποσοστό αυτό ελέγχθηκε το ενδεχόμενο ενός πέμπτου παράγοντα μέσω μιας πέμπτης ιδιοτιμής, η οποία ολίγον υπολειπόταν της μονάδας, χωρίς όμως ουσιαστική επιτυχία. Μία εναλλακτική μέθοδος είναι η χρήση του Scree plot, μια γραφική παράσταση, η οποία στον άξονα των Y έχει τις

χαρακτηριστικές ρίζες και στον άξονα των X τις αντίστοιχες κύριες συνιστώσες, διατεταγμένες σε φθίνουσα τάξη. Το γράφημα που προκύπτει είναι μια καμπύλη με κλίση η οποία προοδευτικά μειώνεται μέχρι να γίνει σχεδόν ευθεία -για μεγάλο αριθμό συνιστωσών- (Παπαγρηγορίου, 2001). Οι κύριες συνιστώσες που επιλέγονται είναι αυτές που βρίσκονται πριν το σημείο απότομης μείωσης της κλίσης της καμπύλης. Το Γράφημα 7 αποτελεί το Scree Plot το οποίο προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων της παρούσας μελέτης.



Γράφημα 7. Scree Plot – Οριζόντιος άξονας το πλήθος των ιδιοτιμών διατεταγμένων από την μεγαλύτερη προς την μικρότερη (αριστερά – δεξιά)– Κατακόρυφος άξονας ιδιοτιμές.

Στην εικόνα 5, η οποία προέρχεται άμεσα από το λογισμικό στατιστικής επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκε (Statistica), απεικονίζονται οι τέσσερις επιλεγείσες ιδιοτιμές και το μέρος της διακύμανσης που εξηγεί η κύρια συνιστώσα που αντιστοιχεί σε κάθε μία από αυτές. Έτσι η πρώτη κύρια συνιστώσα εξηγεί το 28,06%, η δεύτερη το 119,39%, η τρίτη το 11,16% και η τέταρτη το 7,95%. Σύνολο και οι τέσσερις όπως έχει ήδη αναφερθεί το 66,57%.

Εικόνα 5. Ιδιοτιμές. - Επεξήγηση της διακύμανσης του μοντέλου

Eigenvalues (Spreadsheet2)				
Extraction: Principal components				
Value	Eigenvalue	% Total variance	Cumulative Eigenvalue	Cumulative %
1	5,051535	28,06409	5,05154	28,06409
2	3,491267	19,39593	8,54280	47,46001
3	2,008524	11,15847	10,55133	58,61848
4	1,430771	7,94873	11,98210	66,56721

Σύμφωνα με τον Richman (1986), αν η χρονοσειρά είναι μικρή, για να επιτευχθεί μεγαλύτερη διακριτότητα μεταξύ των τύπων που θα προκύψουν, συνιστάται να μη γίνεται περιστροφή κατά την ανάλυση σε κύριες συνιστώσες. Καθόσον η έννοια του μεγέθους της χρονοσειράς είναι σχετική, δοκιμάστηκαν και οι δύο μέθοδοι (περιστροφή και μη περιστροφή). Δεν προέκυψε διαφορά ως προς το ποσοστό ερμηνείας της διακύμανσης.

Η τελική επιλογή της στροφής των παραγόντων με την varimax normalized αιτιολογείται από τους Πίνακες 11 και 12. Ο Πίνακας 11 περιλαμβάνει τους συντελεστές των τεσσάρων παραγόντων (Factor Loadings) όπως προέκυψαν χωρίς περιστροφή και ο πίνακας 12 τους αντίστοιχους μετά την περιστροφή. Εμπειρικά υψηλές φορτίσεις θεωρούνται οι συντελεστές (Loadings) με απόλυτη τιμή πάνω από 0,5. Στον Πίνακα 11 επισημαίνονται αυτοί οι συντελεστές και είναι εμφανής η ανισοκατανομή τους μεταξύ των παραγόντων. Αντίθετα μετά την περιστροφή (Πίνακας 12) η βελτίωση είναι ουσιαστική.

Πίνακας 11. Σχέση αρχικών μεταβλητών με τις προσδιορισθείσες κύριες συνιστώσες (Factor Loadings χωρίς περιστροφή - Extraction: Principal components)

Παράμετρος		Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Παρατήρηση 0600 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	-0,416047	-0,722015	-0,197930	-0,076669
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	-0,595881	0,231520	-0,335083	-0,434299
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	0,788668	0,031658	0,376079	-0,409533
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,160454	0,466909	-0,277721	0,206179
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,469112	0,215405	0,311194	0,121154
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,480953	0,385447	0,406308	-0,236517
Παρατήρηση 1200 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	-0,553039	-0,702027	0,170846	-0,170345
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	-0,473716	0,300911	-0,426790	-0,512569
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	0,838090	0,056606	0,301812	-0,395604
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,063028	0,747376	-0,339062	0,025845
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,421514	0,268173	0,444880	0,349790
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,504029	0,412751	0,449568	-0,099908
Παρατήρηση 1800 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	-0,501439	-0,710724	0,121695	-0,161895
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	-0,670822	0,258809	-0,168762	-0,413305
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	0,831529	0,104677	0,243577	-0,389905
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,018061	0,568025	-0,290636	0,079864
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,379762	0,270563	0,393051	0,109712
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,467403	0,368804	0,466451	-0,081917
	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	-0,416047	-0,722015	-0,197930	-0,076669

Πίνακας 12. Σχέση αρχικών μεταβλητών με τις προσδιορισθείσες κύριες συνιστώσες (Factor Loadings με περιστροφή Varimax normalized - Extraction: Principal components)

Παράμετρος		Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Παρατήρηση 0600 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,163754	-0,699272	-0,258272	0,396174
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	0,797346	0,010157	0,138158	0,233710
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	-0,219595	0,035611	-0,136011	-0,929604
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	-0,000551	0,593297	-0,066193	0,083700
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,053076	-0,028398	0,570532	0,221032
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,323536	-0,012940	0,702299	-0,053338
Παρατήρηση 1200 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,148071	-0,869330	0,085779	0,268108
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	0,852392	0,115805	0,035086	0,136447
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	-0,216193	0,099950	-0,203824	-0,924618
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,271108	0,775270	0,053633	0,027442
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,181598	0,048311	0,680316	0,267807
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,221947	0,025547	0,765508	0,024215
Παρατήρηση 1800 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,135967	-0,842731	0,019969	0,261742
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	0,754131	-0,038122	0,311686	0,221292
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	-0,181487	0,159554	-0,221425	-0,897958
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,189442	0,606907	0,035199	0,091445
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	-0,001750	0,016164	0,608795	0,114254
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,173838	-0,001563	0,740576	0,009707
	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,163754	-0,699272	-0,258272	0,396174

Τόσο τον πίνακα 11, όσο και στον πίνακα 12 περιλαμβάνονται οι συντελεστές των τεσσάρων παραγόντων (Factor Loadings). Έτσι κάθε «παλιά» μεταβλητή μπορεί πλέον να περιγραφεί σαν γραμμικός συνδυασμός των τεσσάρων παραγόντων. Π.χ. αν ορισθεί ως TX06 η μεταβλητή που αντιστοιχεί στην **Θερμοκρασία του Ξηρού Θερμομέτρου (°C)**

στις **0600UTC**, με βάση τον πίνακα 12 (ο οποίος χρησιμοποιείται για τους προαναφερθέντες λόγους), αυτή μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$TX06 = 0,163754Factor1-0,699272Factor2-0,258272Factor3+0,396174Factor4$$

Communalities		From	From	From	From	Multiple
Extraction: Principal components		1 Factors	2 Factors	3 Factors	4 Factors	R-Square
Rotation: Varimax normalized						
Παράμετρος						
Παρατήρηση 0600 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,026815	0,515797	0,582501	0,739455	0,727374
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	0,635761	0,635864	0,654952	0,709572	0,544409
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	0,048222	0,049490	0,067989	0,932152	0,954328
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,000000	0,352001	0,356383	0,363388	0,245810
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,002817	0,003623	0,329130	0,377985	0,322875
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,104676	0,104843	0,598067	0,600912	0,519464
Παρατήρηση 1200 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,021925	0,777660	0,785018	0,856900	0,867924
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	0,726572	0,739982	0,741213	0,759831	0,562423
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	0,046740	0,056730	0,098274	0,953192	0,977309
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,073500	0,674544	0,677421	0,678174	0,553010
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,032978	0,035312	0,498142	0,569862	0,377537
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,049260	0,049913	0,635915	0,636502	0,569635
Παρατήρηση 1800 UTC	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,018487	0,728682	0,729081	0,797590	0,827159
	Θερμοκρασία Σημείου Δρόσου (°C)	0,568714	0,570167	0,667315	0,716285	0,588960
	Ατμοσφαιρική πίεση (hPa)	0,032937	0,058395	0,107424	0,913753	0,931732
	Ολική Νέφωση (όγδοα)	0,035888	0,404225	0,405464	0,413826	0,295612
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,000003	0,000264	0,370896	0,383950	0,339737
	U συνιστώσα έντασης ανέμου (kt)	0,030220	0,030222	0,578675	0,578769	0,463264
	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,026815	0,515797	0,582501	0,739455	0,727374
	Θερμοκρασία Ξηρού Θερμομέτρου (°C)	0,026815	0,515797	0,582501	0,739455	0,727374

Εικόνα 6. Η συμμετοχικότητα – εταιρικότητα των παραγόντων στις αρχικές μεταβλητές (communality).

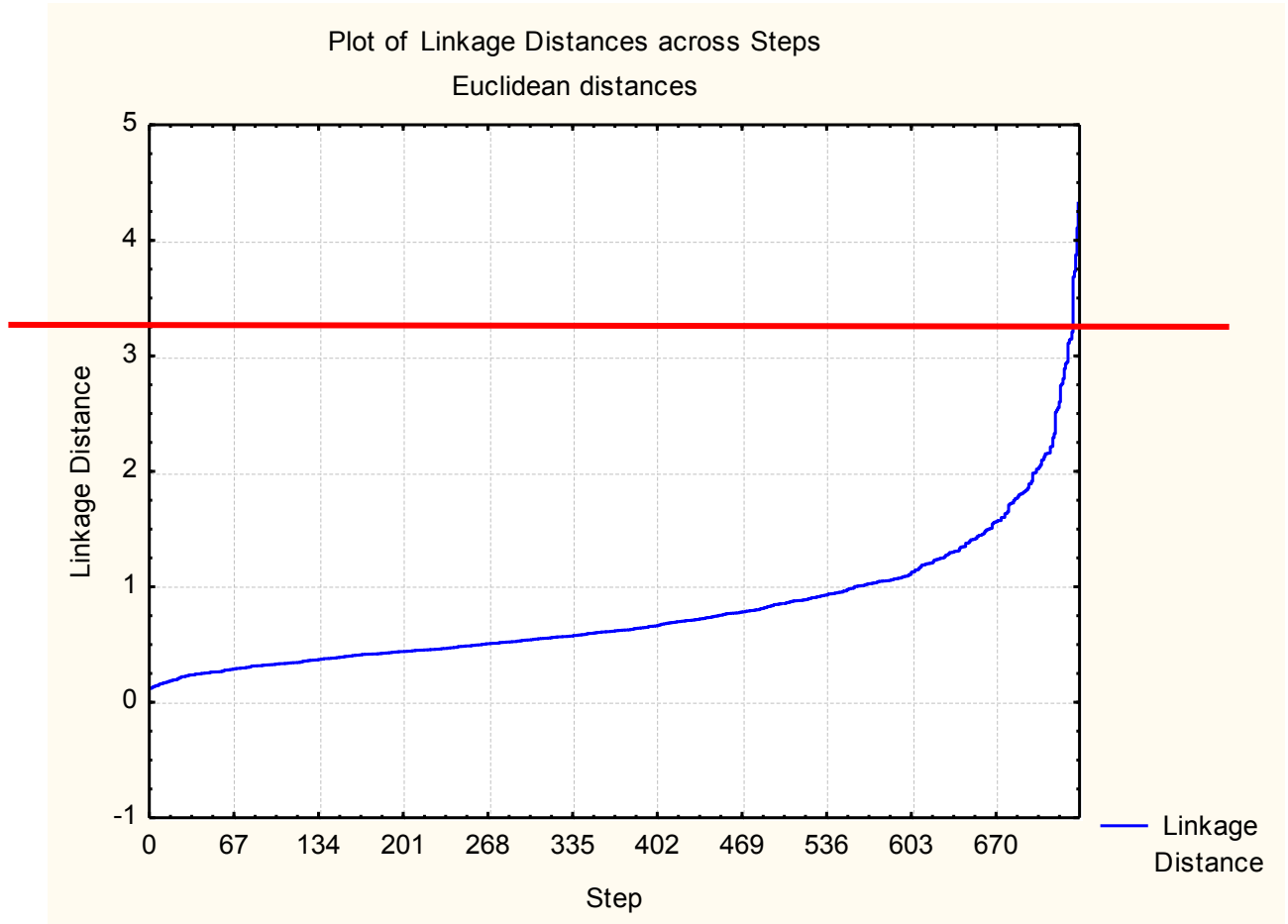
Στον πίνακα της εικόνας 6 απεικονίζεται το ποσοστό των διακυμάνσεων που εξηγείται από τους παράγοντες. Ας σημειωθεί ότι αυτό δεν επηρεάζεται από την ορθογώνια περιστροφή (συμμετοχικότητα – εταιρικότητα, communalities). Η παραγοντική ανάλυση ολοκληρώθηκε με τον υπολογισμό των factor scores, δηλαδή των τιμών των κυρίων παραγόντων, που αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις 736 περιπτώσεις (λόγω μεγέθους ο σχετικός πίνακας δεν συμπεριλαμβάνεται).

Ακολούθησε η ανάλυση της ομοιομορφίας των ομάδων (Cluster Analysis), με βάση τη μέθοδο της μέσης ευκλείδειας απόστασης με βάρη (Weighted pair-group average) (Lewicki and Hill, 2005 - Marques de Sá Joaquim P., 2007), σαν καλύτερη σε σχέση με τις άλλες μεθόδους, καθώς επιτρέπει μεγαλύτερο και ευκρινέστερο διαχωρισμό μεταξύ των ομάδων.

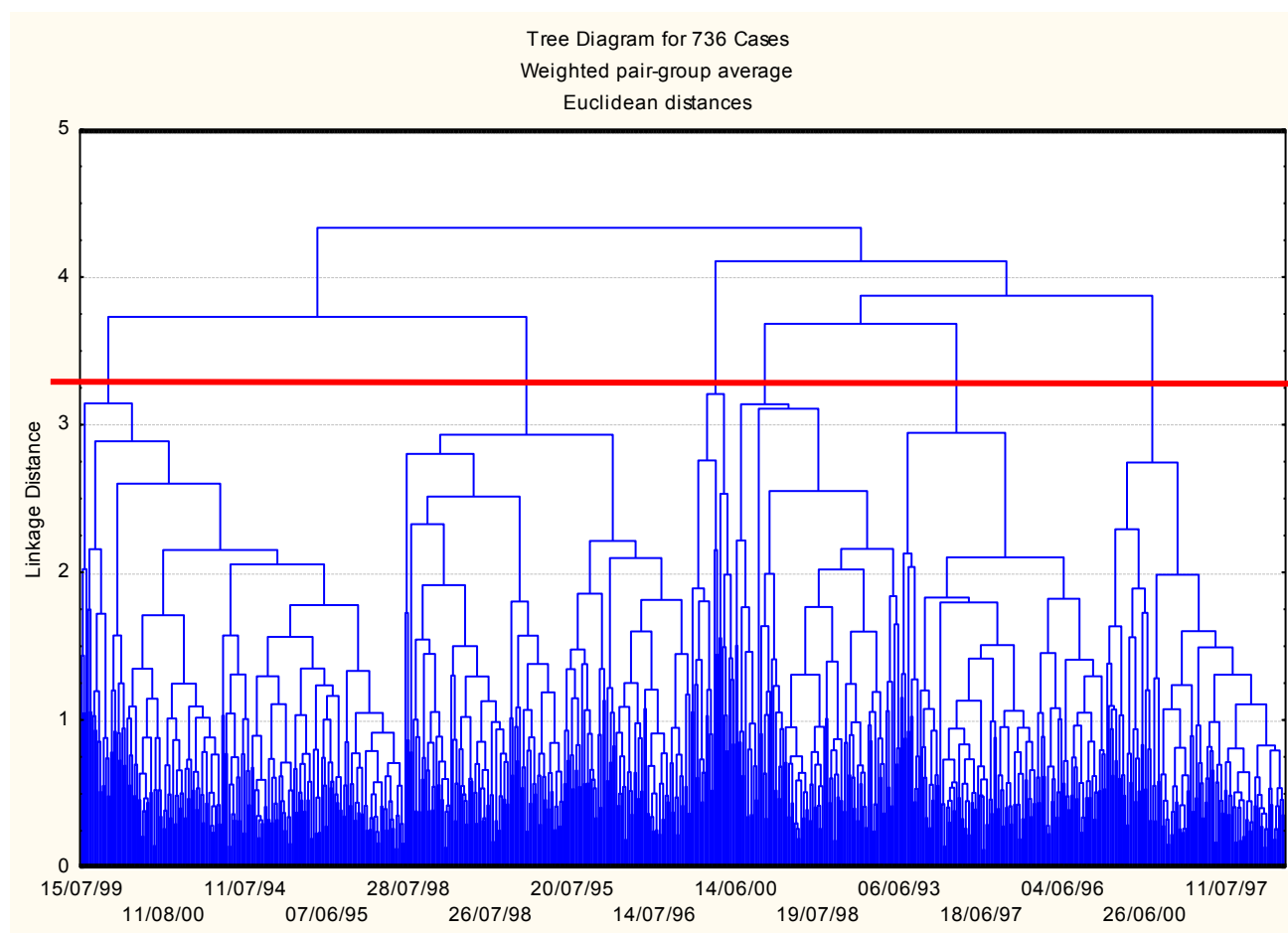
Γενικά η ανάλυση της ομοιομορφίας των ομάδων είναι μία μέθοδος ομαδοποίησης των παρατηρήσεων, έτσι ώστε κάθε ομάδα να περιλαμβάνει σχετικά όμοιες (σε σχέση με τις μεταβλητές) παρατηρήσεις. Αυτονόητο είναι ότι οι παρατηρήσεις μεταξύ των ομάδων απαιτείται να διαφέρουν όσο το δυνατόν περισσότερο. Η ομαδοποίηση γίνεται με διάφορα κριτήρια, που σχετίζονται κυρίως με την απόσταση και στην προκειμένη περίπτωση, όπως αναφέρθηκε χρησιμοποιήθηκε η μέση ευκλείδεια απόσταση με βάρη, τα οποία εξαρτώνται από το πλήθος των μελών της ομάδας (Lewicki and Hill, 2005). Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στις λεγόμενες ιεραρχικές μεθόδους ομαδοποίησης που οδηγούν στην δημιουργία ενός δενδρογράμματος (Γράφημα 9). Οι ομάδες δημιουργούνται μέσα από μια διαδικασία υποδιαίρεσης (division) ή συνάθροισης (agglomeration), στην οποία ανήκει και η παρούσα ανάλυση. Στη διαδικασία της συνάθροισης το κάθε αντικείμενο αποτελεί αρχικά από μόνο του ομάδα και η περαιτέρω ομαδοποίηση γίνεται σταδιακά, με βάση την αρχή της κοντινότερης απόστασης, καταλήγοντας τελικά όλα τα αντικείμενα να αποτελούν μία ομάδα. Στη διαδικασία της διαίρεσης η μία ομάδα σταδιακά διαιρείται σε μικρότερες μέχρι το επίπεδο του αντικειμένου – ομάδα (Manly, 1986 και Wilks, 2006).

Το ζητούμενο της διαδικασίας είναι η επιλογή των ομάδων, οι οποίες θα πρέπει αφενός να παρουσιάζουν, κατά το δυνατόν, επαρκή διαχωρισμό, να είναι δηλαδή διακριτές, και αφετέρου, με βάση το μέγεθος του δείγματος, να εμπεριέχουν ικανό αριθμό μελών (Σκριμιζέας et al., 1999 και Wilks, 2006). Το Γράφημα 8 απεικονίζει τις αποστάσεις με-

ταξύ των περιπτώσεων όπως αυτές εκτιμήθηκαν από το λογισμικό. Η κόκκινη γραμμή εντοπίζει ένα σημείο (απόσταση), πάνω από το οποίο παρατηρείται σημαντική αύξηση της απόστασης (το μέγιστο των αποστάσεων που μετρήθηκαν). Η απόσταση αυτή στο δενδρόγραμμα (κόκκινη γραμμή στο Γράφημα 9) καθορίζει τον αριθμό των ομάδων, που τελικά επελέγησαν. Όλες οι εκτιμηθείσες αποστάσεις και οι διαδοχικές ομαδοποιήσεις παρέχονται από το λογισμικό σε σχετικό πίνακα (Amalgamation Schedule), ο οποίος δεν παρατίθεται λόγω μεγέθους.



Γράφημα 8. Οριζόντιος άξονας περιπτώσεις (cases) – Κατακόρυφος άξονας αποστάσεις με βάση τη μέθοδο της μέσης ευκλείδειας απόστασης με βάρη (Weighted pair-group average).



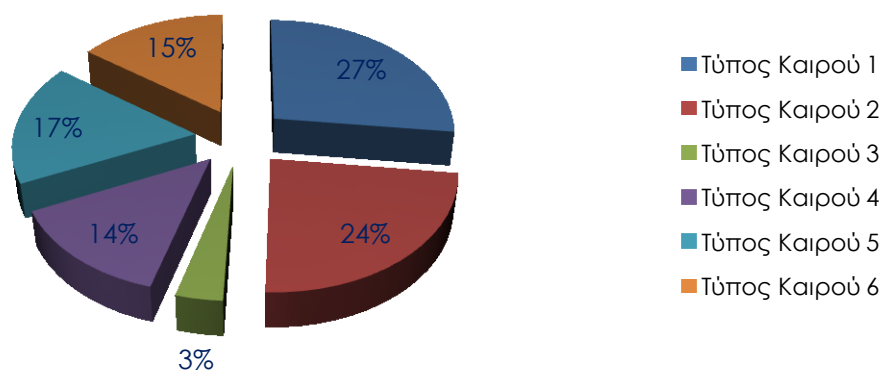
Γράφημα 9. Δενδροδιάγραμμα (Tree Diagram). Οριζόντιος άξονας περιπτώσεις (cases) – Κατακόρυφος άξονας αποστάσεις με βάση τη μέθοδο της μέσης ευκλείδειας απόστασης με βάρη (Weighted pair-group average).

Από την ανάλυση αυτή προέκυψαν τελικώς έξι τύποι καιρού, των οποίων οι συχνότητες (απόλυτες και σχετικές) φαίνονται στον Πίνακα 13 και εποπτικά στο Γράφημα 10.

Πίνακας 13. Απόλυτες και σχετικές συχνότητες εμφάνισης τύπων καιρού
(Περίοδος 1993 - 2000)

Τύπος Καιρού	Αριθμός ημερών	Αριθμός ημερών (%)
1 ^{ος}	198	26,90
2 ^{ος}	175	23,78
3 ^{ος}	27	3,67
4 ^{ος}	101	13,72
5 ^{ος}	126	17,12
6 ^{ος}	109	14,81
Σύνολο	736	100,00

**Συχνότητες ανά τύπο καιρού
Περίοδος 1993 -2000**



Γράφημα 10. Συχνότητες εμφάνισης (%) των τύπων καιρού

Στη συνέχεια περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά των τύπων καιρού που προέκυψαν. Σε κάθε περίπτωση – τύπου καιρού, η συνοπτική κατάσταση περιγράφεται από τις αντίστοιχες αναλύσεις των πεδίων 500hPa, 850hPa και επιφάνειας (MSL) της ημέρας, η οποία, για κάθε τύπο, παρουσιάζει την μεγαλύτερη φόρτιση (πρώτη ημέρα). Οι χάρτες προέρχονται από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπροθέσεων Προγνώσεων (ECMWF - 40 years reanalysis⁵). Στο Παράρτημα Β παρατίθενται οι ίδιοι χάρτες με υψηλότερη ανάλυση.

3.2.1 Περιγραφή Τύπων Καιρού

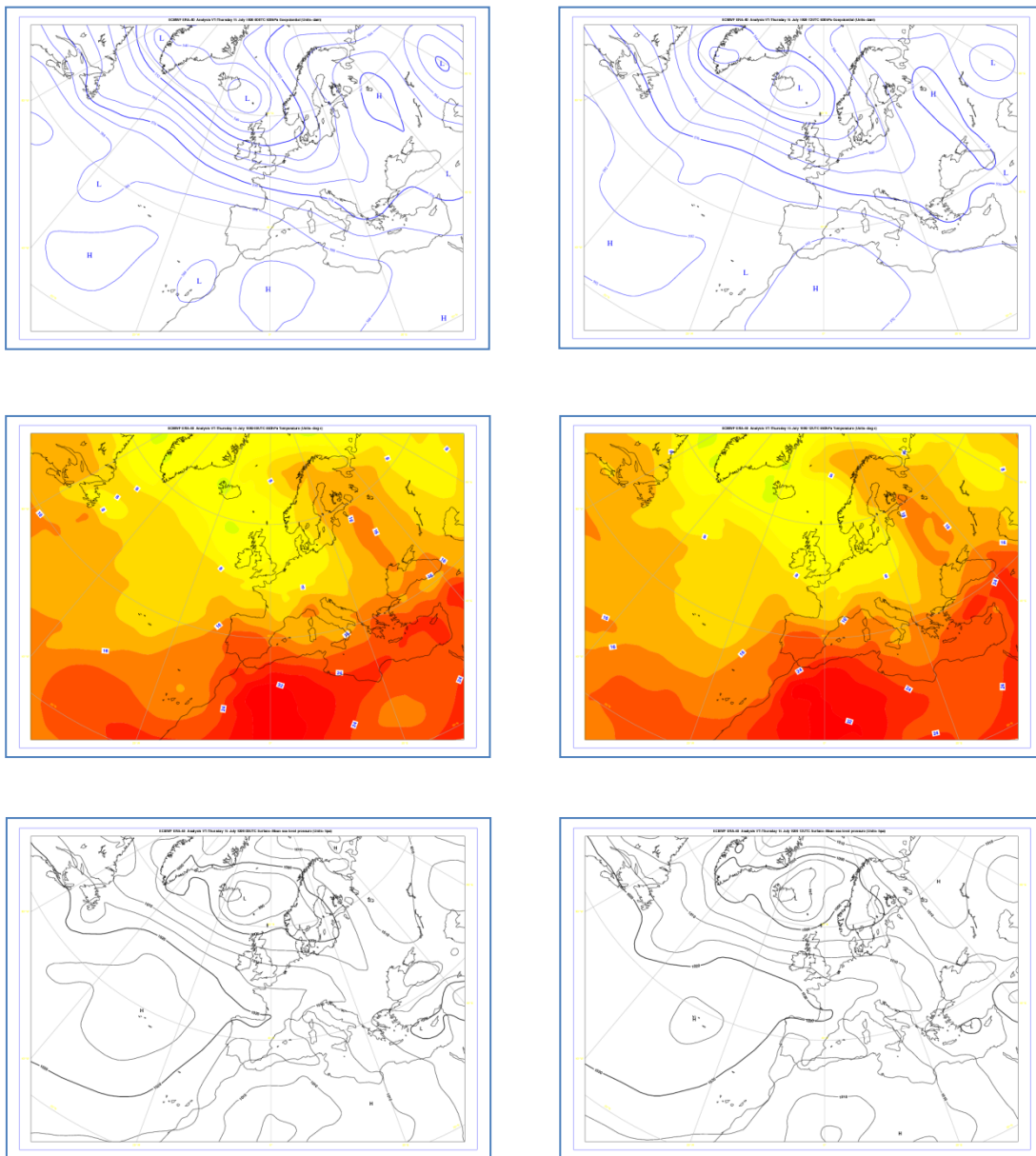
Τύπος καιρού 1

Χαρακτηρίζεται από σχεδόν αίθριο μέχρι λίγο νεφελώδη ουρανό, μέση νεφοκάλυψη 23%. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι 27,8 °C και η μέση σχετική υγρασία 49%. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία φθάνει τους 33,5 °C και η μέση ελάχιστη τους 20,7 °C. Το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι 12,9 °C. Κατά μέσο όρο πνέουν ασθενείς άνεμοι εντάσεως μέχρι 4 κόμβους και η διεύθυνσή τους είναι τις πρωινές ώρες του βόρειου τομέα, αργότερα νοτιοανατολικοί και προς το βράδυ ανατολικοί – βορειοανατολικοί.

Η συνοπτική κυκλοφορία, όπως αυτή απεικονίζεται στους σχετικούς μετεωρολογικούς χάρτες, 00 και 12UTC, της 15^{ης} Ιουλίου 1999 (πρώτη ημέρα του τύπου), στην ανώτερη ατμόσφαιρα (500hPa) χαρακτηρίζεται κυκλωνική τις πρωινές ώρες, με την κίνηση ενός αυλώνα από τα δυτικά προς τα ανατολικά, και αντικυκλωνική από το μεσημέρι με την επικράτηση βορειοδυτικού ρεύματος. Στο επίπεδο των 850hPa οι 20 βαθμοί Κελσίου το πρωί, παρουσιάζουν τάση υποχώρησης προς το μεσημέρι. Στην επιφάνεια, η Αττική

⁵ Αποτελεί δράση του Ευρωπαϊκού Κέντρου Μεσοπροθέσεων Προγνώσεων (ECMWF) με στόχο την αναδρομική βελτίωση της διαθέσιμης εικόνας της ατμοσφαιρικής κατάστασης, όπως αυτή προκύπτει από τους χάρτες καιρού. Με τη χρήση του αριθμητικού μοντέλου και την χρησιμοποίηση όλων των διαθέσιμων δεδομένων, τα οποία ενδεχομένως δεν υπήρχαν την χρονική στιγμή που το μοντέλο έτρεξε επιχειρησιακά, παράγονται (τέσσερις ανά ημέρα αναλύσεις 00,06,12,18 UTC) επιφάνειας και ανώτερης ατμόσφαιρας. (http://www.ecmwf.int/research/era/do/get/Reanalysis_ECMWF).

βρίσκεται στα δυτικά κράσπεδα μιας κυκλωνικής κυκλοφορίας με κέντρο την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου.



Εικόνα 7. Συνοπτική κατάσταση της 15^{ης} Ιουλίου 1999 (τύπος καιρού 1). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).

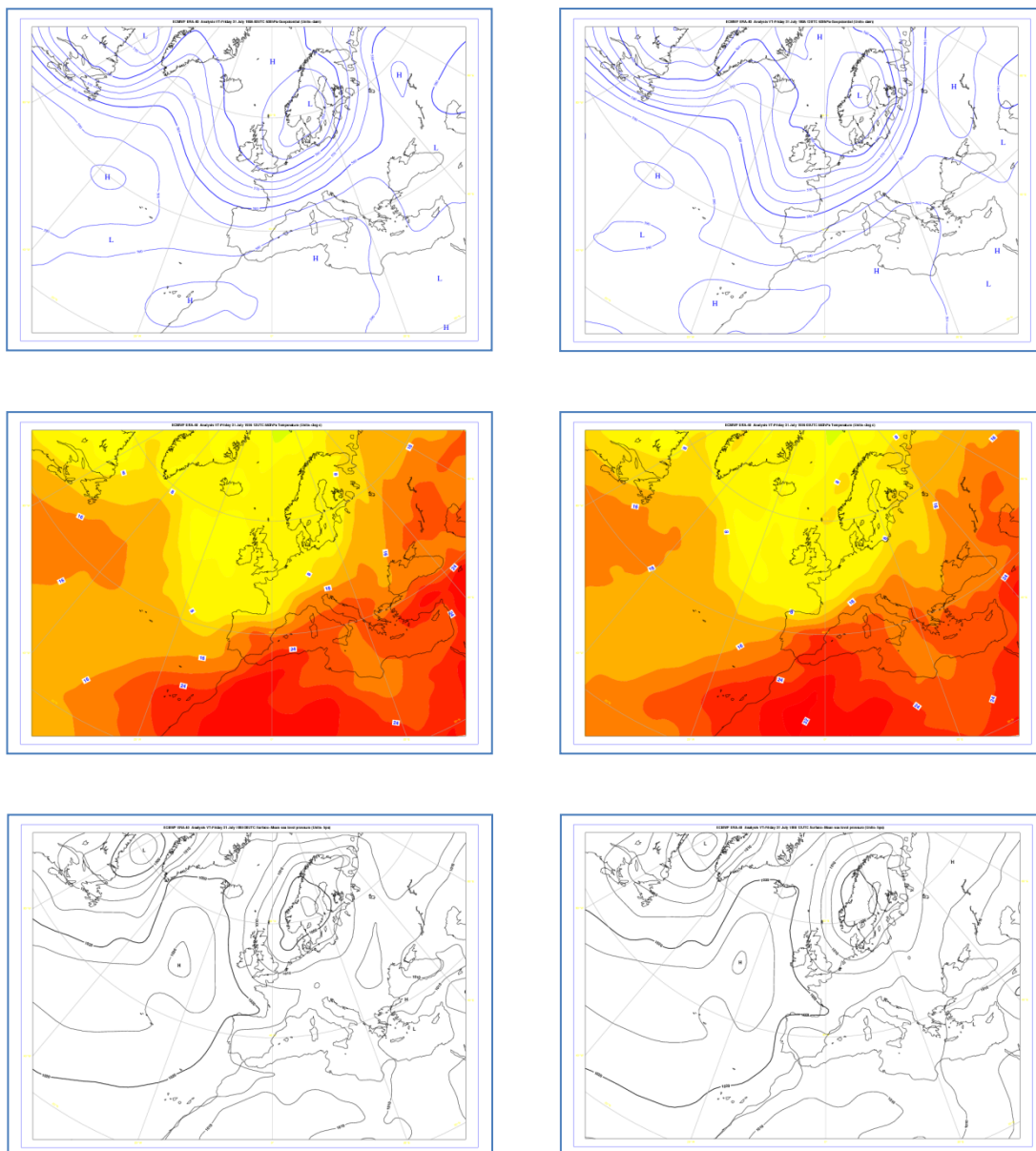
Στην ομάδα χαρτών της Εικόνας 7 η πρώτη σειρά απεικονίζει την συνοπτική κατάσταση από πλευράς ισοϋψών στο επίπεδο των 500hPa, στη δεύτερη σειρά απεικονίζεται η ισοθερμική ανάλυση στο επίπεδο των 850hPa και στην τρίτη σειρά απεικονίζεται η ι-

σοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια. Ο τύπος αυτός είναι ο πρώτος σε συχνότητα εμφάνισης με 198 περιπτώσεις (26,90%).

Τύπος καιρού 2

Χαρακτηρίζεται από σχεδόν αίθριο ουρανό, μέση ημερήσια θερμοκρασία τους 29,6°C και μέση σχετική υγρασία 41,8%. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία φθάνει τους 35,3°C και η μέση ελάχιστη του 22,6°C. Το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι οι 12,5°C. Οι άνεμοι πνέουν ασθενείς, με μέση ένταση τους 7,7 κόμβους και μέγιστη τους 15,8 και η διεύθυνσή τους είναι βορειοανατολική.

Η συνοπτική κυκλοφορία, όπως αυτή απεικονίζεται στους σχετικούς μετεωρολογικούς χάρτες, 00 και 12UTC, της 31^{ης} Ιουλίου 1998 (πρώτη ημέρα του τύπου), στην ανώτερη ατμόσφαιρα (500hPa) χαρακτηρίζεται από την σαφή αντικυκλωνική έξαρση πάνω από τον ελληνικό χώρο. Στο επίπεδο των 850hPa απεικονίζεται χαρακτηριστική θερμή εισβολή με θερμοκρασίες πάνω από 20 °C. Ομαλό το πεδίο στην επιφάνεια (Εικόνα 8). Ο τύπος αυτός εμφανίζεται σε 175 περιπτώσεις (23,78%).



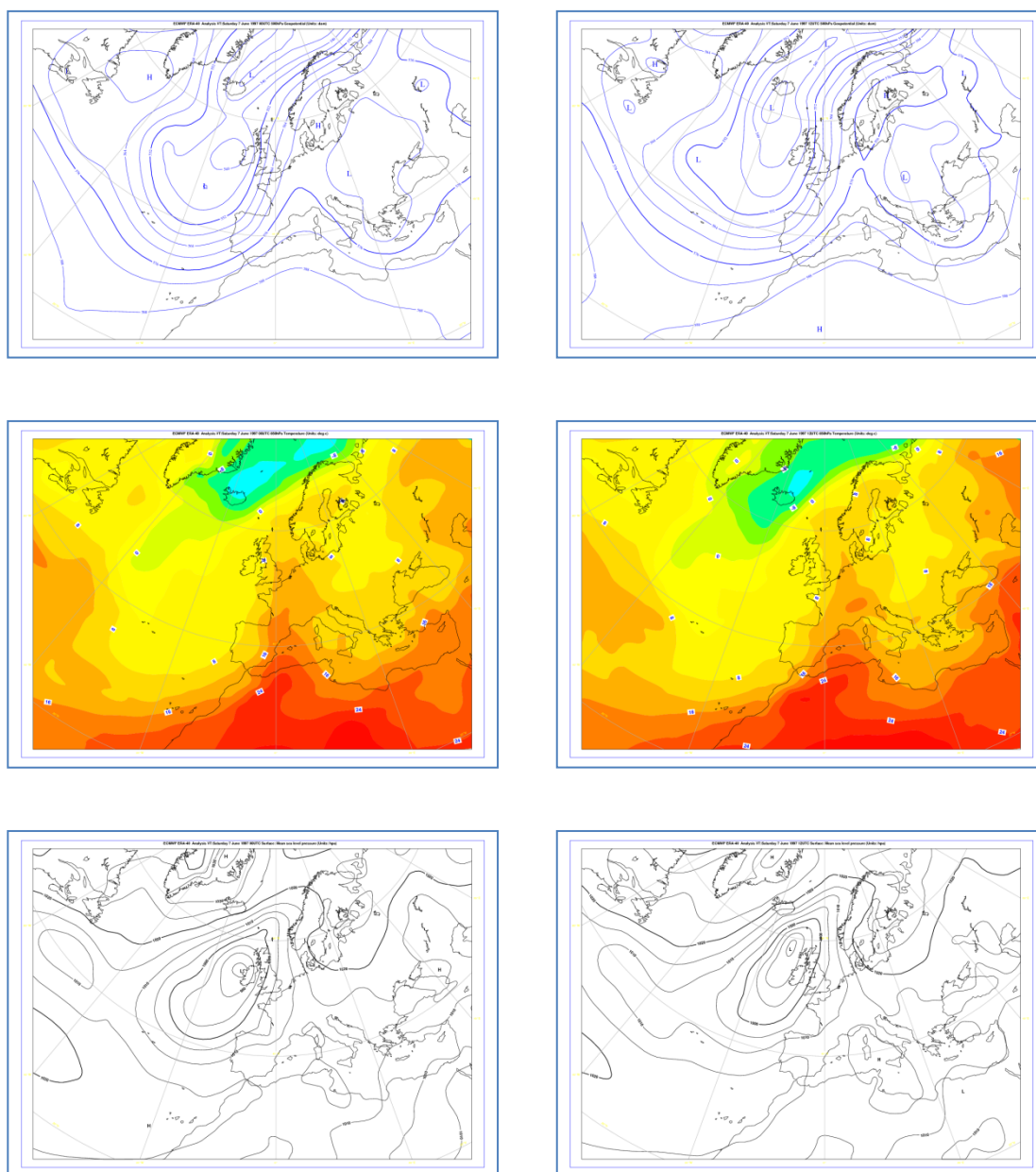
Εικόνα 8. Συνοπτική κατάσταση της 31^{ης} Ιουλίου 1998 (τύπος καιρού 2). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).

Τύπος καιρού 3

Νεφελώδης, με μέση ημερήσια νεφοκάλυψη πάνω από 50%. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι 23,6°C και η μέση σχετική υγρασία 49,4% με απολύτως μέγιστη το 74%. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι 28,8°C, με απολύτως μέγιστη τους 32°C. Η μέση ελάχιστη θερμοκρασία είναι οι 18,4°C και το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος 10,4°C βαθμοί. Οι άνεμοι πνέουν γενικά ασθενείς (μέση ένταση 5,3 κόμβοι) και με τη σημαντικότερη ένταση γενικά βόρειοι.

Η συνοπτική κυκλοφορία, απεικονίζεται στους σχετικούς μετεωρολογικούς χάρτες, 00 και 12UTC, της 7^{ης} Ιουνίου 1997 (πρώτη ημέρα του τύπου - Εικόνα 9).

Στην ανώτερη ατμόσφαιρα (500hPa) η κυκλοφορία πάνω από τον ελληνικό χώρο είναι κυκλωνική, ενώ αντικυκλωνική έξαρση παρατηρείται στα δυτικά, με αντίστοιχη θερμή εισβολή, η οποία αποτυπώνεται και στον χάρτη των 850hPa. Η θερμοκρασία στο επίπεδο των 850hPa είναι της τάξης των 10°C. Γενικά ομαλό το πεδίο στην επιφάνεια, μάλλον χαμηλών πιέσεων, με δεδομένη την ύπαρξη αντικυκλώνα στα δυτικά. Είναι ο τύπος με την μικρότερη συχνότητα εμφάνισης (27 περιπτώσεις ή 3,67%).



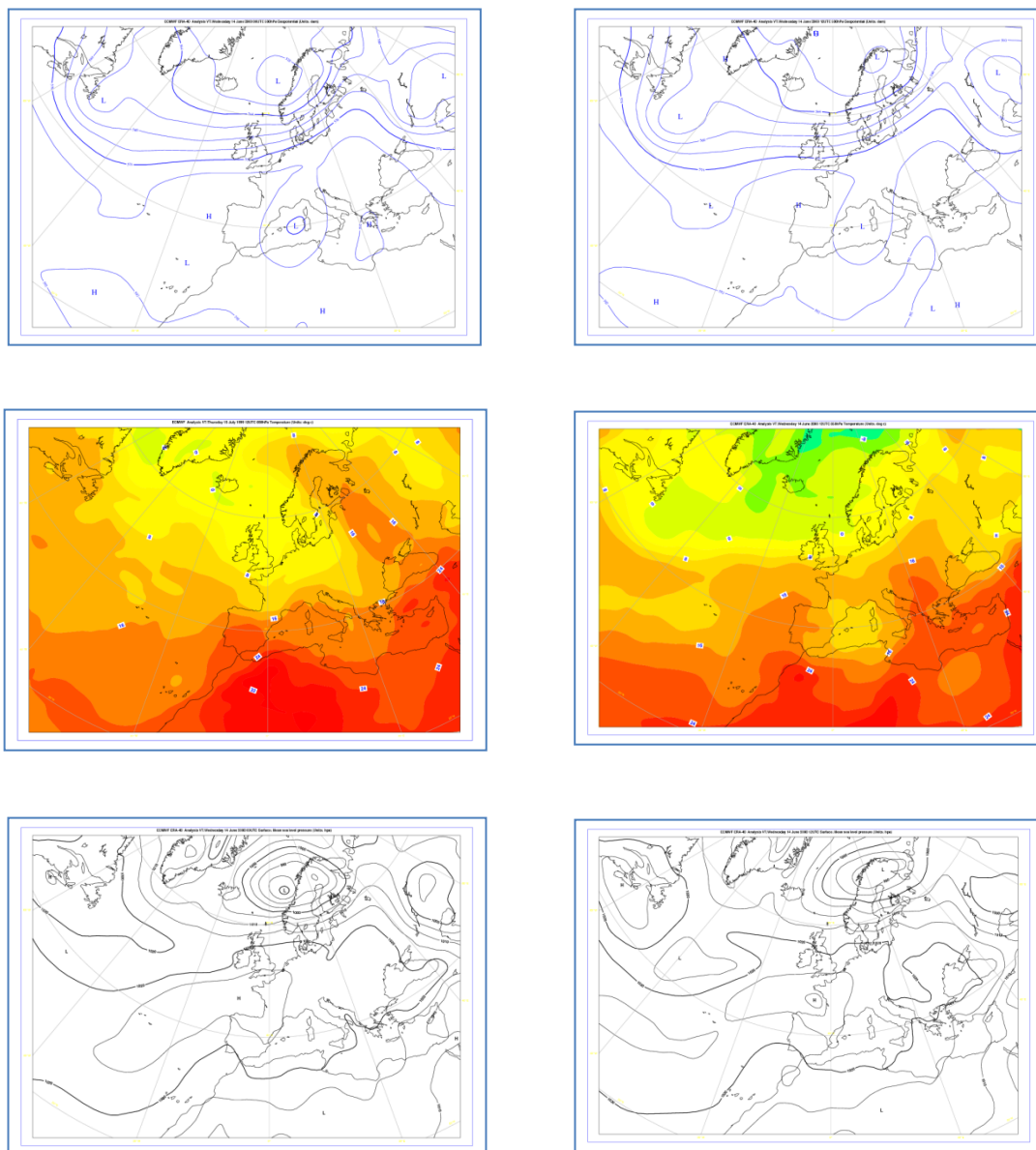
Εικόνα 9. Συνοπτική κατάσταση της 7^{ης} Ιουνίου 1997 (τύπος καιρού 3). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά: Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).

Τύπος καιρού 4

Χαρακτηρίζεται από αίθριο ουρανό, μέση ημερήσια θερμοκρασία τους 27,9°C και μέση σχετική υγρασία 33,5%. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία φθάνει τους 32,8°C και η μέση ελάχιστη τους 21,3°C. Το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι οι 11,5°C. Οι άνεμοι πνέουν κυρίως βορειοανατολικοί, με ένταση 10 κόμβους. Δεν παρατηρούνται περιπτώσεις άπνοιας.

Η συνοπτική κυκλοφορία, όπως αυτή, απεικονίζεται στους σχετικούς μετεωρολογικούς χάρτες, 00 και 12UTC, της 14^{ης} Ιουνίου 2000 (πρώτη ημέρα του τύπου), στην ανώτερη ατμόσφαιρα (500hPa), χαρακτηρίζεται από αντικυκλωνική έξαρση πάνω από τον ελληνικό χώρο, ενώ η παρουσία χαμηλού στην δυτική μεσόγειο συνεισφέρει στην ένταση της νότιας κυκλοφορίας στα δυτικά. Ισχυρή θερμή εισβολή, στη δυτική κυρίως Ελλάδα, αποτυπώνεται στο επίπεδο των 850hPa.

Η συγκράτηση των υψηλών θερμοκρασιών στα ανατολικά υπονοεί την παρουσία βορείου ρεύματος. Η κυκλοφορία στην επιφάνεια επιβεβαιώνει την παραπάνω υπόθεση, αφού είναι εμφανής ο συνδυασμός των χαμηλών πιέσεων στην περιοχή της Κύπρου με τις υψηλές στην περιοχή των Βαλκανίων (κυκλοφορία «ετησίων» ανέμων), που «παράγει» αυτό το βόρειο ρεύμα (Εικόνα 10). Ο τύπος αυτός εμφανίζεται σε 101 περιπτώσεις (13,72%).



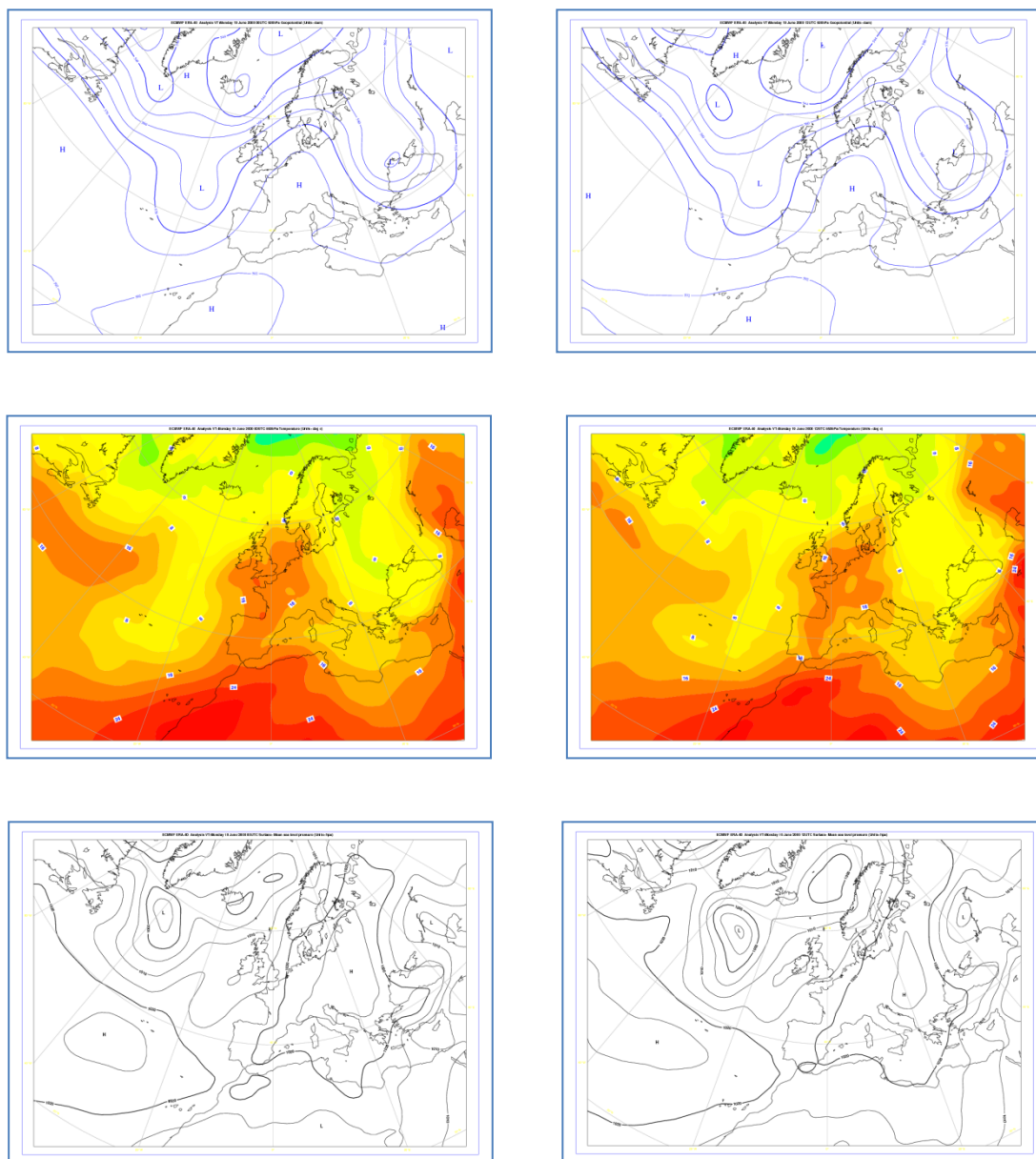
Εικόνα 10. Συνοπτική κατάσταση της 14^{ης} Ιουνίου 2000 (τύπος καιρού 4). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).

Τύπος καιρού 5

Αίθριος ουρανός. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι οι 27,4°C και η μέση σχετική υγρασία 42,3%. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία φθάνει τους 33,0°C και η μέση ελάχιστη τους 19,6°C. Το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι οι 13,4°C. Οι άνεμοι πνέουν από διάφορες διευθύνσεις ασθενείς, με μέση ένταση 4,2 κόμβους.

Αντικυκλωνική κυκλοφορία στην κεντρική Ευρώπη και κυκλωνική στην ανατολική, με κέντρο στην Μαύρη Θάλασσα, απεικονίζεται στον χάρτη των 500hPa της (00 και 12UTC) 19^η Ιουνίου 2000 (πρώτη ημέρα του τύπου).

Η βόρεια κυκλοφορία απομακρύνει τις θερμές αέριες μάζες από τον ελληνικό χώρο (850hPa). Στην επιφάνεια ο συνδυασμός των χαμηλών πιέσεων στην περιοχή της Κύπρου με τις υψηλές στην περιοχή των Βαλκανίων είναι σαφής και οι ενισχυμένοι «ετησίες» συμβάλουν στον φυσικό δροσισμό της ανατολικής Ελλάδας (Εικόνα 11). Ο τύπος αυτός εμφανίζεται σε 126 περιπτώσεις (17,12%).



Εικόνα 11. Συνοπτική κατάσταση της 19^{ης} Ιουνίου 2000 (τύπος καιρού 5). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).

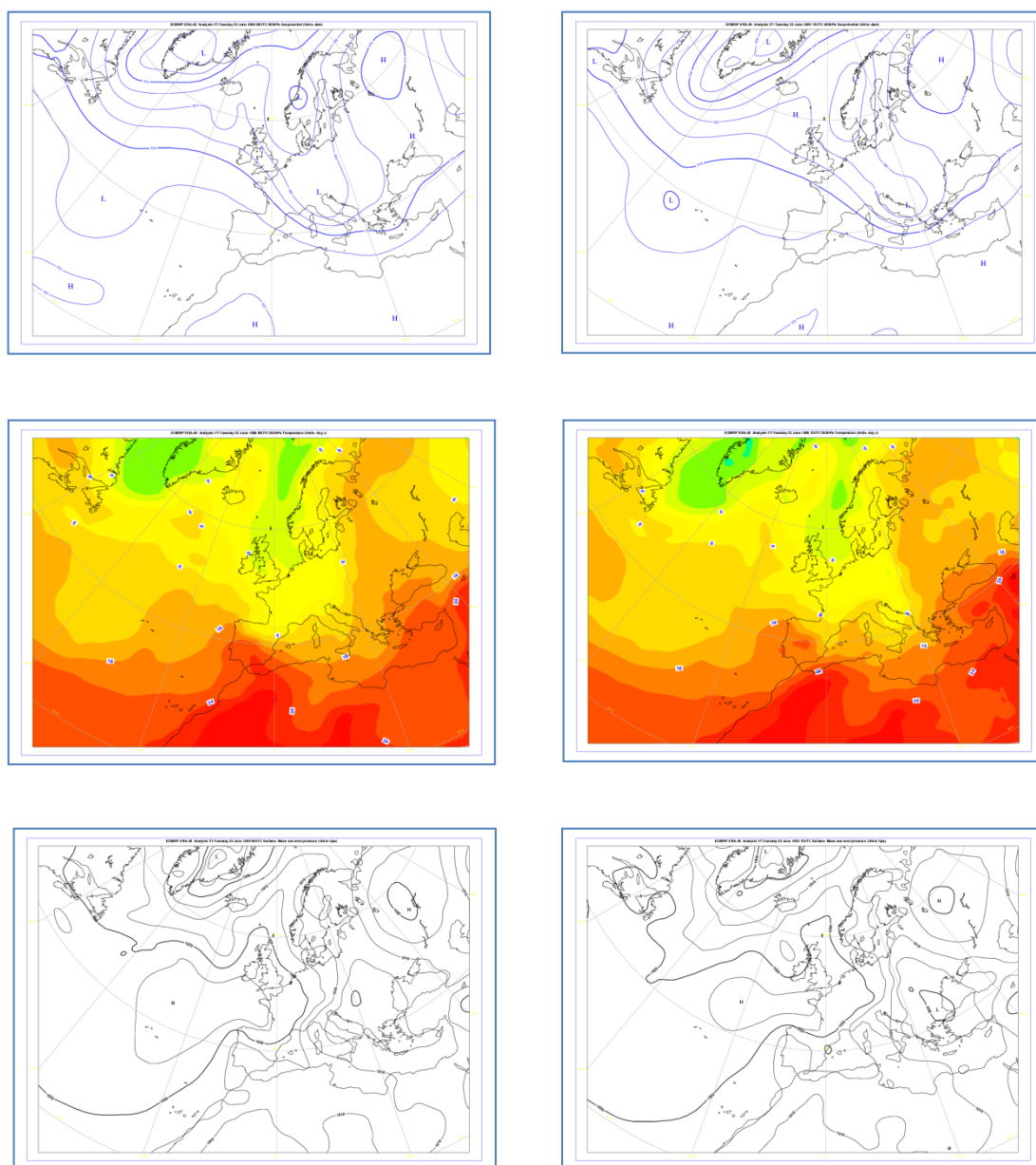
Τύπος καιρού 6

Χαρακτηρίζεται από αίθριο ουρανό, μέση ημερήσια θερμοκρασία 29,3°C βαθμούς Κελσίου και μέση σχετική υγρασία 37%. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία φθάνει τους 35,3°C βαθμούς Κελσίου και η μέση ελάχιστη του 20,3 °C βαθμούς. Το μέσο ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος είναι οι 15°C. Κατά μέσο όρο πνέουν πολύ ασθενείς άνεμοι, εντάσεως μέχρι 4 κόμβους, με διευθύνσεις του δυτικού τομέα.

Η συνοπτική κυκλοφορία, όπως αυτή απεικονίζεται στους σχετικούς μετεωρολογικούς χάρτες, 00 και 12UTC, της 22^{ης} Ιουνίου 1999 (πρώτη ημέρα του τύπου), στην ανώτερη ατμόσφαιρα (500hPa), χαρακτηρίζεται από των αυλών στην περιοχή της Ιταλίας, που από το μεσημέρι επηρεάζει τον Ελληνικό χώρο.

Η κυκλοφορία στα 850hPa δεν επιτρέπει σε θερμότερες αέριες μάζες να κινηθούν προς τον Ελληνικό χώρο.

Στην επιφάνεια εκτεταμένο βαρομετρικό χαμηλό καλύπτει όλα σχεδόν τα Βαλκάνια. Υφεσιακός θερινός τύπος καιρού. (Εικόνα 12). Ο τύπος αυτός εμφανίζεται σε 109 περιπτώσεις (14,81%).



Εικόνα 12. Συνοπτική κατάσταση της 22^{ας} Ιουνίου 1999 (τύπος καιρού 6). Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια. (Χάρτες αριστερά 00 και δεξιά 12UTC).

Συνοψίζοντας στον Πίνακα 14 περιγράφονται οι τύποι καιρού με βάση τις μέσες τιμές χαρακτηριστικών μετεωρολογικών παραμέτρων.

Πίνακας 14. Μέσες Τιμές των ατμοσφαιρικών Παραμέτρων ανά τύπο καιρού

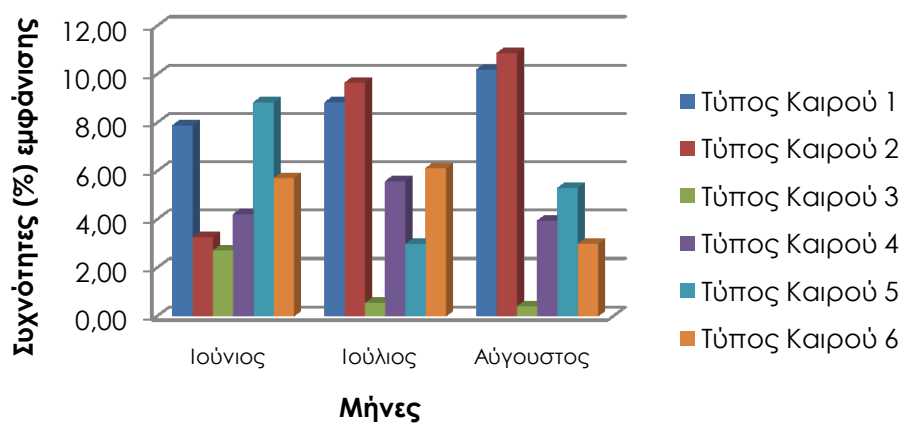
Τύπος Καιρού	Μέση η-μερ. Ατμοσφαιρική Πίεση (hPa)	Μέση ημερ. Θερμοκρασία (°C)	Μέση Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)	Μέση Ε-λάχιστη Θερμοκρασία (°C)	Μέση Σχετική υγρασία (%)	Μέση Νεφοκάλυψη (%)	Μέση ένταση ανέμου (Kt)
1	1009,8	27,8	33,5	20,7	48,7	23,7	4,1
2	1011,6	29,6	35,1	22,6	41,8	9,6	7,7
3	1012,1	23,6	28,8	18,4	49,4	53,4	5,3
4	1013,4	27,9	32,8	21,3	33,5	8,3	10,1
5	1015,0	27,4	33,0	19,6	42,3	14,6	4,2
6	1010,9	29,3	35,3	20,3	37,0	4,9	3,9

Στον πίνακα 15 απεικονίζεται η, ανά μήνα και για όλη την περίοδο μελέτης, κατανομή της εμφάνισης των προσδιορισθέντων τύπων καιρού. Όπως εύκολα διαπιστώνεται και από το γράφημα 11, ο 1^{ος} τύπος εμφανίζεται και τους τρεις μήνες, με μια τάση αύξησης από τον Ιούνιο προς τον Αύγουστο. Ο 2^{ος} τύπος καταγράφει τα μεγαλύτερα ποσοστά εμφάνισης τον Ιούλιο και Αύγουστο. Ο 3^{ος} τύπος, αν και γενικά έχει την μικρότερη συχνότητα εμφάνισης, καταγράφει ουσιαστικά την παρουσία του μόνο τον Ιούνιο. Ο 4^{ος} τύπος εμφανίζει μια, μάλλον ομοιόμορφη, εμφάνιση και τους τρεις μήνες, ενώ ο 5^{ος} εμφανίζει αξιόλογα ποσοστά εμφάνισης τον Ιούνιο.

Πίνακας 15. Εμφάνιση τύπων καιρού ανά μήνα (Περίοδος 1993-2000)

Τύποι Καιρού	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σύνολα	Συχνότητες εμφάνισης (%)
1 ^{ος}	58	65	75	198	26,90
2 ^{ος}	24	71	80	175	23,78
3 ^{ος}	20	4	3	27	3,67
4 ^{ος}	31	41	29	101	13,72
5 ^{ος}	65	22	39	126	17,12
6 ^{ος}	42	45	22	109	14,81
	240	248	248	736	100,00

**Ανά μήνα κατανομή των τύπων καιρού
(Περίοδος 1993-2000)**



Γράφημα 11. Συχνότητες εμφάνισης (%) των τύπων καιρού ανά μήνα.

3.3 Θνησιμότητα και Τύποι Καιρού

Το κρισιμότερο σημείο του εγχειρήματος είναι η συσχέτιση της υπερβάλλουσας θνησιμότητας, όπως αυτή προσδιορίστηκε στο κεφάλαιο 3.1, με τους τύπους καιρού.

Για το σκοπό αυτό, έγινε κατά πρώτον κατάταξη των τύπων καιρού, με βάση των αριθμό ημερών υπερβάλλουσας θνησιμότητας, που αντιστοιχεί σε κάθε έναν από αυτούς. Ακολούθως η κατάταξη επαναλήφθηκε, με βάση το ποσοστό θνησιμότητας, που αντιστοιχεί σε κάθε έναν από αυτούς. Ο πίνακας 16 συνοψίζει τις δύο αυτές κατατάξεις.

Πίνακας 16. Θνησιμότητα και τύπος καιρού

(* το σύνολο των ημερών εμφάνισης του τύπου καιρού)

Τύποι Καιρού	Αριθμός Ημερών Υπερβάλλουσας Θνησιμότητας*	Συχνότητα στον τύπο καιρού (%)	Συχνότητα επί του συνόλου των ημερών υπερβάλλουσας θνησιμότητας (%)	Υπερβάλλουσα θνησιμότητα	Συμμετοχή στο σύνολο της υπερβάλλουσας θνησιμότητας (%)
1 ^{ος}	82 (198)	41	24	26,6	20
2 ^{ος}	105 (175)	60	31	56,3	43
3 ^{ος}	6 (27)	22	2	1,7	1
4 ^{ος}	39 (101)	39	12	9,1	7
5 ^{ος}	52 (126)	41	15	14,6	11
6 ^{ος}	55 (109)	50	16	22,4	17
	339 (736)		100	130,7	100

Ο Πίνακας 16 περιγράφει τη συμμετοχή του κάθε τύπου καιρού, τόσο στον αριθμό των ημερών με αυξημένη θνησιμότητα, αλλά κυρίως τη συνεισφορά του στην υπερβάλλουσα θνησιμότητα. Εντοπίστηκαν 339 περιπτώσεις – ημέρες με υπερβάλλουσα θνησιμότητα, σε σύνολο 736 περιπτώσεων. Ο 2^{ος} τύπος καιρού κατέχει την πρώτη θέση, αφού στο 60% των ημερών που έκανε την εμφάνισή του, εντοπίστηκε υπερβάλλουσα θνησι-

μότητα. Επίσης, η συμμετοχή του στο ποσοστό θνησιμότητας, φθάνει το 43%, ποσοστό σχετικά υψηλό αφού, με βάση τα δεδομένα της μελέτης, η εμφάνισή του δεν ξεπερνά το 24% (23,78% - Πίνακας 15) των περιπτώσεων.

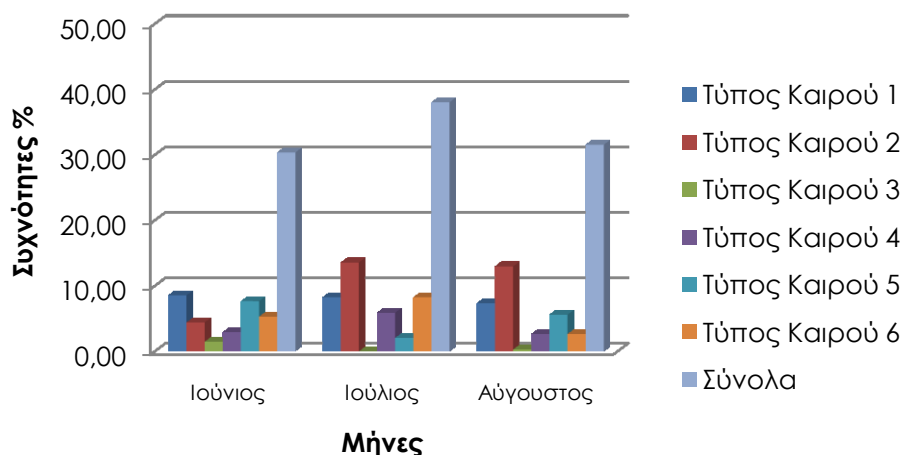
Ο 6^{ος} τύπος καιρού, αν και εμφανίζει την δεύτερη μεγαλύτερη συχνότητα αριθμού ημερών με αυξημένη θνησιμότητα, η τελική συνεισφορά του στο ποσοστό θνησιμότητας είναι σχετικά μικρή, ειδικά αν συγκριθεί με τον 1^ο τύπο καιρού. Αυτό οφείλεται στο ότι ο πρώτος τύπος καιρού έχει την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης (περίπου 27%) και έτσι με μικρότερο ποσοστό αριθμού ημερών αυξημένης θνησιμότητας, συνεισφέρει περισσότερο στο ποσοστό θνησιμότητας.

Ο 3^{ος} τύπος καιρού έχει πολύ μικρή συμμετοχή στο δείγμα (3,67%) και τα ποσοστά της θνησιμότητας τον καθιστούν μάλλον ακίνδυνο. Χαμηλά είναι και τα ποσοστά συμμετοχής στην θνησιμότητα των άλλων δύο τύπων καιρού (4^{ου} και 5^{ου}), αν και οι ημέρες αυξημένης θνησιμότητας κατέχουν σημαντικό μέρος του δείγματος.

Στο γράφημα 12 περιγράφονται οι συχνότητες (%) ημερών με αυξημένη θνησιμότητα ανά μήνα και ανά τύπο καιρού, από όπου γίνεται άμεσα αντιληπτό, ότι ο Ιούλιος είναι ο κρισιμότερος μήνας και ότι ο 2^{ος}, από τους προσδιορισθέντες, τύπος καιρού έχει την μεγαλύτερη συνεισφορά. Παρόμοια εικόνα συμπεραίνεται και για τον Αύγουστο.

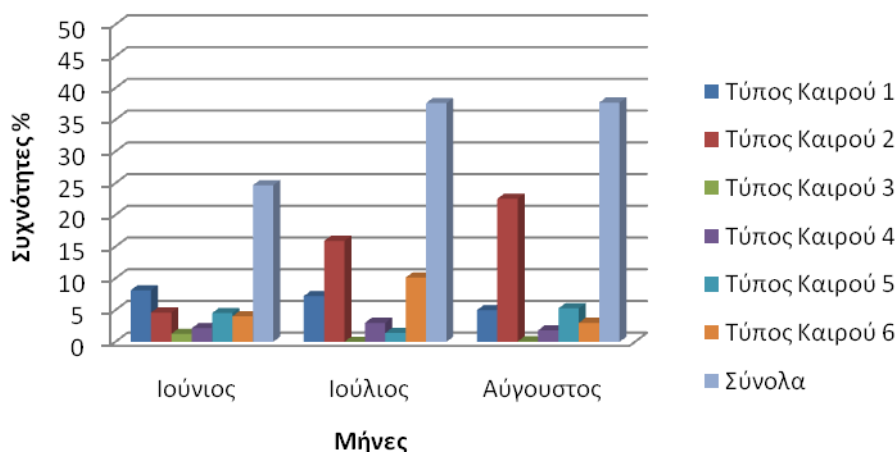
Η επόμενη ανάλυση στοχεύει στον προσδιορισμό του ποσοστού της υπερβάλλουσας θνησιμότητας, αφού ναι μεν συνδέεται άμεσα με τον αντίστοιχο αριθμό ημερών, αλλά δεν προσδιορίζεται απολύτως από αυτόν.

Συχνότητες Ημερών Υπερβάλλουσας Θνησιμότητας



Γράφημα 12. Συχνότητες εμφάνισης (%) των ημερών αυξημένης θνησιμότητας ανά μήνα και τύπο καιρού.

Υπερβάλλουσα Θνησιμότητα



Γράφημα 13. Η υπερβάλλουσα θνησιμότητα σαν ποσοστό (%) της συνολικής της περιόδου 1993-2000 ανά μήνα και ανά τύπο καιρού.

Από το γράφημα 12 προκύπτει ότι οι ημέρες του Αυγούστου (όλης της περιόδου μελέτης) με υπερβάλλουσα θνησιμότητα ήταν λιγότερες από τις ημέρες του Ιουλίου (και πάλι στο σύνολο της περιόδου μελέτης). Εν τούτοις η υπερβάλλουσα θνησιμότητα τον Αύγουστο ήταν περίπου ίδια με αυτή του Ιουλίου (Γράφημα 13) και σε αυτό συμβάλλει ουσιαστικά ο 2^{ος} τύπος καιρού.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Και οι έξι προσδιορισθέντες, με την παραπάνω διαδικασία, τύποι καιρού παρουσιάζουν ημέρες με υπερβάλλουσα θνησιμότητα, σε σχέση πάντα με την εκτιμώμενη, από την προταθείσα στο κεφάλαιο 3.1 διαδικασία, «κανονική» θνησιμότητα της περιόδου.

Επίσης, είναι κατά μία έννοια «εγωιστικό» να αποδίδεται το σύνολο της αυξημένης ημερήσιας θνησιμότητας στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Άλλωστε τα δεδομένα θνησιμότητας περιλαμβάνουν το σύνολο των θανάτων από οιαδήποτε αιτία και ο μέσος όρος ενός δείγματος οκτώ ετών δεν θα μπορούσε να απαλείψει έναν σημαντικό αριθμό θανάτων από μια τρίτη μη συμβατική αιτία π.χ. ατύχημα. Επομένως, τύποι καιρού με μικρή συμμετοχή στο σύνολο της υπερβάλλουσας θνησιμότητας μπορούν, σε πρώτη φάση και χωρίς σημαντική βλάβη, να εξαιρεθούν. Πρόκειται ουσιαστικά, κατά πρώτο λόγο, για τον 3^ο και κατά δεύτερο για τον 4^ο τύπο καιρού.

Στο γράφημα 14 επιχειρείται η ανάλυση του 2^{ου} τύπου καιρού, ο οποίος παρουσιάζει και ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί σχετίζεται με την απολύτως μέγιστη παρατηρηθείσα θνησιμότητα, με την απεικόνιση των ημερών της υπερβάλλουσας θνησιμότητας και των μεγίστων – ελαχίστων θερμοκρασιών που μετρήθηκαν. Η υπερβάλλουσα θνησιμότητα των τελευταίων ημερών του Ιουλίου 1998 και το μέγιστο των αρχών του Αυγούστου, συνδυάζεται άμεσα με τις υψηλές μέγιστες, που προσέγγισαν τους 40°C, αλλά κυρίως με τη διατήρηση υψηλών ελαχίστων θερμοκρασιών σταθερά πάνω από τους 25°C. Σε κάθε περίπτωση, η υπερβάλλουσα θνησιμότητα σχετίζεται με ελάχιστη θερμοκρασία πάνω από τους 20°C, ακόμη και σε περιπτώσεις με «φυσιολογικές» για την εποχή μέγιστες θερμοκρασίες μεταξύ 32 και 36°C (16/8/1994). Επίσης θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη, στην περίπτωση του 1998, ο μεγάλος αριθμός των διαδοχικών ημερών – από 22/7 μέχρι 8/8 – εμφάνισης του συγκεκριμένου τύπου και στο γεγονός αυτό θα πρέπει ενδεχομένως να αποδοθεί και το απόλυτο μέγιστο υπερβάλλουσας θνησιμότητας στις 5/8.

Με βάση την παραπάνω ανάλυση μπορούν να διατυπωθούν οι εξής γενικές αρχές:

- **Τύπος Καιρού 2.** Πιθανότητα υπερβάλλουσας θνησιμότητας 60%, με έμφαση στους μήνες Ιούλιο – Αύγουστο. Απαιτείται υψηλού βαθμού επαγρύπνηση, ιδίως σε περιπτώσεις εμμονής του τύπου για αρκετές διαδοχικές ημέρες.

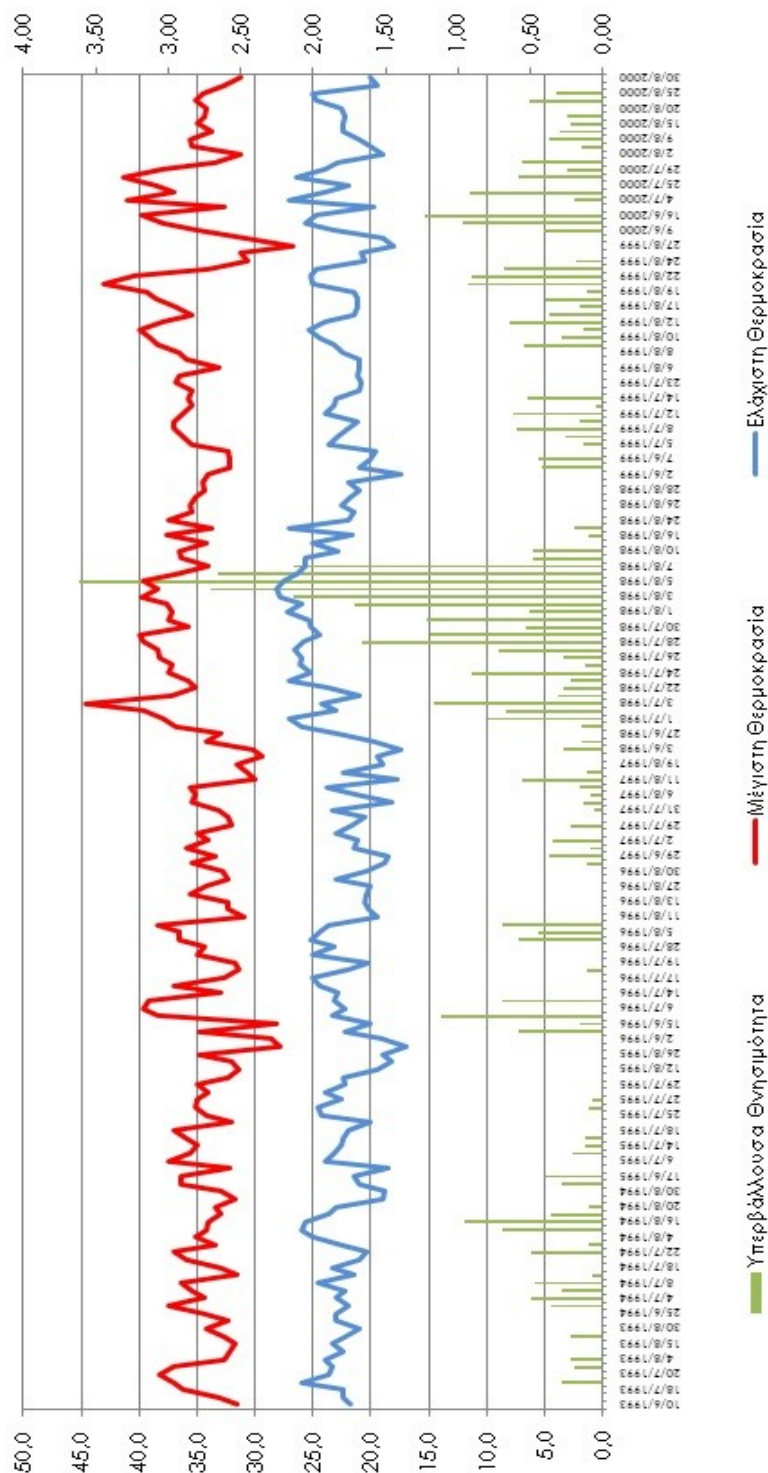
- **Τύπος Καιρού 6.** Πιθανότητα υπερβάλλουσας θνησιμότητας 50%, με έμφαση τον Ιούλιο. Απαιτείται επαγρύπνηση.
- **Τύπος Καιρού 1.** Πιθανότητα υπερβάλλουσας θνησιμότητας 41%, κατανεμημένη ισομερώς και στους τρεις θερινούς μήνες.
- **Τύπος Καιρού 5.** Πιθανότητα υπερβάλλουσας θνησιμότητας 41%, με έμφαση τον Ιούνιο και τον Αύγουστο.

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζεται η προβλεπόμενη υπερβάλλουσα θνησιμότητα σε περίπτωση πιθανής εμφάνισης των παραπάνω τύπων καιρού.

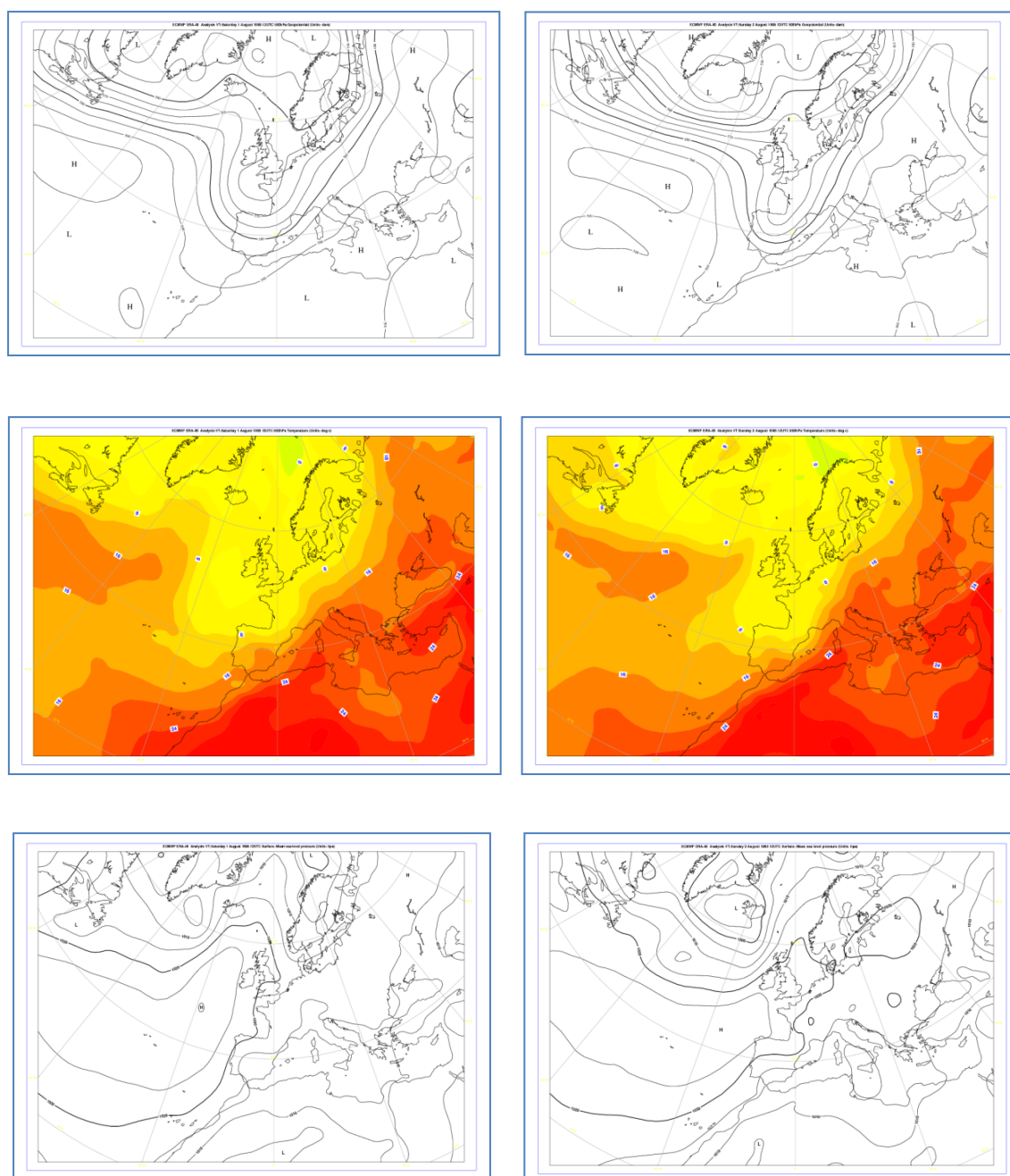
Πίνακας 17. Η ανά τύπο καιρού προβλεπόμενη υπερβάλλουσα θνησιμότητα (ανά 100000 κατοίκους).

Τύποι Καιρού	Αριθμός Ημερών Υπερβάλλουσας Θνησιμότητας	Πιθανότητα υπερβάλλουσας θνησιμότητας στον τύπο καιρού (%)	Υπερβάλλουσα θνησιμότητα στο σύνολο των ημερών	Μέση ημερήσια προβλεπόμενη υπερβάλλουσα θνησιμότητα
2 ^{ος}	105	60	56,3	0,54
6 ^{ος}	55	50	22,4	0,41
1 ^{ος}	82	41	26,6	0,32
5 ^{ος}	52	41	14,6	0,28

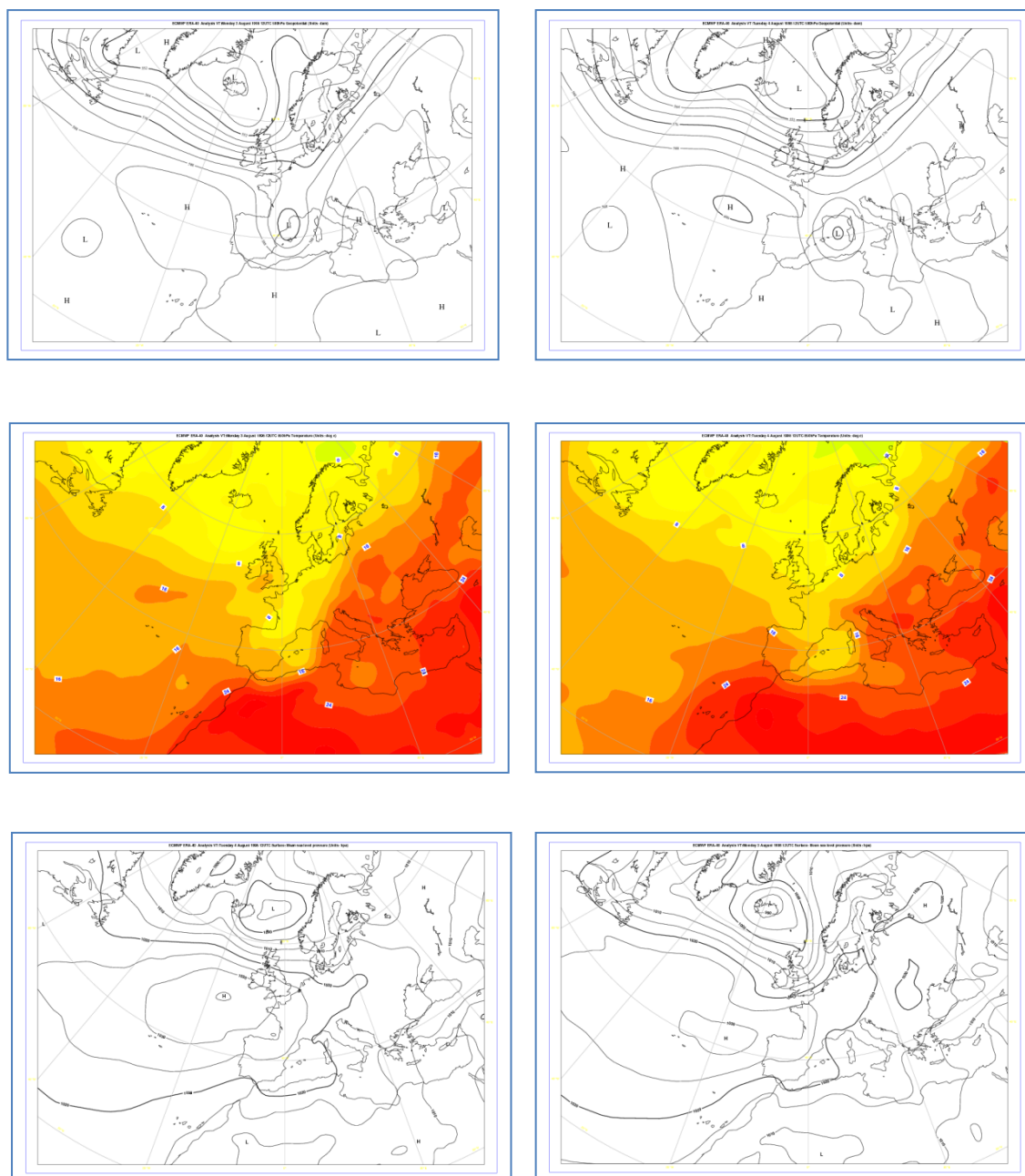
Η περίπτωση του Ιουλίου – Αυγούστου του 1998 παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, κυρίως λόγω του σημαντικού ποσοστού υπερβάλλουσας θνησιμότητας, το οποίο και κατατάσσει αυτόν τον τύπο καιρού στην πρώτη θέση από πλευράς επικινδυνότητας. Για το λόγο αυτό επιχειρείται μια περαιτέρω ανάλυση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας της περιόδου 1-6 Αυγούστου 1998, που παρουσιάζει και τα μέγιστα ποσοστά υπερβάλλουσας θνησιμότητας. Όπως και παραπάνω, για κάθε ημέρα η συνοπτική κυκλοφορία απεικονίζεται με τους χάρτες της 1200UTC, 500hPa (ανάλυση ισοϋψών), 850hPa (ισοθερμική ανάλυση) και επιφάνεια (ισοβαρική ανάλυση ανηγμένη σε μέση στάθμη θάλασσας) (Εικόνες 13,14,15).



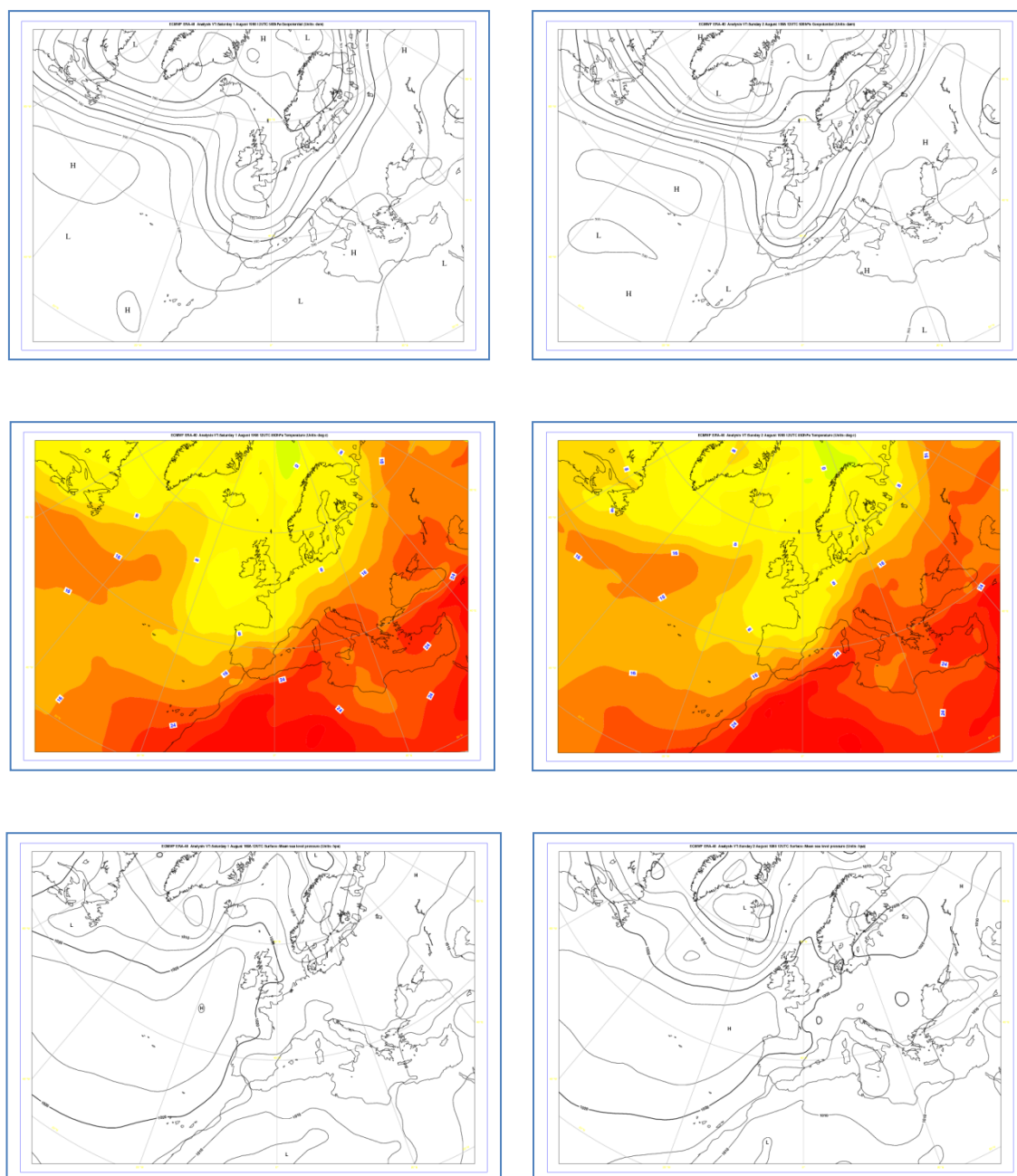
Γράφημα 14. Ημέρες εμφάνισης του 2^{ου} τύπου καιρού σε συνδυασμό με την υπερβάλλουσα θνησιμότητα και την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία. Δεξιός κατακόρυφος άξονας: Υπερβάλλουσα θνησιμότητα σε ποσοστό ανά 100000 κατοίκους. Αριστερός κατακόρυφος άξονας: Θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου.



Εικόνα 13. Συνοπτική κατάσταση της 1ης (αριστερά) και 2ας(δεξιά) Αυγούστου 1998. Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες 12UTC).



Εικόνα 14. Συνοπτική κατάσταση της 3ης (αριστερά) και 4ης(δεξιά) Αυγούστου 1998. Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες 12UTC).



Εικόνα 15. Συνοπτική κατάσταση της 5ης (αριστερά) και 6ης(δεξιά) Αυγούστου 1998. Πρώτη από τα πάνω σειρά: Ανάλυση ισοϋψών στα 500hPa. Δεύτερη σειρά: Ισοθερμική ανάλυση στα 850hPa. Τρίτη σειρά : Ισοβαρική κατάσταση στην επιφάνεια – MSL. (Χάρτες 12UTC).

Οι χάρτες των Εικόνων 13, 14, και 15 προέρχονται από το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσο-προθέσμων Προγνώσεων (ECMWF - 40 years reanalysis).

Συμπερασματικά:

Η αντικυκλωνική έξαρση στην ανώτερη ατμόσφαιρα (500hPa), πάνω από τον ελληνικό χώρο, της 1ης Αυγούστου συντηρείται μέχρι την 6η Αυγούστου. Η παρουσία του πεδίου των χαμηλών υψών στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου δημιουργεί συνθήκες εμποδισμού, εγκλωβίζοντας πάνω από τη χώρα θερμές αέριες μάζες, όπως παρουσιάζονται στους χάρτες των 850hPa. Στην επιφάνεια, το αρχικά ομαλό πεδίο, με την ενίσχυση του εμποδισμού στην ανώτερη ατμόσφαιρα από τις 3 Αυγούστου, δημιουργεί συνθήκες βόρειας κυκλοφορίας πάνω από το Αιγαίο (ετησίες), η οποία με βεβαιότητα επηρεάζει τις βόρειες και ανατολικές περιοχές της Αττικής. Η κίνηση προς τα ανατολικά, από την 6^η Αυγούστου, του πεδίου των χαμηλών υψών στην ανώτερη ατμόσφαιρα, στην ουσία απελευθερώνει τις εγκλωβισμένες πάνω από τον ελληνικό χώρο θερμές αέριες μάζες.

Στο σημείο αυτό, για την καλύτερη κατανόηση των όσων συνέβησαν την περίοδο εκείνη, και σε μια προσπάθεια αιτιολόγησης του υψηλού ποσοστού υπερβάλλουσας θνησιμότητας, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η περιοχή της βόρειας και ανατολικής Αττικής βίωσε σημαντικές πυρκαγιές, οι οποίες ξεκίνησαν στις 2 Αυγούστου. Συνεπώς, εκτός από την προϋπάρχουσα μακρά περίοδο υψηλών θερμοκρασιών (από 22/7) και την καταπόνηση από αυτές, υπήρξε επιπλέον επιβάρυνση της ατμόσφαιρας της ευρύτερης περιοχής, λόγω των πυρκαγιών και από την ενδεχόμενη μεταφορά, λόγω των βορειοανατολικών ανέμων, ρύπων από αυτές.

Από την αρχή ήταν γνωστό και διατυπωμένο από το σύνολο των ερευνητών (Pascal. et al, 2004 - Fouillet, 2006), ότι το πλέον κρίσιμο σημείο της όλης διαδικασίας είναι ο σαφής προσδιορισμός της υπερβάλλουσας θνησιμότητας και ο βαθμός στον οποίο αυτή συνδέεται με τον καιρό. Όλοι οι τύποι καιρού οι οποίοι προσδιορίστηκαν με την παραπάνω διαδικασία παρουσιάζουν περιπτώσεις, περισσότερες ή λιγότερες υπερβάλλουσας θνησιμότητας. Το ενδεχόμενο υπερεκτίμησης της θνησιμότητας, όπως εύλογα μπορεί να υποθέσει κάποιος για την περίπτωση του Αυγούστου του 1998, έχει ήδη διατυπωθεί (Fouillet G.R., 2006), κατά την αξιολόγηση αναλόγου συστήματος στην Φιλαδέλφεια (ΗΠΑ). Έχει όμως επίσης διατυπωθεί, ότι το σημαντικό είναι, όταν συμβαίνουν θάνατοι αυτό να έχει προβλεφθεί.

Η ανάπτυξη και εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για καύσωνες θεωρείται κρίσιμο θέμα για τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό, ο οποίος σε συνεργασία με την Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας (WHO), αναλαμβάνουν πρωτοβουλία προώθησης της έρευνας στον τομέα αυτό. Δυνητικά, εκατομμύρια άνθρωποι κινδυνεύουν από την έξαρση τέτοιων επεισοδίων και ειδικά αυτοί με σχετικά προβλήματα υγείας ή απλά με περιορισμένη προσαρμοστικότητα. Μοναδική αξιόπιστη διαδικασία αντιμετώπισης του εξαιτίας των καυσώνων κινδύνου και του μετριασμού των επιπτώσεών τους είναι η έγκαιρη προειδοποίηση για τη λήψη μέτρων προστασίας.

Βιβλιογραφία

ABC News, 30-01-2009, <http://www.abc.net.au/news/stories/2009/01/30/2478827.htm>

Adams Christopher R., 1997: “Impacts of Temperature Extremes”. Workshop on the Social and Economic Impacts of Weather, 2-4 April 1997, Cooperative Institute for Research in the Atmosphere, Colorado, U.S
<http://sciencepolicy.colorado.edu/socasp/weather1/adams.html>

Akhtar Rais, 2007: “Climate Change and Health and Heat Wave Mortality in India”.
Global Environmental Research ©2007 AIRIES, Vol. 11 pp. 51-57.

American Meteorological Society (AMS), Glossary
<http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?id=heat-wave1>

Australian Government – Attorney General’s Department – Emergency Management.
http://www.ema.gov.au/www/ema/schools.nsf/Page/Learn_AboutHeatwaves_InMyBackyard_InMyBackyard

Barry, R.G., Perry, A.H., 1973: “Synoptic Climatology Methods and Applications”,
Methuen, London, 555p.

BBC, Europe bakes in summer heatwave, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/6915157.stm>

Canouï-Poitaine F, Cadot E, Spira A, 2006: “Excess deaths during the August 2003 heat wave in Paris, France” *Groupe Régional Canicule Rev Epidemiol Sante Publique*. Apr, 54(2):127-35. Atelier Parisien de Santé Publique, Service de Santé Publique et d'Epidémiologie, Hôpital Bicêtre, 82, rue du Général-Leclerc, 94276 Le Kremlin-Bicêtre Cedex.

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. Press Release 25-01-2011, <http://www.cred.be/press>.

Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health (ET4.1), 2010, (for publication by WMO and WHO), “Heat Waves and Health: Guidance on Warning System Development”.
http://www.as.miami.edu/geography/research/climatology/Heat_waves_and_Health_Guidance_Final_Draft.pdf

Dematte Jane E., Karen O'Mara, Jennifer Buescher, Cynthia G. Whitney, Sean Forsythe, Turi McNamee, Raghavendra B. Adiga, and I. Maurice Ndukwu, 1998: “Near-Fatal Heat Stroke during the 1995 Heat Wave in Chicago” *Annals of Internal Medicine*, vol. 129,3, pp.173-181

Díaz J, García R, Velázquez de Castro F, Hernández E, López C, Otero A, 2002a: “Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997”. *Int J Biometeorol.*, 46(3) pp.145-149.

Díaz J, Jordán A, García R, López C, Alberdi JC, Hernández E, Otero A., 2002b: “Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly”. *Int Arch Occup Environ Health.*, 75(3) pp.163-170.

Dube R.K and G.S. Prakasa Rao, 2005: “Extreme Weather Events over India in the last 100 years” *J. Ind. Geophys. Union* ,Vol.9, No.3, pp.173-187.

(<http://indiaenvironmentportal.org.in/files/extreme%20events.pdf>)

Dyer, T.G.J., 1975: “The assignment of rainfall stations into Homogenous groups: an application of Principal Components analysis”, *R. Meteorology Society*, 101, pp 1005-1013.

Ellis F.P., and F. Nelson, 1978: “Mortality in the elderly in a heat wave in New York City, August 1975”. *Environmental Research*, 15, pp. 504-512.

Federal Emergency Management Agency (FEMA), U.S. Department of Homeland Security. <http://www.fema.gov/areyouready/heat.shtm>

Fiala D., Lomas K.J. and Stohrer M., 1999: “A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system”. *Journal of Applied Physiology* vol. 87 no. 5 pp. 1957-1972.

Fiala D., Lomas K.J., and Stohrer M., 2001: “Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions”. *Int. J. Biometeorol.*, 45, pp. 143-159.

Fouillet, G. Rey, F. Laurent, G. Pavillon, S. Bellec, C. Guihenneuc-Jouyaux, J. Clavel, E. Jouglà and Denis Hémon, 2006: “Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France”, *Journal International Archives of Occupational and Environmental Health*, Volume 80, Number 1, <http://www.springerlink.com/content/g5v08v4g431248u2/>.

Frich, P. L., V. Alexander, P. Della-Marta, B. Gleason, M. Haylock, A. M. G. Klein Tank, T. Peterson, 2002: “Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century”. *Climate Research*, 19, pp. 193–212.

(<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/docs/Frichetal02.pdf>- Inter-Research 2002 · www.int-res.com)

Hajat Shakoar, Scott C. Sheridan, Michael J. Allen, Mathilde Pascal, Karine Laaidi, Abderrahmane Yagouti, Ugis Bickis, Aurelio Tobias, Denis Bourque, Ben G.

Armstrong, and Tom Kosatsky, 2010 :“Heat–Health Warning Systems: A Comparison of the Predictive Capacity of Different Approaches to Identifying Dangerously Hot Days”, American Journal of Public Health, Vol 100, No. 6, pp 1137-1144.

<http://sheridan.geog.kent.edu/pubs/2010-AJPH.pdf>

Havenith, G. 2005: “Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress”. In: W. Kirch, B. Menne, R. Bertollini (edts.) Extreme Weather Events and Public Health Responses. Springer, Heidelberg, pp. 69-80.

IPCC Climate Change 2001 - Third Assessment Report – Working group I – The Scientific Basis, Ch. 9. http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/

IPCC Climate Change 2007 – Fourth Assessment Report – Working group I Report "The Physical Science Basis",

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/contents.html

IPCC Second Assessment -Climate Change 1995, <http://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>

Kaiser, H.F., 1958: “The varmax Criterion for the analytic rotation in Factor analysis’, *Psychometrika*, pp. 187-200.

Kalkstein, L. S., and P. Corrigan, 1986: “A synoptic climatological approach for geographical analysis: Assessment of sulfur dioxide concentrations”. *Annals of the Association of American Geographers*, Vol. 76, No. 3, pp. 381–395.

Kalkstein, L. S., P.F. Jamason, J.S. Greene, J. Libby and L. Robinson, 1996 :“The Philadelphia Hot Weather – Health Watch/Warning System: Development and Application Summer 1995”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.77, No 7., και http://climateknowledge.org:16080/heat_waves/Doc1002_Kalkstein_Philadelphia_Heat_Warning_BAMS_1996.pdf (Εύρεση: 10-09-2010)

Kalkstein, L.S., Tan, G., Skidlov, J.A., 1987: “An Evaluation of the three Clustering Procedures for use in Synoptic Climatological Classification”, *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 26, pp 717-730.

Kalkstein, L. S., and K. M. Valimont, 1987: “Climate effects on human health. In Potential effects of future climate changes on forests and vegetation, agriculture, water resources, and human health”. EPA Science and Advisory Committee Monograph no. 25389, 122-52.

Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. <http://www.ciesin.org/docs/001-338/001-338.html> (Εύρεση: 10-09-2010)

Karl T. R. and R. W. Knight, 1997: “The 1995 Chicago Heat Wave: How Likely Is a Recurrence?” *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78, pp. 1107-1119.

Kassomenos P., A. Gryparis, E. Samoli, K. Katsouyanni, S. Lykoudis and H. Floras, 2001: “Atmospheric Circulation Types and Daily Mortality in Athens, Greece”. *Environmental Health Perspectives*, vol. 109(6) pp.591-596.

Lewicki Pawel and Thomas Hill, 2005: “Statistics - Methods and Applications”. Statsoft.

Maheras, P., 1983: “Weather-Type Classification by Factor Analysis in the Thessaloniki Area”, *Journal of Climatology*, 4, pp 437-443.

Maheras, P., 1985: “Correspondences between types of Circulation and Weather Types. Application to the Area of Thessaloniki”, *Zeitschrift für Meteorologie*, 35, pp 26-35.

Manly, B. F. J., 1986: “Multivariate statistical methods: A primer”. Chapman & Hall, London, pp. 159,215.

Marques de Sá Joaquim P., 2007 : “Applied Statistics Using SPSS, STATISTICA, MATLAB and R”, Springer

Matzarakis Andreas and Helmut Mayer, 1991: “The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology”. *Atmospheric Environment* vol. 25B, No 2 pp.203-211.

Meehl A. Gerald and Claudia Tebaldi, 2004: “More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century”, *Science* Vol. 305 no. 5686 pp. 994-997.
<http://www.sciencemag.org/content/305/5686/994.full> (Εύρεση: Ιούνιος 2010)

Munich Re Foundation. <https://www.munichrefoundation.org/NR/rdonlyres/5A2170A5-FED4-47AE-B2C7-A2C6A9055B39/0/PosterWolfMumbaiandParis.pdf> (Εύρεση 25-11-2010)

NASA- Earth Observatory- Global Warming 2007.

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/global_warming_2007.pdf (Εύρεση 17-11-2010)

Nicholls Neville & Carol Skinner & Margaret Loughnan & Nigel Tapper, 2008: “A simple heat alert system for Melbourne, Australia”. *Int. J. Biometeorol* 52 pp.375–384.

NOAA – National Climatic Data Center.

<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2008/ann#gtemp> (Εύρεση 10-12-2010)

NOAA “ The heat wave 1936” <http://www.crh.noaa.gov/arx/events/heatwave36.php> (Εύρεση 10-12-2010).

Pascal M, Laaidi K, Ledrans M, Baffert E, Caserio-Schönemann C, Le Tetre A, Manach J, Medina S, Rudant J, Empereur-Bissonnet P.,2006 : “France ’s heat health watch warning system”. *International Journal of Biometeorology*, Volume 50, Number 3, pp. 144-153.

Red Cross Red Crescent - World Disasters Report 2004- Chapter 2 Heatwaves.

<http://www.ifrc.org> (Εύρεση: Ιούνιος 2010)

Richman, M.B., 1986: “Rotation of Principal Components”, *Journal of Climatology*, 6, pp 293-335.

Robinson P. J., 2001: “On the Definition of a Heat Wave”. *Journal Applied Meteorology*, 40, pp. 762-775.

Ronberg, B., Wang, W.C., 1987: “Climate patterns derived from Chinese proxy precipitation records: an evaluation of networks and statistical techniques”, *Journal of Climatology*, 7, pp 391-416.

Sartor F, Snacken R, Demuth C, Walckiers D., 1995: “Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium”. *Environ Res* 70 pp.105–113.

Sheridan, S.C. and L.S. Kalkstein, 1998: “Health watch/warning systems in urban areas”. *World Resource Review*, 10, 375-383.

Sheridan SC, Kalkstein LS., 2004: “Progress in heat watch–warning system technology”. *Bull Am Meteorol Soc.*, No 85, pp.1931–1941.

Sneyers R. and Chr. Goossens, 1968: “The Principal Component Analysis Application to Climatology and to Meteorology”. WMO (ed), l’ Institute Royal Meteorologique de Belgique.

Stone, R.C., 1987: “Weather Types at Brisbane, Queensland: an Example of the Use of Principal Components and Cluster Analysis”, *International Journal of Climatology*, 9, pp 3-32.

The MetOffice: <http://www.metoffice.gov.uk/climate/uk/interesting/july2006/> (Εύρεση: 12-10-2010).

Tselepidaki I.G., D.N. Asimakopoulos, K. Katsouyanni, C. Moustris, G. Touloumi, A. Pantazopoulou, 1995: “The use of a complex thermohygrometric index in predicting adverse health effects in Athens”. Int. J. Biometeorol. Vol. 38, pp.194-198.

UN- Economic & Social Affairs -World Population Prospects The 2008 Revision - Press Release - WORLD POPULATION TO EXCEED 9 BILLION BY 2050
http://esa.un.org/unpd/wpp2008/pdf/WPP2008_PressRelease.pdf (Εύρεση: 12-10-2010).

UN - The Ageing of the World's Population, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat.
<http://www.un.org/ageing/popageing.html> (Εύρεση: 12-10-2010).

U.S Environmental Protection Agency. Climate Change – Science.
<http://www.epa.gov/climatechange/science/futuretc.html> (Εύρεση:15-12-2010).

U.S. The New York Times. <http://www.nytimes.com/1983/07/24/us/st-louis-bears-brunt-of-heat-wave-as-us-toll-rises.html> (Εύρεση:14-09-2010).

Warren Blier “ The record-breaking central California heat wave of July 2006,
NOAA/National Weather Service, Monterey, California
http://www.wr.noaa.gov/mtr/sf_heatwave.pdf (Εύρεση 10-12-2010).

Whitman S, G Good, E R Donoghue, N Benbow, W Shou and S Mou, 1997: “Mortality in Chicago attributed to the July 1995 heat wave” American Journal of Public Health, Vol. 87, Issue 9 1515-1518, <http://ajph.aphapublications.org/cgi/content/abstract/87/9/1515> (Εύρεση: 05-09-2010)

WHO/WMO/UNEP (1996) Climate and health: the potential impacts of climate change.
WHO/WMO/UNEP, Geneva (Εύρεση: Ιούνιος 2010)

Wilks S. Daniel, 2006: “Statistical Methods in the Atmospheric Sciences – Second Edition”. International Geophysics Series – ELSEVIER, pp. 549

WMO – Press Release
http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_906_en.html (εύρεση: 22-01-2011).

WWF Ελλάς, “Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον”, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2009. (Εύρεση: 22-10-2010).

Βλάχου Όλγα, 2010: “Γεωγραφική Κατανομή, Μεταβλητότητα και Επιπτώσεις των Ακραίων Καιρικών Φαινομένων στην Ελλάδα βάσει αναφορών Ημερήσιου Τύπου και κατα-

γεγραμμένων μετρήσεων”. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωγραφίας.

Γκίτσης Σ., 2006: “Ανάλυση σε κύριες συνιστώσες και παραγοντική ανάλυση”. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Μαθηματικό Πανεπιστήμιο Πάτρας.

Εφημερίδα «Καθημερινή»

http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_ell_100037_09/09/2007_240572

http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_ell_2_08/08/2010_410839

Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. Αστικό Περιβάλλον.

<http://www.eea.europa.eu/el/themes/urban> (Εύρεση: 17-09-2010)

Παπαγρηγορίου Ν., 2001: “Εφαρμογή της Στατιστικής Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών”. Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Θεσσαλονίκης.

Σαπουντζάκη Κ. “Το αύριο εν κινδύνω”, 2007. Εκδόσεις Gutenberg, Αθήνα

Σκριμιζέας Π., Α. Μπατσής και Ε. Κωστοπούλου, 1999: “Αυτόματη Κατάταξη Τύπων Καιρού στη Θεσσαλονίκη κατά τη διάρκεια του χειμώνα”. Αναμνηστικός Τόμος για τα 70 χρόνια του Εργαστηρίου Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 119-125.

Η σελίδα αυτή είναι κενή

Παράρτημα Α

Καταγραφή σε παγκόσμιο επίπεδο, ανά περιοχή, των επεισοδίων καύσωνα και των απωλειών, που σχετίζονται με αυτά.

Πηγή : Commission for Climatology Expert Team on Climate and Health (ET4.1), 2010, (for publication by WMO and WHO), “Heat Waves and Health: Guidance on Warning System Development”.

Table 1: Heat Wave Events as Reported in EM-DAT* by Region 2000 - 2007

Region	Country	Date	Killed	Injured	Damage (US\$)
North Africa	Algeria	July 2003	40		
	Morocco	August 2003			809,000,000
East Africa	NA				
West Africa					
	Nigeria	June 2002	60		
Middle Africa	NA				
Southern Africa	NA				
North America	USA	July-August 2006	24		
	USA	July-August 2006	164		
	USA	July 2005	33		
	USA	June 2002	14		
	USA	August 2001	56		
	USA	July 2000	35		
Central America	NA				
South America	NA				

Caribbean	NA				
East Asia	China	May-Sept 2006	134		2,900,000,000
	China	July 2005		200	
	China	July 2004	39		
	China	July 2002	7	3500	
	Japan	July 2004	10	300	
Southern Asia	Bangladesh	July 2005			
	Bangladesh	May-June 2003	62		
	India	May 2006	47		
	India	June 2005	329		
	India	May-June 2003	1210		4,000,000,000
	India	May 2002	1030		
	India	April 2000	7		
	Pakistan	May 2006	84	100	
	Pakistan	June 2005	106	200	
	Pakistan	May-June 2003	200		
	Pakistan	May 2002	113	24	
	Pakistan	June 2000	24		
Central Asia	NA				
Western Asia	Cyprus	July 2000	5	400	
	Israel	July 2000			
	Jordan	July 2000		12	

	Turkey	July 2000	15	300	
Eastern Europe	Bulgaria	June-July 2000	7		
	Romania	June-July 2006	26	200	
	Romania	July-August 2005	13	500	
	Romania	July 2004	27		
	Russia	July 2001	276		
	Slovakia	July-August 2003			150, 000,000
	Czech Rep	July 2003	418		
	Hungary	July 2007	500		
Northern Europe	UK	August 2003	2045		
Southern Europe	Albania	July 2004	3		
	Albania	July 2007	150		
	Canary Islands	July 2004	13	113	
	Croatia	July 2000	40	200	240,000,000
	Croatia	July 2007	788		
	Greece	July 2000	27	176	
	Italy	July-August 2003	20089		4,400,000,000
	Italy	June 2007	6		
	Macedonia	July 2004	15		
	Portugal	July 2006	41		
	Portugal	August 2003	2096		
	Serbia-	July 2000	3	70	

	Montenegro				
	Slovenia	August 2003	289		80,000,000
	Spain	July 2006	21		
	Spain	July 2004	26		
	Spain	August 2003	15090	20	880,000,000
Western Europe	Austria	July-August 2003	345		280,000,000
	Belgium	July 2006	940		
	Belgium	August 2003	1175		
	France	July 2006	9		
	France	August 2004	19490		
	France	July 2006	1388		
	Luxembourg	July 2003	170		
	Switzerland	July 2003	1039		
	Germany	July 2006	2		
	Germany	August 2003	9355		
	Netherlands	July 2006	1000		
	Netherlands	August 2003	1200		
New Zealand and Australia	NA				
Melanesia	NA				
Micronesia	NA				

*Compiled from: "EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database - www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium

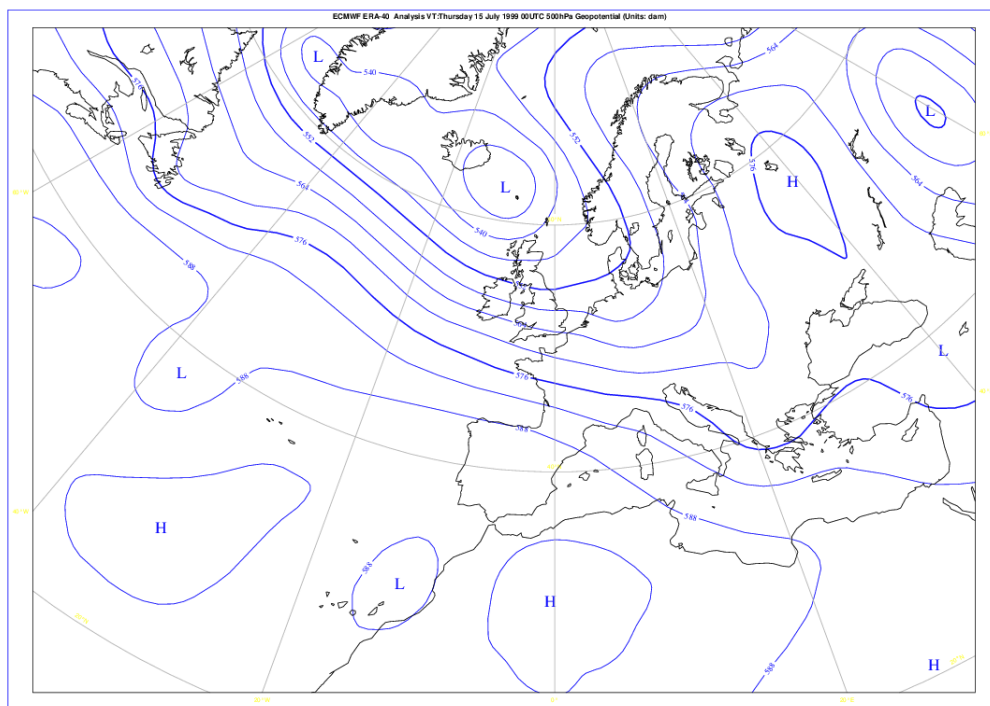
Παράρτημα Β

Μετεωρολογικοί Χάρτες Τύπων Καιρού

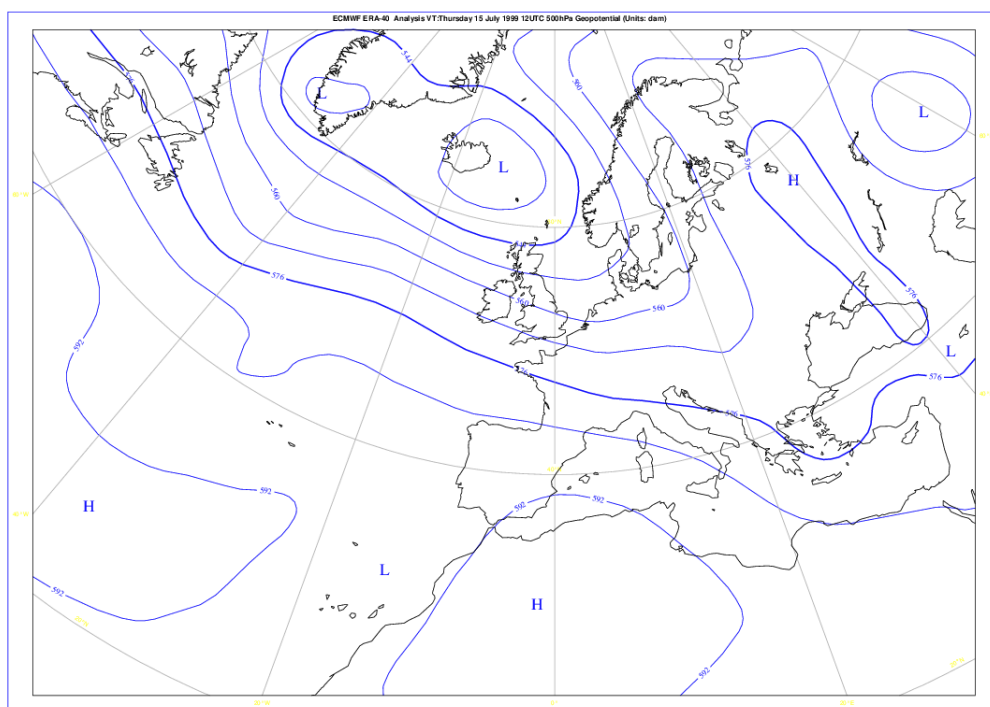
Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται σε υψηλότερη ανάλυση όλοι οι μετεωρολογικοί χάρτες που περιλαμβάνονται στην παρούσα εργασία.

1. Ανάλυση Ισοϋψών στα 500hPa 0000 & 1200UTC
2. Ισοθερμική ανάλυση Ισοϋψών στα 850hPa 0000 & 1200UTC
3. Ισοβαρική ανάλυση επιφάνειας (SFC) 0000 & 1200UTC (ατμο-σφαιρική πίεση ανηγμένη σε μέση στάθμη θάλασσας (MSL))

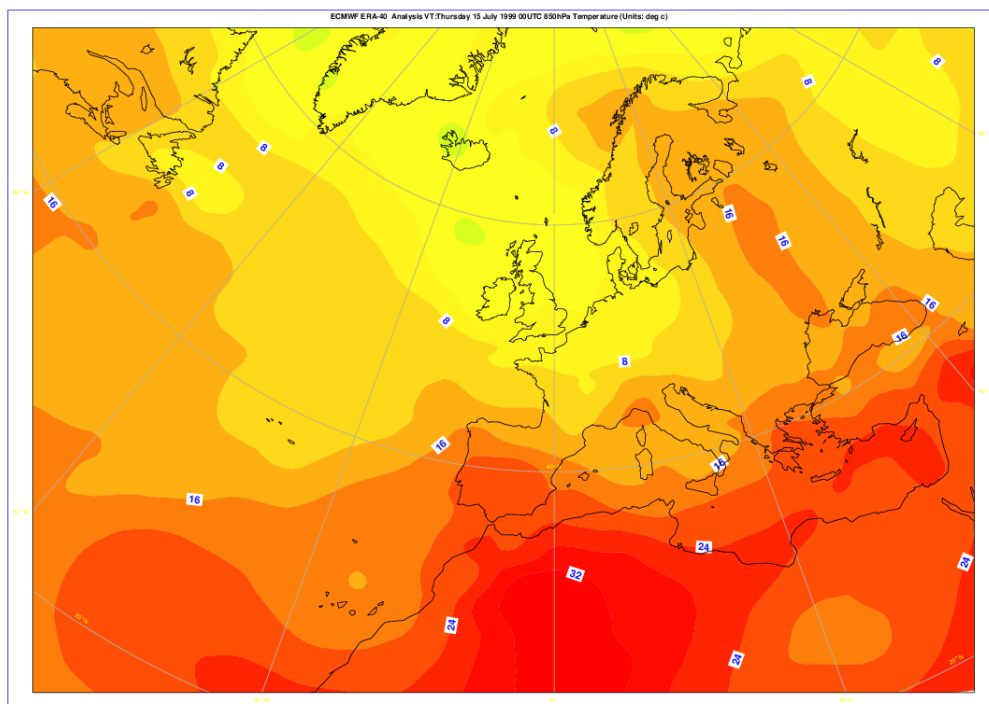
Η σελίδα αυτή είναι κενή



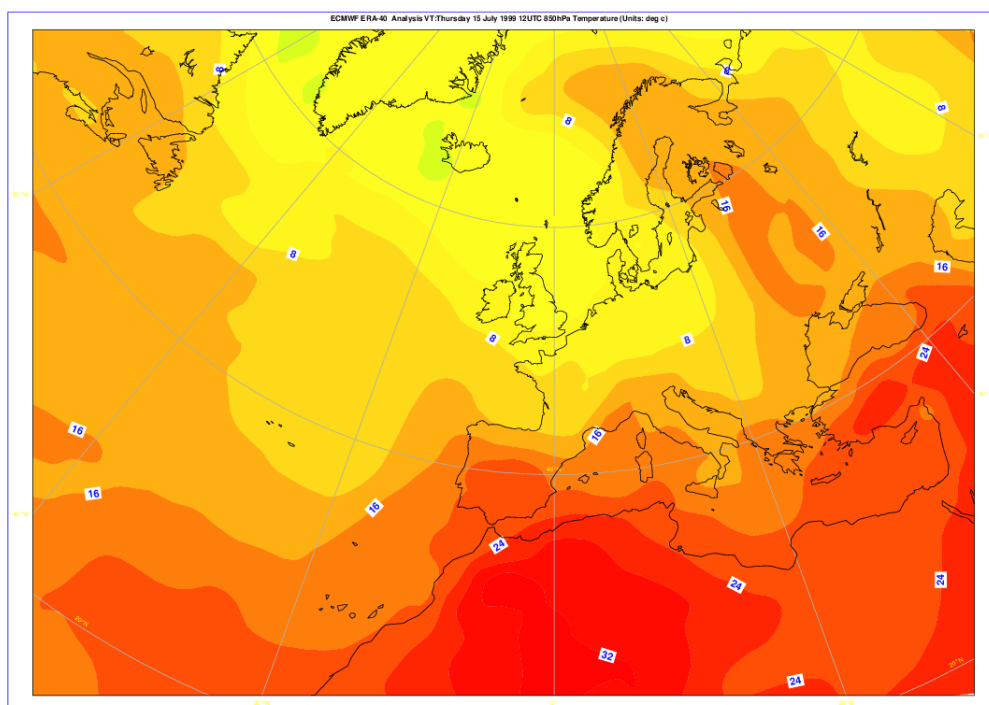
Χάρτης 1. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 500hPa - 0000UTC



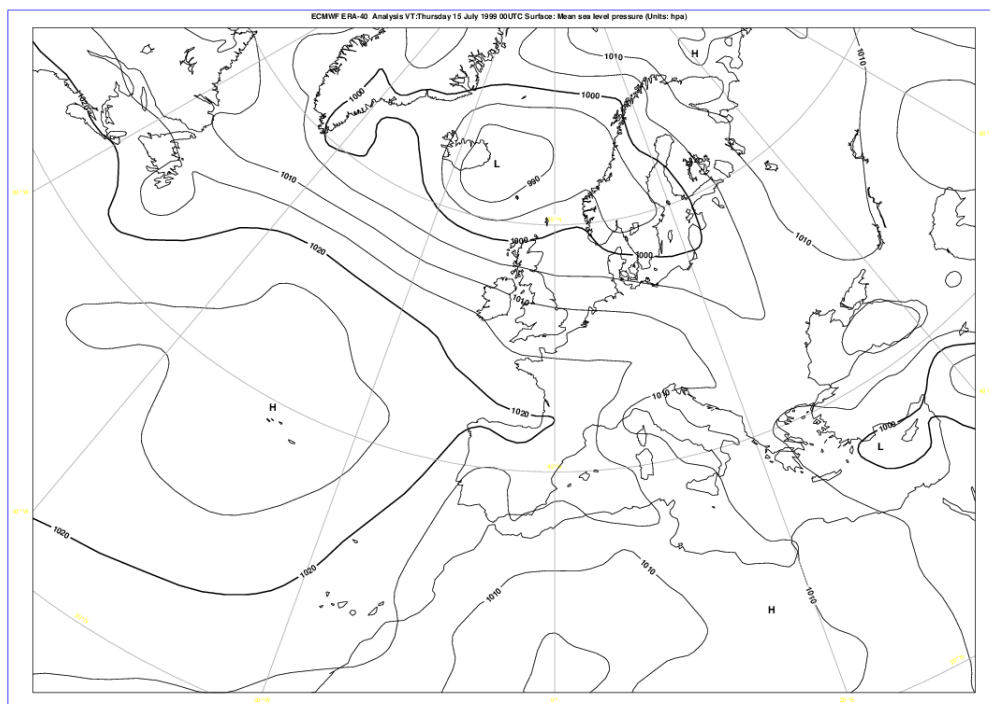
Χάρτης 2. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 500hPa - 1200UTC



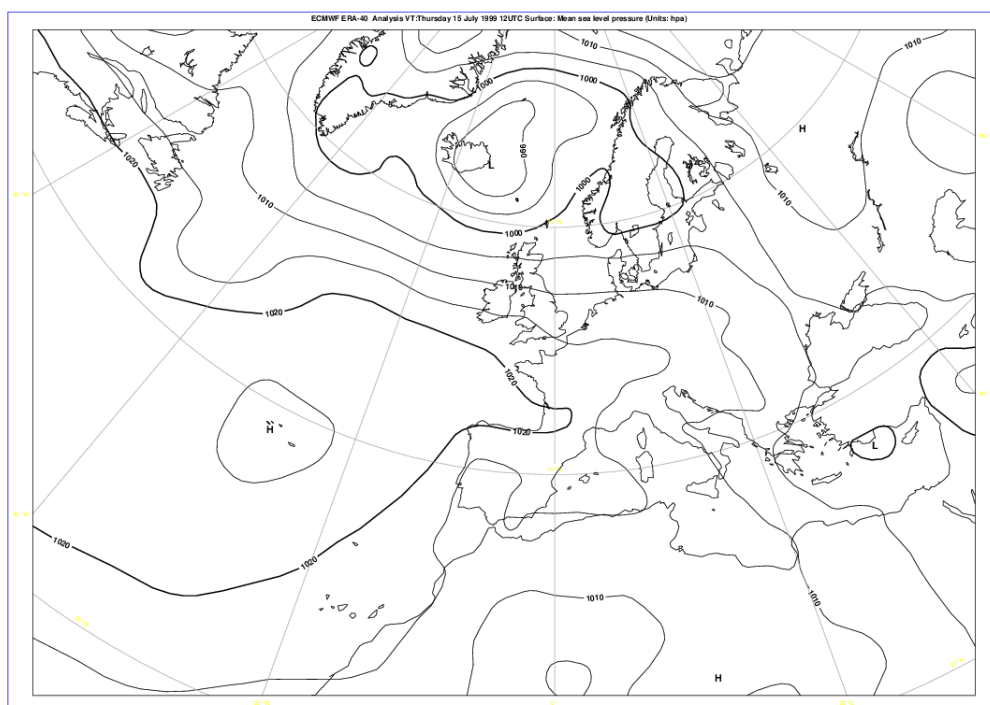
Χάρτης 3. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 850hPa - 0000UTC



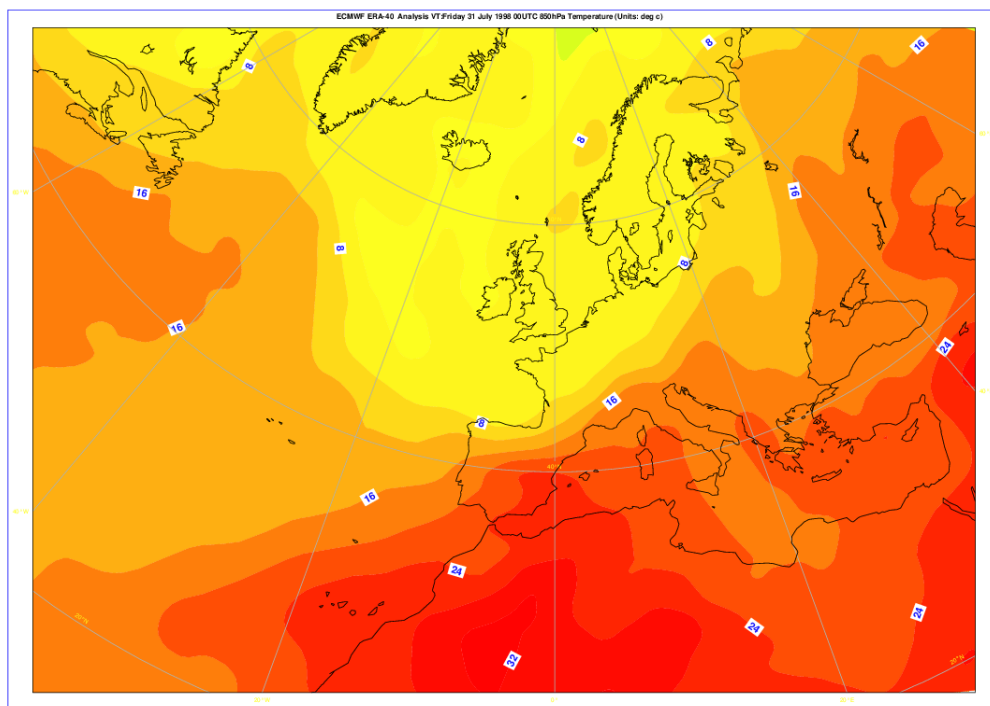
Χάρτης 4. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- 850hPa - 1200UTC



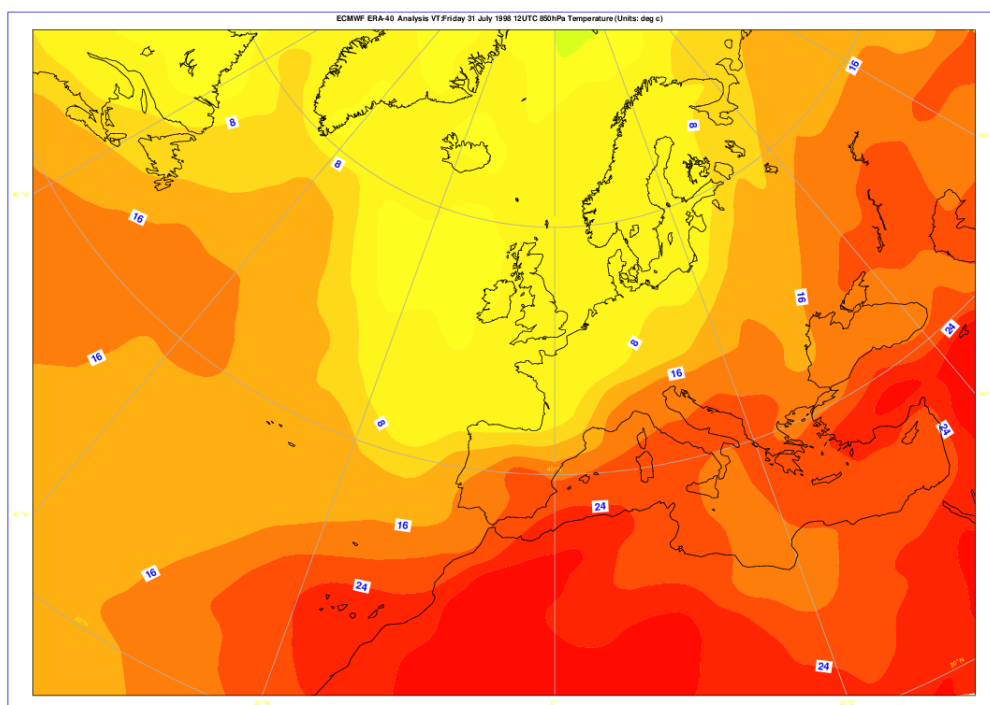
Χάρτης 5. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- Επιφάνεια (SFC) - 0000UTC



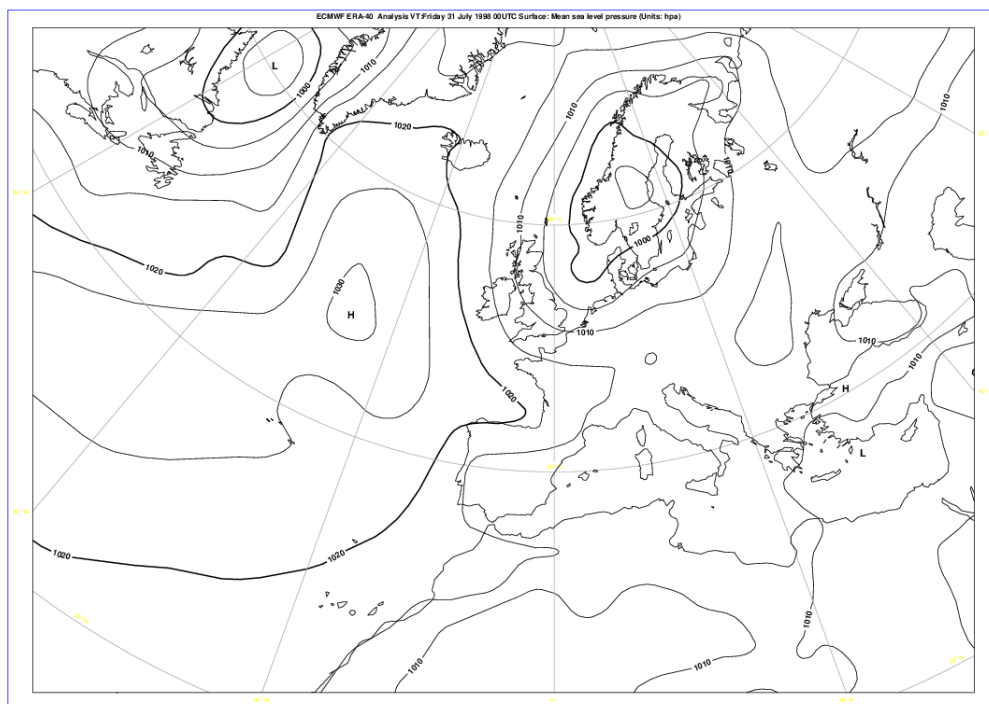
Χάρτης 6. Τύπος καιρού 1 - 15 Ιουλίου 1999- Επιφάνεια (SFC) - 1200UTC



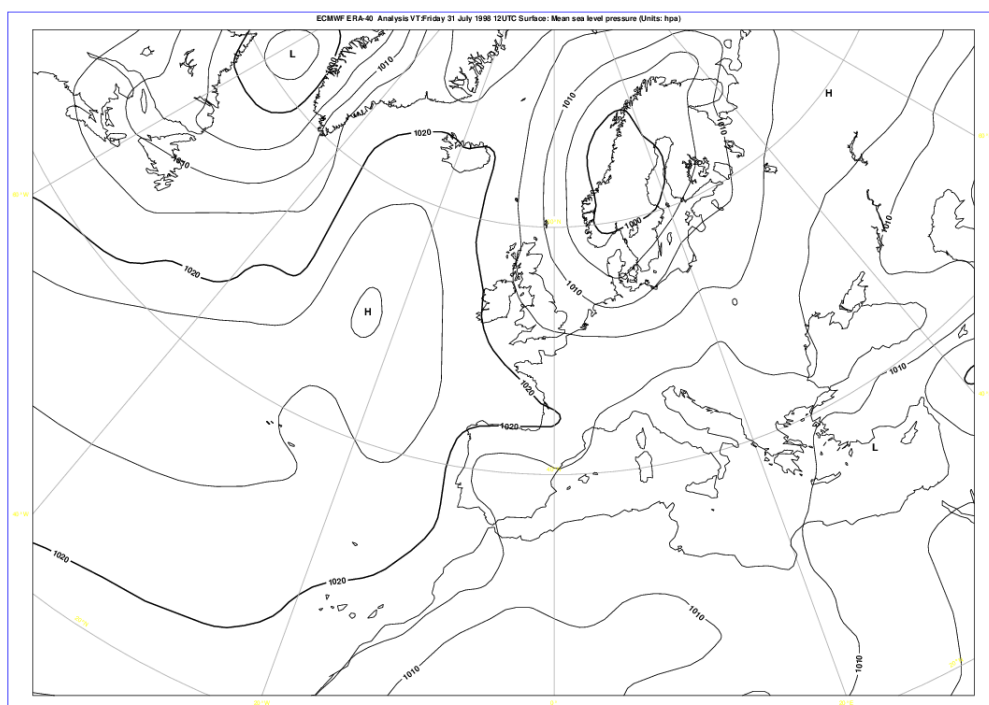
Χάρτης 9. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- 850hPa - 0000UTC



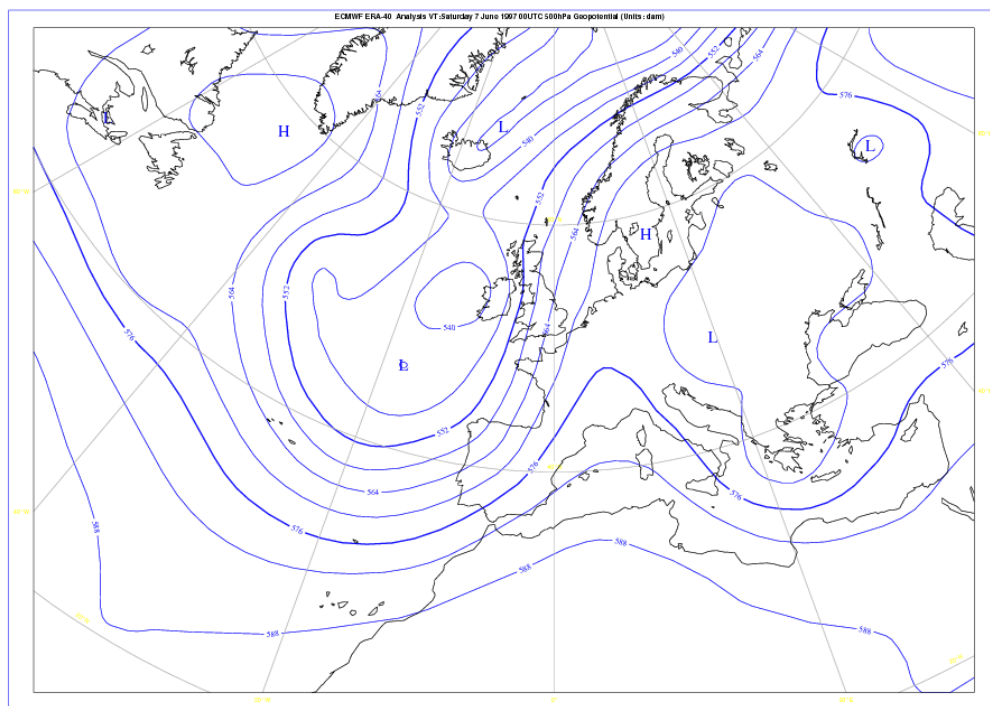
Χάρτης 10. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- 850hPa - 1200UTC



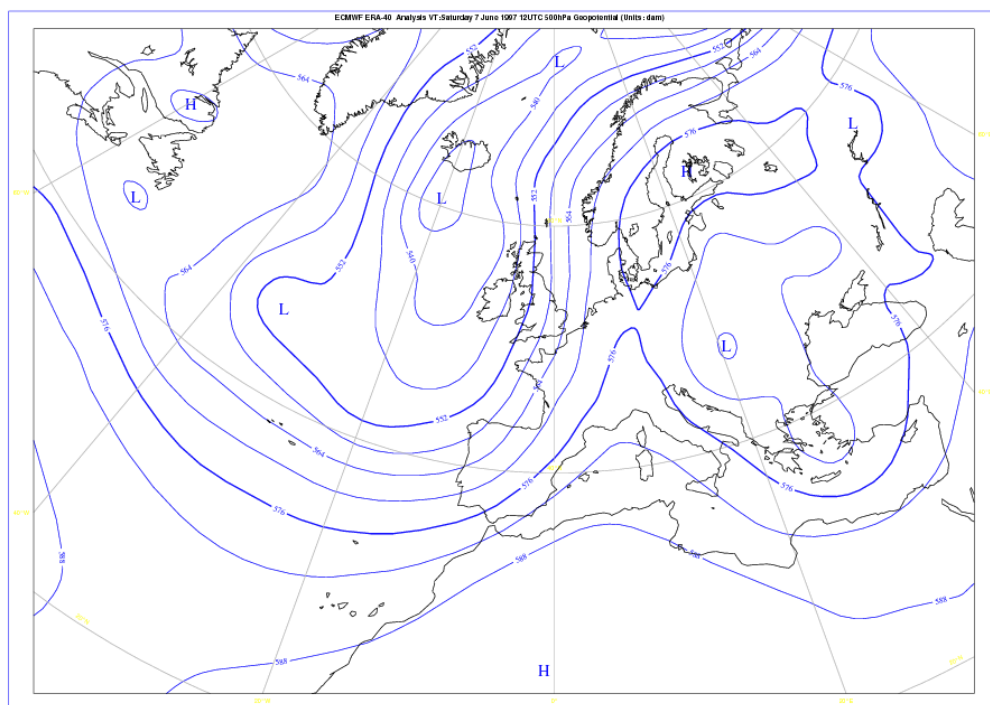
Χάρτης 11. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- Επιφάνεια (SFC) -000UTC



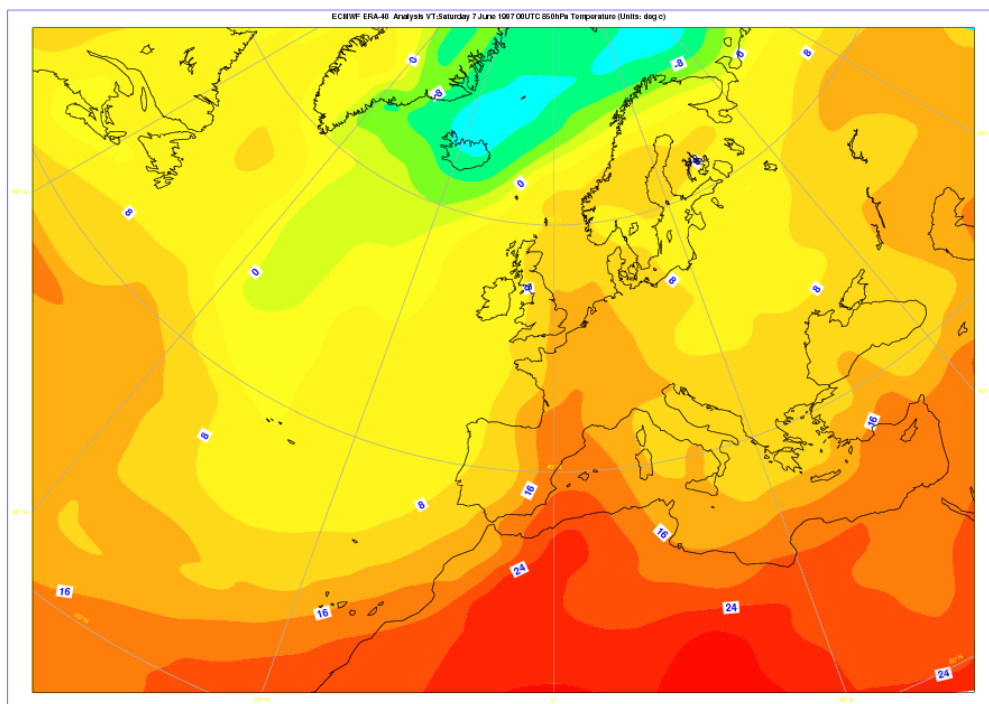
Χάρτης 12. Τύπος καιρού 2 - 31 Ιουλίου 1998- Επιφάνεια (SFC)-1200UTC



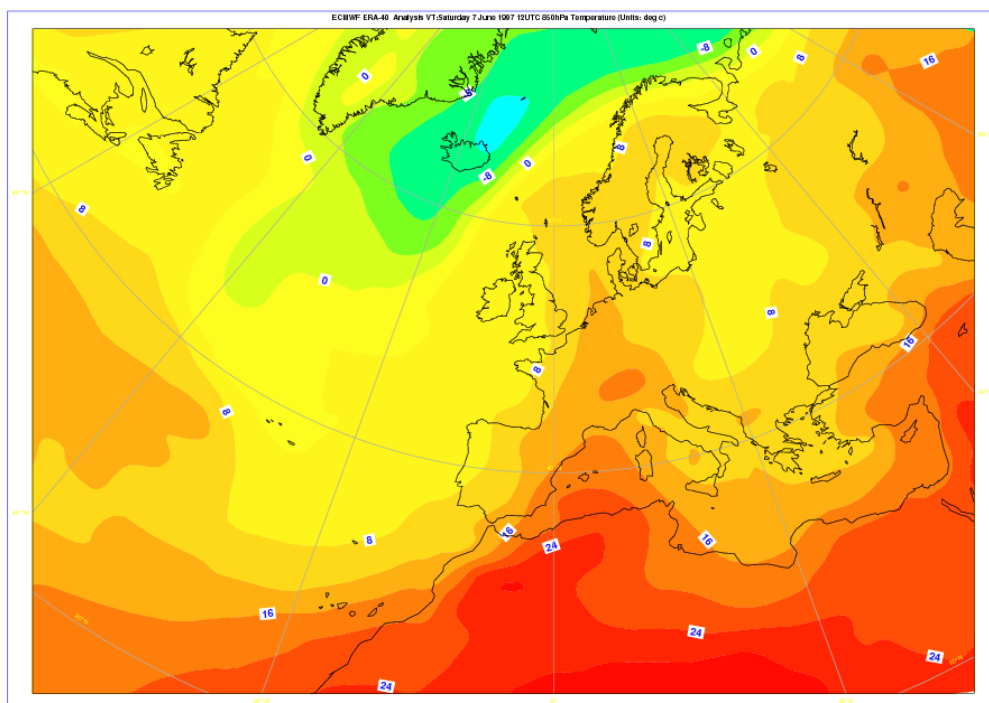
Χάρτης 13. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 500hPa - 0000UTC



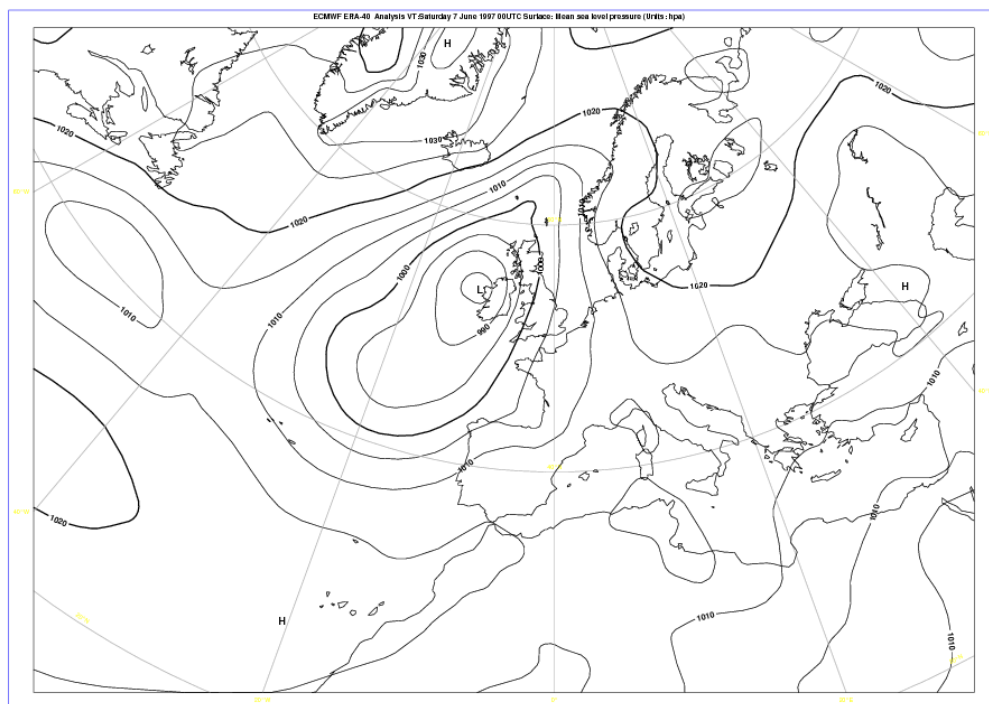
Χάρτης 14. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 500hPa - 1200UTC



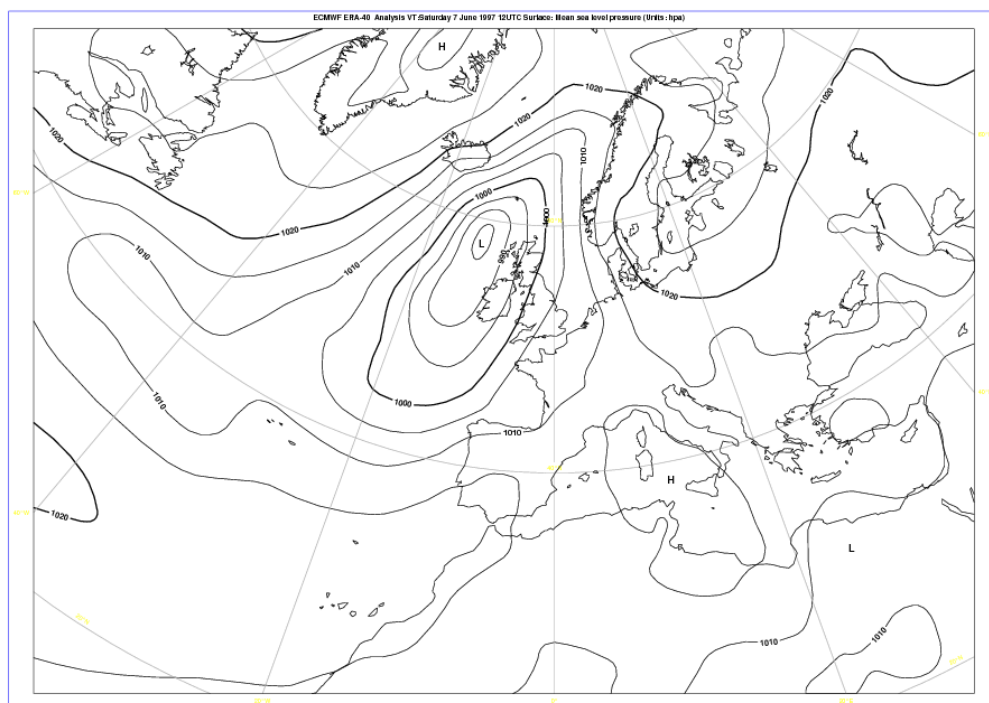
Χάρτης 15. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 850hPa - 0000UTC



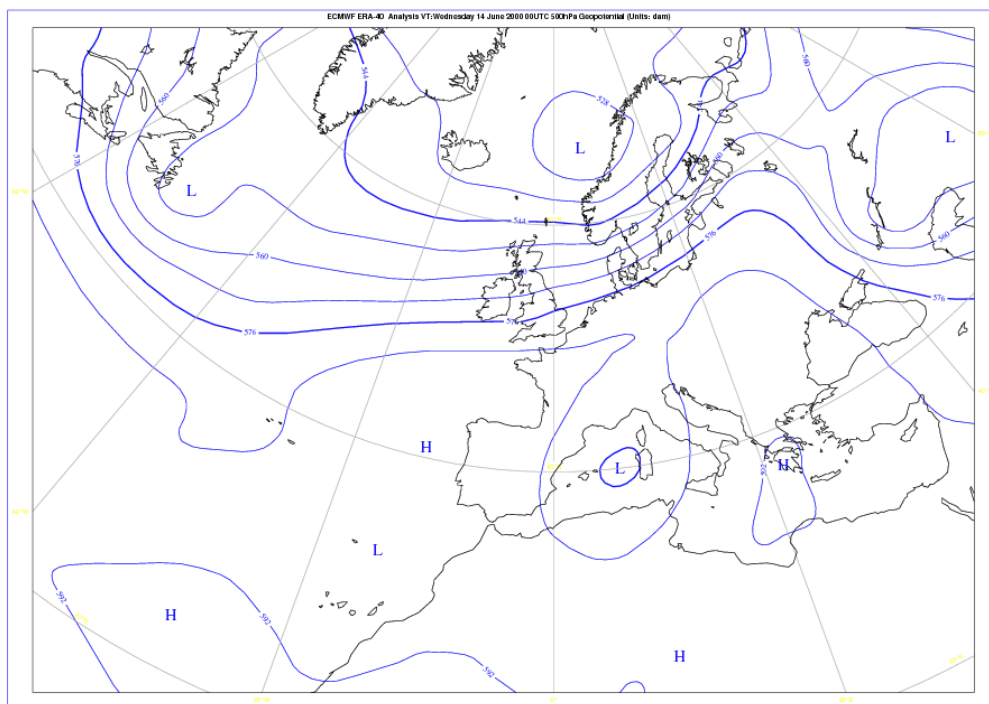
Χάρτης 16. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- 850hPa -1200UTC



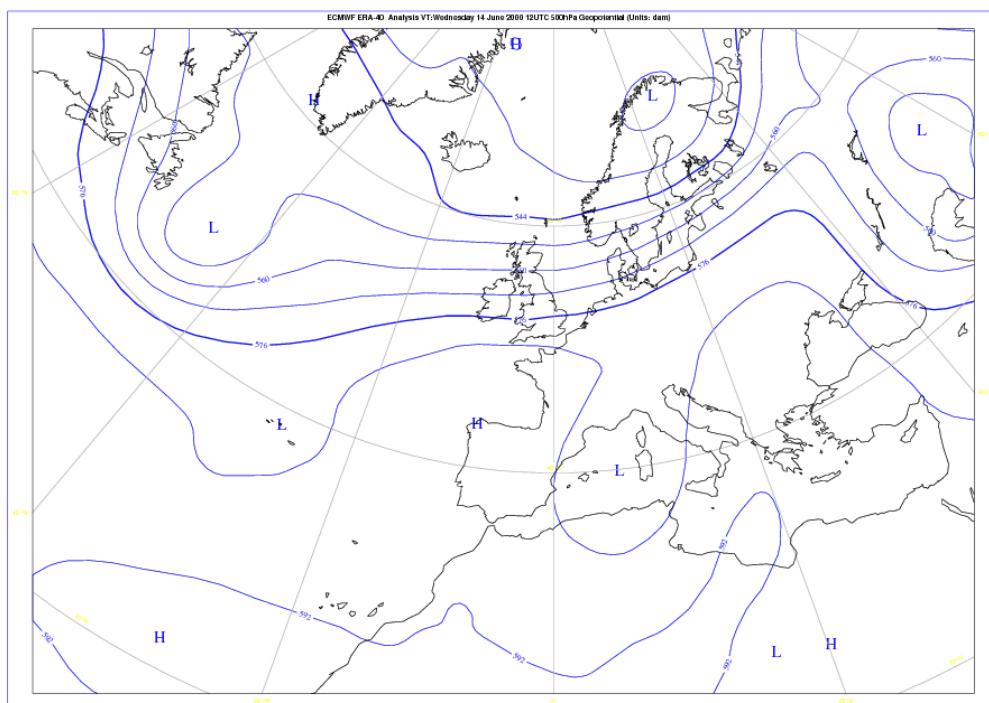
Χάρτης 17. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- Επιφάνεια (SFC) - 0000UTC



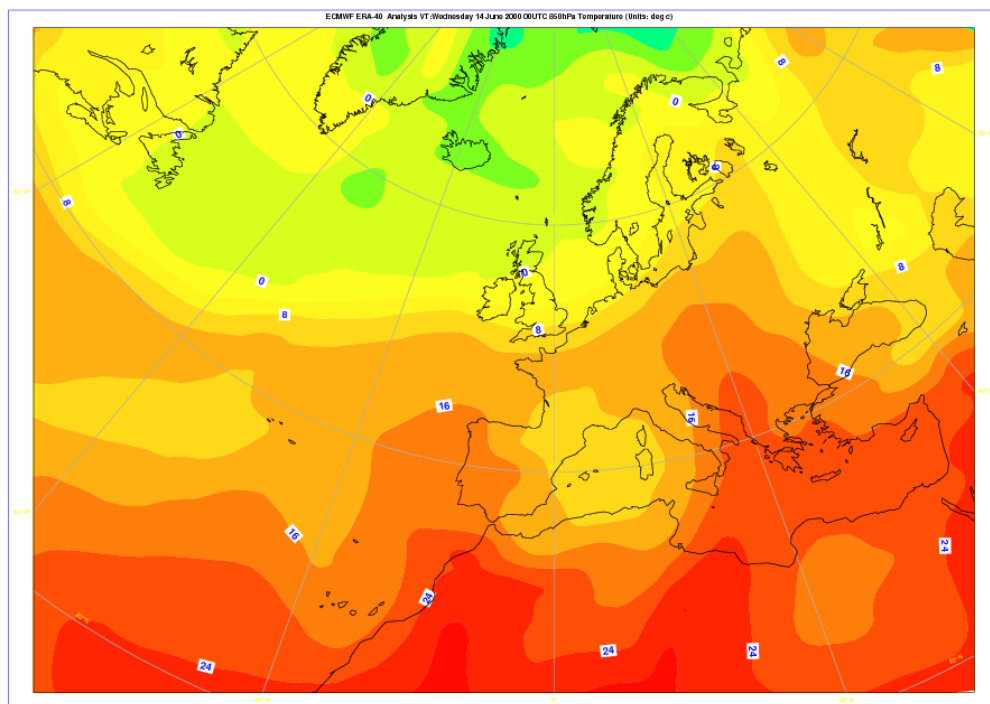
Χάρτης 18. Τύπος καιρού 3 - 7 Ιουνίου 1997- Επιφάνεια (SFC) - 1200UTC



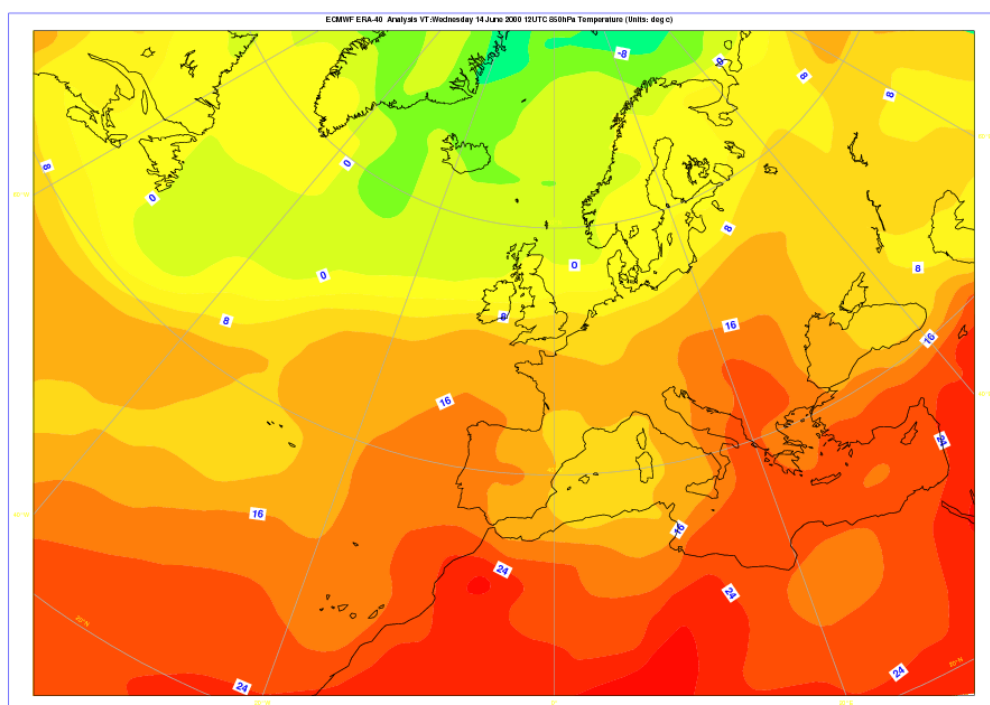
Χάρτης 19. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 500hPa - 0000UTC



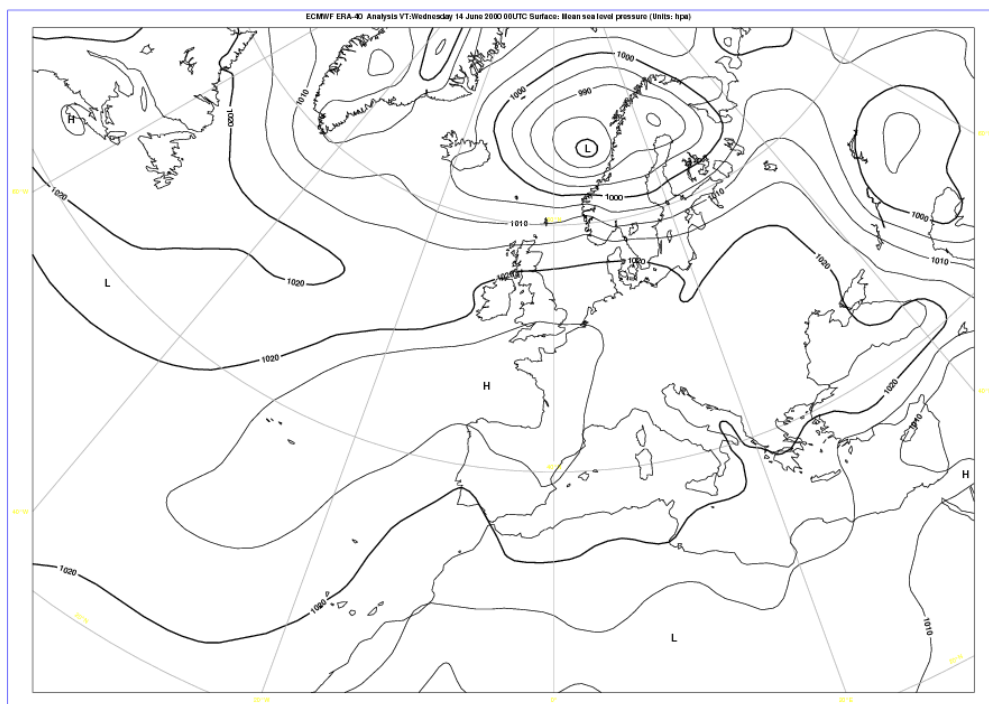
Χάρτης 20. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 500hPa - 1200UTC



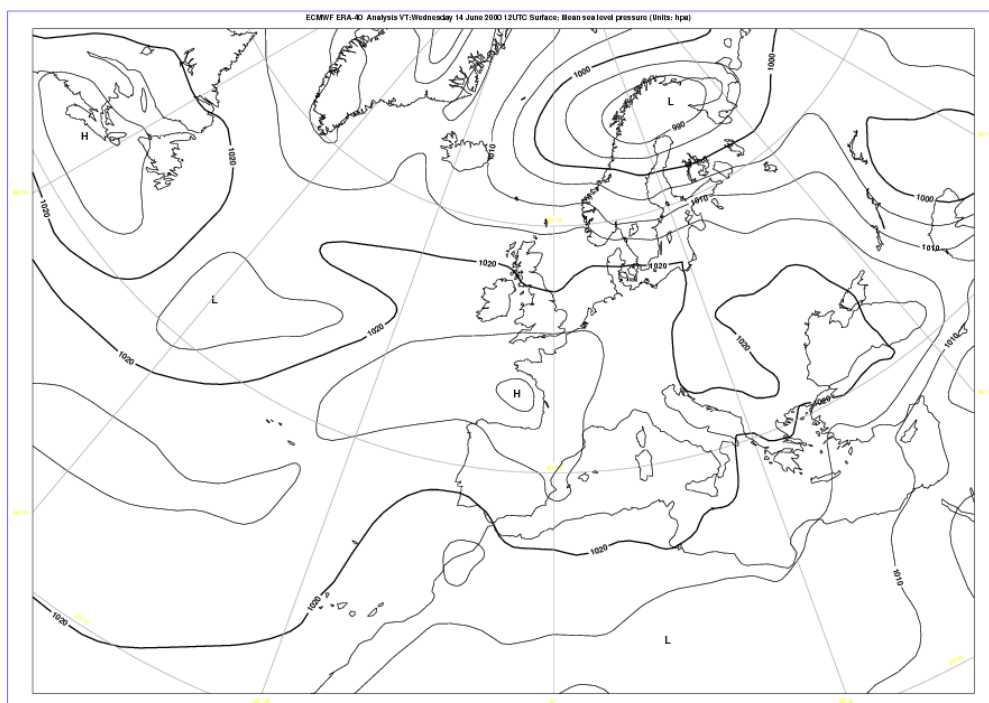
Χάρτης 21. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 850hPa - 0000UTC



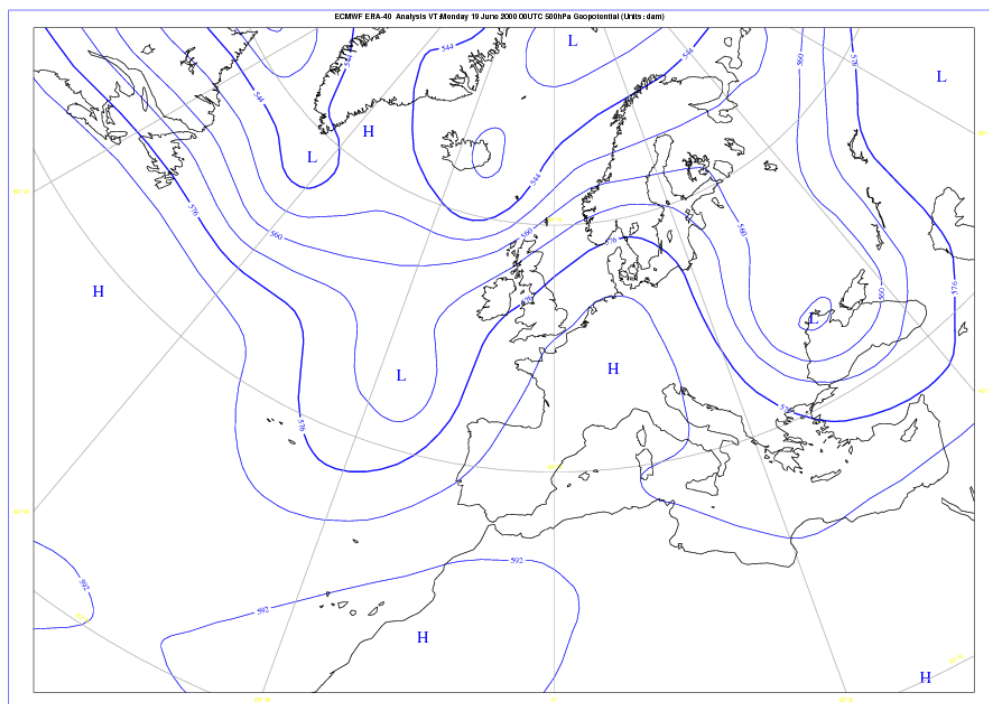
Χάρτης 22. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000 – 850hPa - 1200UTC



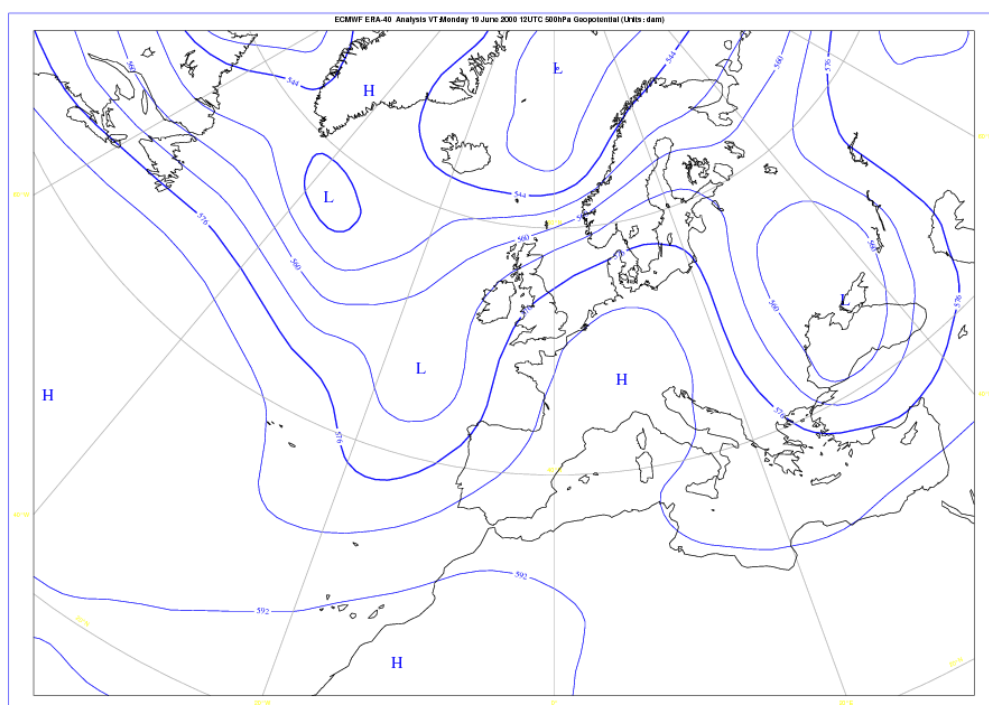
Χάρτης 23. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000-Επιφάνεια (SFC)-0000UTC



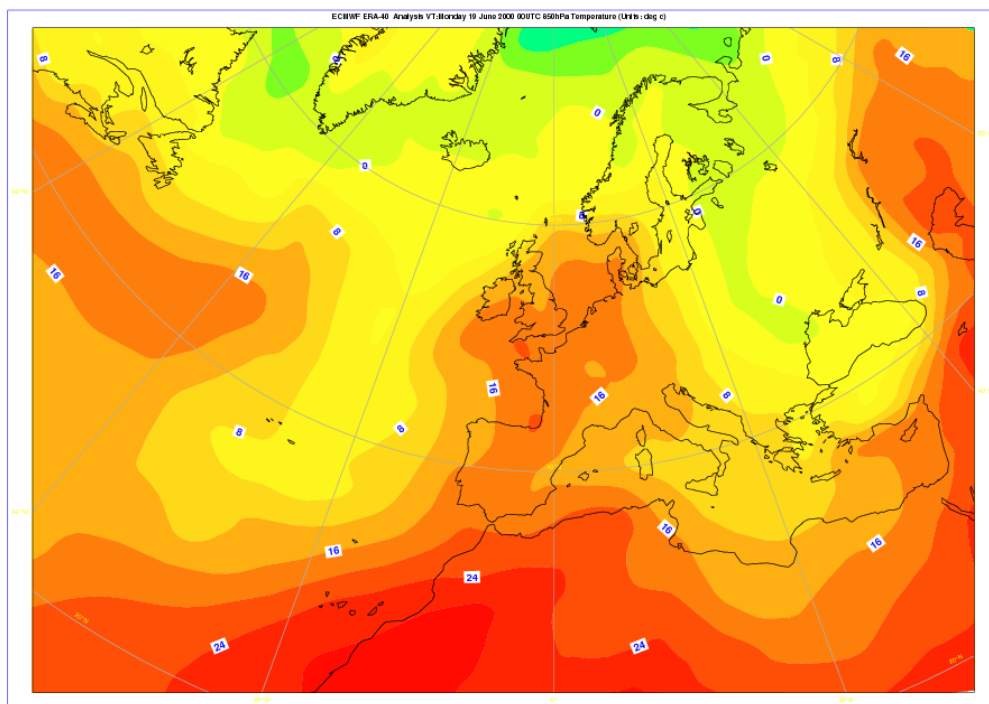
Χάρτης 24. Τύπος καιρού 4 - 14 Ιουνίου 2000-Επιφάνεια (SFC)-1200UTC



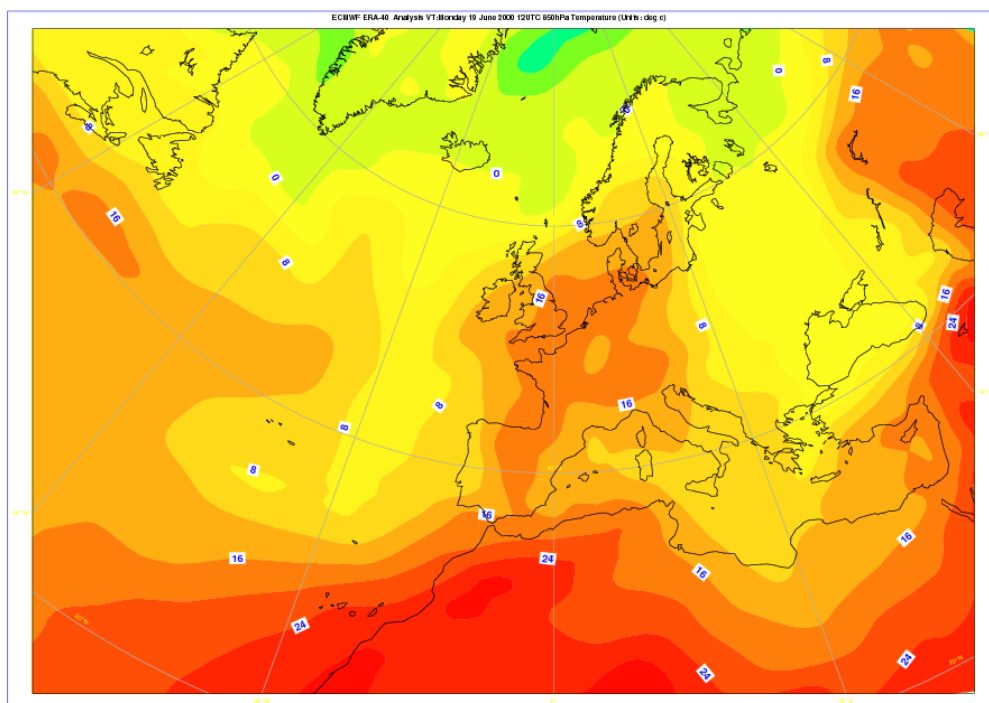
Χάρτης 25. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 500hPa - 0000UTC



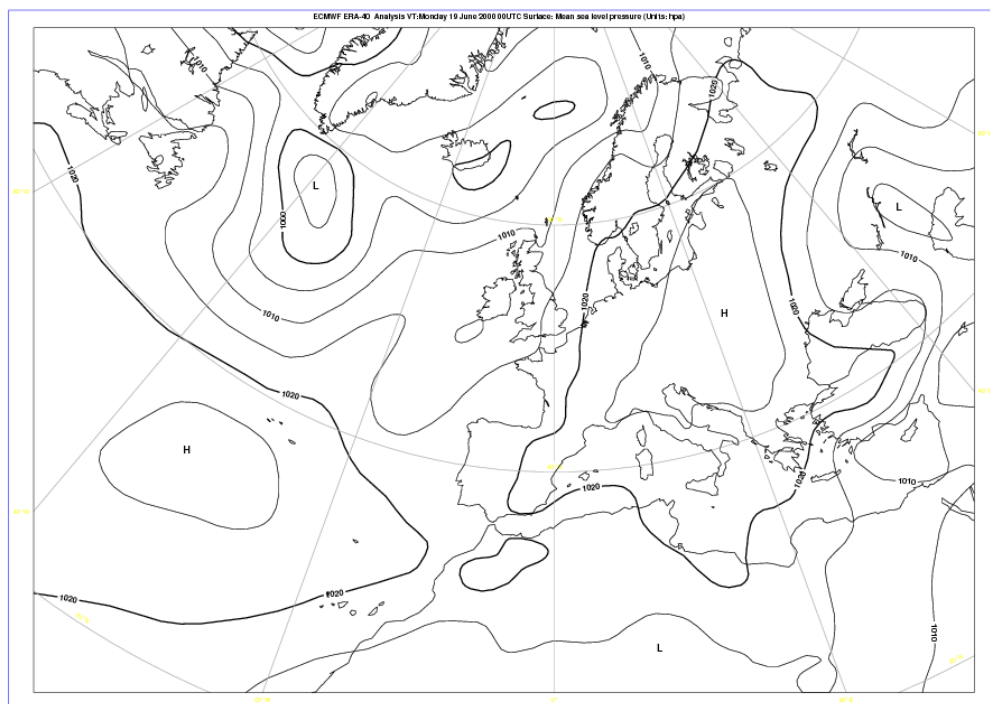
Χάρτης 26. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 500hPa - 1200UTC



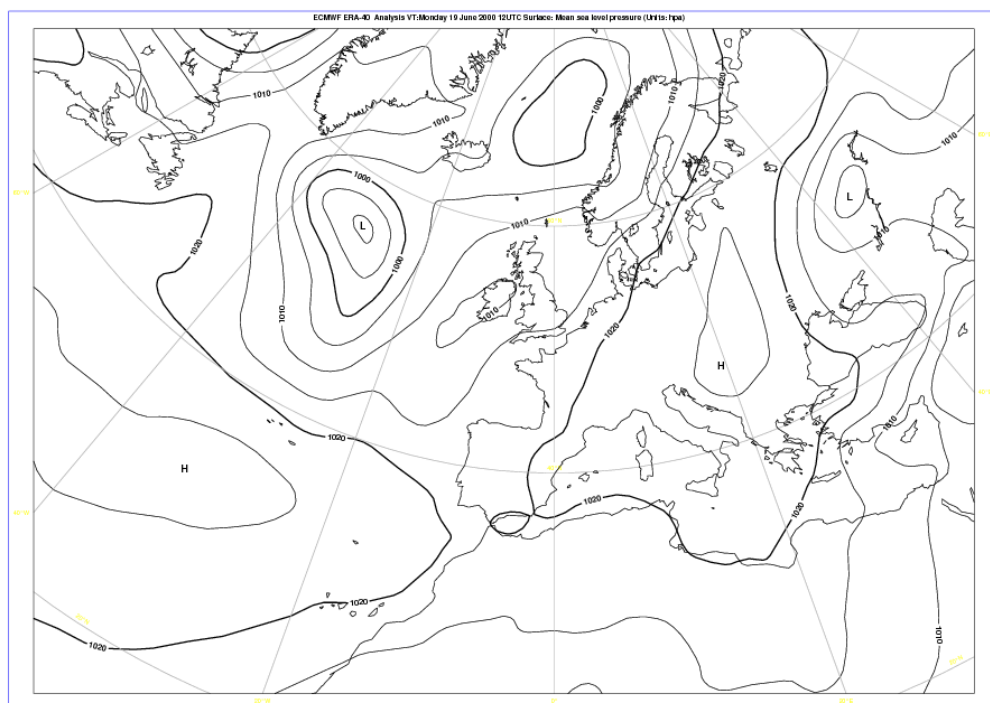
Χάρτης 27. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 850hPa - 0000UTC



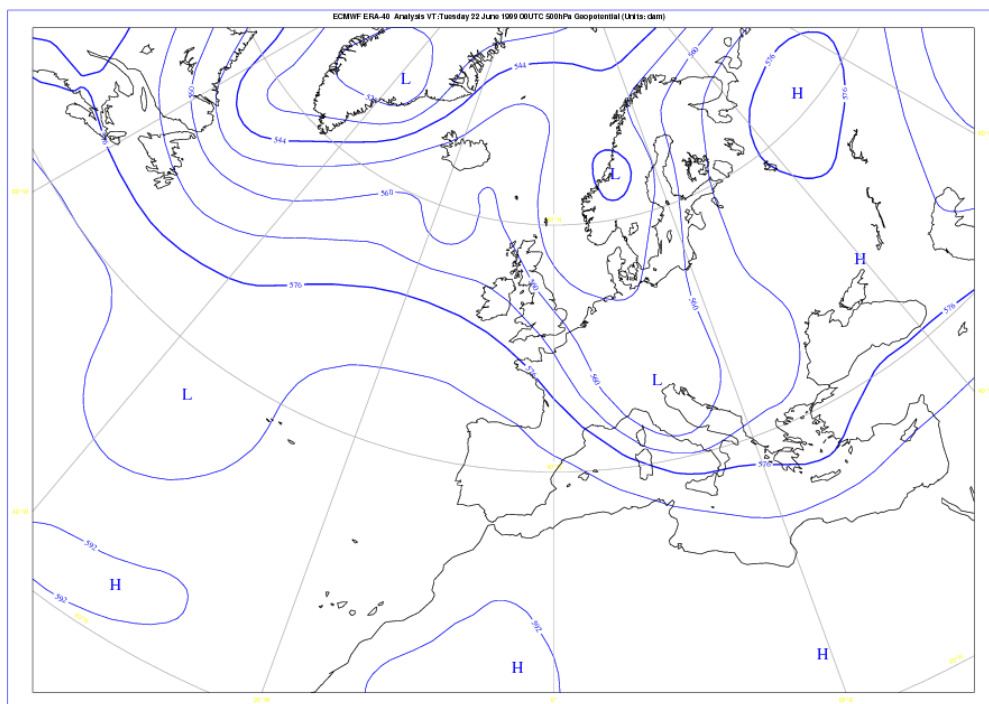
Χάρτης 28. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- 850hPa - 1200UTC



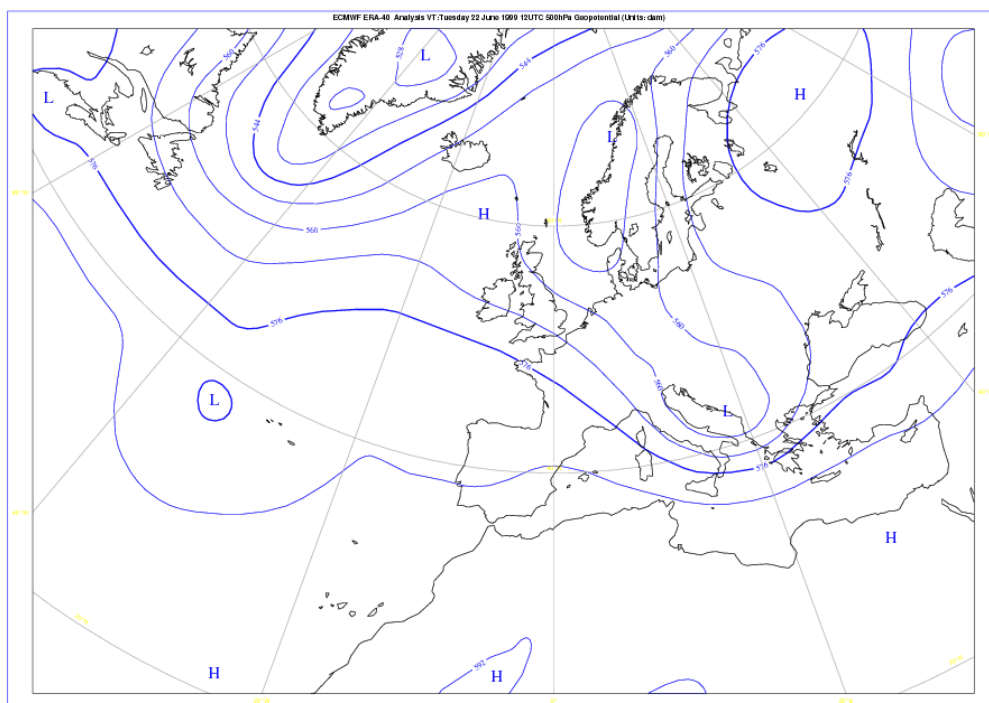
Χάρτης 29. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- Επιφάνεια (SFC) -1200UTC



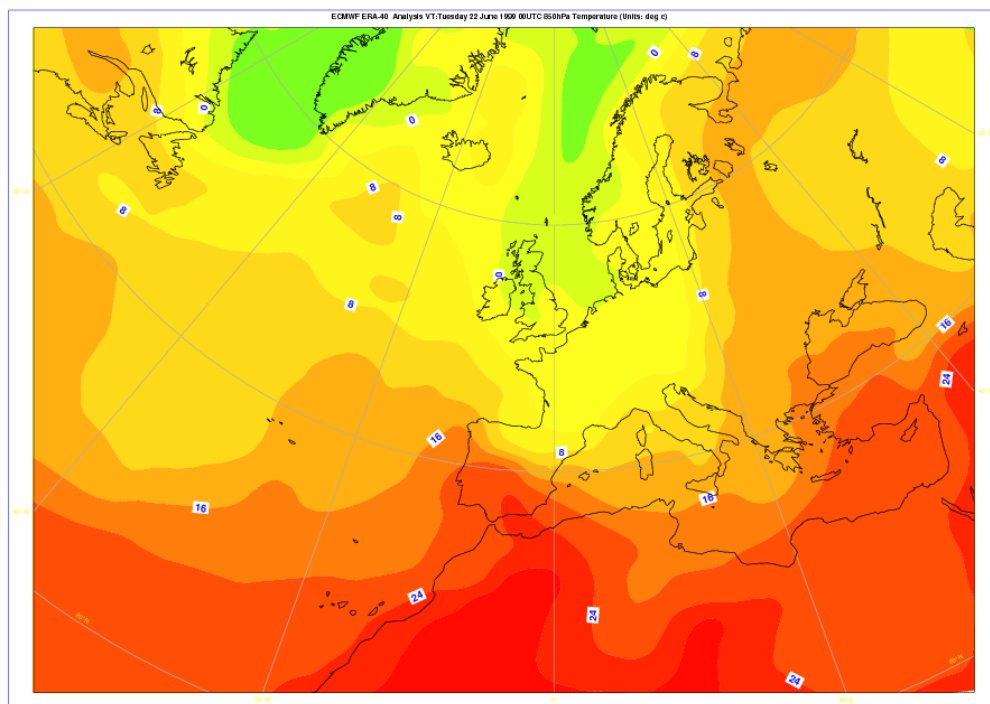
Χάρτης 30. Τύπος καιρού 5 - 19 Ιουνίου 2000- Επιφάνεια (SFC) -1200UTC



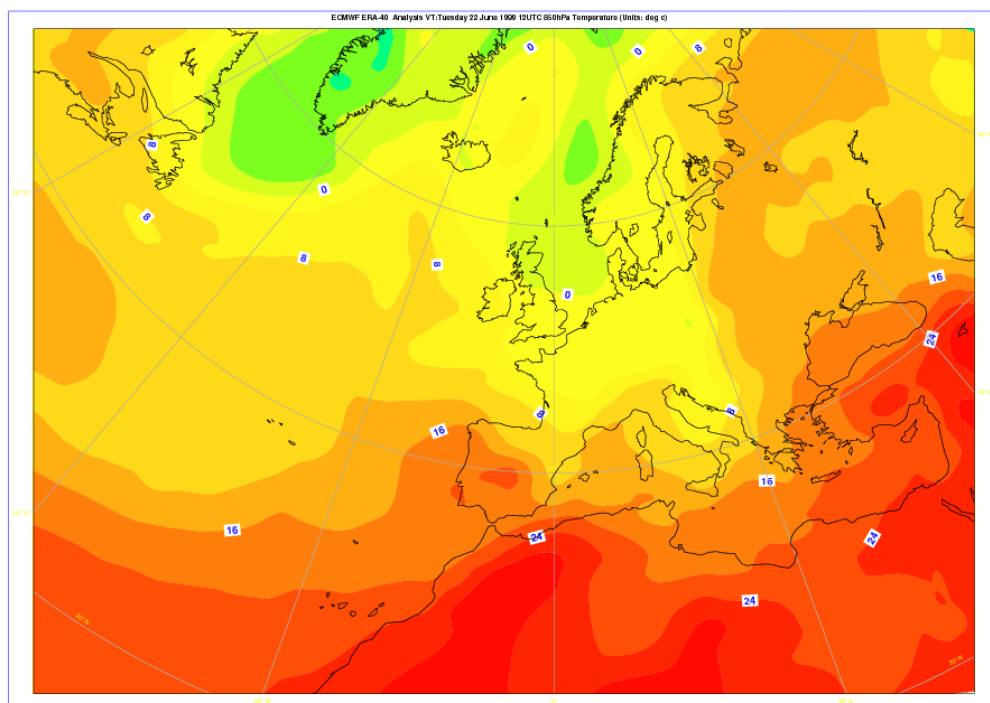
Χάρτης 31. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 500hPa - 0000UTC



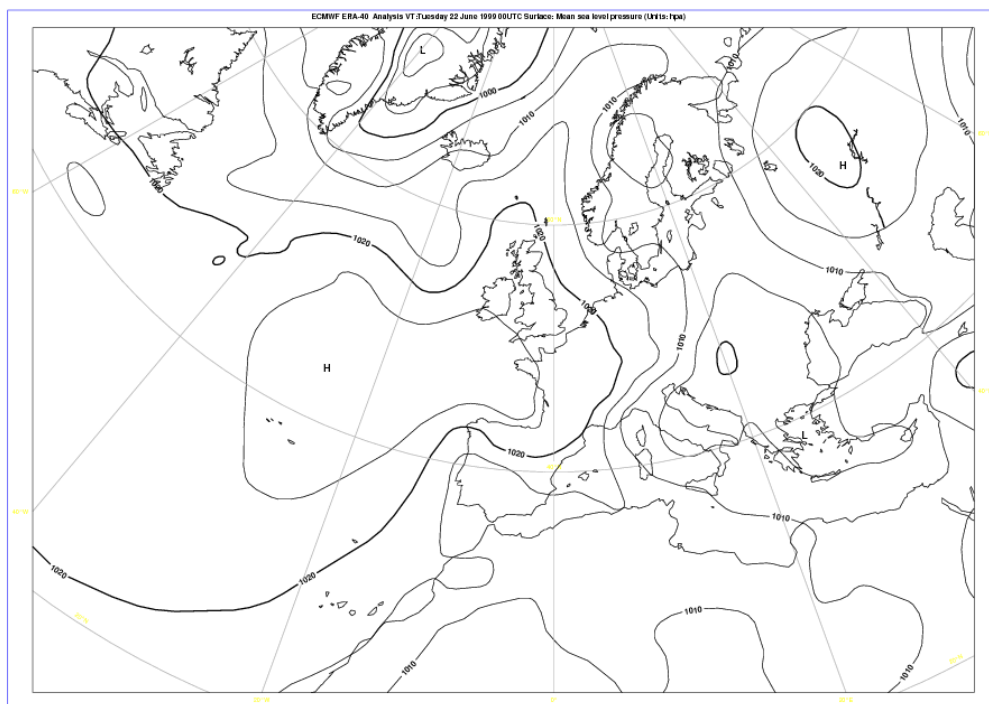
Χάρτης 32. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 500hPa - 1200UTC



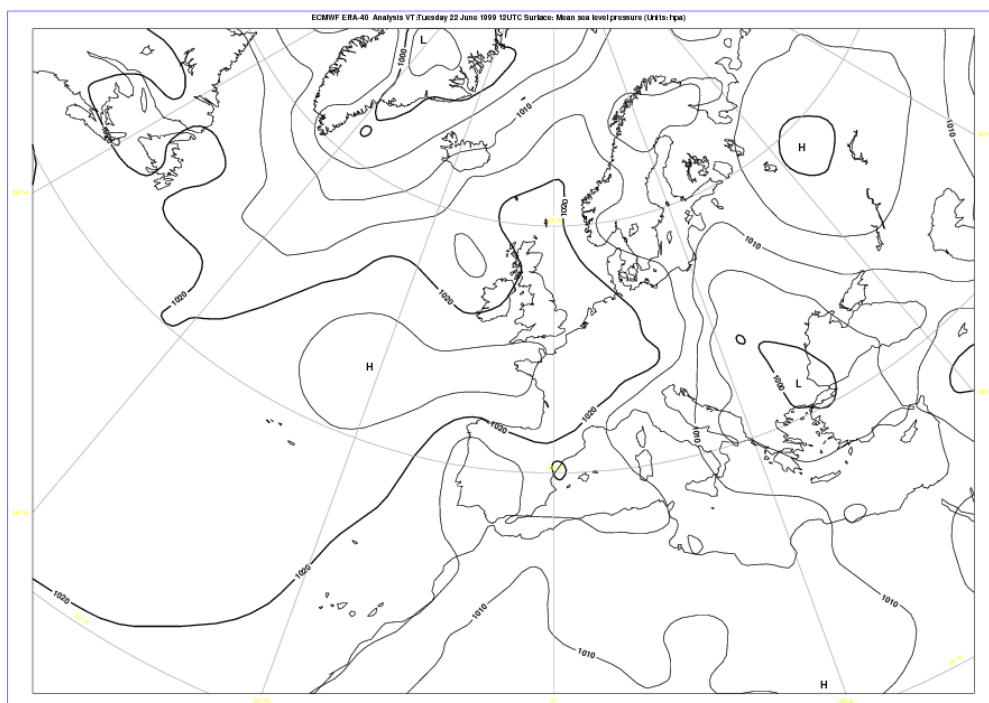
Χάρτης 33. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 850hPa - 0000UTC



Χάρτης 34. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- 850hPa - 1200UTC



Χάρτης 35. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- Επιφάνεια (SFC) -0000UTC



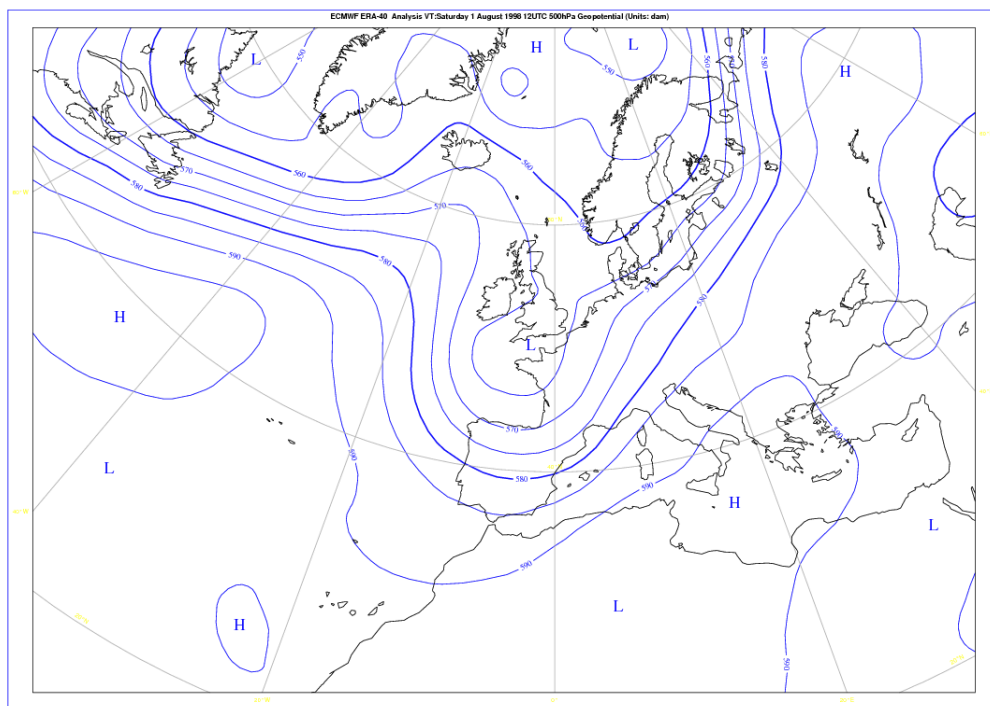
Χάρτης 36. Τύπος καιρού 6 - 22 Ιουνίου 1999- Επιφάνεια (SFC) -1200UTC

Μετεωρολογικοί Χάρτες της περιόδου 1-6 Αυγούστου 1998

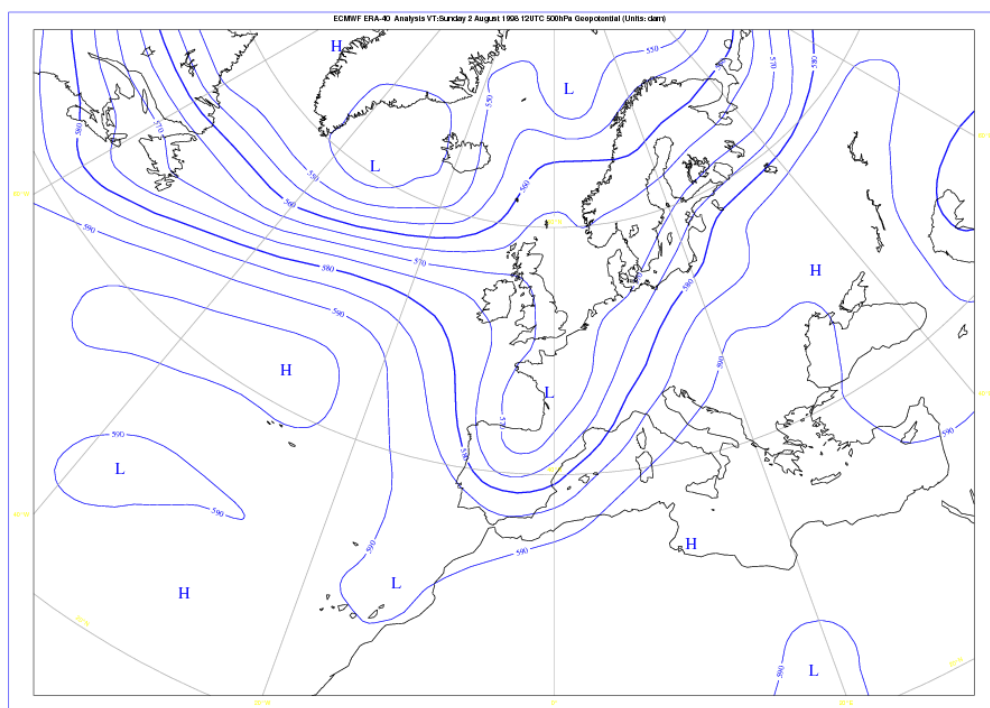
Για κάθε ημέρα:

1. Ανάλυση Ισοϋψών στα 500hPa 1200UTC
2. Ισοθερμική ανάλυση Ισοϋψών στα 850hPa 1200UTC
3. Ισοβαρική ανάλυση επιφάνειας (SFC) 1200UTC (ατμοσφαιρική πίεση ανηγμένη σε μέση στάθμη θάλασσας (MSL))

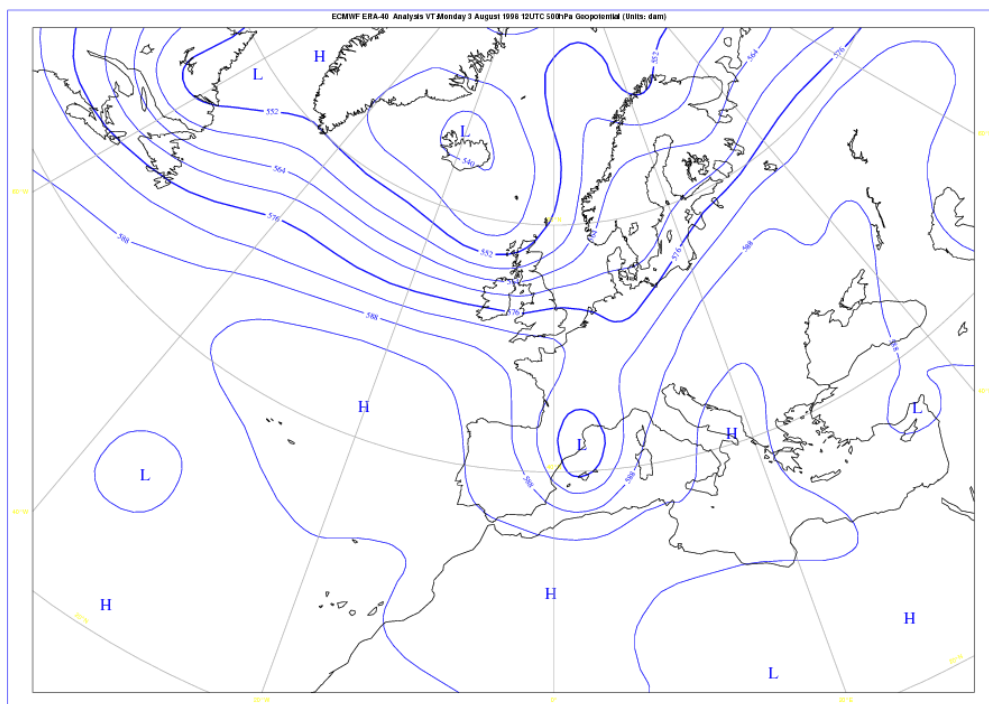
Η σελίδα αυτή είναι κενή



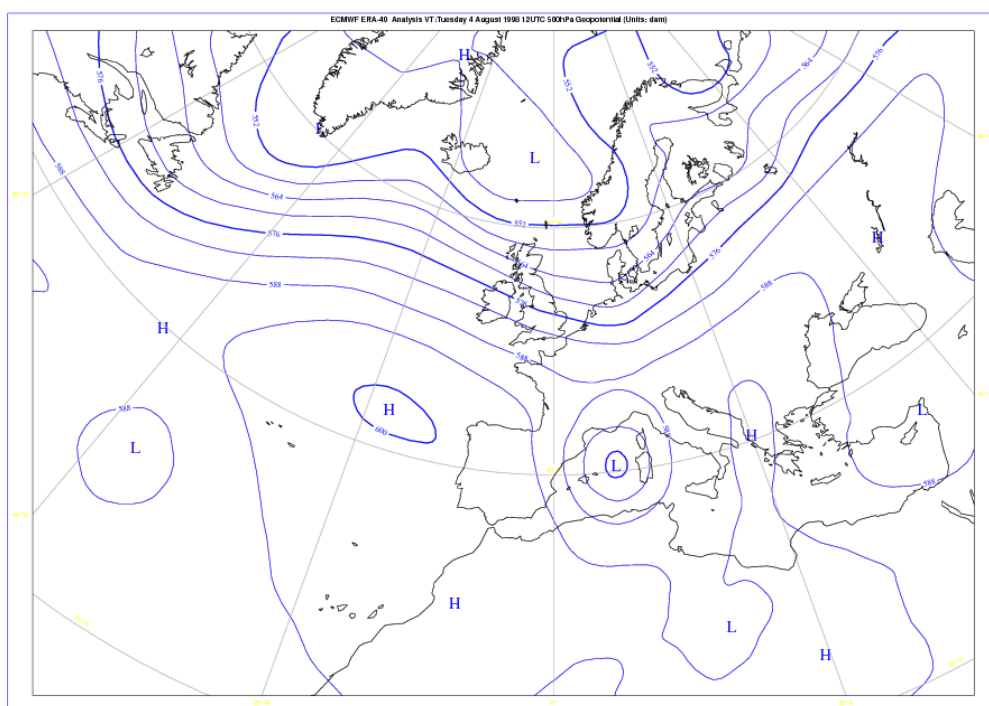
Χάρτης 37. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -01/08/1998 - 1200UTC



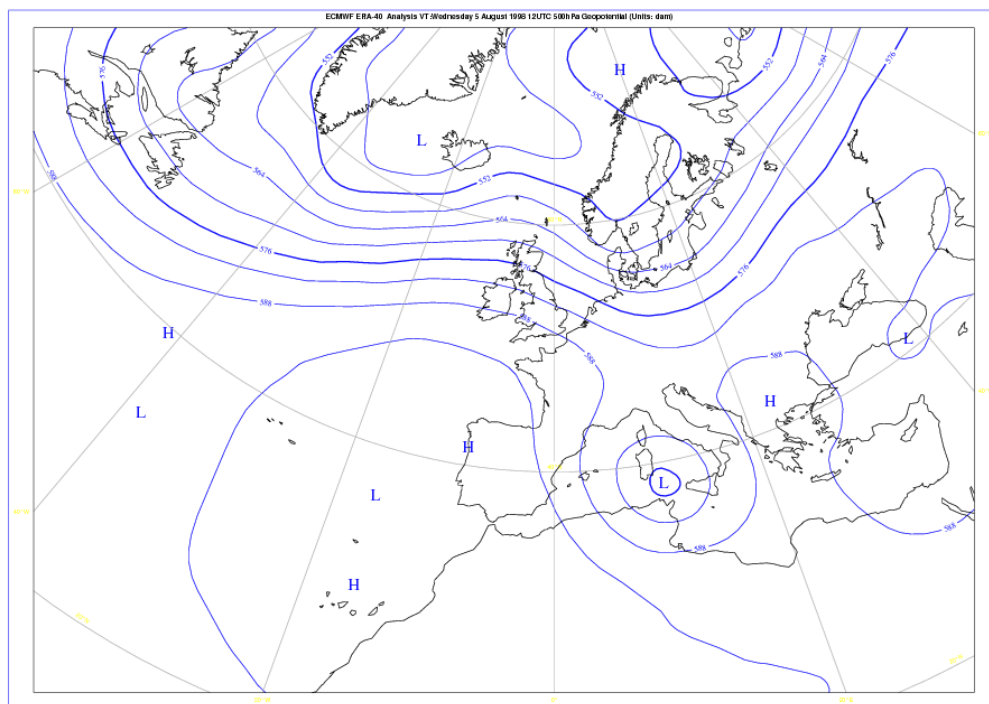
Χάρτης 38. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -02/08/1998 - 1200UTC



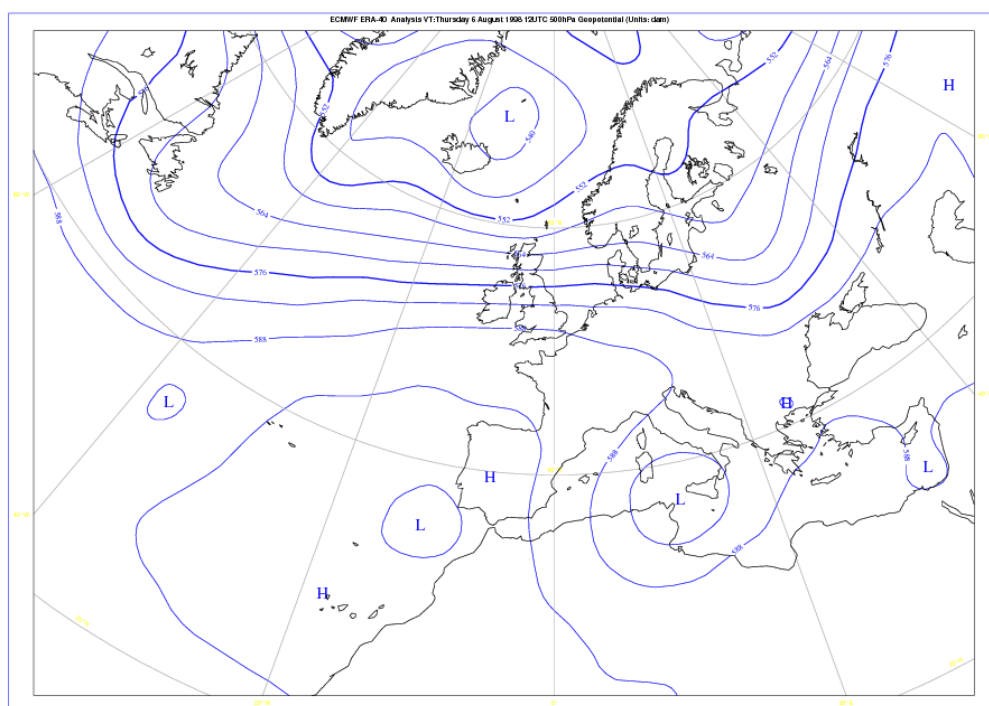
Χάρτης 39. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -03/08/1998 - 1200UTC



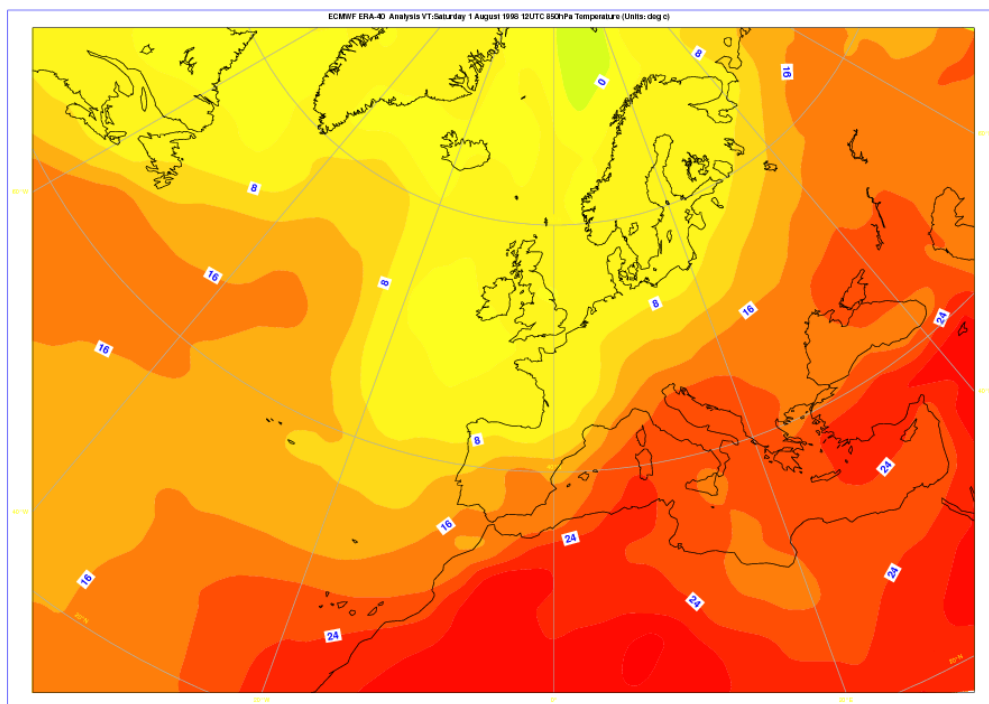
Χάρτης 40. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -04/08/1998 - 1200UTC



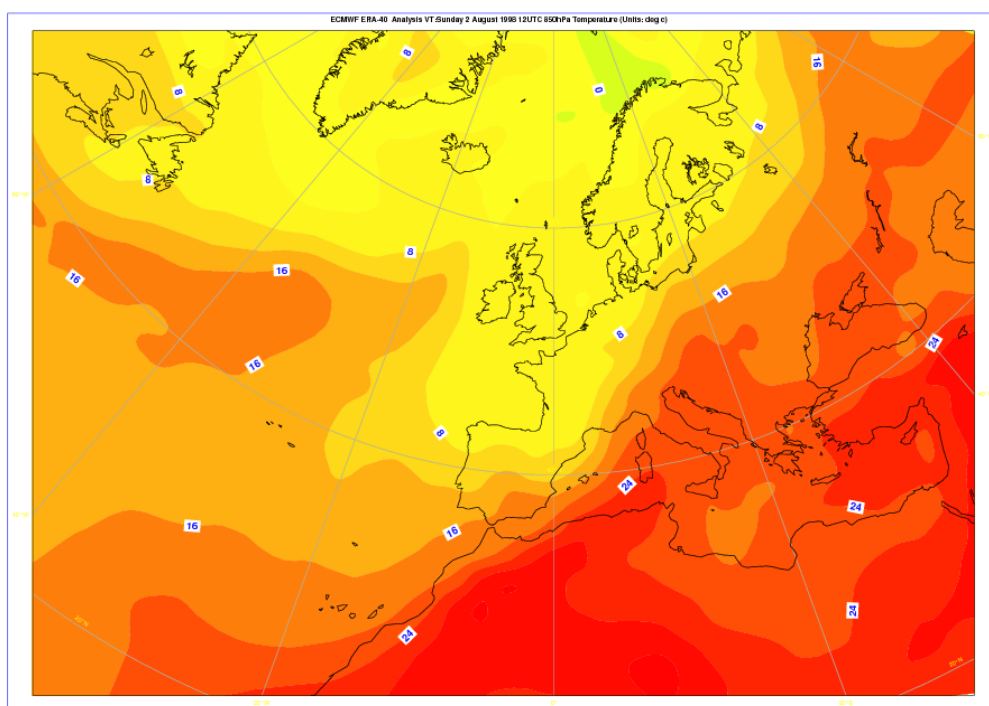
Χάρτης 41. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -05/08/1998 - 1200UTC



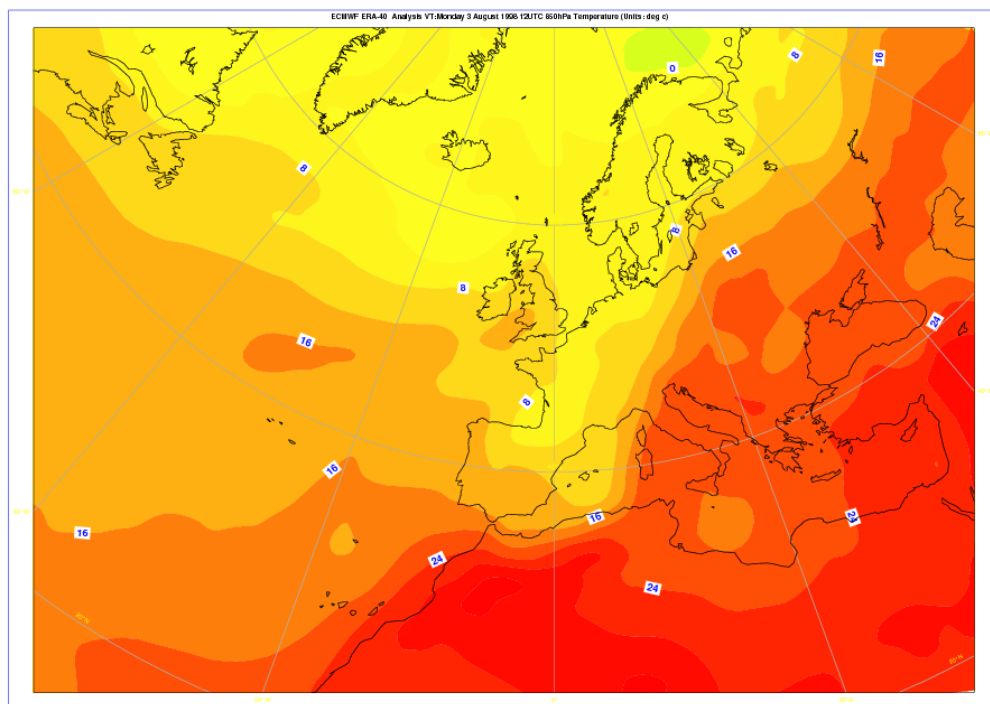
Χάρτης 42. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 500hPa -06/08/1998 - 1200UTC



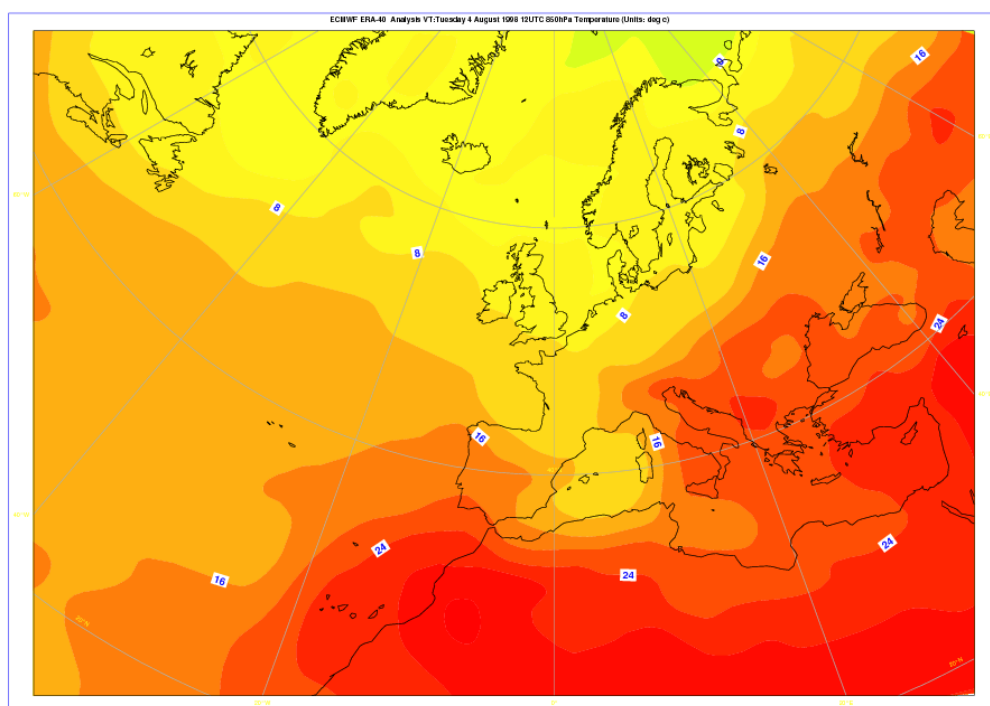
Χάρτης 43. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -01/08/1998 - 1200UTC



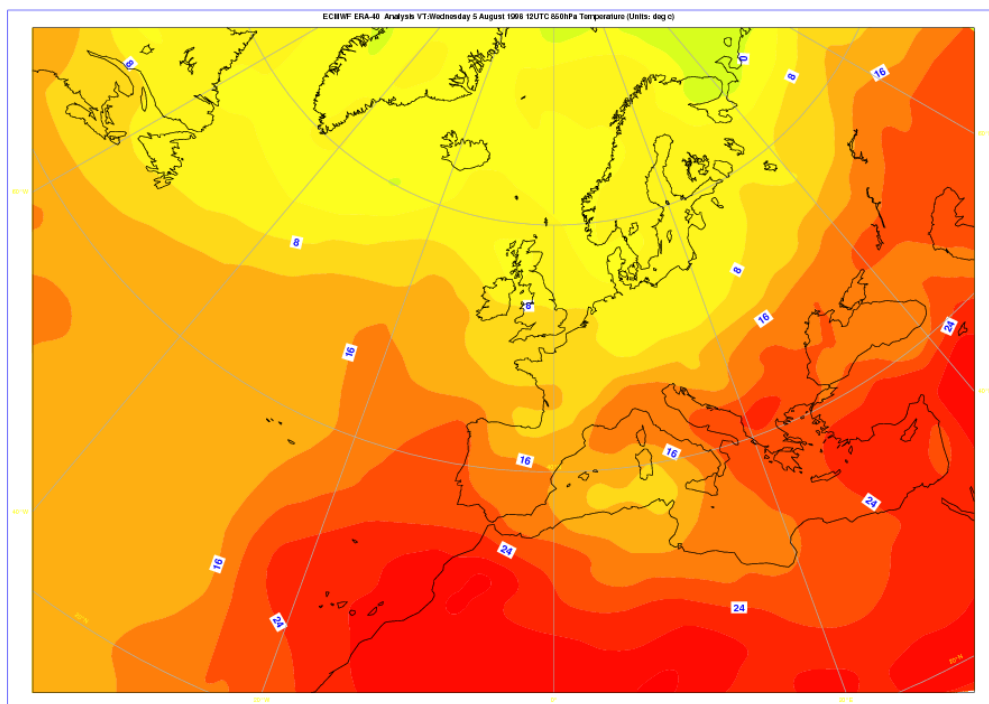
Χάρτης 44. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -02/08/1998 - 1200UTC



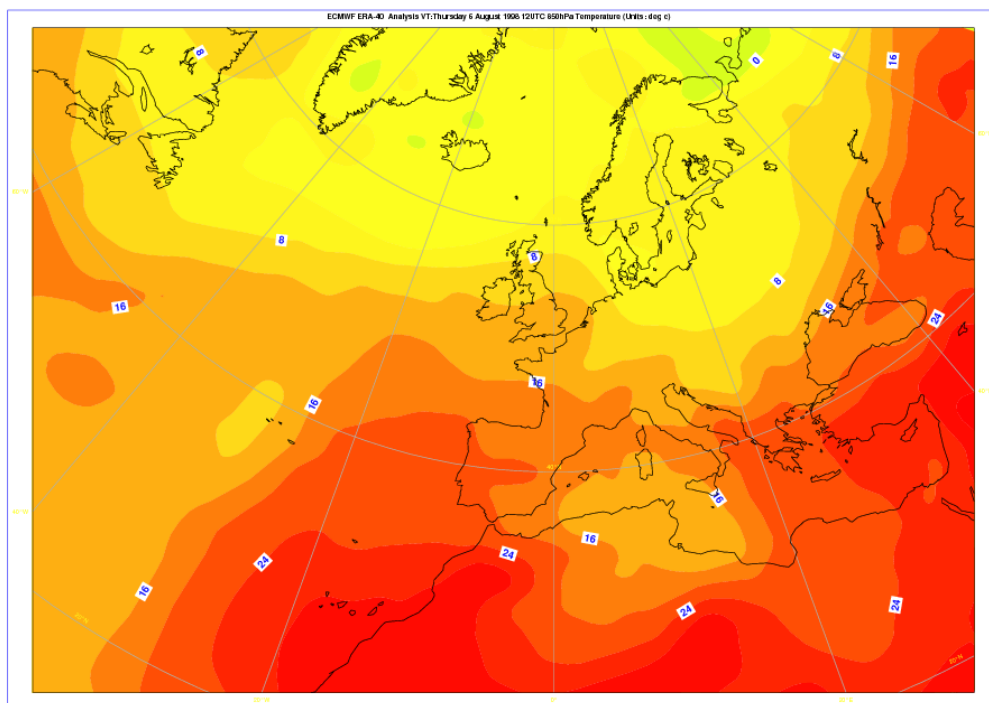
Χάρτης 45. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -03/08/1998 - 1200UTC



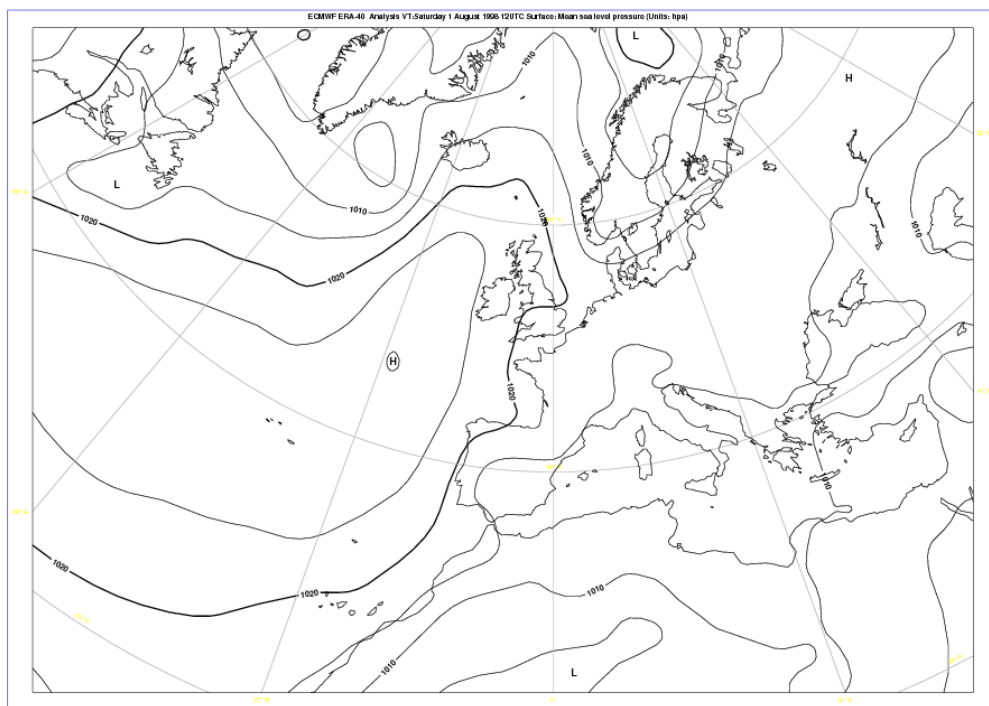
Χάρτης 46. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -04/08/1998 - 1200UTC



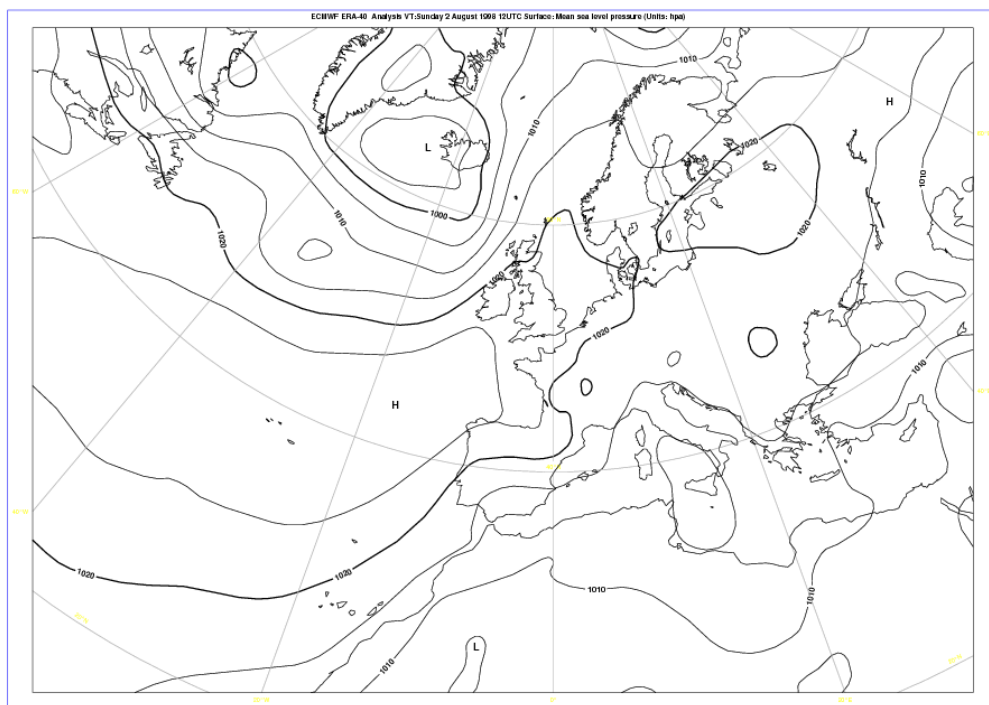
Χάρτης 47. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -05/08/1998 - 1200UTC



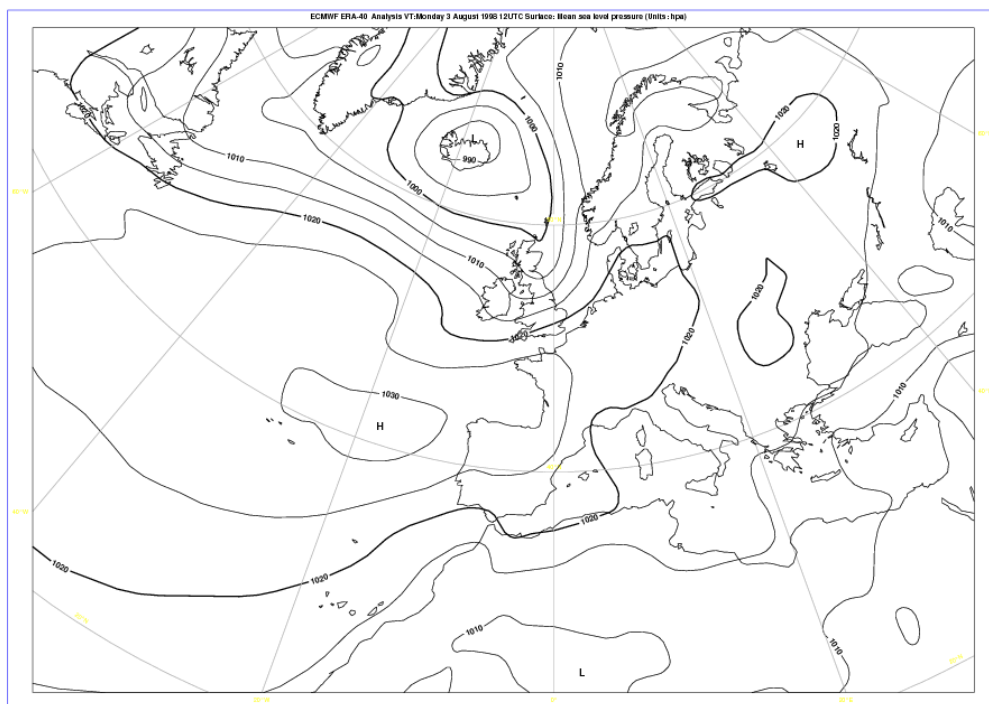
Χάρτης 48. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – 850hPa -06/08/1998 - 1200UTC



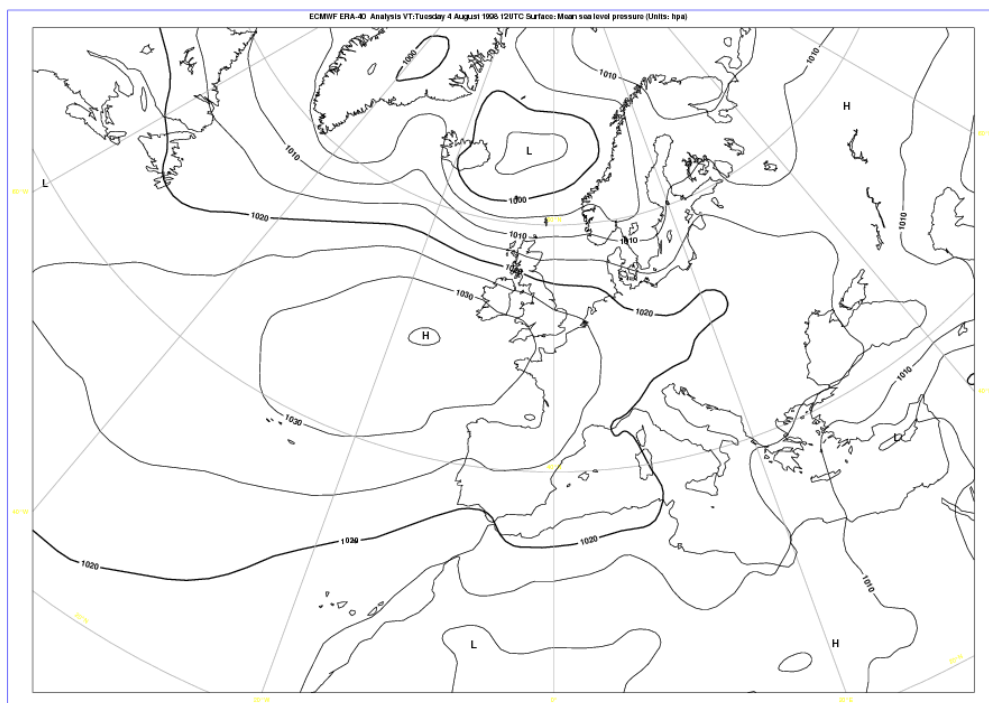
Χάρτης 49. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 01/08/1998 - 1200UTC



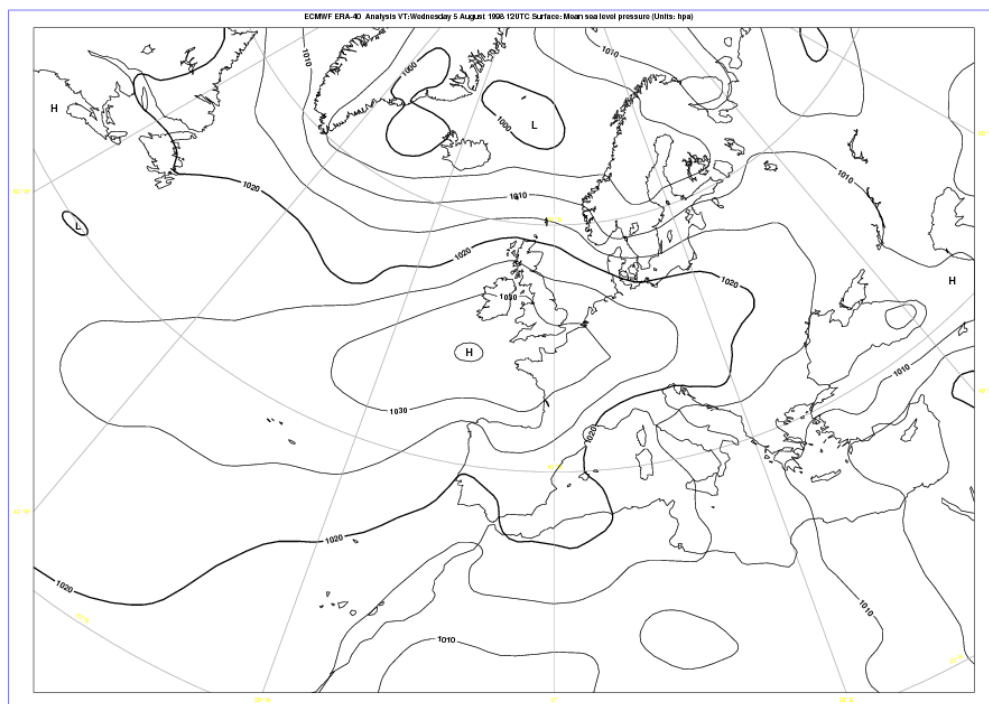
Χάρτης 50. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 02/08/1998 -1200UTC



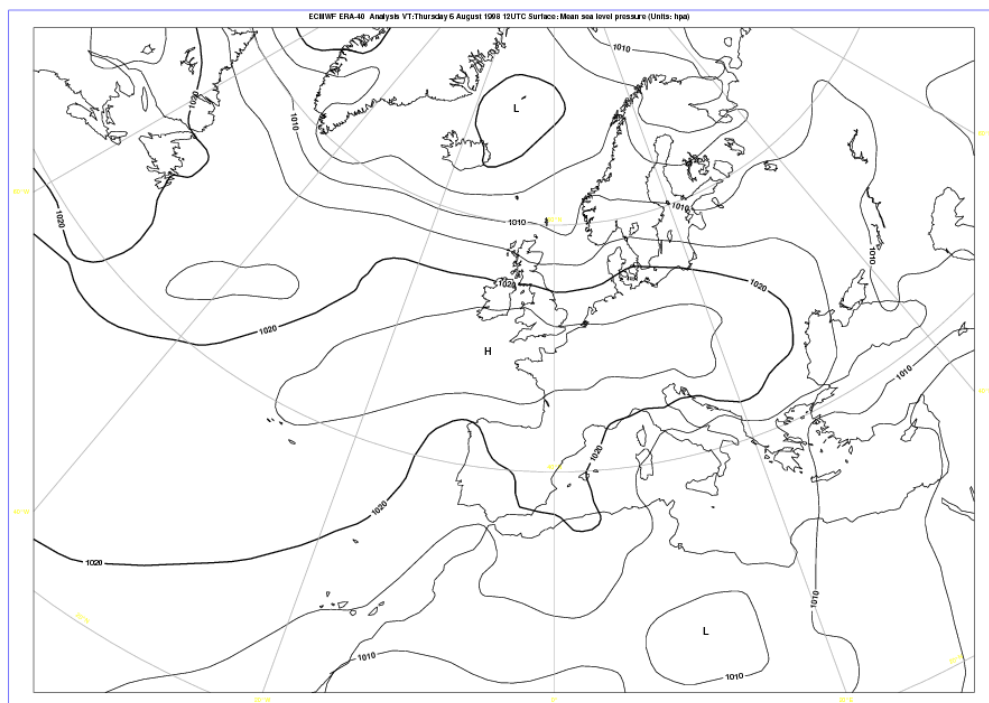
Χάρτης 51. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 03/08/1998 - 1200UTC



Χάρτης 52. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 04/08/1998 - 1200UTC



Χάρτης 53. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 05/08/1998 - 1200UTC



Χάρτης 54. Περίπτωση Αυγούστου 1998 – Επιφάνεια - 06/08/1998 - 1200UTC

Η σελίδα αυτή είναι κενή

Παράρτημα Γ

Πίνακας 18. Μέγιστες θερμοκρασίες, άνω των 44°C, στην Ελλάδα την θερινή περίοδο (Ιούνιος – Ιούλιος- Αύγουστος). Πηγή: επεξεργασμένο αρχείο EMY

Κωδ. Μετ. Σταθμού	Γεωγραφική Θέση	Ημερομηνία	Μέγιστη Θερμοκρασία (°C)
16725	Σπάρτη	7/7/1988	45,00
		6/7/2000	44,50
16648	Λάρισα	3/7/1998	44,20
		5/7/2000	45,40
		27/7/2000	44,40
		23/8/1958	45,00
		7/7/1988	44,80
		19/7/1973	45,20
		25/6/2007	44,40
		26/6/2007	44,60
		25/7/2007	44,80
16655	Άστρος Κυνουρίας	6/7/2000	44,80
		24/6/2007	45,00
		26/6/2007	46,00
		27/6/2007	44,40
		25/7/2007	45,00
16746	Σούδα	20/7/1973	44,50
16741	Σπάτα	26/6/2007	44,20
16671	Βέλο Κορινθίας	3/7/1998	45,00

16748	Κάρπαθος	16/8/1994	45,00
		26/6/1995	45,00
16688	Διαβολίτσι	25/7/1987	44,60
		27/7/1987	46,00
		7/7/1988	45,00
16674	Αλάρτος	6/7/2000	44,40
		19/7/1973	44,20
		9/7/1988	44,60
16715	Τατόι	10/7/1977	48,00
16606	Σέρρες	25/7/2007	44,60
16699	Τανάγρα	26/6/2007	44,20
		19/7/1973	46,00
		10/7/1977	44,50
16697	Χαλκίδα	27/7/1987	45,00
16665	Ν. Αγχίαλος	22/7/1956	44,40
		19/7/1973	46,20
16672	Αγρίνιο	14/8/1957	44,80
16724	Άργος (Πυργέλα)	24/6/2007	44,60
		26/6/2007	46,40
		27/6/2007	44,60
		25/7/2007	46,00
		3/7/1998	45,00
16799	Ασπρόπυργος	24/7/1987	44,40
		27/7/1987	44,40

16756	Ιεράπετρα	3/7/1998	44,20
		4/7/1998	45,00
16701	Ν. Φιλαδέλφεια	5/7/2000	44,20
		6/7/2000	44,40
		3/7/1998	44,60
		10/7/1977	44,40
		25/6/1982	44,60
		7/7/1988	45,00
		26/6/2007	46,20
		25/7/2007	45,00
16718	Ελευσίνα	19/7/1993	46,40
		3/7/1998	44,60
		10/7/1977	48,00
		27/7/1987	45,20
		24/6/2007	45,80
		26/6/2007	45,60
		25/7/2007	45,20
16700	Ανάβρυτα	10/7/1977	44,40
16754	Ηράκλειο	12/8/2002	44,40
16751	Παλαιόχωρα Κρήτης	10/7/1977	44,40
16753	Γόρτυς	10/7/1977	45,20
		3/7/1998	44,40
		4/7/1998	44,20
16692	Αίγιο	9/7/1988	44,10

16661	Βόλος	19/7/1973	44,20
16759	Τυμπάκι	3/7/1998	44,40
16675	Λαμία	19/7/1973	46,50
		26/6/2007	44,60
		25/7/2007	45,60