

*Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας
Τμήμα Γεωλογίας
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης*

Μελέτη των επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη
και
εκτίμηση των χαρακτηριστικών αυτών
κατά την επόμενη εικοσαετία

Επιβλ. Καθ.: Θεόδωρος Καρακώστας

*Πακαλίδου Νικολέττα
Φυσικός*

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1 ^ο	
Ορισμός επεισοδίου καύσωνα και μοντέλο γενικής κυκλοφορίας	
1.1 Γενικός ορισμός επεισοδίου καύσωνα	8
1.1.1 Ορισμός επεισοδίου καύσωνα	8
1.1.2 Βαθμίδες ενός επεισοδίου καύσωνα	10
1.1.3 Θερμό κύμα, θερμή εισβολή, θερμή ημέρα και ημέρα καύσωνα	10
1.2 Ο καταστροφικός συνδυασμός της μέγιστης θερμοκρασίας και της υψηλής υγρασίας	11
1.3 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας βιοκλιματικές παραμέτρους	11
1.3.1 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας την ενεργό θερμοκρασία	12
1.3.2 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας τη φαινόμενη θερμοκρασία	13
1.3.3 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη θερμοκρασίας-υγρασίας	16
1.3.4 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας τον Summer Simmer Index	17
1.3.5 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη θερμοκρασίας-υγρασίας-ηλίου-ανέμου	19
1.3.6 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη καιρικού "στρες"	19
1.3.7 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας την ενθαλπία του αέρα	20
1.3.8 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας την Προβλεπόμενη Μέση Θερμική Αίσθηση	20

1.4	Μελέτη του επεισοδίου καύσωνα από διάφορους ερευνητές ανά τον κόσμο	21
1.4.1	Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής	21
1.4.2	Στην Ευρώπη	23
1.5	Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας της Ατμόσφαιρας	32
1.5.1	Εισαγωγή	32
1.5.2	Ιστορική αναδρομή	33
1.5.3	Coupled General Climate Models	35
1.5.4	Κλιματικά σενάρια εκπομπής	37
1.5.4.1	Τι είναι τα σενάρια και ποιος είναι ο σκοπός τους	37
1.5.4.2	Σενάρια: Προγνώσεις της αλλαγής του μελλοντικού κλίματος	39
1.5.4.3	Τα SRES σενάρια εκπομπής	39
1.5.4.4	Περιγραφή των σεναρίων εκπομπής	41
Κεφάλαιο 2^ο		
Μελέτη των επεισοδίων καύσωνα κατά την περίοδο 1960-2003 στη Θεσσαλονίκη		
2.1	Εισαγωγή	42
2.2	Δεδομένα – Μεθοδολογία	42
2.3	Αποτελέσματα	43
2.3.1	Μελέτη των δεικτών THI και SSI σε ετήσια βάση	43
2.3.2	Μελέτη των δεικτών THI και SSI σε μηνιαία βάση	48
2.3.3	Μελέτη των δεικτών THI και SSI σε ωριαία βάση	66
2.3.4	Περιγραφή των ετών με τη μεγαλύτερη δυσφορία της περιόδου 1960-2003 στη Θεσσαλονίκη	66
2.3.5	Ακολουθίες ημερών στη Θεσσαλονίκη χρησιμοποιώντας το δείκτη THI ($THI \geq 69$ για τουλάχιστον 24 ώρες)	88
2.3.6	Σύγκριση των δεικτών THI και SSI σε ετήσια και μηνιαία βάση	88

2.3.7	Μεταβολή της κατηγοριοποίησης του SSI συγκρινόμενο με τον THI	92
2.3.8	Μελέτη τάσης χρονοσειράς των δεικτών THI, SSI και SSI'	99
2.4	Συμπεράσματα – Ανακεφαλαίωση	99
 Κεφάλαιο 3^ο Προβολή των επεισοδίων καύσωνα στο μέλλον		
3.1	Εισαγωγή	102
3.2	Ημερήσια σύγκριση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μεταξύ σεναρίων	102
3.3	Μηνιαία σύγκριση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μεταξύ σεναρίων και παρατηρήσεων	107
3.4	Σχετική συχνότητα εμφάνισης των δεικτών THI και SSI' για τις διάφορες μελλοντικές περιόδους όπως προβλέπονται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2	114
3.5	Σύγκριση των σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης δυσφορίας για τις μελλοντικές περιόδους στα δύο σενάρια εκπομπής	122
3.6	Συμπεράσματα – Ανακεφαλαίωση	125
 Κεφάλαιο 4^ο Συμπεράσματα		
4.1	Σύνοψη	127
4.2	Συμπεράσματα	128
	Περίληψη	133
	Βιβλιογραφία	135

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ύστερα από τρία χρόνια συνεργασίας με τους καθηγητές του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, διδάχτηκα πολλά πράγματα. Έμαθα να εφαρμόζω τις γνώσεις μου σε πρακτικά θέματα και γενικότερα να συνδυάζω τη θεωρία με την πράξη.

Καταρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Θεόδωρο Καρακώστα του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας για την πολύτιμη βοήθεια που μου πρόσφερε απλόχερα. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης και τα άλλα δύο μέλη της τριμελούς επιτροπής μου, τον καθηγητή κύριο Τιμολέων Μακρογιάννη και τον λέκτορα κύριο Θεόδωρο Μαυρομμάτη.

Βεβαίως, χωρίς τη συνεργασία του κυρίου Χρήστου Μήτα, καθηγητή του τμήματος Μετεωρολογίας και Ωκεανογραφίας του Πανεπιστημίου του Μαϊάμι, δεν θα επιτυγχανόταν η ολοκλήρωση της εργασίας, μιας και μας παρείχε τα δεδομένα του καναδικού μοντέλου γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας.

Τέλος, νιώθω την ανάγκη να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου και στην αγαπημένη μου αδερφή που με βοήθησαν με το δικό τους τρόπο και την υπομονή που διαθέτουν.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο του καύσωνα αποτελεί αντικείμενο μελέτης πολυάριθμων μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών εργασιών. Όλοι οι επιστήμονες συμφωνούν στο γεγονός ότι είναι πολύ δύσκολος ένας και μόνο ορισμός επεισοδίου καύσωνα με παγκόσμια εμβέλεια, μιας και το φαινόμενο αυτό επηρεάζεται άμεσα από τα ιδιαίτερα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου τόπου. Ο καθορισμός ενός επεισοδίου καύσωνα μπορεί να γίνει με τη χρήση είτε βιομετεωρολογικών δεικτών, όπως ο Temperature Humidity Index, ο Heat Index, κτλ., είτε θερμοκρασιακών παραμέτρων, όπως η μέγιστη θερμοκρασία, η μέση θερμοκρασία, ο άνεμος, η υγρασία, κτλ.

Τα οικοσυστήματα και διάφοροι άλλοι τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στα ακραία κλιματικά φαινόμενα, όπως ισχυρές βροχοπτώσεις, ανομβρία, υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες. Σχετικά μικρές μεταβολές στις μέσες τιμές μεγεθών και μεταβολές στις σχετικές κλιματικές μεταβλητές μπορούν να επηρεάσουν την ένταση των ακραίων γεγονότων (Katz and Brown; 1992, Hennessy and Pittock; 1995). Τέτοιου είδους αλλαγές έχουν μεγάλη επίδραση τόσο στα οικοσυστήματα, όσο και στην ανθρώπινη κοινωνία.

Μεταξύ διαφόρων επιβλαβών επιδράσεων, τα επεισόδια των εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών μπορεί να καταστρέψουν τη χλωρίδα, ιδιαίτερα όταν συνδυάζονται με σημαντική έλλειψη υγρασίας (Kirschbaum; 1996). Η αυξημένη θερμοκρασία έχει επιβλαβείς επιδράσεις και στο ζωϊκό βασίλειο (Thatcher; 1974, Cavestany et al.; 1985, Furquay; 1989). Οι καύσωνες δημιουργούν συνθήκες ιδιαίτερα αποπνικτικές, αυξάνοντας το ποσοστό θνησιμότητας (Kalkstein and Smoyer; 1993, Kunst et al.; 1993, Changnon et al.; 1996). Για όλους τους παραπάνω λόγους είναι πολύ χρήσιμη η μελέτη τέτοιου είδους επεισοδίων.

Στον ελλαδικό χώρο, ο καύσωνας μελετήθηκε από πολλούς επιστήμονες, οι οποίοι χρησιμοποίησαν διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους (τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον άνεμο, κτλ.) προκειμένου να εντοπίσουν το φαινόμενο και να μελετήσουν τη συχνότητα εμφάνισής του. Στην παρούσα εργασία μελετώνται τα επεισόδια καύσωνα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, για τη χρονική περίοδο 1960-2003 (44 χρόνια) και για το διάστημα Μάιος - Σεπτέμβριος. Παρόλο που η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου εντοπίζεται συνήθως στους θερινούς μήνες, κρίθηκε σημαντικό να διερευνηθεί η συχνότητα εμφάνισης και κατά τη διάρκεια των μηνών Μαΐου και Σεπτεμβρίου.

Πρώτος αντικειμενικός σκοπός της εργασίας ειδίκευσης είναι να εντοπισθούν τα επεισόδια καύσωνα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης για τη χρονική περίοδο 1960-2003. Ο εντοπισμός αυτός πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας τις ωριαίες τιμές των βιομετεωρολογικών δεικτών Θερμοκρασίας – Σχετικής Υγρασίας (*Temperature – Humidity Index - THI*) και Έντονου Θέρου (*Summer Simmer Index - SSI*), οι οποίοι προκύπτουν από τις ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του Μετεωρολογικού Σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Δεύτερος αντικειμενικός σκοπός στην εργασία είναι η αλλαγή του δείκτη SSI ώστε να γίνει αντιπροσωπευτικότερος για την περιοχή της Θεσσαλονίκης (προκύπτει ο SSI'). Το παραπάνω επιτυγχάνεται συγκρίνοντας τον εν λόγω δείκτη με τα αποτελέσματα του THI στην περιοχή μελέτης. Τρίτο αντικειμενικό σκοπό αποτελεί η πρόβλεψη σε τρεις περιόδους (2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100) της ημερήσιας θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους στη Θεσσαλονίκη, χρησιμοποιώντας τη δεύτερη γενιά του Μοντέλου Γενικής Κυκλοφορίας της Ατμόσφαιρας

(Coupled Global Climate Model, CGCM2) του Καναδικού Κέντρου Κλιματικών Μοντέλων και Αναλύσεων (Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, CCCma), καθώς και ο υπολογισμός των ημερήσιων και μηνιαίων καταστάσεων δυσφορίας για τις παραπάνω περιόδους, χρησιμοποιώντας τον THI και τον τροποποιημένο δείκτη SSI'.

Η δομή της εργασίας ειδικεύσης οργανώνεται στα παρακάτω κεφάλαια ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο δίδεται ο ορισμός του καύσωνα και γίνεται αναφορά του φαινομένου, όπως προτάθηκε και υλοποιήθηκε από διάφορους ερευνητές ανά τον κόσμο. Γίνεται μία βιβλιογραφική αναφορά στο συγκεκριμένο θέμα, τόσο στο διεθνή, όσο και στον ελλαδικό χώρο. Επιπλέον γίνεται αναφορά και στη μελέτη του καύσωνα χρησιμοποιώντας διάφορους βιομετεωρολογικούς δείκτες από Έλληνες και ξένους επιστήμονες. Στο τέλος του κεφαλαίου, παρουσιάζεται μέρος του Coupled Global Climate Model και γίνεται μια αναφορά στα σενάρια εκπομπής που χρησιμοποιούνται.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιλαμβάνεται ο υπολογισμός των βιομετεωρολογικών δεικτών THI και SSI για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, χρησιμοποιώντας τις ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα, για τη χρονική περίοδο 1960-2003. Κατόπιν μελετώνται τα επεισόδια καύσωνα με τη βοήθεια των παραπάνω δεικτών για το χρονικό διάστημα Μαΐου – Σεπτεμβρίου. Συγκρίνονται οι δύο δείκτες, μελετώντας και αξιολογώντας τις διαφορές και τις ομοιότητές τους. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού, από τις διαφορές των δύο δεικτών προκύπτει μία νέα κατηγοριοποίηση του δείκτη SSI (SSI'), ώστε να γίνει αντιπροσωπευτικός για την περιοχή της Θεσσαλονίκης, σύμφωνα πάντοτε με τον THI.

Στο τρίτο κεφάλαιο εκτιμώνται οι μέσες ημερήσιες και μηνιαίες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα σε τρεις μελλοντικές περιόδους, 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100, χρησιμοποιώντας προβλέψεις από το CGCM2. Στο τέλος του κεφαλαίου υπολογίζονται οι δείκτες THI και SSI' (τροποποιημένος δείκτης) και προβλέπονται οι μελλοντικές συνθήκες δυσφορίας στη Θεσσαλονίκη για τις παραπάνω τρεις μελλοντικές περιόδους.

Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη σύνθεση και ολοκλήρωση της μελέτης αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΕΙΣΟΔΙΟΥ ΚΑΥΣΩΝΑ ΚΑΙ ΜΟΝΤΕΛΟ ΓΕΝΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

1.1 Γενικός ορισμός επεισοδίου καύσωνα

Ο χαρακτηρισμός ενός επεισοδίου καύσωνα είναι αρκετά δύσκολος, δεδομένου ότι διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, αφού εξαρτάται από τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά του τόπου. Εξάλλου, τόσο στη διεθνή, όσο και στην ελληνική βιβλιογραφία, υπάρχουν διαφορετικοί ορισμοί του φαινομένου.

1.1.1 Ορισμός επεισοδίου καύσωνα

Γενικά θα μπορούσε να ειπωθεί, ότι, όταν η διαφορά της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας από τη μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία, για ένα συγκεκριμένο τόπο, είναι μεγαλύτερη από 10 °C και η σχετική υγρασία είναι αρκετά υψηλή, τότε μπορεί κανείς να αναφέρεται σε καταστάσεις καύσωνα.

Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις ως προς τον ορισμό του καύσωνα: η πρώτη αναφέρεται στη χρονική διάρκεια κατά την οποία εμφανίζονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα, ενώ η δεύτερη αναφέρεται στα κατώφλια πάνω από το οποίο το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως καύσωνας (Karl and Knight; 1997). Τα κατώφλια που θα χρησιμοποιήσει κάποιος προκειμένου να χαρακτηρίσει ένα επεισόδιο καύσωνα ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή, καθώς εξαρτώνται από πολλούς κλιματικούς και γεωμορφολογικούς παράγοντες, όπως την ακτινοβολία, τις εφαρμοζόμενες αγροτεχνικές μεθόδους, κτλ. (Domonkos; 1998). Για παράδειγμα, οι Mearns et al. (1984) ορίζουν ότι όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι πάνω από τους 35 °C για πέντε διαδοχικές ημέρες, τότε προκαλούνται δυσάρεστες συνθήκες στην ατμόσφαιρα.

Σύμφωνα με το Glossary of Meteorology (Huschke; 1959), καύσωνας μπορεί να ονομασθεί μια περίοδος αφύσικης και ασυνήθιστης ζέστης και συγχρόνως πολύ υγρής

κατάστασης. Για να χαρακτηριστεί καύσωνα θα πρέπει η περίοδος αυτών των συνθηκών να διαρκεί τουλάχιστον 24 ώρες. Συνήθως διαρκεί από μερικές ημέρες μέχρι μερικές εβδομάδες. Επομένως, οι ωριαίες μετρήσεις κρίνονται απαραίτητες στην περίπτωση εντοπισμού και χαρακτηρισμού ενός επεισοδίου καύσωνα. Αντίθετα οι ημερήσιες μετρήσεις είναι επαρκείς μόνο για γενική εκτίμηση επεισοδίων καύσωνα.

Ο καύσωνας (*Heat Wave*), ορισμένες φορές, παρομοιάζεται αλλά και χαρακτηρίζεται από μερικούς ερευνητές και ως ζεστό κύμα (*Hot Wave*) ή ως θερμό κύμα (*Warm Wave*) (Μαριολόπουλος και Καραπιπέρης; 1956).

Τα κριτήρια για το αν σε μία περιοχή εμφανίζεται το φαινόμενο του καύσωνα, εξαρτώνται από τις κανονικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτήν. Για παράδειγμα, στις ανατολικές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, ο καύσωνας γενικά αναπτύσσεται σταδιακά, με την επικράτηση νότιας διεύθυνσης ανέμων, στη δυτική πλευρά ενός αντικυκλωνικού συστήματος, με κέντρο πάνω από τις νοτιοανατολικές πολιτείες. Εκεί ο αέρας γίνεται θερμότερος καθώς κινείται πάνω από τη θερμαινόμενη από τον ήλιο γήινη επιφάνεια (Huschke; 1959).

Από το National Weather Service (2001) έχουν καθορισθεί τα παρακάτω κριτήρια, προκειμένου να διαπιστωθεί αν σημειώνεται καύσωνας ή όχι, και να προστατευτεί τελικά ο πληθυσμός: εάν η μέγιστη τιμή του Δείκτη Θερμότητας (*HI*) κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι μεγαλύτερη από 41 °C (105 °F) και η μέγιστη τιμή του δείκτη αυτού κατά τη διάρκεια της νύχτας υπερβαίνει τους 27 °C (80 °F) για δύο τουλάχιστον συνεχόμενες ημέρες, τότε πρόκειται για επεισόδιο καύσωνα.

Οι Huynen et al. (2001) αναφέρουν τον ορισμό του καύσωνα σύμφωνα με το Ινστιτούτο Μετεωρολογίας της Ολλανδίας (Netherlands Royal Meteorological Institute) ως «η περίοδος τουλάχιστον 5 ημερών, σε κάθε μία ημέρα από τις οποίες η μέγιστη θερμοκρασία είναι τουλάχιστον 25 °C (77 °F), συμπεριλαμβανομένου ότι τουλάχιστον 3 συνεχόμενες ημέρες έχουν μέγιστη θερμοκρασία το λιγότερο 30 °C (86 °F)» (οι μετρήσεις έγιναν στο σταθμό του De Bilt).

Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετοί ερευνητές οι οποίοι θεώρησαν τον καύσωνα ως θερμή εισβολή, ή ως μεγάλη θερμή κίνηση αέριας μάζας (Mariolopoulos and Karapiperis; 1956, Φλόκας; 1970, Ρεπαπής; 1975, Metaxas and Repapis; 1978). Μία διάκριση μεταξύ της θερμής εισβολής και της έντονης κίνησης της αέριας μάζας αναπτύχθηκε από τους Metaxa and Kallo (1980), οι οποίοι, μεταξύ άλλων, όρισαν και κριτήρια καθορισμού επεισοδίου καύσωνα για συγκεκριμένες πόλεις στην Ελλάδα, ως εξής:

- Η μέγιστη θερμοκρασία στο Αστεροσκοπείο Αθηνών πρέπει να είναι τουλάχιστον 37 °C (99 °F).
- Η μέση ημερήσια θερμοκρασία πρέπει να είναι τουλάχιστον 31 °C (88 °F), για τον ίδιο σταθμό.
- Η μέγιστη θερμοκρασία στο μετεωρολογικό σταθμό Λαρίσης πρέπει να είναι τουλάχιστον 38 °C (100°F), για τη συγκεκριμένη ημέρα.

Γενικά, θα μπορούσε να ειπωθεί, ότι όταν κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου η μέγιστη θερμοκρασία υπερβαίνει τους 38 °C (100 °F) κατά μέσο όρο στον ελλαδικό χώρο, τότε η ημέρα αυτή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ημέρα καύσωνα (Ανδρεάκος και Μποζανάς; 1980, Prezerakos; 1989).

Σύμφωνα με τον Floca (1980), μία καλοκαιρινή ημέρα ορίζεται ως ζεστή ημέρα όταν η μέγιστη θερμοκρασία της είναι πιο μεγάλη από τη μέση τιμή της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας του μήνα για τουλάχιστον μία τυπική απόκλιση. Οι ακολουθίες των ζεστών ημερών κατά τη διάρκεια του θέρους ορίζονται ως οι ημέρες με μέγιστη θερμοκρασία τουλάχιστον μία τυπική απόκλιση πάνω από τη μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία.

1.1.2 Βαθμίδες ενός επεισοδίου καύσωνα

Σύμφωνα με τον Robinson (2001), ο καύσωνας μπορεί να χωρισθεί σε ορισμένες βαθμίδες, ανάλογα με την ένταση του φαινομένου:

- Καύσωνας (*Heat Wave*): Ως καύσωνας μπορεί να χαρακτηριστεί μία περίοδος τουλάχιστον 48 ωρών κατά τη διάρκεια της οποίας, τόσο η ολονύκτια, όσο και η ημερήσια τιμή του δείκτη θερμότητας (*Heat Index – HI*), βρίσκονται πάνω από το κατώφλι των 27 °C (80 °F) και 41 °C (105 °F), αντίστοιχα, σύμφωνα με το NWS (*National Weather Service*).
- Σφοδρός καύσωνας (*Intense Heat Wave*): Σφοδρός καύσωνας θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η περίοδος τουλάχιστον 36 ωρών, κατά τη διάρκεια της οποίας οι υψηλές ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας υπερβαίνουν το μέγιστο κατώφλι τουλάχιστον κατά 6 °C (10 °F).
- Εξαιρετικός καύσωνας (*Extended events*): Τα εκτεταμένα φαινόμενα συμβαίνουν όταν οι ακραίες συνθήκες μέγιστης θερμοκρασίας διαρκούν τουλάχιστον 96 ώρες.

1.1.3 Θερμό κύμα, θερμή εισβολή, θερμή ημέρα και ημέρα καύσωνα

Οι Μαριολόπουλος και Καραπιτέρης (1956) ορίζουν το *θερμό κύμα* ως μία σειρά διαδοχικών ημερών, στην οποία, για μία τουλάχιστον ημέρα, η μέση θερμοκρασία του παρεδάφιου ατμοσφαιρικού αέρα είναι τουλάχιστον κατά 5 °C μεγαλύτερη από την τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας της αντίστοιχης ημέρας, σύμφωνα με παρατηρήσεις που πραγματοποιήθηκαν για τη χρονική περίοδο 1901-1950.

Ο Φλόκας (1970) ορίζει τη *θερμή εισβολή*, ως μία αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα κατά τουλάχιστον 0.6 °C, σε έναν τουλάχιστον από τους μετεωρολογικούς σταθμούς μελέτης του ελλαδικού χώρου. Αργότερα, ο Ρεπαπής (1975), ορίζει τη θερμή εισβολή στο μετεωρολογικό σταθμό του Ελληνικού την εντός 48 ωρών αύξηση του πάχους του στρώματος της αέριας μάζας των 1000/5000 hPa, κοντά 100 γεωδυναμικά μέτρα (gpm), ή την εντός 48 ωρών αύξηση της θερμοκρασίας της ισοβαρικής επιφάνειας των 850 hPa κατά τουλάχιστον 5 °C.

Το 1981, ο Flocas, ονομάζει *θερμή εισβολή* στο μετεωρολογικό σταθμό του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κάθε σειρά διαδοχικών ημερών, των οποίων οι μέγιστες θερμοκρασίες είναι τουλάχιστον ίσες με το άθροισμα του μέσου όρου της μέγιστης θερμοκρασίας μιας μακράς σειράς ετών και της τυπικής απόκλισης αυτού.

Το 1998 οι Balafoutis and Arseni-Papadimitriou χαρακτηρίζουν ως *θερμή εισβολή* στα Νότια Βαλκάνια, κάθε περίοδο τριών τουλάχιστον διαδοχικών ημερών, των οποίων οι

μέγιστες θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερες από τη μακροχρόνια μέση μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας κατά τουλάχιστον 4 °C.

Η Τσελεπιδάκη (1990), ορίζει τη *θερμή ημέρα* στους μετεωρολογικούς σταθμούς του Ελληνικού και της Αράζου, ως την ημέρα με μέγιστη θερμοκρασία τουλάχιστον ίση με το άθροισμα του μέσου όρου της μέγιστης θερμοκρασίας μιας μακράς σειράς ετών και της τυπικής απόκλισης αυτού του μέσου όρου. Η Αρσένη-Παπαδημητρίου (1974) χαρακτηρίζει ως *τροπική ημέρα* στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, κάθε ημέρα με ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη ή ίση των 30 °C, ενώ ο Μπαλαφούτης (1977α) ορίζει ως *θερινή ημέρα* για τη Μακεδονία και τη Δυτική Θράκη, κάθε ημέρα του επταμήνου Απριλίου-Οκτωβρίου, της οποίας η μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 25 °C.

Τέλος, οι Ανδρεάκος και Μποζανάς (1980) και Prezerakos (1989), υποστηρίζουν ότι ο ορισμός μιας ημέρας ως ημέρας καύσωνα, και μάλιστα μόνον με την τιμή της θερμοκρασίας είναι πάρα πολύ δύσκολος. Κι αυτό, γιατί θα μπορούσε να τεθεί αυθαίρετα ένα όριο μέγιστης θερμοκρασίας, έτσι ώστε, κάθε ημέρα με μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη από το όριο αυτό να θεωρείται ως ημέρα καύσωνα. Για τους παραπάνω λόγους, οι προαναφερθέντες ερευνητές όρισαν ως *ημέρα καύσωνα* στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής, κάθε ημέρα της θερμής περιόδου, της οποίας η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία υπερβαίνει την τιμή που είναι μεγαλύτερη του 93% του συνόλου των τιμών των ημερήσιων μεγίστων θερμοκρασιών μιας μακράς περιόδου.

1.2 Ο επικίνδυνος συνδυασμός της μέγιστης θερμοκρασίας και της υψηλής υγρασίας

Γενικά, οι εκφράσεις μέτρησης της υγρασίας περιλαμβάνουν την απόλυτη υγρασία, τη σχετική υγρασία, την ειδική υγρασία και την αναλογία μίγματος (Columbia University Press, 2002).

Είναι γνωστό ότι ο ρυθμός της εξάτμισης ελαττώνεται, καθώς η υγρασία που περιέχεται στον αέρα αυξάνεται και τελικά επέρχεται κορεσμός. Αντίθετα, το σημείο κορεσμού αυξάνεται απότομα, καθώς η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται κι αυτή. Το αποτέλεσμα είναι, ο ψυχρός αέρας, αν και έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (χαμηλή απόλυτη υγρασία), να κορεσθεί, ενώ η σχετική υγρασία παραμένει υψηλή. Ο ψυχρός αέρας, με την υψηλή σχετική υγρασία, φαίνεται πιο ψυχρός από ότι ο ξηρός αέρας της ίδιας θερμοκρασίας, διότι η υψηλή υγρασία σε ψυχρό καιρό αυξάνει την εξάτμιση από το ανθρώπινο σώμα. Αντίθετα, ο θερμός αέρας, συνοδευόμενος από υψηλή σχετική υγρασία φαίνεται θερμότερος από ότι είναι στην πραγματικότητα, εξαιτίας της αύξησης της εξαγωγής θερμότητας (εξάτμισης) από το ανθρώπινο σώμα. Από την άλλη πλευρά, η χαμηλή σχετική υγρασία μετριάζει τα φαινόμενα ακραίας θερμοκρασίας στο ανθρώπινο σώμα.

1.3. Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας βιοκλιματικές παραμέτρους

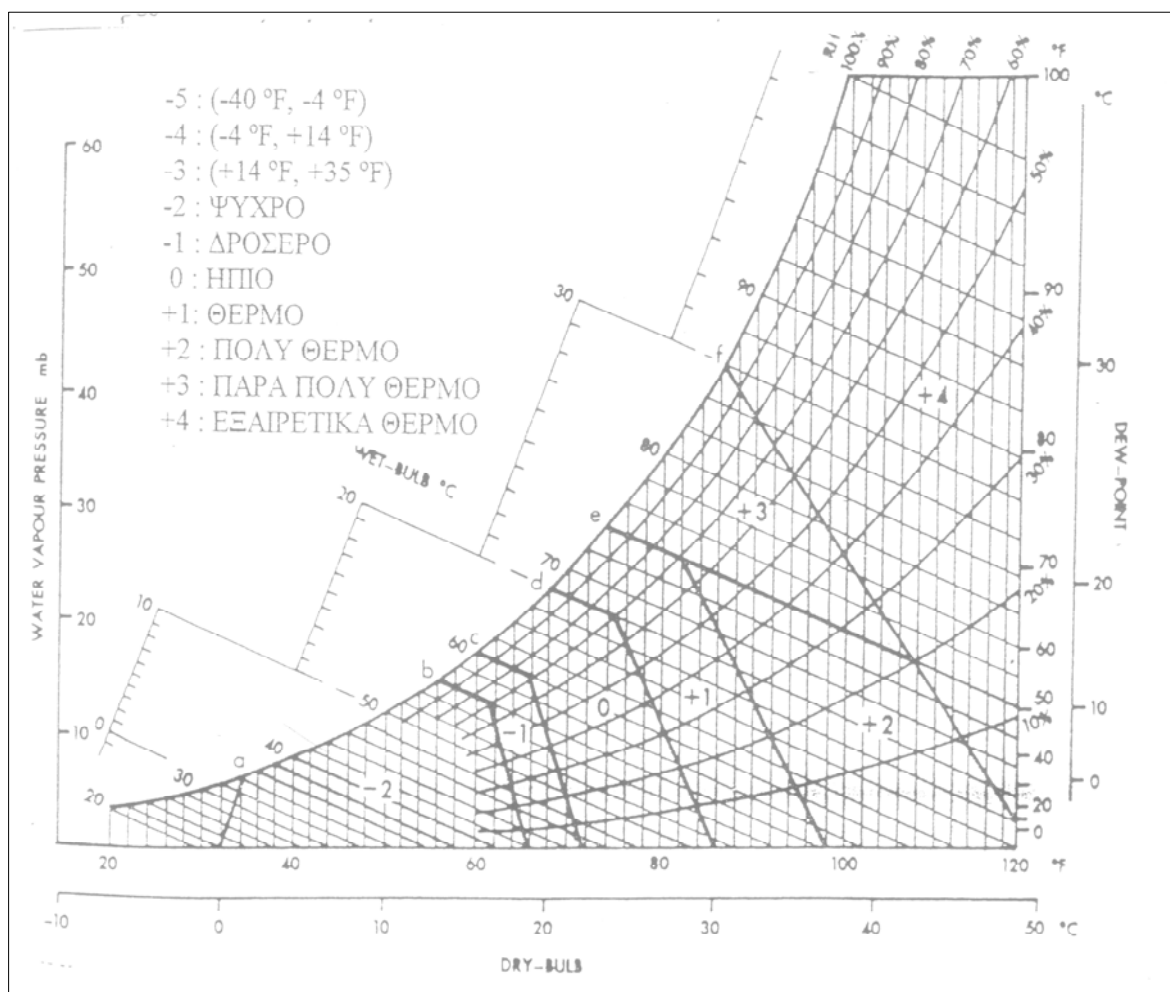
Δεν υπάρχει ένας καθαρά μετεωρολογικός ορισμός του καύσωνα. Για το λόγο αυτό, τα κριτήρια εντοπισμού ημερών καύσωνα είναι δυνατό να βασίζονται σε βιομετεωρολογικούς δείκτες (Thom; 1959, Terjung; 1966, Karacostas and Downing; 1996,

Smoyer et al.; 2000), ή σε μετεωρολογικές παραμέτρους, κυρίως θερμοκρασιακές (Mariolopoulos and Karapiperis; 1956, Φλόκας; 1970, Ρεπαπής; 1975, Metaxas and Kallos; 1979, Colacino and Conte; 1995, DeGaetano; 1996, Mohanty et al.; 1997, Campetella and Rusticucci; 1998, Balafoutis and Makrogiannis; 2000, Kysely and Kalvova; 2000, Huth et al.; 2000, Σπύρου; 2000, κ.ά.).

Οι Bell and Greene (1982) δίνουν μία λεπτομερή αναφορά των μη μετεωρολογικών περιοδικών που ασχολήθηκαν με το συγκεκριμένο θέμα, ενώ ο Tromp (1980) συνοψίζει ότι οι πιο σημαντικοί δείκτες ανθρώπινης ευφορίας στηρίζονται στα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος. Αυτοί οι δείκτες ποικίλουν, εξαρτώμενοι από τα διαθέσιμα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά. Έτσι, ο Tout (1980) χρησιμοποίησε ένα δείκτη δυσφορίας, στηριζόμενο στο μέσο όρο της θερμοκρασίας, τόσο του ξηρού, όσο και του υγρού θερμομέτρου (σε °C), υπενθυμίζοντας το δείκτη θερμοκρασίας-υγρασίας (*THI*) του Thom (1959).

1.3.1 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας την ενεργό θερμοκρασία

Η ενεργός θερμοκρασία (*Effective Temperature – ET*) προτάθηκε από την Αμερικάνικη Ένωση Μηχανικών Θέρμανσης και Εξαερισμού (*American Society of Heating and Ventilation Engineers – ASHVE*) και εκφράζει την επίδραση της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της έντασης του ανέμου στην αίσθηση του θερμού ή ψυχρού που αισθάνεται το ανθρώπινο σώμα. Ύστερα από πειράματα που πραγματοποιήθηκαν μέσα σε κλιματικούς θαλάμους, προέκυψε μια σειρά νομογραμμάτων του δείκτη ET, τα οποία ονομάστηκαν *ψυχομετρικά διαγράμματα ή διαγράμματα θερμικής άνεσης (comfort charts)*. Τα διαγράμματα αυτά δίνουν, για κάθε τιμή ενεργού θερμοκρασίας, το ποσοστό (%) των ατόμων που αισθάνονται θερμική δυσφορία. Διαιρούνται σε περιοχές θερμικής άνεσης ή δυσφορίας, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει ένα σύνολο σημείων με συντεταγμένες *x* και *y*. Στο Σχήμα 1.1, απεικονίζεται ένα ψυχομετρικό διάγραμμα, καθώς και οι περιοχές θερμικής δυσφορίας στις οποίες χωρίζεται.



Σχήμα 1.1. Διάγραμμα θερμικής άνεσης, υπολογισμού της τιμής της ενεργού θερμοκρασίας (Terjung; 1968)

Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι διαφορετικά ζεύγη τιμών θερμοκρασίας και υγρασίας, μπορούν να δώσουν την ίδια τιμή δυσφορίας της ενεργού θερμοκρασίας. Τέλος, σε ορισμένα από τα ψυχομετρικά διαγράμματα αναφέρεται η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου στις συνθήκες δυσφορίας που αισθάνεται ο άνθρωπος.

1.3.2 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη θερμότητας (HI)

Η υψηλή υγρασία καθιστά τη θερμότητα περισσότερο επικίνδυνη, διότι επιβραδύνεται η εξάτμιση του ιδρώτα – μία φυσική διαδικασία ψύξης του ανθρώπινου σώματος.

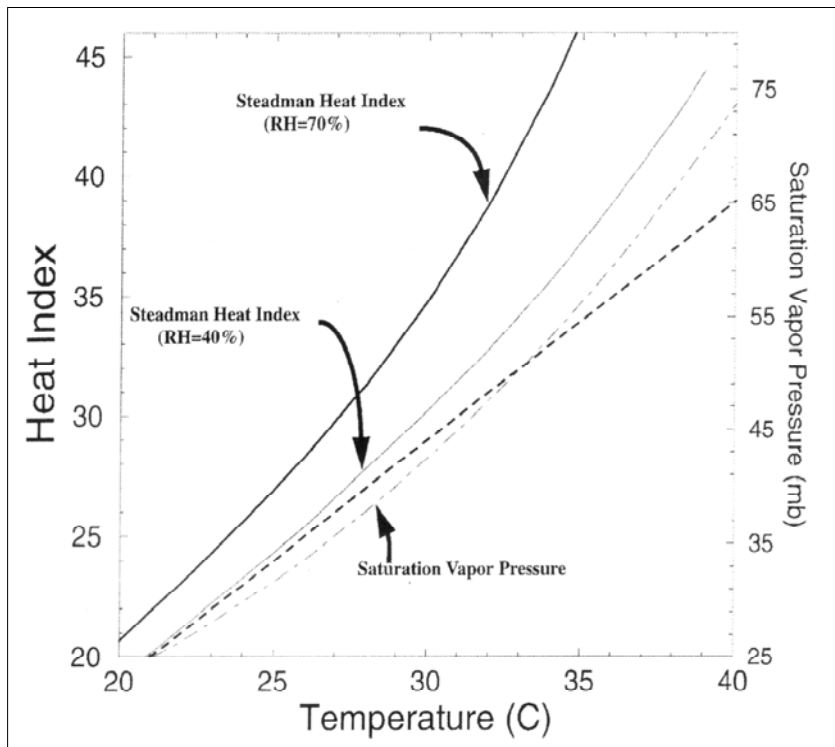
Ο δείκτης θερμότητας (*Heat Index – HI*), ο οποίος από άλλους ονομάζεται και φαινόμενη θερμοκρασία (*Apparent Temperature – AT*, Steadman; 1979, 1984, 1994), αποτελεί έναν πολύ ικανοποιητικό υπολογισμό για τη δυσφορία που αισθάνεται το άτομο όταν η υγρασία συνδυασθεί με την υψηλή θερμοκρασία, δηλαδή μετράει το "στρες" του ανθρώπινου οργανισμού που αναπτύσσεται για διάφορες τιμές υγρασίας της ατμόσφαιρας. Για μία δεδομένη ατμοσφαιρική θερμοκρασία και μία συγκεκριμένη τάση υδρατμών, και

κατ' επέκταση υγρασία, ο HI αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία που παράγεται στο ανθρώπινο σώμα εάν η τάση ατμών αλλάξει σε μία προκαθορισμένη ένδειξη πίεσης. Για παράδειγμα, μία θερμοκρασία 30 °C με σχετική υγρασία 60%, μεταφράζεται σε HI ίσο με 33 °C. Η διαφορά μεταξύ του HI και της θερμοκρασίας του αέρα, είναι η επίδραση της θερμότητας πάνω στο ανθρώπινο σώμα, λόγω της αύξησης της τάσης υδρατμών στην ατμόσφαιρα. Να σημειωθεί ότι ο HI είναι μικρότερος από τη θερμοκρασία του αέρα, μόνο όταν η τάση ατμών στην ατμόσφαιρα είναι μικρότερη από ένα ενδεικτικό ποσό, υποδεικνύοντας την αύξηση της ικανότητας του σώματος να χάνει θερμότητα μέσω της εξάτμισης κάτω από ξηρές συνθήκες.

Η παρακάτω σχέση εκφράζει τη σχέση του HI με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία, η οποία απεικονίζεται στο Σχήμα 1.2 (Delworth et al.; 1999).

$$\begin{aligned}
 \text{Heat Index:} \quad HI = & (16.923 + 0.185212 \cdot T_f + 5.37941 \cdot RH - 0.100254 \cdot T_f \cdot \\
 & RH + (0.941695e - 2) \cdot T_f^2 + (0.728898e - 2) \cdot RH^2 + \\
 & (0.345372e - 3) \cdot T_f^2 \cdot RH - (0.81497e - 3) \cdot \\
 & T_f \cdot RH^2 + (0.102102e - 4) \cdot T_f^2 \cdot RH^2 - (0.38646e - 4) \cdot \\
 & T_f^3 + (0.291583e - 4) \cdot RH^3 + (0.142721e - 5) \cdot T_f^3 \cdot RH + \\
 & (0.197483e - 6) \cdot T_f \cdot RH^3 - (0.218429e - 7) \cdot T_f^3 \cdot RH^2 + \\
 & (0.843296e - 9) \cdot T_f^2 \cdot RH^3 - (0.481975e - 10) \cdot T_f^3 \cdot RH^3)
 \end{aligned}$$

όπου: e είναι η τάση των ατμών, T_f είναι η θερμοκρασία του αέρα σε °F και RH είναι η σχετική υγρασία του αέρα



Σχήμα 1.2. Εξάρτηση του δείκτη HI από τη θερμοκρασία του αέρα και από τη σχετική υγρασία. Οι συνεχείς καμπύλες απεικονίζουν τον HI, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας, για δύο διαφορετικά επίπεδα σταθερής σχετικής υγρασίας (40% και 70%). Η διακεκομμένη γραμμή χρησιμοποιείται ως μονάδα κλίσης. Η διαφορά μεταξύ της συνεχούς και της διακεκομμένης γραμμής δηλώνει τη διαφορά μεταξύ του δείκτη HI και της θερμοκρασίας. (Delworth et al.; 1999)

Από το παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται ότι για αύξηση της θερμοκρασίας με σταθερή σχετική υγρασία, η αύξηση του HI θα είναι μεγαλύτερη όταν: (α) η αρχική θερμοκρασία γίνει μεγαλύτερη, και (β) η σχετική υγρασία αποκτήσει μεγαλύτερη τιμή. Επομένως ο δείκτης θερμότητας εκφράζεται ως μία συνάρτηση της θερμοκρασίας με το σημείο δρόσου, ή της θερμοκρασίας με τη σχετική υγρασία (RH). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αναφέρεται σε σκιερό μέρος με υποπνέοντα άνεμο. Όταν, όμως, επικρατεί ισχυρός άνεμος που μεταφέρει θερμό και ξηρό αέρα και μάζα μπορούν να αποβούν καταστροφικές οι δημιουργούμενες συνθήκες (Πίνακας 1.1):

Πίνακας 1.1. Τιμές υπολογισμού του δείκτη HI ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και του σημείου δρόσου (<http://hpccsun.unl.edu/nebraska/heat-index.html>)

Heat Index Chart (Temperature & Dewpoint)

Temperature (°F)																
DP (°F)	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105
65	94	95	96	97	98	100	101	102	103	104	106	107	108	109	110	112
66	94	95	97	98	99	100	101	103	104	105	106	108	109	110	111	112
67	95	96	97	98	100	101	102	103	105	106	107	108	110	111	112	113
68	95	97	98	99	100	102	103	104	105	107	108	109	110	112	113	114
69	96	97	99	100	101	103	104	105	106	108	109	110	111	113	114	115
70	97	98	99	101	102	103	105	106	107	109	110	111	112	114	115	116
71	98	99	100	102	103	104	106	107	108	109	111	112	113	115	116	117
72	98	100	101	103	104	105	107	108	109	111	112	113	114	116	117	118
73	99	101	102	103	105	106	108	109	110	112	113	114	116	117	118	119
74	100	102	103	104	106	107	109	110	111	113	114	115	117	118	119	121
75	101	103	104	106	107	108	110	111	113	114	115	117	118	119	121	122
76	102	104	105	107	108	110	111	112	114	115	117	118	119	121	122	123
77	103	105	106	108	109	111	112	114	115	117	118	119	121	122	124	125
78	105	106	108	109	111	112	114	115	117	118	119	121	122	124	125	126
79	106	107	109	111	112	114	115	117	118	120	121	122	124	125	127	128
80	107	109	110	112	114	115	117	118	120	121	123	124	126	127	128	130
81	109	110	112	114	115	117	118	120	121	123	124	128	127	129	130	132
82	110	112	114	115	117	118	120	122	123	125	126	128	129	131	132	133
85	115	119	123	127	132	136	141	145	150	155	161	166	172	178	184	190
90	119	123	128	132	137	141	146	152	157	163	174	174	180	186	193	199

Η φαινόμενη θερμοκρασία ουσιαστικά ισοδυναμεί με την πραγματική θερμοκρασία του αέρα, όταν η θερμοκρασία του σημείου δρόσου είναι 14 °C (53 °F). Για μεγαλύτερες τιμές του σημείου δρόσου, η φαινόμενη θερμοκρασία υπερβαίνει την πραγματική θερμοκρασία. Από την άλλη πλευρά, όταν το σημείο δρόσου είναι μικρότερο από 14 °C, η φαινόμενη θερμοκρασία είναι μικρότερη από την πραγματική θερμοκρασία του αέρα. Γενικά, όταν η φαινόμενη θερμοκρασία είναι μικρότερη από 27 °C (80 °F) τότε επικρατούν υποφερτές συνθήκες. Για τιμές οι οποίες είναι μεγαλύτερες από 41 °C (105 °F), τότε υπάρχει κίνδυνος για απώλειες ανθρώπινων ζωών. Φυσικά η αντιμετώπιση της αυξανόμενης θερμοκρασίας από τον κάθε οργανισμό είναι διαφορετική ανάλογα με την

ηλικία, την υγεία και τα χαρακτηριστικά του σώματος όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 1.2.

Πίνακας 1.2. Κλίμακα μεταβολής της φαινόμενης θερμοκρασίας

54 °C (130 °F) ή περισσότερο	Θερμοπληξία ή ηλίαση (η θερμοπληξία προέρχεται από το συνδυασμό της υψηλής θερμοκρασίας και της υψηλής υγρασίας, ενώ η ηλίαση είναι ένα είδος θερμοπληξίας και προέρχεται από την υπερέκθεση στον ήλιο)
41 °C με 54 °C (105 °F με 130 °F)	Ηλίαση, θερμικές κράμπες και θερμική εξουθένωση. Θερμοπληξία, πιθανόν λόγω παρατεταμένης έκθεσης και φυσικής δραστηριότητας
32 °C με 41 °C (90 °F με 105 °F)	Ηλίαση, θερμικές κράμπες και θερμική εξουθένωση, πιθανόν λόγω παρατεταμένης έκθεσης και φυσικής δραστηριότητας
27 °C με 32 °C (80 °F με 90 °F)	Κόπωση, πιθανόν λόγω παρατεταμένης έκθεσης και φυσικής δραστηριότητας

Για παράδειγμα, εάν σε έναν τόπο η θερμοκρασία του αέρα είναι 92 °F και το σημείο δρόσου είναι 75 °F, τότε ο HI είναι 104 °F, υπό σκιά και υποπνέοντα άνεμο. Εάν μετρηθεί η φαινόμενη θερμοκρασία κάτω από τον ήλιο, τότε θα πρέπει να προσθέσει στους υπολογισμούς του περίπου 15 °F.

1.3.3 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη θερμοκρασίας-υγρασίας (THI)

Ένας άλλος δείκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ο Δείκτης Θερμοκρασίας – Υγρασίας (*Temperature – Humidity Index -THI*). Ο δείκτης αυτός προέρχεται από την παρατηρούμενη εξωτερική θερμοκρασία και υγρασία του αέρα. Ορίζεται ως μία μέτρηση της φαινόμενης θερμοκρασίας, δηλαδή πως αισθάνεται ο άνθρωπος τη θερμοκρασία ανάλογα με το ποσό του νερού που εξατμίζεται στον αέρα. Ο ορισμός και οι τιμές του συγκεκριμένου δείκτη βασίζονται στην κλίμακα θερμοκρασίας – υγρασίας του Steadman (1979 a, b) καθώς και στη φαινόμενη θερμοκρασία. Να σημειωθεί ότι ο δείκτης αναφέρεται μόνο σε θερμοκρασίες που οι τιμές τους κυμαίνονται από 20 °C (68 °F) μέχρι 51 °C (125 °F).

Ο δείκτης θερμοκρασίας – υγρασίας δίνεται από τη σχέση (National Weather Service; 2001):

$$THI = 0.4 * (\text{θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου σε } ^\circ F + \text{θερμοκρασία υγρού θερμομέτρου σε } ^\circ F) + 15$$

Για την παραπάνω εξίσωση ισχύουν οι εξής κατηγορίες:

- THI = 70 $\Rightarrow$ οι άνθρωποι αισθάνονται άνετα
- THI = 75 $\Rightarrow$ το 50% των ανθρώπων δεν αισθάνεται άνετα
- THI = 80 $\Rightarrow$ ποσοστό μεγαλύτερο από 50% δεν αισθάνεται άνετα

Προγενέστερα, ο Thom (1959) πρότεινε τους ακόλουθους τύπους για τον υπολογισμό του THI, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, καθώς και του σημείου δρόσου:

$$THI = T - (0.55 - 0.55 \cdot RH) \cdot (T - 58) \quad (\text{Σχέση 1.1})$$

$$THI = 0.55 \cdot T + 0.2 \cdot T_{dp} + 17.5$$

Στις παραπάνω εξισώσεις, T είναι η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου σε °F, T_{dp} είναι η θερμοκρασία του σημείου δρόσου σε °F και RH είναι η σχετική υγρασία του αέρα σε ποσοστό (%). Ανάλογα με τα διαθέσιμα μετεωρολογικά στοιχεία, χρησιμοποιείται και η αντίστοιχη εξίσωση.

Χρησιμοποιούνται οι κλίμακες κατάταξης κατά Thom (1959). Όταν η θερμοκρασία εκφράζεται σε °C (Πίνακας 1.3):

Πίνακας 1.3. Κλίμακα μεταβολής του δείκτη Θερμοκρασίας – Υγρασίας (THI) κατά Thom (1959)

THI	Περιγραφή
THI < 21	Κανένας δε νιώθει δυσφορία
21 ≤ THI < 24	Το 10% του πληθυσμού νιώθει δυσφορία
24 ≤ THI < 26	Το 50% του πληθυσμού νιώθει δυσφορία
26 ≤ THI ≤ 26.7	Το σύνολο του πληθυσμού νιώθει δυσφορία
26.7 < THI	Η δυσφορία γίνεται επικίνδυνη

Επιπρόσθετα, για τη μελέτη των συνθηκών δυσφορίας, προτάθηκαν από τους Barrow and Karacostas (1996) τροποποιημένες κλίμακες κατάταξης των τιμών του δείκτη THI. Οι κλίμακες αυτές παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 1.4):

Πίνακας 1.4. Κλίμακα μεταβολής του δείκτη Θερμοκρασίας – Υγρασίας (THI) κατά Barrow and Karacostas (1996)

THI	Χαρακτηρισμός	Περιγραφή
69 ≤ THI < 75	Ήπια	Λίγα άτομα νιώθουν δυσφορία
75 ≤ THI < 80	Μέτρια	Σχεδόν το 50% των ατόμων νιώθει δυσφορία
80 ≤ THI < 84	Σοβαρή	Σχεδόν όλοι νιώθουν δυσφορία
84 ≤ THI < 92	Έντονη	Ταχέως ελάττωση της απόδοσης στην εργασία
92 ≤ THI	Εξαιρετική	Εξαιρετικά επικίνδυνη κατάσταση

1.3.4 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη Έντονου Θέρου (SSI)

Ο δείκτης Έντονου Θέρου (*Summer Simmer Index* - SSI) ορίστηκε από μελέτες του American Society of Heating and Refrigeration Engineers (ASHRAE) και επιβεβαιώθηκε από αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο Πανεπιστήμιο του Κάνσας (Pepi; 1987). Ο δείκτης αυτός δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$SSI = 1.98 * (T_f - (0.55 - 0.0055 * RH) * (T_f - 58)) - 56.83 \quad (\Sigma\chi\epsilon\sigma\eta \ 1.2)$$

όπου: T_f είναι η θερμοκρασία του αέρα σε °F
RH είναι η σχετική υγρασία σε % ποσοστό

Η κατηγοριοποίηση του δείκτη, σύμφωνα με τον Perí (1987) είναι η ακόλουθη:

Πίνακας 1.5. Κλίμακα μεταβολής του δείκτη SSI

<i>SSI</i>	<i>Επιδράσεις</i>
$70 \leq SSI < 77$	Άνετα, δροσερά
$77 \leq SSI < 83$	Αρκετά άνετα
$83 \leq SSI < 91$	Άνετα, θερμά
$91 \leq SSI < 100$	Θερμά
$100 \leq SSI < 112$	Εξαιρετικά θερμά
$112 \leq SSI < 125$	Δυσφορία, θερμοπληξία
$125 \leq SSI < 150$	Εξαιρετικός κίνδυνος θερμοπληξίας
$150 \leq SSI$	Λιποθυμίες, προβλήματα στο κυκλοφορικό σύστημα

Οι δείκτες SSI και THI παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά όταν αναφέρονται σε υγρό περιβάλλον, ενώ διαφέρουν αρκετά όταν η μελέτη πραγματοποιείται σε ξηρό περιβάλλον. Για παράδειγμα, εάν η θερμοκρασία είναι 32 °C (90 °F) και η σχετική υγρασία είναι 50%, τότε ο δείκτης SSI θα έχει τιμή 39 °C (103 °F), ενώ ο THI θα έχει τιμή 27 °C (81 °F).

Ο SSI μπορεί να τοποθετηθεί σε έναν πίνακα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, ή ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και του σημείο δρόσου. Η δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται συνήθως για την ημερήσια κατανομή του SSI, αφού το σημείο δρόσου είναι αρκετά σταθερό κατά τη διάρκεια της ημέρας, σε αντίθεση με τη σχετική υγρασία που μεταβάλλεται έντονα (Πίνακας 1.6):

Πίνακας 1.6. Τιμές υπολογισμού του δείκτη SSI ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας (<http://www.idad.com>)

Temp (°C)	Relative Humidity (%)										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
21		66	69	70	71	72	73	73	74	74	75
24		73	75	76	76	77	78	79	80	81	82
27		78	80	82	83	84	86	88	91	93	97
29		83	86	87	88	92	96	100	104	109	117
32		88	92	94	97	100	106	115	123	135	-
35		94	99	103	107	112	123	135	149		
38		100	104	112	117	128	137	-			
41	102	106	112	119	131	142	-				
43	108	112	119	131	144	-					

46	113	117	128	142	-						
49	118	124	138	-							

Ο δείκτης θερμότητας (*HI*) και ο δείκτης SSI χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν το ποσό της δυσφορίας κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, όπου η θερμότητα και η υγρασία συνδυάζονται δημιουργώντας μία θερμότερη ατμόσφαιρα από αυτήν που ισχύει στην πραγματικότητα.

1.3.5 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη θερμοκρασίας-υγρασίας-ηλίου-ανέμου (THSWI)

Ένας άλλος δείκτης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να διαπιστωθεί η θερμική δυσφορία, είναι ο Δείκτης Θερμοκρασίας-Υγρασίας-Ηλίου-Ανέμου (*Temperature-Humidity-Sun-Wind Index – THSWI*). Ο δείκτης αυτός περιλαμβάνει την εξάρτηση του επεισοδίου καύσωνα από τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ηλιακή ακτινοβολία και την ένταση και διεύθυνση του ανέμου.

Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο δείκτης θερμοκρασίας-υγρασίας χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία και την υγρασία για να εξακριβώσει πόσο θερμός είναι πραγματικά ο ατμοσφαιρικός αέρας. Όταν η υγρασία είναι χαμηλή, η φαινόμενη θερμοκρασία θα είναι πιο ψυχρή από τον ατμοσφαιρικό αέρα, καθώς ο ιδρώτας μπορεί να εξατμίζεται γρήγορα. Όμως, όταν η υγρασία είναι υψηλή, τότε η φαινόμενη θερμοκρασία θα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα. Επιπρόσθετα, η ηλιακή ακτινοβολία και ο άνεμος επηρεάζουν άμεσα τη θέρμανση της ατμόσφαιρας και τη δημιουργία συνθηκών δυσφορίας λόγω της εξάτμισης.

1.3.6 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας το δείκτη καιρικού "στρες"

Ένας άλλος δείκτης με τον οποίο μπορούμε να μελετήσουμε τη θερμική δυσφορία κατά τη διάρκεια του θέρους αναπτύχθηκε από τους Kalkstein and Valimont (1986) στην Αμερική. Ο δείκτης αυτός ονομάζεται Δείκτης Καιρικού Στρες (*Weather Stress Index – WSI*) ή σχετική φαινόμενη θερμοκρασία και υπολογίζεται με τη βοήθεια της φαινόμενης θερμοκρασίας (Kalkstein; 1982, 1983). Ορίζεται, ως η αναλογία των ημερών με φαινόμενη θερμοκρασία μεγαλύτερη από μία καθορισμένη τιμή. Η τιμή του ποικίλει από 0 μέχρι 100%, με τη μέγιστη δυσφορία να αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη τιμή του WSI.

Ο δείκτης αυτός έχει το πλεονέκτημα ότι αναφέρεται σε σχετικές τιμές κι όχι σε απόλυτες τιμές, παρέχοντας περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη συχνότητα εμφάνισης των υψηλών θερμοκρασιών. Κυριότερα, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και της έντασης του ανέμου, ενώ οι περισσότεροι γνωστοί δείκτες εκφράζονται ως συνάρτηση μόνο των δύο από αυτές τις παραμέτρους.

Η ανάπτυξη του WSI έγινε με οδηγό τον ερευνητή R.G. Steadman, ο οποίος μελέτησε τη συμπεριφορά των ανθρώπων στις διάφορες καιρικές συνθήκες. Μερικές από τις μεταβλητές του Steadman περιλαμβάνουν την επιφανειακή ακτινοβολία και τη μεταγωγική θερμότητα, τη μεταφορά θερμότητας μέσα από τα ρούχα, κτλ. (Steadman; 1971, 1979a, 1979b, Matzarakis and Mayer; 1996). Η κορύφωση στην έρευνα του Steadman ήρθε με την ανάπτυξη της φαινόμενης θερμοκρασίας (*Apparent Temperature – AT*), που ορίζεται ως η αντιλαμβανόμενη θερμοκρασία αέρα για ένα άτομο (Quayle and

Doehring; 1981). Η μελέτη που έγινε στις ΗΠΑ έδειξε ότι οι υψηλότερες τιμές της μέσης φαινόμενης θερμοκρασίας το καλοκαίρι σημειώνονται πάω από την Νοτιοδυτική Έρημο και ο μέγιστος WSI εντοπίζεται πάνω από το κέντρο των ΗΠΑ.

1.3.7 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας την ενθαλπία του αέρα

Ένας ακόμα δείκτης με τον οποίο μπορεί να μελετηθεί η δυσφορία σε μια περιοχή, είναι η ενθαλπία του αέρα (*Air Enthalpy – i*) (Gregorcuk; 1968, Μπαλαφούτης; 1977β, Giles and Balafoutis; 1984, Balafoutis and Maheras; 1986, κλπ.). Η ενθαλπία συνδυάζει τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα σύμφωνα με τη σχέση των Bradtke and Liese (1952):

$$i = 0.24 * t + 0.622 / (P - e) * (0.46 * t + 595) * e$$

όπου: i: η ενθαλπία του αέρα σε Kcal/Kgr

t: η θερμοκρασία του αέρα σε °C

P: η ατμοσφαιρική πίεση σε mmHg

e: η τάση των υδρατμών σε mmHg

Όσον αφορά την αντιστοιχία των τιμών της ενθαλπίας με τις συνθήκες δυσφορίας, ο Brazol (1951, 1954) καθιέρωσε τον παρακάτω πίνακα, αναφερόμενος στην περιοχή της Αργεντινής (Πίνακας 1.7):

Πίνακας 1.7. Κλίμακα μεταβολής της ενθαλπίας του αέρα σε διάφορα είδη κλιμάτων κατά Brazol (1951, 1954)

Είδη Κλιμάτων	i	Περιγραφή
Υπόθερμα	$i < 2.5$	Πολύ ψυχρός αέρας
	$2.5 < i \leq 3.5$	Ψυχρός αέρας
	$3.5 < i \leq 6.0$	Πολύ δροσερός αέρας
	$6.0 < i \leq 7.5$	Δροσερός αέρας
Θερμικώς άριστα	$7.5 < i \leq 8.5$	Ανεκτά δροσερός αέρας
	$8.5 < i \leq 10.0$	Ιδανική θερμοκρασία αέρα
	$10.0 < i \leq 11.0$	Ανεκτά θερμός αέρας
Υπέρθερμα	$11.0 < i \leq 12.0$	Πολύ θερμός αέρας
	$12.0 < i \leq 19.0$	Θερμικά δυσάρεστος αέρας
	$19.0 < i \leq 26.0$	Καύσωνας
	$26.0 < i \leq 31.0$	Ισχυρός καύσωνας
	$31.0 < i$	Κατάσταση θερμοπληξίας

1.3.8 Ανίχνευση επεισοδίου καύσωνα χρησιμοποιώντας την Προβλεπόμενη Μέση Θερμική Αίσθηση

Το 1972 ο Fanger παρουσίασε την Εξίσωση Θερμικής Ισορροπίας (*EΘΙ*), η οποία εκφράζει το ρυθμό ύπαρξης του ανθρώπινου θερμορυθμιστικού συστήματος. Η εξίσωση αυτή είναι συνάρτηση τόσο μετεωρολογικών παραμέτρων, όπως θερμοκρασία, υγρασία

και ταχύτητα ανέμου, όσο και θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, όπως θερμοκρασία του δέρματος και έκκριση ιδρώτα. Στην περίπτωση που επιθυμείται να εφαρμοσθεί η ΕΘΙ στο μέσο άνθρωπο, επιβάλλεται η σταθερότητα του επιπέδου δραστηριότητας, της θερμομονωτικής ικανότητας των ενδυμάτων και των ατμοσφαιρικών συνθηκών, καθώς και οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του δέρματος και της έκκρισης ιδρώτα να κυμαίνονται μέσα σε πολύ στενό εύρος. Στην περίπτωση που οι μέσες αυτές τιμές εκφράζονται ως συναρτήσεις του επιπέδου δραστηριότητας, τότε η ΕΘΙ μετονομάζεται σε Εξίσωση Θερμικής Άνεσης (ΕΘΑ). Η τελευταία αυτή εξίσωση εξαρτάται από τη θερμομονωτική ικανότητα των ενδυμάτων, από το επίπεδο δραστηριότητας του ανθρώπου και από το ατμοσφαιρικό περιβάλλον. Σε τυχαίο κλίμα, οι μεταβλητές που υπεισέρχονται κυμαίνονται μέσα σε ένα μεγάλο φάσμα τιμών, με αποτέλεσμα να μη λαμβάνουν πάντα τις οριακές τιμές που εξασφαλίζουν την ισχύ της ΕΑ. Γι' αυτό κρίθηκε αναγκαία η δημιουργία μιας εξίσωσης, η οποία θα εκφράζει οποιαδήποτε απόκλιση από την κατάσταση ισχύος της ΕΑ, ως συνάρτηση της θερμικής αίσθησης που προκαλείται από τις εκάστοτε μετεωρολογικές και θερμοφυσιολογικές συνθήκες (Σπύρος, 2000).

Για να ορισθεί η ζητούμενη εξίσωση, θα πρέπει αρχικά να καθορισθεί η έννοια του θερμικού φορτίου, ως η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας μέσω μεταβολισμού και της απώλειας θερμότητας προς το περιβάλλον, για ένα μέσο άνθρωπο που δεν αισθάνεται δυσφορία. Επομένως, η τιμή του θερμικού φορτίου είναι μηδενική, με αποτέλεσμα η ζητούμενη εξίσωση να εκφράζει, για συγκεκριμένο τύπο κλίματος, τη μέση θερμική αίσθηση σε συνάρτηση με το θερμικό φορτίο και δίνει, για έναν αριθμό ατόμων, την τιμή του δείκτη Προβλεπόμενη Μέση Θερμική Αίσθηση (*Predicted Mean Vote – PMV*) ως συνάρτηση του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, του επιπέδου δραστηριότητας και της θερμομονωτικής ικανότητας των ενδυμάτων.

Για τις τιμές του PMV δίνονται πίνακες τιμών που προέρχονται από συνδυασμούς διαφόρων μετεωρολογικών και θερμοφυσιολογικών συνθηκών. Ένας τέτοιος πίνακας παρατίθενται παρακάτω (Πίνακας 1.8) και προτάθηκε από τους Jendritzky et al. (1979).

Πίνακας 1.8. Κλίμακα μεταβολής του δείκτη PMV κατά Jendritzky et al. (1979)

Εύρος τιμών PMV	Επίπεδο θερμικής επιβάρυνσης
0.0 - 0.5	Απουσία θερμικής επιβάρυνσης
0.6 - 1.2	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
1.3 - 2.0	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
2.1 - 3.0	Μεγάλη θερμική επιβάρυνση
3.1 - 4.0	Πολύ μεγάλη θερμική επιβάρυνση
> 4.0	Εξαιρετική θερμική επιβάρυνση

1.4 Μελέτη επεισοδίων καύσωνα από διάφορους ερευνητές ανά τον κόσμο

1.4.1 Στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής

Οι Rohli and Keim (1994) μελέτησαν τα χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά θερμοκρασιών μεγαλύτερων από 38 °C (100 °F) στη Νότια – Κεντρική Αμερική. Επιβεβαίωσαν τη σχέση αναλογίας μεταξύ της μέσης και της ακραίας θερμοκρασίας και

ανακάλυψαν τη συσχέτιση μεταξύ της βροχόπτωσης και των ημερών βροχής με τα γεγονότα ακραίων θερμοκρασιών.

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί το τραγικό συμβάν των θανάτων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών, το 1995 κατασκευάστηκε από το Τμήμα Δημόσιας Υγείας της Φιλαδέλφειας (Kalkstein et al.; 1996) ένα σύστημα προειδοποίησης πολύ υψηλών θερμοκρασιών (*Hot Weather-Health Watch/Warning System – PWWs*), το οποίο εφαρμόστηκε με επιτυχία στην Πενσυλβανία. Με το επεισόδιο καύσωνα του 1995 στην Αμερική ασχολήθηκαν πολλοί ερευνητές: οι Changnon et al. (1996) ανέλυσαν τις επιδράσεις του φαινομένου, οι Kunkel et al. (1996) αναφέρθηκαν στις συνοπτικές καταστάσεις του καιρού, εξαιτίας των οποίων προκλήθηκε το φαινόμενο και σύγκριναν προγενέστερα επεισόδια καύσωνα, χρησιμοποιώντας τις τιμές της φαινόμενης θερμοκρασίας.

Οι Karl and Knight (1997) μελέτησαν την περίπτωση επανεμφάνισης του επεισοδίου καύσωνα που σημειώθηκε τον Ιούλιο του 1995 στις δυτικές Πολιτείες των Η.Π.Α., με τη μέγιστη ένταση να εντοπίζεται στην Πολιτεία του Σικάγο. Η μελέτη έγινε με τη βοήθεια ωριαίων τιμών της φαινόμενης θερμοκρασίας και καύσωνα θεωρήθηκε η περίπτωση όπου η φαινόμενη θερμοκρασία έχει τιμή μεγαλύτερη από 31.5 °C τουλάχιστον για 48 ώρες. Η φαινόμενη θερμοκρασία που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση αυτή βασίζεται σε έναν αλγόριθμο ο οποίος αναπτύχθηκε από τον Steadman (1984), προκειμένου να χαρακτηριστεί το στρες θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα. Ο Steadman (1984) χρησιμοποίησε τη θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία για να καθορίσει το στρες θερμότητας. Οι Karl and Knight (1997) δεν συμπεριέλαβαν στη μελέτη τους την ένταση του ανέμου και την ηλιακή ακτινοβολία. Ο Steadman (1984) υπολόγισε τη φαινόμενη θερμοκρασία πάνω στο ανθρώπινο σώμα, όταν αυτό είναι πλήρως καλυμμένο με ρούχα. Επίσης όρισε τη φαινόμενη θερμοκρασία για ένα άτομο που ήταν μερικώς καλυμμένο με ρούχα (35% με 80%). Οι επιστήμονες αυτοί κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι είναι εξαιρετικά δύσκολος ο εντοπισμός μιας μελλοντικής εμφάνισης επεισοδίου καύσωνα παρόμοιου με αυτόν του έτους 1995 στο Σικάγο, μολονότι η παγκόσμια θέρμανση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση κατά ένα βαθμό της πιθανότητας για εμφάνιση επεισοδίου καύσωνα μέσα στον 21^ο αιώνα.

Οι Kunkel et al. (1996), επίσης, μελέτησαν το επεισόδιο καύσωνα που σημειώθηκε τον Ιούλιο του 1995 στις Κεντρο-Δυτικές πολιτείες της Αμερικανικής Ηπείρου, χρησιμοποιώντας ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου και τιμές υγρασίας. Οι ίδιοι επιστήμονες έδειξαν ότι το βάθος του ημερήσιου οριακού στρώματος αναμίξεως ήταν μόλις μερικές εκατοντάδες μέτρα για την περιοχή του καύσωνα.

Οι Livezey and Tinker (1996), για τη μελέτη του ίδιου καύσωνα (1995), χρησιμοποίησαν τις ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, καθώς και την ημερήσια μέση τιμή των θερμοκρασιών. Στη μελέτη τους συμπεριέλαβαν την ένταση και διεύθυνση του ανέμου, καθώς και το σημείο δρόσου. Βρέθηκε ότι ο συνδυασμός των υψηλών μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών και της υψηλής σχετικής υγρασίας δημιούργησαν αποπνικτική ατμόσφαιρα προκαλώντας εκατοντάδες ανθρώπινες απώλειες.

Πολλές κλιματολογικές μελέτες που έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια ασχολούνται με τις χωρικές και χρονικές επιδράσεις του φαινομένου των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών. Τα φαινόμενα αυτά μελετήθηκαν για μεγάλες χρονοσειρές (Kunkel et al.; 1996, 1999, Domonkos; 1998, Karl and Easterling; 1999). Οι Kunkel et al. (1999) δεν εντόπισαν καμία μεταβολή στη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίου καύσωνα από το 1930 στις Η.Π.Α..

Οι Palecki and Changnon (1999) και οι Palecki et al. (2001) μελέτησαν το επεισόδιο καύσωνα τον Ιούλιο του 1999 στη μεσοδυτική Αμερική χρησιμοποιώντας μεταβλητές τις ωριαίες τιμές της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας, της μέσης τιμής της θερμοκρασίας (πάνω από 32 °C στο κέντρο της περιοχής μελέτης), του σημείου δρόσου (πάνω από 24 °C στο κέντρο της περιοχής μελέτης), της διεύθυνσης (νότιο-νοτιοδυτική) και της έντασης του ανέμου (αρκετά χαμηλή). Απέδωσαν τον καύσωνα στο ότι ο ξηρός αέρας ανέμιζε το χαμηλό, υγρό επιφανειακό στρώμα αέρα κατά τη διάρκεια των απογευματινών ωρών, προκαλώντας μεγάλη μείωση στη θερμοκρασία του σημείου δρόσου και αρκετά υψηλές τιμές της φαινόμενης θερμοκρασίας ακόμα και κατά τη διάρκεια του απογεύματος.

Στον καθορισμό του ορισμού του καύσωνα, συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό και ο Robinson (2001), ο οποίος μελέτησε το φαινόμενο διεξοδικά, τόσο στο παρελθόν, όσο και τις παραμέτρους που θα το επηρεάσουν στο μέλλον. Όρισε τον καύσωνα ως μία εκτεταμένη περίοδο ασυνήθιστα υψηλών συνθηκών δυσφορίας, η οποία προκαλεί εκτεταμένα προβλήματα τόσο στην κοινωνία γενικότερα, όσο και στην υγεία του ατόμου ειδικότερα. Με βάση τα κριτήρια που καθορίστηκαν από το National Weather Service (NWS), εξετάζονται τα κατώφλια του ωριαίου δείκτη θερμότητας (*Heat Index – HI*) και συγκεκριμένα η ημερήσια μέγιστη τιμή του HI και η ολονύκτια ελάχιστη τιμή του HI που σημειώθηκαν για δύο τουλάχιστον ημέρες. Το αποτέλεσμα ήταν το επεισόδιο καύσωνα να ορισθεί ως μία περίοδος διάρκειας τουλάχιστον 48 ωρών, στην οποία, ούτε η ολονύκτια ελάχιστη τιμή του HI, ούτε η ημερήσια μέγιστη τιμή του έπεσε κάτω από το NWS κατώφλι (80 °F και 150 °F, αντίστοιχα). Το συμπέρασμα που προέκυψε ήταν ότι η συχνότητα εμφάνισης του καύσωνα ελαττώνεται στα Νότια και αυξάνεται στα Κεντρο-Δυτικά και Ανατολικά των Η.Π.Α..

Επιπλέον πολλοί επιστήμονες ασχολήθηκαν με τα καταστροφικά αποτελέσματα της εμφάνισης επεισοδίων καύσωνα στις Η.Π.Α. καθώς και με τους τρόπους αντιμετώπισης αυτών (Ellis; 1972, Ellis and Nelson; 1978, Ellis et al.; 1975, , Wolfson et al.; 1987, Smoyer–Tomic et al.; 2003, Changnon et al.; 1996, Wigley; 1985, Parmesan et al.; 2000, Karl and Knight; 1997, Trenberth; 1999).

1.4.2 Στην Ευρώπη

Τις δεκαετίες '80 και '90 σημειώθηκαν ασυνήθιστα θερμά καλοκαίρια, πάνω από τις ηπειρωτικές περιοχές των μέσων γεωγραφικών πλατών του Βορείου Ημισφαιρίου, με την Ευρώπη να βρίσκεται στην πιο δυσμενή θέση. Το πιο ακραίο επεισόδιο καύσωνα σημειώθηκε στην Κεντρική και Ανατολική Ευρώπη το 1994, ιδιαίτερα στη Σουηδία, Γερμανία, Βέλγιο, Πολωνία, Δανία και Ολλανδία, ενώ τον επόμενο χρόνο το φαινόμενο εντοπίστηκε δυτικότερα, εκτεινόμενο από τα Βρετανικά Νησιά μέχρι την Ισπανία (WMO, 1998). Επιπροσθέτως, οι θερμοκρασίες που σημειώθηκαν σε αυτές τις χώρες ήταν: 36.7 °C στη Βόρεια Σουηδία (1994), 38.9 °C στο Βέλγιο (1994), 46.6 °C στην Ισπανία (1995). Πολλοί ήταν οι επιστήμονες που ασχολήθηκαν με τις επιδράσεις του καύσωνα αυτού πάνω στον άνθρωπο: Sartor et al. (1995) για το επεισόδιο καύσωνα το 1994 στο Βέλγιο, Rooney et al. (1998) για το επεισόδιο καύσωνα το 1995 στη Μ. Βρετανία.

Ο κατάλογος Hess-Brezowsky της μεγάλης-κλίμακας κυκλοφορίας (GWL, Hess and Brezowsky; 1952, Gerstengarbe and Werner; 1993, Gerstengarbe et al.; 1999) χρησιμοποιείται πολύ συχνά προκειμένου να χαρακτηριστεί η ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τη Δυτική και Κεντρική Ευρώπη (Klaus and Stein; 1978, Bardossy and Caspary;

1990, Mayasovszky and Weidinger; 1998, Werner et al.; 2000) κατά τη διάρκεια εμφάνισης ενός επεισοδίου καύσωνα.

Επιπλέον πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την επίδραση των επεισοδίων καύσωνα πάνω στην ανθρώπινη υγεία, καθώς και στην οικονομία των κρατών: Metaxas; 1970, Katsouyanni et al.; 1988, 1993, Giles and Balafoutis; 1990, Giles et al.; 1990, Matzarakis and Mayer; 1991, 1997, Matzarakis et al.; 1997, White and Etkin; 1997, Perry; 2001.

Τέλος, ο Besancenot (1987) μελέτησε τη δυσφορία κατά τη διάρκεια του θέρους στο Ευρωπαϊκό τμήμα της Μεσογείου. Για το σκοπό αυτό εισήγαγε έναν καινούριο δείκτη, το μέσο ημερήσιο δείκτη THI. Ο δείκτης αυτός ισούται με το ημίθροισμα των τιμών των δεικτών THI_{min} και THI_{max} που υπολογίζονται από τη σχέση:

$$THI = T - 0.55 \cdot (1 - 0.01 \cdot RH) \cdot (T - 14.5)$$

όπου η θερμοκρασία αναφέρεται στο ξηρό θερμόμετρο και μετράται σε °C, THI_{min} είναι η τιμή του THI που υπολογίζεται από τη μέγιστη τιμή της σχετικής υγρασίας και την ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας μιας ημέρας, ενώ THI_{max} είναι η τιμή του THI που υπολογίζεται από την ελάχιστη τιμή της σχετικής υγρασίας και τη μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας.

Κατόπιν από τους μέσους ημερήσιους δείκτες THI των ημερών κάθε μήνα μελέτης, προσδιορίζονται οι μέσοι μηνιαίοι δείκτες THI της κλίμακας που δίνεται στον Πίνακα 1.9:

Πίνακας 1.9. Κλίμακα μεταβολής του δείκτη THI κατά Besancenot (1987)

Βαθμίδες THI	Βιοκλιματικές συνθήκες
$THI < -40.0$	Υπερπαγετώδεις
$-40.0 \leq THI < -20.0$	Παγετώδεις
$-19.9 \leq THI < -9.9$	Εξαιρετικά ψυχρές
$-10.0 \leq THI < -1.7$	Πολύ ψυχρές
$-1.7 \leq THI < 12.9$	Ψυχρές
$13.0 \leq THI < 14.9$	Δροσερές
$15.0 \leq THI < 19.9$	Ουδέτερες (θερμικώς ευχάριστες)
$20.0 \leq THI < 26.4$	Θερμές
$26.5 \leq THI < 29.9$	Πολύ θερμές (τροπικές)
$30.0 \leq THI$	Εξαιρετικά θερμές (ιατρικώς επικίνδυνες)

Στη Γερμανία ο Wagner (1996) ανέπτυξε ένα στατιστικό μοντέλο για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ακραίων θερμοκρασιών παίρνοντας ως δεδομένα τα στατιστικά χαρακτηριστικά των ημερήσιων ακραίων θερμοκρασιών.

Με τα επεισόδια καύσωνα στην Ελλάδα ασχολήθηκαν πολλοί ερευνητές όπως: Μπαλαφούτης; 1977β, Flocas and Angouridakis; 1979, Flocas; 1981, Giles et al.; 1990, Giles and Balafoutis; 1990.

Οι Angouridakis and Makrogiannis (1982) μελέτησαν την κατανομή του Δείκτη Δυσφορίας (*Discomfort Index -DI*) στη Θεσσαλονίκη, υπολογίζοντας τις μέσες ωριαίες

$$DI = 0.4 \cdot (T_a + T_{wb}) + 4.8$$

τιμές του δείκτη από τις μέσες ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του ξηρού και του υγρού θερμομέτρου, σύμφωνα με τη σχέση του Thom (1959):

όπου: T_a : η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου σε °C
 T_{wb} : η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου σε °C

Σύμφωνα με τον Thom (1959) η κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη δυσφορίας είναι η παρακάτω (Πίνακας 1.10):

Πίνακας 1.10. Κλίμακα μεταβολής του δείκτη DI κατά Thom (1959)

DI	Επιδράσεις
$24.0 \leq DI < 26.0$	Το 50% του συνολικού πληθυσμού αισθάνεται δυσφορία
$26.0 \leq DI < 26.7$	Ολόκληρος ο πληθυσμός αισθάνεται δυσφορία
$26.7 \leq DI$	Η δυσφορία είναι πολύ έντονη και εξαιρετικά επικίνδυνη

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν είναι ότι δυσφορία παρατηρείται στη Θεσσαλονίκη μόνο στο πεντάμηνο Μάιος – Αύγουστος, με μέγιστο τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και ότι οι τιμές του δείκτη δυσφορίας γίνονται μέγιστες σε όλους τους παραπάνω μήνες μεταξύ στις 1400 και 1600 ώρα Ελλάδος.

Οι Giles and Balafoutis (1984) χρησιμοποίησαν την ενθαλπία του αέρα, διότι εμπεριέχει την υγρασία και αναφέρεται στο μεταβολισμό. Επίσης, η πίεση μπορεί να συνδυαστεί με θερμοκρασίες πάνω από 20 °C προκειμένου να υπολογισθεί η φαινόμενη θερμοκρασία του Steadman (1979 a, b), η οποία αποτελεί την καλύτερη θεωρητική προσέγγιση του όρου "κουφόβραση". Μία διαφορετική προσέγγιση πραγματοποιήθηκε από τον Terjung (1966), ο οποίος υπερέθεσε μία σειρά ενεργών θερμοκρασιών (με όριο τη θερμοκρασία των 30 °C) που προέκυψαν από ένα ψυχομετρικό διάγραμμα (Σχήμα 1.1).

Το διάγραμμα αυτό είχε ως συντεταγμένες τη θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου και τη σχετική υγρασία, οπότε προέκυψαν 11 κατηγορίες της ανθρώπινης ευφορίας με τα όριά τους να καθορίζονται χρησιμοποιώντας είτε την ενεργό θερμοκρασία είτε τη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου (ενώ η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου είναι μεγαλύτερη από 10 °C). Ο Pennas (1984) μελετώντας την κατανομή του δείκτη δυσφορίας (ημερήσιες τιμές του DI στις 12 UTC) στα νησιά της Μεσογείου, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπεύθυνος για την κατανομή του δείκτη είναι κυρίως ο άνεμος. Οι Balafoutis and Maheras (1986) υπολόγισαν τις μέσες μηνιαίες τιμές της ενθαλπίας σε ένα μεγάλο αριθμό Μετεωρολογικών Σταθμών στον ελλαδικό χώρο, προκειμένου να εντοπίσουν τα επεισόδια καύσωνα. Ο Dikaiakos (1987) ανέλυσε τις ανθρώπινες βιοκλιματικές συνθήκες πάνω από το κέντρο της Αθήνας. Ο Prezerakos (1989) ασχολήθηκε με το επεισόδιο καύσωνα που σημειώθηκε τον Ιούλιο του 1987 στα Νότια Βαλκάνια, έχοντας ως μεταβλητές διάφορες θερμοκρασιακές παραμέτρους και το Δείκτη Δυσφορίας (DI).

Οι Giles and Balafoutis (1990) μελέτησαν τα επεισόδια καύσωνα των ετών 1987 και 1988 στον ελλαδικό χώρο, χρησιμοποιώντας ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας του ξηρού θερμομέτρου και της σχετικής υγρασίας στη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα και την Αθήνα, προκειμένου να ορίσουν τη δυσφορία η οποία πρωτοαναφέρθηκε από τους Terjung, Herrington, Thom, Tromp. Η μέγιστη θερμοκρασία που παρατηρήθηκε ήταν 40 °C. Επιπλέον μελετήθηκε και η συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας. Κατά τη διάρκεια

των επεισοδίων καύσωνα του 1987 και 1988 επικράτησε μία βαθιά έξαρση της υψηλής πίεσης που εκτεινόταν από τη Λιβύη κατά μήκος της Ελλάδας, μέχρι τη Μαύρη Θάλασσα, με την εμφάνιση ενός κλειστού υψηλού στη χαμηλή ατμόσφαιρα πάνω από τη Σικελία (Giles and Balafoutis; 1990, Prezerakos; 1989). Η αντικυκλωνική ροή γύρω από αυτήν την έξαρση προκαλεί θερμό και ξηρό ατμοσφαιρικό αέρα από τη Βόρεια Αφρική διασχίζοντας την Ιταλία και τη Μεσόγειο μέχρι την Ελλάδα, προκαλώντας συνθήκες δυσφορίας.

Οι Matzarakis and Mayer (1991) ασχολήθηκαν με το επεισόδιο καύσωνα τον Ιούλιο του 1987 στην Αθήνα, κάνοντας χρήση της Προβλεπόμενης Μέσης Θερμικής Αίσθησης (*Predicted Mean Vote – PMV*), της Φυσιολογικής Ισοδύναμης Θερμοκρασίας (*Physiologically Equivalent temperature – PET*), καθώς και του Δείκτη Δυσφορίας (*Discomfort Index – DI*), μαζί με διάφορες παραμέτρους του ανθρώπινου σώματος. Κατόπιν χρησιμοποιήθηκε και ένας άλλος δείκτης, ο Δείκτης Ποιότητας τους Ατμοσφαιρικού Στρες (*Air Quality Stress Index - AQSI*) προκειμένου να χαρακτηρισθούν οι συνθήκες της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα κατά τη διάρκεια του Ιουλίου 1987.

Στο χώρο της Βιομετεωρολογίας έχουν αναπτυχθεί πολλοί σημαντικοί δείκτες για να εκτιμηθεί η πίεση στην οποία υποβάλλεται ο ανθρώπινος οργανισμός κατά τη διάρκεια των πολύ θερμών ή ακόμα και των πολύ ψυχρών ημερών. Μερικοί από αυτούς τους δείκτες αναφέρονται στις εργασίες των Thom (1959), Lally and Watson (1960), Weiss (1983), Steadman (1979a, 1979b, 1984), Siple and Passel (1945) και άλλων και όλοι τους είναι απόλυτοι δείκτες. Οι απόλυτοι δείκτες οδηγούν πολύ συχνά σε εσφαλμένες εκτιμήσεις του ανθρώπινου στρες. Γι' αυτό το λόγο είναι αναγκαία η καθιέρωση ενός Σχετικού Βιοκλιματικού Δείκτη (*ΣΒΔ*) (Μπαλαφούτης; 1992). Ο ΣΒΔ βασίστηκε τόσο στην ιδέα των Kalkstein and Valimont (1986) οι οποίοι παρουσίασαν ένα σχετικό δείκτη για την Αμερική, όσο και στις εργασίες του Steadman (1979a, 1979b) ο οποίος εισήγαγε τη φαινόμενη θερμοκρασία. Ο Μπαλαφούτης (1992) χρησιμοποίησε δεδομένα των ημερήσιων τιμών της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας και του ανέμου για τη Θεσσαλονίκη, στην προσπάθειά του να ορίσει έναν βιομετεωρολογικό δείκτη που να προσδιορίζει το μέγεθος και τη συχνότητα των δυσμενών καιρικών συνθηκών κατά τη διάρκεια του θέρους. Η τελική μορφή της σχέσης που χρησιμοποιήθηκε είναι η ακόλουθη:

$$AT(^{\circ}C) = 1.002 * T_a + 0.339 * (T_d)^2 - 4.358$$

όπου: AT: η φαινόμενη θερμοκρασία σε $^{\circ}C$

T_a : η θερμοκρασία του αέρα σε $^{\circ}C$

T_d : η θερμοκρασία του σημείου δρόσου σε $^{\circ}C$

Η εκτίμηση του δείκτη επιτρέπει το σχεδιασμό των καμπυλών κανονικής κατανομής των τιμών της φαινόμενης θερμοκρασίας (*Apparent Temperature – AT*) και τον προσδιορισμό της κατώτερης οριακής τιμής AT πάνω από την οποία είναι αναμενόμενη η εκδήλωση θερμικού στρες ή καύσωνα (για τη Θεσσαλονίκη: Μάιος: $26.2^{\circ}C$, Ιούνιος: $31.0^{\circ}C$, Ιούλιος: $33.4^{\circ}C$, Αύγουστος: $32.9^{\circ}C$, Σεπτέμβριος: $29.6^{\circ}C$).

Οι Karacostas and Flocas (1993) στην προσπάθειά τους να προσδιορίσουν τα έτη των ακραίων καιρικών φαινομένων στην Ευρώπη, ανέπτυξαν διάφορους δείκτες, π.χ. Βαθμοημέρες Ανάπτυξης (*Growing Degree Days – GDD*), Δείκτης Palmer (*Palmer Drought Severity Index – PDSI*), Δείκτης Κλιματικής Απόκλισης (*Climate Departure Index – CDI*). Κατόπιν ανέπτυξαν ένα Μοντέλο για την Εκτίμηση Πιθανοτήτων (*Simulated Probabilistic Model – SPM*), και υπολόγισαν τη μεταβολή των δεικτών αυτών συναρτήσει του χρόνου.

Οι Μπαλαφούτης κ.ά. (1995) μελέτησαν την κατανομή του δείκτη δυσφορίας (*Discomfort Index – DI*) κατά Thom (1959) σε κλειστούς χώρους, χρησιμοποιώντας τις ημερήσιες μέγιστες θερμοκρασίες και τη σχετική υγρασία της 14^{ης} ώρας (ώρα Ελλάδος):

$$DI = TEM - 0.55 \cdot (1 - 0.01 \cdot HUM) \cdot (TEM - 14.5)^{\circ} C$$

Κάθε τιμή του δείκτη δυσφορίας εκφράζει και κάποιο βαθμό δυσφορίας που αισθάνονται μερικοί, λίγοι, πολλοί ή όλοι οι άνθρωποι μιας ομάδας που βρίσκονται ή εργάζονται σε κάποιο κλειστό χώρο. Τα όρια για την εκτίμηση του αισθήματος δυσφορίας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1.11. Κλίμακα μεταβολής του δείκτη DI κατά Μπαλαφούτη κ.ά. (1995)

	Αίσθημα Δυσφορίας	DI (°C)
1	Δεν υπάρχει δυσφορία	<21
2	Δυσφορεί ποσοστό < 50% του πληθυσμού	21-24
3	Δυσφορεί ποσοστό > 50% του πληθυσμού	24-27
4	Δυσφορεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού	27-29
5	Ο καθένας αισθάνεται δυσφορία	29-32
6	Στάδιο ιατρικού συναγερμού	>32

Το συμπέρασμα στην εργασία αυτή ήταν ότι ο υψηλός δείκτης δυσφορίας εμφανίζεται όταν στην επιφάνεια εμφανίζεται αντικυκλώνας ή έλλειψη βαροβαθμίδας, ενώ στις διάφορες στάθμες παρατηρείται Αφρικανική αντικυκλωνική ράχη. Συστήματα αυτού του είδους είναι αρκετά συχνά στη διάρκεια του Ιουνίου και αυτά φέρουν κατά κανόνα την ευθύνη των έντονων συνθηκών δυσφορίας (Ματζαράκης; 1995). Επιπλέον υπεύθυνοι για τις υψηλές τιμές του δείκτη δυσφορίας είναι ο γεωγραφικός παράγοντας (τοπογραφία, κλειστές θερμές θάλασσες), καθώς και η ηλιοφάνεια και η μεγάλη σχετική υγρασία.

Επιπλέον να σημειωθεί ότι έχουν γραφεί πολλές εργασίες σε σχέση με το βιόκλιμα του ελλαδικού χώρου οι οποίες αναφέρονται σε ανοικτούς χώρους: Balafoutis; 1990, Balafoutis and Maheras; 1986, Giles and Balafoutis; 1990, Ματζαράκης; 1995, κ.ά.

Οι Karacostas et al. (1996) υποστήριξαν ότι για να χαρακτηριστεί μια περίοδος ως περίοδος καύσωνα απαιτείται η χρήση ωριαίων τιμών μετεωρολογικών δεδομένων. Οι ημερήσιες τιμές μετεωρολογικών παραμέτρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για μεγάλης διάρκειας περιόδους καύσωνα. Επιπλέον, σημαντικό ρόλο στο χαρακτηρισμό μιας περιόδου ως περίοδος καύσωνα σε μια περιοχή παίζουν οι κλιματικές συνθήκες μιας μεγάλης περιόδου του παρελθόντος στην περιοχή αυτή.

Οι Barrow and Karacostas (1996) ανέπτυξαν ένα μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (*Linear Regression Model – LRM*, αποτελείται από 1080 γραμμικές εξισώσεις) με το οποίο μπορούν να εξάγουν ωριαίες τιμές μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας καθώς και μέσης σχετικής υγρασίας, έχοντας ως δεδομένα ημερήσιες τιμές αυτών των μεταβλητών. Από τις ωριαίες τιμές των παραμέτρων υπολόγισαν τον ωριαίο Δείκτη Θερμοκρασίας-Υγρασίας (*THI*) (Karacostas and Downing; 1996). Ο THI μοιάζει με τη θερμοκρασία του κορεσμένου και του υποπνέοντος αέρα και ορίζεται ως μία συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας (Barrow and Karacostas; 1996). Ο Δείκτης Θερμοκρασίας-Υγρασίας (*THI*) βασίζεται στην αρχική φόρμουλα:

$$THI = 0.4*(T + T_w) + 15$$

όπου: T: η θερμοκρασία του ξηρού θερμομέτρου σε °F

T_w: η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου σε °F

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Newton υπολόγισαν τη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου από την τιμή της σχετικής υγρασίας:

$$RH = \frac{e_s(T_w) - cP(T - T_w)}{e_s(T)}$$

όπου: e_s(T): η τάση ατμών στη θερμοκρασία T

RH: η σχετική υγρασία

P: η ατμοσφαιρική πίεση ίση με 1000 hPa

c: σταθερά ίση με $7.9 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

e_s(T_w): η μέγιστη τάση ατμών στη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου T_w

Η τάση ατμών υπολογίζεται από το πολυώνυμο Lowe (1977):

$$e_s(T) = P(T) = a_0 + T^*(a_1 + T^*(a_2 + T^*(a_3 + T^*(a_4 + T^*(a_5 + a_6 * T))))$$

$$a_0 = 6.107799961 \cdot 10^0$$

$$a_1 = 4.436518521 \cdot 10^{-1}$$

$$a_2 = 1.428945805 \cdot 10^{-2}$$

$$a_3 = 2.650648471 \cdot 10^{-4}$$

$$a_4 = 3.031240396 \cdot 10^{-6}$$

$$a_5 = 2.034080948 \cdot 10^{-8}$$

$$a_6 = 6.136820929 \cdot 10^{-11}$$

Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου δίνεται από την εξίσωση:

$$T_{dp} = \frac{b * (\ln RH + a * T / (b + T))}{a - (lhRH + a * T / (b + T))}$$

$$a = 17.269$$

$$b = 237.3^\circ \text{C}$$

Τελικά ο δείκτης THI δίνεται από τη σχέση:

$$THI = 0.55 \cdot T + 0.2 \cdot T_{dp} + 17.5$$

$$T: ^\circ F$$

$$T_{dp}: ^\circ F$$

$$\Rightarrow THI = T - (0.55 - 0.55 \cdot RH) \cdot (T - 58)$$

$$RH: \text{δεκαδικό}$$

Σύμφωνα με τους Barrow and Karacosta (1996), η κατηγοριοποίηση των τιμών του THI έχει αναφερθεί προηγουμένα στον Πίνακα 1.4.

Οι Matzarakis et al. (1996) χρησιμοποίησαν τις ημερήσιες τιμές του δείκτη PMV (*Predicted Mean Vote*) για να μελετήσουν από βιομετεωρολογικής απόψεως τα επεισόδια καύσωνα στον ελλαδικό χώρο. Οι πολύπλοκες θερμικές δραστικές συνθήκες, που επηρεάζουν άμεσα τη ζωή του ανθρώπου, αποτελούνται από διάφορες μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η ταχύτητα του αέρα, καθώς και τα μικρού μήκους και μεγάλου μήκους κύματα ακτινοβολίας. Προηγουμένως ανθρωπο-βιομετεωρολογικές μελέτες περιελάμβαναν μόνο μία μετεωρολογική παράμετρο ή το συνδυασμό τους, όπως η ενεργός θερμοκρασία ή ο δείκτης του θερμικού στρες. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτών ήταν ότι δεν περιγραφόταν η φυσική σημασία. Αντίθετα υπήρχαν και κάποιοι δείκτες οι οποίοι έδιναν την απαιτούμενη φυσική σημασία, μια και καθοδηγούνταν από παραμέτρους οι οποίες αναφέρονταν στην ανθρώπινη ενεργειακή ισορροπία.

Η μελέτη των Matzarakis et al. (1996) έδειξε ότι το θερμικό στρες των ανθρώπων είναι μικρότερο στα νησιά ή στις παράκτιες περιοχές, από ότι στο εσωτερικό της Ελλάδας. Το κριτήριο για τον καθορισμό ύπαρξης επεισοδίου καύσωνα είναι ότι θα πρέπει η τιμή του PMV να είναι μεγαλύτερη από 4.0, για μία περίοδο τουλάχιστον 3 συνεχόμενων ημερών, στους μισούς (50%) σταθμούς τους οποίους μελετάμε.

Ο Wheeler (1984) μελέτησε τον καύσωνα που σημειώθηκε τον Ιούλιο του 1983 στη βορειοανατολική Αγγλία.

Ο Brugge (1991) ασχολήθηκε με τον καύσωνα του Αυγούστου 1990 στην περιοχή της Μ. Βρετανίας. Εδώ μελετήθηκε διεξοδικά η συνοπτική κατάσταση που οδήγησε στο επεισόδιο καύσωνα: η μελέτη έδειξε ότι απαραίτητη προϋπόθεση για την εμφάνιση καύσωνα στην περιοχή είναι η ύπαρξη ενός αντικυκλώνα με κέντρο πάνω από τη Βόρεια Βρετανία ή πάνω από τη Βόρεια πλευρά της Βόρειας Θάλασσας ή ακόμα πάνω από τη Νότια Σκανδιναβία. Τέλος, βρέθηκε ότι η περίοδος με τη μέγιστη εμφάνιση επεισοδίων καύσωνα στη Μ. Βρετανία είναι τα τέλη Ιουλίου ή οι αρχές Αυγούστου.

Σύμφωνα με τους Shaw (1977) και Brugge (1991) τα επεισόδια καύσωνα στη Μ. Βρετανία μπορούν να συμβούν:

- στα τέλη του Ιουλίου ή στις αρχές του Αυγούστου όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και της θάλασσας πλησιάζει τη μέγιστη, ή όταν η θερμοκρασία στη βορειοδυτική Ευρώπη είναι υψηλή.
- όταν ένα σύστημα υψηλών πιέσεων βρίσκεται πάνω από τη Βόρεια Βρετανία ή πάνω από τη Νότια Σκανδιναβία, διότι δημιουργείται μία ανατολική ροή αέρα μεταφέροντας θερμό αέρα από τη στεριά.
- σε έναν ανέφελο ουρανό συνοδευόμενο από αντικυκλωνική ροή.
- όταν επικρατούν συνθήκες ξηρασίας.

Ο καύσωνας του Αυγούστου 1990 μελετήθηκε, επίσης, και από τον Burt (1992), ο οποίος προσπάθησε να παρακολουθήσει τη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου από το 1816 στην περιοχή της Μ. Βρετανίας χρησιμοποιώντας την απόλυτη μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία.

Οι Gawith et al. (1994) μελέτησαν το φαινόμενο του καύσωνα από την πλευρά των ανθρώπινων επιδράσεων. Βρέθηκε ότι οι άνθρωποι αισθάνονται άνετα, όταν η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 16-30 °C (61-86 °F) (Martens; 1997, Schneider; 1996) και ότι υπάρχει μία τυπική σχέση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας και της ανθρώπινης ευφορίας. Ένα από τα προβλήματα που κλήθηκαν να επιλύσουν οι ερευνητές ήταν η απουσία ενός συγκεκριμένου μετεωρολογικού ορισμού επεισοδίου καύσωνα (Giles and Balafoutis; 1990). Για το λόγο αυτό επινοήθηκαν δείκτες δυσφορίας, οι οποίοι ανέρχονται στους 300 (Wenzel; 1984), καθώς αυτοί διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από χρόνο σε χρόνο (Karacostas and Downing; 1996). Επιπλέον το κατώφλι των τιμών των δεικτών πάνω από το οποίο παρατηρείται θνησιμότητα ποικίλει από άτομο σε άτομο (Martens; 1996, Martens; 1997).

Με τη μελέτη των επεισοδίων καύσωνα στην Τσέχικη Δημοκρατία ασχολήθηκαν πολλοί επιστήμονες: Krška and Racko; 1993, Krška and Racko; 1996, Kysely; 1997, Kysely and Kalvova; 1998.

Οι επιδράσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων είναι περισσότερο σημαντικές όταν οι ακραίες καιρικές συνθήκες κυριαρχούν για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο τα γεγονότα των ακραίων θερμοκρασιών μελετώνται αρκετά συχνά (Sartor et al.; 1995, Rooney et al.; 1998, Colombo et al.; 1999, Huth et al.; 2000, Kysely J.; 2000).

Τα επεισόδια καύσωνα στη νότια Μοραβία για την περίοδο 1961-1995 μελέτησαν οι Kysely et al. (2000) χρησιμοποιώντας τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας. Συγκεκριμένα για να έχουμε καύσωνα (περίοδος με εξαιρετικά ζεστό καλοκαιρινό καιρό), θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω τρεις προϋποθέσεις: τουλάχιστον για τρεις διαδοχικές ημέρες η μέγιστη θερμοκρασία πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή ίση από 30 °C, η μέση μέγιστη θερμοκρασία για ολόκληρη την περίοδο πρέπει να είναι τουλάχιστον 30 °C, και η μέγιστη θερμοκρασία δεν πρέπει να πέφτει κάτω από τους 25 °C. Όταν η μέγιστη θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από 30 °C ή μεγαλύτερη από 25 °C, τότε οι ημέρες χαρακτηρίζονται ως τροπικές ή θερινές, αντίστοιχα. Στην ίδια εργασία χρησιμοποιείται ο Δείκτης Καύσωνα (*Heat Wave Index – HWI*, Kysely; 1997, Kysely and Kalvova; 1998) προκειμένου να μελετηθεί διεξοδικά το φαινόμενο του καύσωνα και να εκφραστεί η έντασή του. Για να βρεθεί ο δείκτης HWI χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας, καθώς και τα αθροίσματα της βροχόπτωσης.

Η κορύφωση του καύσωνα ορίζεται ως η τριών ημερών περίοδος με την υψηλότερη μέση TMAX (μέγιστη θερμοκρασία).

Εάν λάβει κανείς υπόψη του τη διάρκεια, την ένταση και την ξηρασία κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα, τότε μπορεί να ορίσει τον δείκτη HWI ο οποίος εκφράζει την ένταση του επεισοδίου καύσωνα:

$$HWI = (k_0 * (d + N30) + k_1 * (TX1 + TX3 - 60) + k_2 * (TS30 + TS16)) * f(R1)$$

,όπου τα k_0 , k_1 , k_2 είναι συντελεστές με τιμές 1.0, 2.6, 1.0, αντίστοιχα, και η f είναι μία συνάρτηση ξηρασίας:

$$f = \frac{1}{\ln \frac{C_{R1}}{(d-1)} + e} d$$

Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας της συνάρτησης ξηρασίας με την μέση ημερήσια ποσότητα βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα (με εξαίρεση την τελευταία ημέρα):

Πίνακας 1.12. Αντιστοιχία της συνάρτησης ξηρασίας με τη μέση ημερήσια βροχόπτωση κατά Kysely et al. (2000)

Βροχόπτωση (mm)	0	1	2	3	4	6	8	10	15
f	1.00	0.76	0.65	0.57	0.53	0.46	0.42	0.39	0.35

Η τελική μορφή του δείκτη HWI είναι η ακόλουθη:

$$HWI = \frac{1.0*(d + N30) + 2.6*(TX1 + TX3 - 60) + 1.0*(TS30 + TS16)}{\ln \frac{C_{R1}}{(d-1)} + e} d$$

Για τον δείκτη HWI ισχύουν οι παρακάτω συμβολισμοί:

d: η διάρκεια των ημερών

N30: ο αριθμός των ημερών με TMAX ≥ 30 °C

TX1: η υψηλότερη τιμή του TMAX κατά τη διάρκεια του καύσωνα

TX3: η μέση τιμή του TMAX των τριών ημερών από την κορύφωση του καύσωνα

TS30: η αθροιστική TMAX που είναι μεγαλύτερη από 30 °C

TS16: η αθροιστική TMIN που είναι μεγαλύτερη από 16.1 °C

R1: η ποσότητα βροχόπτωσης για την περίοδο του καύσωνα με εξαίρεση την τελευταία ημέρα (σε mm)

Επιπλέον, ο Kysely (2002) χρησιμοποίησε χρονοσειρές ημερήσιων τιμών θερμοκρασίας προκειμένου να μελετήσει επεισόδια καύσωνα στην Πράγα για την περίοδο 1901-1997. Ο καθορισμός του καύσωνα από τον Kysely βασίζεται στις τρεις συνθήκες που αναφέρθηκαν παραπάνω. Ο ίδιος επιστήμονας ορίζει ως τροπικές και θερινές ημέρες εκείνες τις ημέρες στις οποίες η μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 30 °C και 25 °C, αντίστοιχα, αναφερόμενος πάντοτε στην Τσέχικη Δημοκρατία. Για τον χαρακτηρισμό του καύσωνα χρησιμοποιούνται η διάρκεια, το μέγιστο της θερμοκρασίας, και η αθροιστική μέγιστη θερμοκρασία (TMAX) που υπερβαίνει τους 30 °C (TS30). Η αθροιστική TMAX που εκτείνεται πάνω από την τιμή TS30, είναι η περισσότερο κατάλληλη μεταβλητή για να χαρακτηριστεί η σοβαρότητα του καύσωνα (Kysely; 2000). Οι συνθήκες της μέσης θερμοκρασίας για τη θερινή περίοδο δίνονται συνήθως από τις μέσες τιμές της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας κατά το δίμηνο Ιουλίου-Αυγούστου (TX78), κι όχι για το τρίμηνο Ιουνίου-Αυγούστου, μια και η πλειοψηφία των ημερών καύσωνα στην Τσέχικη Δημοκρατία εμφανίζονται το δίμηνο αυτό (Huth et al.; 2000). Μελετώντας την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, (Hess-Brezowsky τύποι καιρού, Gerstengarbe

et al.; 1999) διαπίστωσε ότι κατά την εμφάνιση επεισοδίου καύσωνα στην Πράγα, επικρατεί αντικυκλώνας ή αντικυκλωνική ράχη πάνω από την κεντρική Ευρώπη.

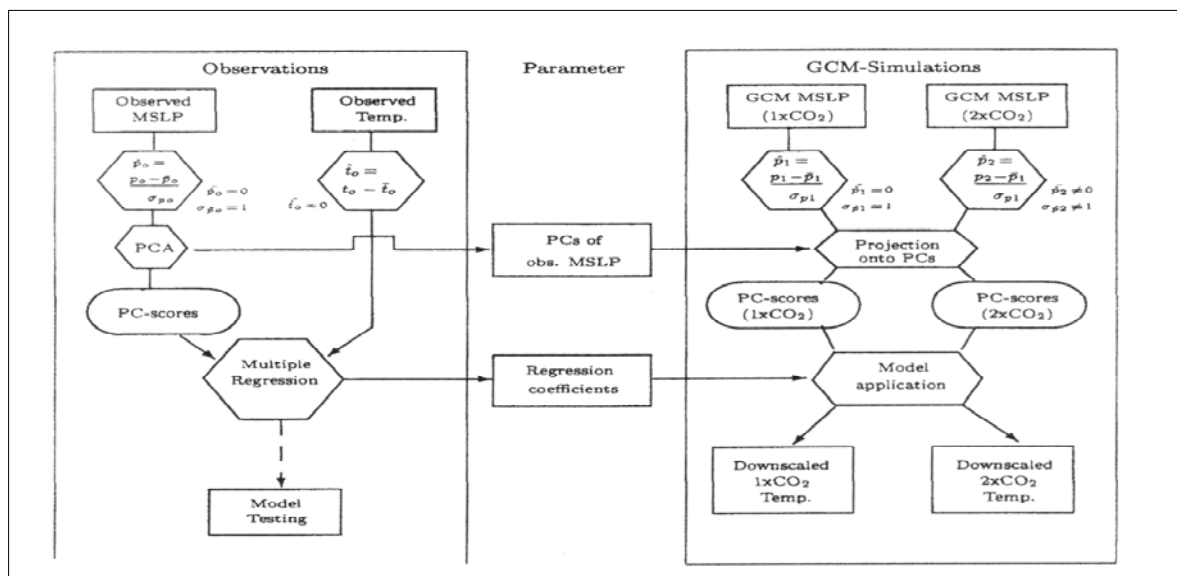
1.5 Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας της Ατμόσφαιρας

1.5.1 Εισαγωγή

Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (*General Circulation Model – GCM*) έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο του καύσωνα στο μέλλον με βάση το παρελθόν (Gershunov and Barnett; 1998, Huth and Kysely; 1998, Huth et al.; 2000). Τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν μία δυναμική αύξηση της παγκόσμιας μέσης θερμοκρασίας κατά 1.5 °C με 4.5 °C μέσα στον αιώνα που διανύουμε. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος θα είναι η συχνότερη εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών και η ελάττωση της βροχόπτωσης.

Γενικά οι επιδράσεις των αλλαγών του κλίματος πάνω στην κοινωνία και στα οικοσυστήματα προκαλούν μεγάλες καταστροφές (Haas; 1976). Για παράδειγμα, το νερό και η ενέργεια της βιομηχανίας καθώς και ο τομέας των μεταφορών και των κατασκευών, μπορεί να υποστεί επιδράσεις από τις έντονες βροχοπτώσεις, τις ζεστές ακολουθίες, τους όμβρους και τις καταιγίδες (Nelson; 1976, Darmstadter; 1993, Frederick; 1993). Κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων ημερών, η μόλυνση της ατμόσφαιρας αυξάνει δραστικά την παραγωγή του τροποσφαιρικού όζοντος στο παρεδάφιο ατμοσφαιρικό στρώμα προκαλώντας αποπνικτικές συνθήκες κοντά στο έδαφος (Ball and Bernard; 1978, Karl; 1980, Varey et al.; 1988). Τέλος, πολλές εργασίες έχουν αποδείξει συσχέτιση μεταξύ των ακραίων θερμών ημερών και της θνησιμότητας των ανθρώπων, καθώς και διαφόρων παθολογικών προβλημάτων (π.χ. Binkley; 1993).

Ένα διάγραμμα ροής (Schubert; 1998) που οδηγεί από τις παρατηρούμενες – μετρούμενες τιμές, στο μοντέλο GCM είναι το ακόλουθο (Σχήμα 1.3):



Σχήμα 1.3. Διάγραμμα ροής για την τέλεια πρόγνωση, ακολουθούμενοι την πορεία από τις παρατηρούμενες τιμές στο μοντέλο της μεγάλης κλίμακας κυκλοφορίας

Τα GCMs περιγράφουν την ατμοσφαιρική εξέλιξη με τη χρήση δυναμικών εξισώσεων. Η οριζόντια ανάλυση των μοντέλων αυτών είναι περίπου $3^\circ \times 3^\circ$, δηλαδή οι εξισώσεις λύνονται σε μονά gridpoints τα οποία στα μέσα γεωγραφικά πλάτη απέχουν απόσταση 300 χιλιομέτρων περίπου. Επομένως με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή, μπορεί να υπολογισθεί μία μεταβλητή σε μια ευρύτερη περιοχή με τη χρήση του μοντέλου GCM.

Η σημαντικότητα των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων αυξάνει στη μελέτη της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στα βόρεια υψηλά γεωγραφικά πλάτη, διότι σε αυτές τις περιοχές αυξάνει σημαντικά και η συγκέντρωση των θερμοκηπικών αερίων (Houghton et al.; 2001). Έγιναν πολλές μελέτες σχετικά με τη μεταβλητότητα και την τάση της θερμοκρασίας στο μελλοντικό κλίμα, σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (π.χ. Benestad; 2001a,b).

Είναι ευρύτερα γνωστό ότι η άμεση παραγωγή προσομοιώσεων κλιματικών αλλαγών από τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας (GCMs) είναι ανεπαρκή για τον καθορισμό των επιφανειακών – εδαφικών επιδράσεων σε τοπική κλίμακα (*regional scales*) (DOE; 1996). Αυτό συμβαίνει διότι η οριζόντια ανάλυση των GCMs (τυπικά 50000 km^2) είναι συχνά μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται στην είσοδο των μοντέλων. Αυτό οδηγεί σε μία κλίμακα ανομοιογένειας μεταξύ της πληροφορίας των GCMs (Hostetler; 1994). Το πρόβλημα λύνεται με την ανάπτυξη άλλων μοντέλων ανάλυσης (*Regional Climate Models – RCMs*) (Machenhauer; 1995, Kim et al.; 1984, Wilks; 1989, Karl et al.; 1990, Wigley et al.; 1990). Τα RCMs είναι εργαλεία για την εκτίμηση των σεναρίων κλιματικών αλλαγών σε τοπική κλίμακα (Giorgi et al.; 2001, McGregor; 1997). Επίσης, παρέχουν δεδομένα για επεξεργασία σε διάφορες έρευνες κλιματικών επιδράσεων (Kite; 1997, Mearns et al.; 1997, Stone et al.; 2001) και βοηθούν στη μελέτη του τοπικού κλίματος (Pielke et al.; 1999, Pan et al.; 1999, Schär et al.; 1999, Heck et al.; 2001). Με τα RCMs πραγματοποιείται η αναπαράσταση πολυάριθμων μελλοντικών κλιμάτων, μελετώντας την ημερήσια μεταβλητότητα και τη μεταβλητότητα των χρονικών μέσων τιμών (π.χ. Dai et al.; 1999, Frei et al.; 2003), τις αλλαγές και τις επιδράσεις των ακραίων φαινομένων καιρού.

1.5.2 Ιστορική αναδρομή

Τα πρώτα κλιματικά μοντέλα έκαναν την εμφάνισή τους στα τέλη του 1970. Αυτά μπορούσαν να προσομοιώσουν τις διεργασίες της γήινης ατμόσφαιρας σε τρεις διαστάσεις, προβάλλοντας τις κλιματικές διεργασίες όχι μόνο στην επιφάνεια της γης, αλλά και σε διάφορα επίπεδα πάνω από αυτήν. Εξαιτίας των περιορισμένων δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών εκείνη την εποχή, υπήρχαν διάφορα προβλήματα. Παρόλα αυτά η προσομοίωση του κλιματικού συστήματος ήταν ιδιαίτερα απλή, με την έννοια ότι δεν περιείχε λεπτομερείς αναπαραστάσεις. Τα νέφη, των οποίων οι επιδράσεις στη θερμότητα της ατμόσφαιρας ποικίλουν εξαρτώμενες από τη δομή, την περιοχή και την κάλυψη του ουρανού, δεν αναπαρίστανται αρκετά καλά και δεν επηρεάζονταν από τις αλλαγές άλλων ατμοσφαιρικών συνθηκών. Η αναπαράσταση του κύκλου του ύδατος, που έχει ιδιαίτερη σημασία για τα νέφη, τη βροχόπτωση, την υγρασία του εδάφους και τη θέρμανση λόγω φαινομένου θερμοκηπίου, ήταν εντελώς αποτυχημένη. Αντίθετα, τα νεώτερα κλιματικά μοντέλα προσφέρουν μεγαλύτερη ανάλυση στην αναπαράσταση των φαινομένων. Αυτά μπορούν να προσομοιώσουν μεταβλητές σε κλίμακες της τάξεως των 800 km ή και μεγαλύτερες.

Από τα τέλη του 1980, όμως, η πρόοδος στην τεχνολογία της μοντελοποίησης, στην κατανόηση των κλιματικών διεργασιών και στην υπολογιστική ισχύ, ανέπτυξε μία δεύτερη γενιά GCMs. Μολονότι αυτά τα μοντέλα απλοποιούσαν τους ωκεανούς, η αναπαράσταση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του ωκεανού και της ατμόσφαιρας ήταν αρκετά βελτιωμένη. Επίσης, οι χωρικές αναλύσεις έγιναν ακόμη καλύτερες, η περιγραφή του κύκλου του ύδατος έγινε περισσότερο λεπτομερής και τα νέφη μπορούσαν πλέον να αποκρίνονται στις αλλαγές του κλίματος. Με αυτά τα μοντέλα, οι ερευνητές κατόρθωσαν να εξετάσουν αυτό που ονόμαζαν ισοζύγιο κλιματικής αλλαγής, το οποίο αναφέρεται στις αλλαγές του κλίματος που προκύπτουν ύστερα από τη σταθεροποίηση του κλιματικού συστήματος, μετά από μεταβολή στη συγκέντρωση των θερμοκηπικών αερίων.

Από τις αρχές του 1990, κατασκευάστηκαν διάφορα κλιματικά μοντέλα, τα οποία μπορούσαν να προσομοιώσουν μία προσωρινή κλιματική αλλαγή, αποτελώντας τα τρίτης γενιάς κλιματικά μοντέλα, γνωστά ως Coupled Atmospheric-Ocean General Circulation models (*AOGCMs*). Αυτά συμπεριλαμβάνουν ένα ατμοσφαιρικό GCM το οποίο συνδυάζεται με ένα λεπτομερές τρισδιάστατο μοντέλο ωκεανού. Αυτή τη στιγμή υπάρχουν περίπου 20 τέτοια μοντέλα σε χρήση ή στο στάδιο της ανάπτυξης σε ολόκληρο τον κόσμο.

Η ιστορική εξέλιξη των GCMs και η φύση των πειραμάτων κλιματικής αλλαγής παρίσταται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1.13. Η εξέλιξη των Hadley Center GCMs (<http://www.cru.uea.ac.uk>)

Όνομα μοντέλου και πειράματα	Έτος	Ωκεανός	Ανάλυση Γεωγραφικό πλάτος Γεωγραφικό μήκος
UKLO Equilibrium 10 year integration	1987	Slab-ocean	5.0 * 7.5
UKHI Equilibrium 10 year integration	1990	Slab-ocean	2.5 * 3.75
UKTR Transient cold-start Multi-decadal integrations	1992	20 layer full ocean	2.5 * 3.75
HadCM2 Transient warm-start Historically forced Multi gas Multi-century integrations Multi-member ensembles	1995	20 layer full ocean	2.5 * 3.75
HadCM3 As HadCM2 but including gas life cycle models and early version of a biosphere model No flux correction	1998	20layer full ocean at 1.25° * 1.25° resolution	2.5 * 3.75

Τα GCMs μπορούν να χωρισθούν σε τρεις κυρίως τύπους:

1. Τα atmospheric coupled GCMs με μία απλή αναπαράσταση του ωκεανού και με ακόμα πιο απλή αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους (π.χ. UKLO, UKHI).
2. Τα atmospheric coupled GCMs με μία τρισδιάστατη αναπαράσταση του ωκεάνιου συστήματος και με μία απλή αναπαράσταση της επιφάνειας του εδάφους (π.χ. UKTR).
3. Τα atmospheric coupled GCMs με μία τρισδιάστατη αναπαράσταση του ωκεανού και με μία τρισδιάστατη αναπαράσταση της γήινης βιόσφαιρας (π.χ. HadCM2, HadCM3).

Διαφορετικές φυσικές διεργασίες και αναδράσεις προβάλλονται σε διαφορετικά GCMs. Έτσι, η μεταβολή της παγκόσμιας θερμοκρασίας λόγω του διπλασιασμού της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, ποικίλει από μοντέλο σε μοντέλο, μεταξύ 1.5 °C και 4.5 °C. Το ίδιο GCM μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα μεταβάλλοντας ελάχιστα τις αρχικές συνθήκες.

1.5.3 Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Coupled General Climate Models)

Η πρώτη έκδοση του Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (CCCma) Coupled Global Climate Model, CGCM1, περιγράφηκε από τους Flato et al. (2000). Πρόκειται για ένα φασματικό μοντέλο με τριγωνική περικοπή στα 32 κύματα (περιλαμβάνει μία επιφανειακή κομβική ανάλυση 3.7° x 3.7°) και 10 κάθετα επίπεδα. Η ωκεάνια συνιστώσα έχει ανάλυση 1.8° x 1.8° και 29 κάθετα επίπεδα. Το μοντέλο χρησιμοποιεί τις θερμικές και τις υδάτινες ρυθμίσεις προερχόμενες από διαφορετικά ωκεάνια και ατμοσφαιρικά μοντέλα (για 10 χρόνια και για 4000 χρόνια, αντίστοιχα), ακολουθούμενα από μία προσαρμοσμένη διαδικασία τροποποίησης των πεδίων από μία 14χρονη ενοποίηση του συνδυαζόμενου μοντέλου (*coupled model*). Το συνδυαζόμενο μοντέλο προκειμένου να προβλέψει το μελλοντικό κλίμα, χρησιμοποιεί τη σημερινή συγκέντρωση του CO₂.

Το μοντέλο CGCM2 αποτελεί τη δεύτερη έκδοση του Coupled Global Climate Model (CGCM). Αυτό βασίζεται στο προγενέστερό του μοντέλο CGCM1, έχοντας υποστεί μερικές μετατροπές - βελτιώσεις όσον αφορά τις ωκεάνιες παραμετροποιήσεις από οριζόντιες/κάθετες σε ισόπυκνες/στροβιλώδεις. Πιο συγκεκριμένα, το μοντέλο δεύτερης γενιάς περιλαμβάνει μια πιο πολύπλοκη εκδοχή του μοντέλου προσομοίωσης του θαλάσσιου πάγου, όσον αφορά τη μεταφορά του πάγου και τις επιπτώσεις της παραμόρφωσης του πάγου, παράγοντες που επηρεάζουν τη ροή ενέργειας μεταξύ της ατμόσφαιρας και των ωκεανών. Γενικά, τα CGCM1 και CGCM2 αναπαριστούν την επίδραση όλων των θερμοκηπικών αερίων χρησιμοποιώντας ως καθοδηγητή τη συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα.

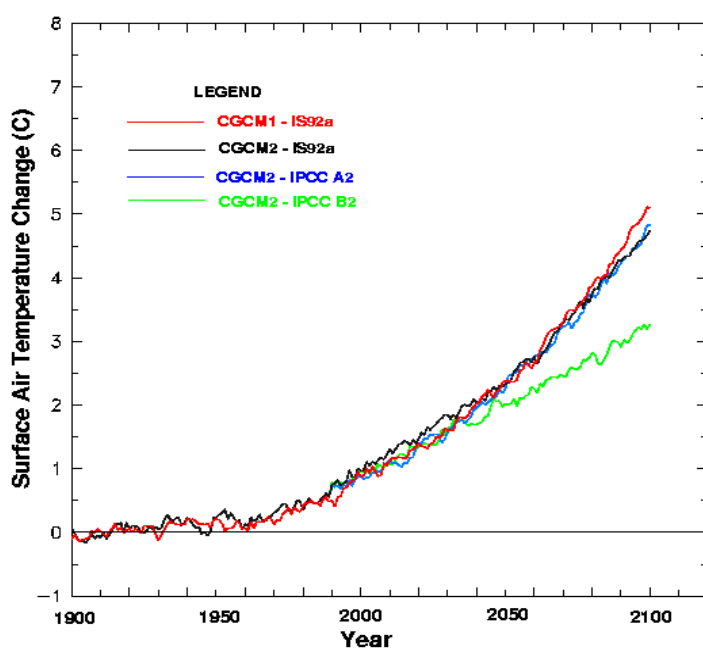
Οι παράμετροι που υπολογίζει το μοντέλο CGCM2 στην επιφάνεια του εδάφους είναι: θερμοκρασία σε ύψος δύο μέτρων πάνω από το έδαφος, μέση ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία καθώς και ειδική υγρασία στο ίδιο ύψος, μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος των δύο μέτρων, ατμοσφαιρική πίεση στη μέση στάθμη της θάλασσας, επιφανειακή ατμοσφαιρική πίεση, υγρασία του εδάφους, θαλάσσιος πάγος, περιεκτικότητα του χιονιού σε νερό, βροχόπτωση, εξάτμιση και ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια. Στην ανώτερη ατμόσφαιρα το μοντέλο υπολογίζει τις εξής παραμέτρους: γεωδυναμικό ύψος, ειδική υγρασία και τις δύο συνιστώσες του ανέμου στα 200, 500 και 850 hPa, γεωδυναμικό ύψος στα 1000 hPa και γεωδυναμικό ύψος της ισοπαχούς των 1000-500 hPa.

Τα παραπάνω κλιματικά μοντέλα χρησιμοποιούν τα σενάρια εκπομπής του IPCC, IS92a, SRES A2 και SRES B2, (IPCC, 2000). Πρόκειται ουσιαστικά για τρεις

προσομοιώσεις με τις ίδιες επιδράσεις των θερμοκηπικών αερίων αλλά με διαφορετικές αρχικές συνθήκες. Οι προβλεπόμενες συγκεντρώσεις για δύο από τα σενάρια αυτά, A2 και B2, παρατίθεται παρακάτω:

Πίνακας 1.14. Συγκέντρωση CO₂ (ppmv)
(<http://www.ccma.bc.ec.gc.ca/data/cgcm2/cgcm2.shtml>)

	A2 σενάριο	B2 σενάριο
2010	540	539
2020	585	578
2025	612	599
2030	642	619
2040	707	659
2050	779	700
2060	860	740
2070	950	781
2080	1050	823
2090	1180	867
2100	1320	915



Σχήμα 1.4 Μεταβολή της επιφανειακής θερμοκρασίας του αέρα για την περίοδο 1900-2100 για τα μοντέλα CGCM1 και CGCM2.
(<http://www.ccma.bc.ec.gc.ca/data/cgcm2/cgcm2/cgc2.shtml>)

1.5.4 Κλιματικά σενάρια εκπομπής

1.5.4.1 Τι είναι τα σενάρια και ποιος είναι ο σκοπός τους

Τα σενάρια εκπομπής έχουν δημιουργηθεί σε σχέση με τις μελλοντικές ανθρωπογενείς εκπομπές των κύριων θερμοκηπικών αερίων. Προέρχονται από ενεργό-οικονομικά μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους παραμέτρους, όπως η αύξηση του πληθυσμού, η ζήτηση για ενέργεια και οι τεχνολογικές αλλαγές. Οι εκπομπές του CO₂ από τον άνθρωπο μετασχηματίζονται στην ατμόσφαιρα σε συγκεντρώσεις χρησιμοποιώντας τα μοντέλα του κύκλου του άνθρακα. Ο φυσικός κύκλος του άνθρακα περιλαμβάνει τη μεταφορά τεραστίων ποσοτήτων του άνθρακα, μεταξύ της ατμόσφαιρας, της επίγειας βιόσφαιρας και των ωκεανών. Παρόλο που οι εκπομπές του CO₂ εξαιτίας των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα του φυσικού κύκλου, οδηγούν σε αύξηση των συγκεντρώσεων του CO₂ μεγαλύτερη από 30%, σε σχέση με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις πριν από τη βιομηχανική επανάσταση. Οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών θερμοκηπικών αερίων παρουσιάζουν σημαντική αύξηση από τότε που ξεκίνησε η βιομηχανική εποχή. Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, η παγκόσμια μέση τιμή της επιφανειακής θερμοκρασίας αυξήθηκε περίπου 0.6 °C (IPCC, 2001).

Τα μοντέλα του κύκλου του άνθρακα εκτιμούν το ποσό των ανθρωπογενών εκπομπών, το οποίο απορρέει από τους ωκεανούς και από την επίγεια βιόσφαιρα, με τελικό αποτέλεσμα το ποσό αυτό να επιστρέφει στην ατμόσφαιρα. Καθώς ο ενεργός χρόνος ζωής του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι περίπου 100 χρόνια, η ατμοσφαιρική του συγκέντρωση ανταποκρίνεται ελάχιστα στις μεταβολές των εκπομπών. Φυσικά υπάρχουν και αέρια, των οποίων οι συγκεντρώσεις ανταποκρίνονται έντονα στις μεταβολές των εκπομπών, όπως το μεθάνιο. Για το μεθάνιο, οι μελλοντικές συγκεντρώσεις υπολογίζονται χρησιμοποιώντας μοντέλα τα οποία αναπαριστούν τις χημικές αντιδράσεις στην ατμόσφαιρα.

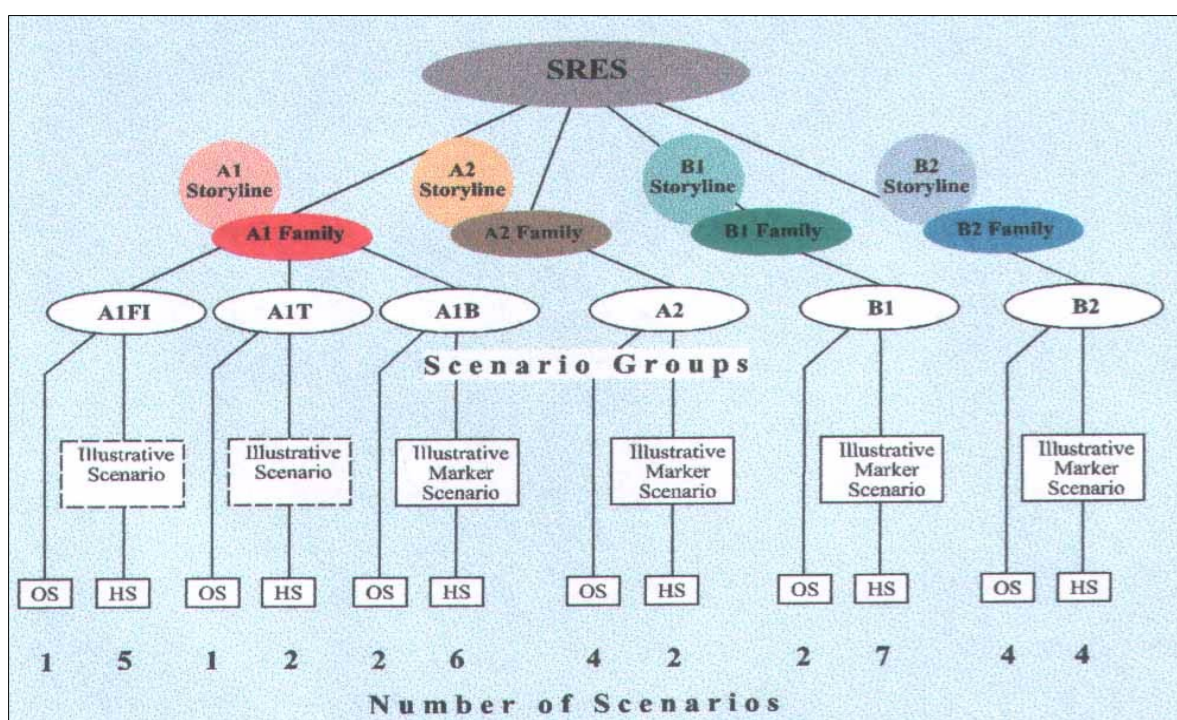
Στην προσπάθεια να μελετηθεί το μελλοντικό κλίμα, χρησιμοποιούνται διάφορα κλιματικά μοντέλα (CGCMs). Ξεκινώντας από ένα αυθαίρετο σημείο, τα μοντέλα λαμβάνουν υπόψη τους τις αυξήσεις στις συγκεντρώσεις των θερμοκηπικών αερίων και των αερολυμάτων. Το σημείο έναρξης τοποθετείται στα μέσα του 19^{ου} αιώνα, όταν κάθε ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα θεωρούνταν αμελητέα (συγκεκριμένα το έτος 1860 επιλέχτηκε σαν το έτος-αρχή για να γίνει η σύγκριση με τις παγκόσμιες παρατηρήσεις της θερμοκρασίας). Από το 1990 κι έπειτα, χρησιμοποιούνται διάφορα σενάρια μελλοντικών αλλαγών της συγκέντρωσης των θερμοκηπικών αερίων και των αερολυμάτων.

Επιπλέον, το κλίμα μπορεί να επηρεάζεται και από έναν αριθμό άλλων αιτιών στην ατμόσφαιρα σε συνδυασμό με τα θερμοκηπικά αέρια: για παράδειγμα τα μικρά αιωρούμενα σωματίδια (*aerosols*). Αυτά αιωρούνται μέσα στην ατμόσφαιρα και ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα, με αποτέλεσμα την ψύξη του κλίματος. Επίσης, τα σωματίδια αυτά επηρεάζουν το κλίμα με την αύξηση της ανακλαστικότητας και της μακροβιότητας των νεφών. Παρόλο που δεν υπάρχουν αντίστοιχες μετρήσεις για να δείξουν την επίδραση αυτών των παραγόντων στο κλίμα, εκτιμάται ότι τα τελευταία 150 χρόνια έχει αυξηθεί η εκπομπή του SO₂.

Οι μελλοντικές εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) προέρχονται από πολύπλοκα δυναμικά συστήματα, όπως η δημογραφική ανάπτυξη, η κοινωνικο-οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική αλλαγή. Η μελλοντική τους εξέλιξη είναι αβέβαιη. Τα σενάρια είναι εναλλακτικές εικόνες για το πώς το μέλλον θα μπορούσε να αναπτυχθεί και είναι ένα κατάλληλο εργαλείο με το οποίο εκτιμάται ο βαθμός με τον οποίο μπορεί να

επηρεάσει ο κάθε παράγοντας τις μελλοντικές εκπομπές και κατά συνέπεια το μελλοντικό κλίμα. Τα κλιματικά σενάρια δεν θα πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν προγνώστες του μελλοντικού κλίματος, αλλά σαν διάφορες εικόνες του πιθανού μελλοντικού κλίματος, κάθε μία από τις οποίες είναι άμεσα εξαρτημένη από τις αρχικές υποθέσεις.

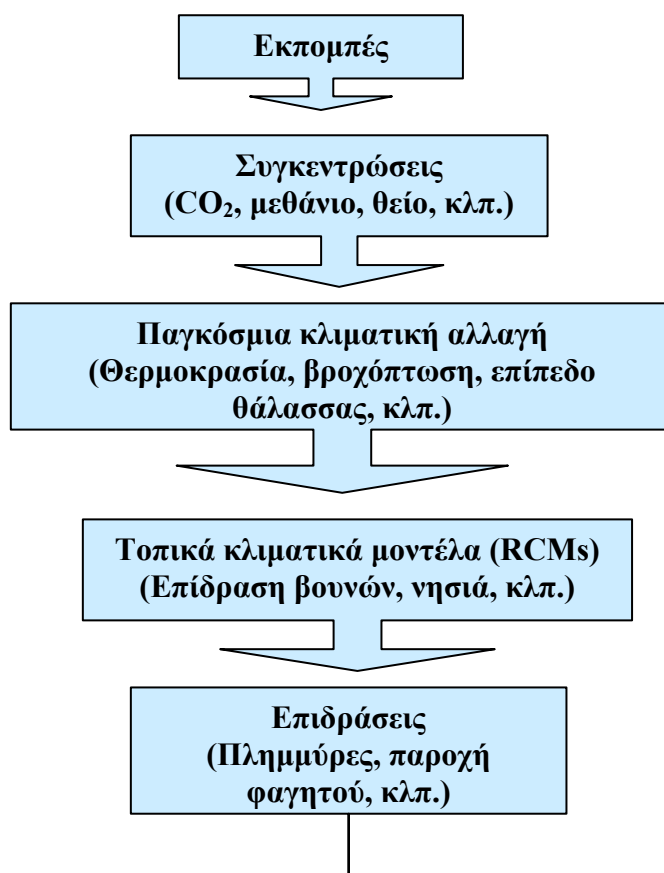
Παρόμοιες μελλοντικές εκπομπές GHG μπορούν να προέλθουν από πολύ διαφορετικές κοινωνικο-οικονομικές προόδους, και παρόμοιες πρόοδοι μπορούν να προκαλέσουν διαφορετικές μελλοντικές εκπομπές. Οι αβεβαιότητες στις μελλοντικές κατευθύνσεις, δημιουργούν μεγάλες αβεβαιότητες στις μελλοντικές εκπομπές, ακόμη και μέσα στα ίδια κοινωνικο-οικονομικά μονοπάτια ανάπτυξης. Επομένως, οι εκπομπές από κάθε σενάριο υπερκαλύπτονται ουσιαστικά από τις εκπομπές από τα άλλα σενάρια. Η υπερκάλυψη αυτή φανερώνει ότι ένα δεδομένο επίπεδο μελλοντικών εκπομπών μπορεί να καθορίζεται από διαφορετικούς παράγοντες (IPCC, 2000) (Σχήμα 1.5).



Σχήμα 1.5. (IPCC; 2000) Σχηματική αναπαράσταση των SRES σεναρίων εκπομπής. Τέσσερα ποιοτικά storylines αποδίδουν τέσσερις ομάδες σεναρίων, γνωστά ως "families": A1, A2, B1 και B2. Και τα 40 SRES σενάρια αναπτύχθηκαν από έξι ομάδες δημιουργίας. Όλες είναι ισοδύναμες στην εγκυρότητα. Η ομάδα των σεναρίων αποτελείται από έξι σενάρια απεικονιζόμενα από τέσσερα families: μία ομάδα για κάθε A2, B1, B2 και τρεις ομάδες για το A1 family, χαρακτηρίζοντας εναλλακτικές αναπτύξεις των τεχνολογιών: A1FI (fossil fuel intensive), A1B (balanced), A1T (non-fossil fuel). Μέσα σε κάθε family και σε κάθε ομάδα σεναρίων, υπάρχουν σενάρια τα οποία καθορίζονται από την ανάπτυξη του παγκόσμιου πληθυσμού, από τη συνολική παγκόσμια παραγωγή και την ενέργεια. Αυτά τα σενάρια χαρακτηρίζονται με το σύμβολο "HS". Το σύμβολο "OS" δηλώνει σενάρια τα οποία εξετάζουν τις αβεβαιότητες των παραγόντων που επηρεάζουν το μελλοντικό κλίμα. Στο σχήμα απεικονίζεται ο αριθμός των σεναρίων που αναπτύσσεται σε κάθε κατηγορία.

1.5.4.2 Σενάρια: Προγνώσεις της αλλαγής του μελλοντικού κλίματος

Προκειμένου να γίνει πρόγνωση της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής, χρειάζονται κάποια σενάρια σχετικά με το πώς θα είναι οι ανθρωπογενείς εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων στο μέλλον. Μία σειρά σεναρίων αναπτύχθηκε στο IPCC Special Report on Emissions Scenarios (*SRES*). Τα κύρια στάδια που απαιτούνται για την πρόγνωση των επιδράσεων των κλιματικών αλλαγών είναι τα ακόλουθα (IPCC; 2000):



Σχήμα 1.6. Τα κυριότερα στάδια για την πρόγνωση των κλιματικών αλλαγών

1.5.4.3 Τα SRES σενάρια εκπομπής

Τα σενάρια των θερμοκηπικών αερίων και των αιωρούμενων σωματιδίων για τα επόμενα 100 χρόνια, ή και περισσότερο, θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους τις δυνητικές ανθρωπογενείς επιδράσεις στο κλιματικό σύστημα. Τα σενάρια παρέχουν πληροφορίες εισαγωγής στα κλιματικά μοντέλα και με τον τρόπο αυτό βοηθούν στην εκτίμηση της διακύμανσης των συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων και των αερολυμάτων στο μέλλον.

Τα κλιματικά σενάρια περιγράφουν μια πιθανή εκδοχή του μελλοντικού κλίματος, ύστερα από τη δημογραφική ανάπτυξη, την αύξηση της συγκέντρωσης των θερμοκηπικών αερίων, την κοινωνικο-οικονομική εξέλιξη και την τεχνολογική ανάπτυξη σε όλο τον

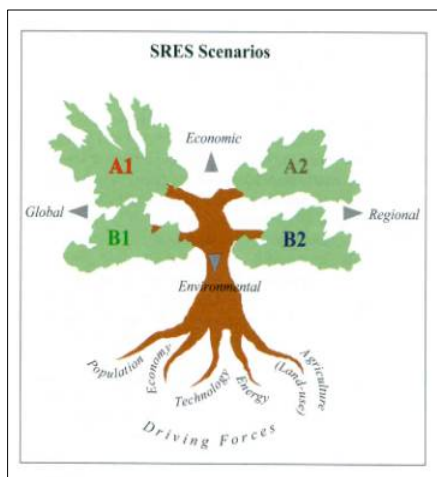
πλανήτη. Σε αυτά τα σενάρια συμπεριλαμβάνονται οι ανθρωπογενείς εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου, του οξειδίου του αζώτου, των υδροφθορανθράκων, του εξαφθοριούχου σιδήρου, των υδροχλωροφθορανθράκων, των χλωροφθορανθράκων και των χημικών ενεργών αερίων (διοξείδιο του θείου, μονοξείδιο του άνθρακα, οξείδια του αζώτου). Επιπλέον, χρησιμοποιούν έξι μοντέλα: Asian Pacific Integrated Model (AIM) – Εθνικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Μελετών Ιαπωνίας, Atmospheric Stabilization Framework Model (ASF) – ICF Consulting U.S.A., Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect (IMAGE) – Εθνικό Ινστιτούτο για τη Δημόσια Υγεία και την Περιβαλλοντική Υγιεινή, Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation (MARIA) – Πανεπιστήμιο Επιστημών Τόκιο Ιαπωνίας, Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE) – Διεθνές Ινστιτούτο Ανάλυσης Εφαρμοσμένων Συστημάτων Αυστρίας, Mini Climate Assessment Model (MiniCAM) – Pacific Northwest National Laboratory U.S.A. (IPCC; 2001).

Το IPCC δημοσίευσε μία ειδική αναφορά στα σενάρια εκπομπής το 2000 (IPCC; 2000), στην οποία περιγράφονται τα νέα σενάρια εκπομπής που χρησιμοποιήθηκαν στο Third Assessment Report. Αυτά τα σενάρια (A1, A2, B1, B2) προτάθηκαν για να εξετάσουν τη μελλοντική ανάπτυξη του παγκόσμιου περιβάλλοντος, κάνοντας ιδιαίτερη αναφορά στην παραγωγή των θερμοκηπικών αερίων και των αιωρούμενων σωματιδίων.

Τα σενάρια κατασκευάστηκαν για να εξετάσουν δύο κυρίως ερωτήματα του 21^{ου} αιώνα, σε κάθε ένα από τα οποία η απάντηση είναι ασαφής:

1. Μπορεί μία επαρκής κυβέρνηση, με θεσπίσεις και συμφωνίες, να πάρει θέση για τη διαχείριση των παγκόσμιων προβλημάτων;
2. Οι κοινωνικές αξίες θα εστιασθούν στην ανάπτυξη της υλικής αφθονίας ή θα γίνουν περισσότερο εξισορροπητικές, ενσωματώνοντας την περιβαλλοντική υγεία και την κοινωνική ευημερία;

Ο τρόπος με τον οποίο απαντώνται τα παραπάνω ερωτήματα οδηγεί σε τέσσερις οικογένειες σεναρίων (A1, A2, B1, B2). Μέσα σε αυτά τα σενάρια εξετάζονται τα ενεργειακά αποθέματα και άλλες καταστάσεις οι οποίες θα συνεισφέρουν στις εκπομπές των θερμοκηπικών αερίων. Όλα τα σενάρια αναφέρονται στην αύξηση του πληθυσμού, στην ανάπτυξη της οικονομίας, στα χαρακτηριστικά του ενεργειακού συστήματος και στις πηγές των θερμοκηπικών αερίων (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.7 Σχηματική αναπαράσταση των έξι σεναρίων εκπομπής. Τα A1 και A2 σενάρια έχουν περισσότερο οικονομική εστίαση, σε σύγκριση με τα B1 και B2, τα οποία είναι περισσότερο περιβαλλοντικά σενάρια. Αντίθετα, τα A1 και B1 σενάρια είναι περισσότερο παγκόσμια, σε σχέση με τα A2 και B2, τα οποία χαρακτηρίζονται περισσότερο ως τοπικά.

1.5.4.4 Περιγραφή των σεναρίων εκπομπής

- **SRES A2:** Το A2 σενάριο εκπομπής (IPCC; 2001) περιγράφει έναν πολύ ανομοιογενή κόσμο. Επικεντρώνεται στην αυτοδυναμία και τη διατήρηση των τοπικών ταυτοτήτων. Σε ορισμένες περιοχές, η θρησκευτική συνείδηση οδηγεί τους ανθρώπους στην προσπάθεια συνεισφοράς στην κοινότητα, ενώ σε κάποιες άλλες περιοχές του κόσμου οι άνθρωποι ενδιαφέρονται κυρίως για την εκπαίδευση, την επιστήμη και την ανάπτυξη της οικονομικής παραγωγικότητας. Η ευφορία των περιοχών ανά τον κόσμο αναπτύσσεται με πολύ αργούς ρυθμούς, και τελικά καταλήγει σε μία συνεχόμενη αύξηση του χάσματος μεταξύ των αναπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων περιοχών. Η οικονομική άνοδος αναφέρεται κυρίως σε τοπική βάση, το κατά κεφαλήν εισόδημα αυξάνεται, ενώ η τεχνολογία επιβραδύνεται. Η αύξηση του πληθυσμού είναι ταχύτατη και το 2100 φτάνει τα 15 δισεκατομμύρια κατοίκους στον κόσμο. Η μεγάλη αύξηση του πληθυσμού και της αγροτικής παραγωγικότητας, οδηγούν σε μια συνεχή άνοδο των εκπομπών. Θεωρείται σημαντική η αύξηση της εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα και του διοξειδίου του θείου (μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη εκπομπή του σεναρίου B2). Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.4, ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας είναι μεγάλος, φτάνοντας τους 4.8 °C το 2100, και δικαιολογείται εν μέρει από τη μεγάλη εκπομπή θερμοκηπικών αερίων.
- **SRES B2:** Το B2 σενάριο εκπομπής (IPCC; 2001) περιγράφει έναν κόσμο στον οποίο δίνεται μεγάλη έμφαση στις τοπικές λύσεις σε προβλήματα που αφορούν την οικονομία, την κοινωνία και την ευημερία του περιβάλλοντος. Οι κυβερνήσεις δρουν υπό την επιρροή ενός συνόλου πολιτών που χαρακτηρίζεται από έντονη περιβαλλοντική συνείδηση και ανάγκη για την επίτευξη κοινωνικής ισότητας. Πρόκειται για έναν κόσμο με συνεχόμενη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, σε ποσοστό μικρότερο από το A2 σενάριο (10.4 δισεκατομμύρια κάτοικοι στον πλανήτη μέχρι το 2100), μεσαία οικονομική ανάπτυξη και μεγαλύτερη διάδοση τεχνολογίας και τεχνολογίας σε σύγκριση με το σενάριο A2. Το σενάριο B2 είναι προσανατολισμένο στην προστασία του περιβάλλοντος και εστιάζεται σε τοπικά προβλήματα. Το συγκεκριμένο σενάριο εκπομπής παρουσιάζει μικρότερο ρυθμό εκπομπής θερμοκηπικών αερίων συγκρινόμενο με το σενάριο A2, καθώς και μικρότερη μεταβολή της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας για το 2100 (το σενάριο B2 προβλέπει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3.4 °C, σε αντίθεση με το σενάριο A2 που προβλέπει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 4.8 °C το 2100 (Σχήμα 1.4).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΚΑΥΣΩΝΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1960-2003 ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2.1. Εισαγωγή

Στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσης διατριβής ειδικεύσης αναφέρεται η μελέτη των επεισοδίων καύσωνα που σημειώθηκαν στη Θεσσαλονίκη, κατά τη χρονική περίοδο 1960-2003. Η μελέτη βασίζεται σε δύο βιομετεωρολογικούς δείκτες, τον THI (Temperature Humidity Index) και τον SSI (Summer Simmer Index). Από αυτούς τους δείκτες, ο μεν πρώτος έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε πολυάριθμες εργασίες σχετικές με τη δυσφορία της ατμόσφαιρας σε μία περιοχή, ο δε δεύτερος αποτελεί έναν σχετικά καινούριο δείκτη, με ελάχιστες αναφορές του σε εργασίες σχετικές με δυσφορία.

Η μελέτη των δεικτών για τη Θεσσαλονίκη, σχετίζεται με την κατανομή αυτών, τόσο σε μηνιαία, όσο και σε ετήσια βάση. Επιπλέον εντοπίζονται και καταμετρώνται τα επεισόδια καύσωνα που σημειώθηκαν στην εν λόγω περιοχή. Τέλος οι δύο δείκτες συγκρίνονται και οι ομοιότητες και διαφορές αυτών παρουσιάζονται και αξιολογούνται, με σκοπό την τροποποίηση του δείκτη SSI, ώστε να γίνει πιο αντιπροσωπευτικός για τη Θεσσαλονίκη.

2.2. Δεδομένα – Μεθοδολογία

Μελετώνται τα επεισόδια καύσωνα στη Θεσσαλονίκη για τη χρονική περίοδο 1960-2003 (44 χρόνια) και για το διάστημα Μαΐου - Σεπτεμβρίου. Τα δεδομένα προέρχονται από το Μετεωρολογικό Σταθμό του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και αφορούν τις ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα.

Παρόλο που η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου εντοπίζεται συνήθως στους θερινούς μήνες, κρίθηκε σημαντικό να διερευνηθεί η συχνότητα εμφάνισης και κατά τη διάρκεια των μηνών Μάιο και Σεπτέμβριο, για το λόγω ότι πρόκειται για μεταβλητούς μήνες.

Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις για τον ορισμό του καύσωνα: η πρώτη αναφέρεται στη χρονική διάρκεια κατά την οποία εμφανίζονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα (ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες), ενώ η δεύτερη αναφέρεται στο κατώφλι πάνω από το οποίο το φαινόμενο χαρακτηρίζεται ως καύσωνας (Karl and Knight; 1997).

Σύμφωνα με την American Meteorological Society (Huschke; 1959), "Καύσωνας μπορεί να ονομασθεί η περίοδος της αφύσικης και ασυνήθιστης ζέστης συνοδευόμενη από υγρό καιρό. Για να χαρακτηριστεί καύσωνας θα πρέπει η περίοδος αυτών των συνθηκών να διαρκεί τουλάχιστον μία ημέρα. Συνήθως διαρκεί από μερικές ημέρες μέχρι μερικές εβδομάδες". Ο παραπάνω ορισμός υιοθετείται στην παρούσα μελέτη συνδυαζόμενος από τα εξής κατώφλια των THI και SSI: $THI \geq 69$ και $SSI \geq 83$.

Μετά τον υπολογισμό των ωριαίων δεικτών από τις αντίστοιχες εξισώσεις τους (Σχέση 1.1 και Σχέση 1.2), ακολουθεί η κατανομή αυτών ανά έτος, ανά μήνα, καθώς και η ωριαία διακύμανση των τιμών τους. Στη συνέχεια εντοπίζονται τα έτη με έντονο καύσωνα της περιόδου μελέτης τα οποία και συγκρίνονται ανά ζεύγη. Χρησιμοποιώντας το δείκτη THI καταμετρώνται τα επεισόδια καύσωνα στη Θεσσαλονίκη για το χρονικό διάστημα 1960-2003.

Κατόπιν οι δύο δείκτες συγκρίνονται σε μηνιαία και ετήσια βάση προκειμένου να εντοπισθούν οι ομοιότητες και οι διαφορές αυτών. Εντοπίζοντας τις διαφορές, πραγματοποιείται κατάλληλη μεταβολή των βαθμίδων του δείκτη SSI (με κριτήριο την κατανομή του THI) και παρουσιάζεται η καινούρια πλέον κατηγοριοποίηση του δείκτη (SSI'). Τέλος, παρουσιάζεται η τάση των χρονοσειρών των δεικτών THI, SSI και SSI'.

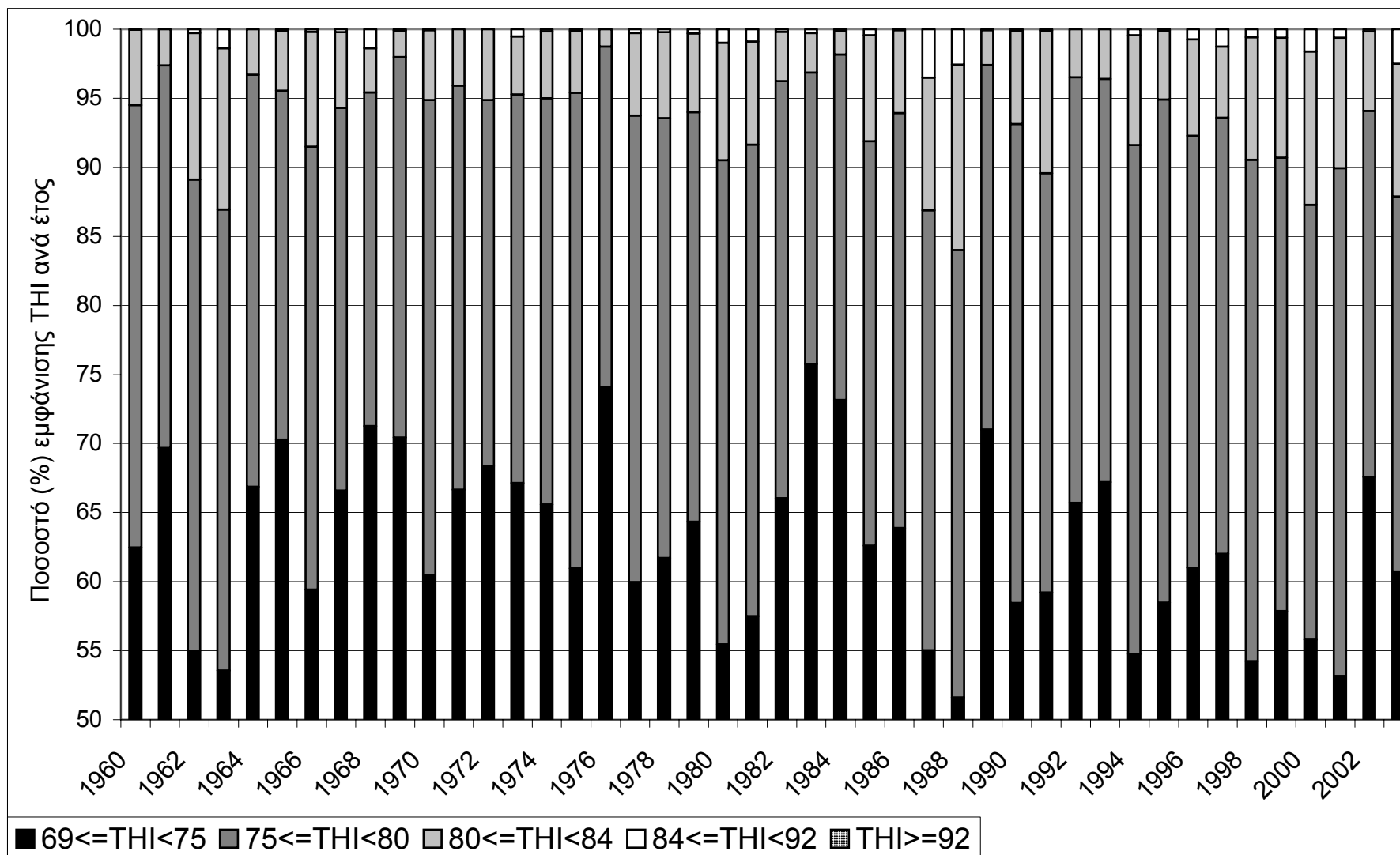
2.3. Αποτελέσματα

2.3.1. Μελέτη των δεικτών THI και SSI σε ετήσια βάση

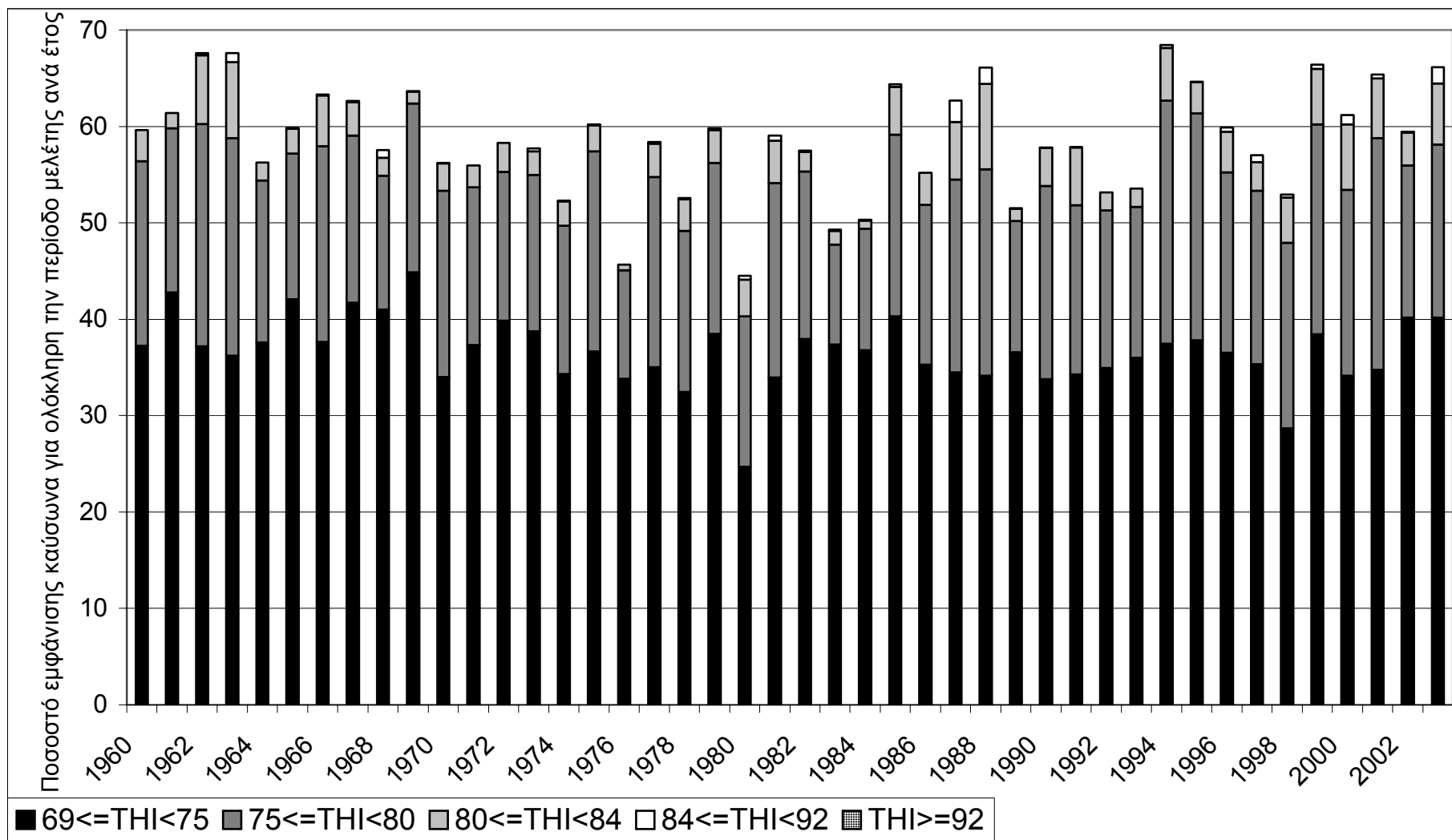
Η μελέτη της ετήσιας χρονοσειράς του THI (Σχήμα 2.1) αποδεικνύει ότι, από τις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνας στη Θεσσαλονίκη, περισσότερο συχνή ήταν η δεύτερη βαθμίδα του THI, δηλαδή η βαθμίδα με χαρακτηρισμό "οι μισοί άνθρωποι αισθάνονται δυσφορία" (Πίνακας 1.3 και Πίνακας 1.5). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι δεν σημειώθηκε σε κανένα έτος η πέμπτη και πολύ κρίσιμη βαθμίδα του δείκτη ("εξαιρετικά επικίνδυνη κατάσταση – λιποθυμίες"). Η τρίτη και η τέταρτη βαθμίδα σημειώθηκαν σε λίγες περιπτώσεις, με μεγαλύτερα ποσοστά στα έτη 1963, 1968, 1980, 1981, 1987, 1988, 1996, 1997, 2000, 2003. Τα παραπάνω έτη θα μελετηθούν διεξοδικότερα, ως τα έτη με την εντονότερη δυσφορία στην περίοδο 1960-2003.

Επιπλέον μελετάται το ποσοστό εμφάνισης του καύσωνα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, είτε δηλαδή παρατηρήθηκε δυσφορία, είτε όχι (Σχήμα 2.2). Στο αντίστοιχο διάγραμμα φαίνεται ότι το έτος με το μικρότερο σε διάρκεια καύσωνα για το πεντάμηνο Μαΐου – Σεπτεμβρίου είναι το 1980, παρουσιάζοντας όμως ιδιαίτερα θερμές ημέρες χαρακτηριζόμενες από έντονη δυσφορία και μείωση της εργασιακής αποδοτικότητας των ατόμων. Το αμέσως επόμενο έτος, με λίγο μεγαλύτερη διάρκεια θερμών ημερών από το 1980, είναι το 1976. Στο έτος αυτό, σε αντίθεση με το 1980, οι περισσότερες περιπτώσεις δυσφορίας αναφέρονται στην πρώτη και στη δεύτερη βαθμίδα του δείκτη, ενώ ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις όπου όλοι οι άνθρωποι ενός συνόλου αισθάνονται δυσφορία.

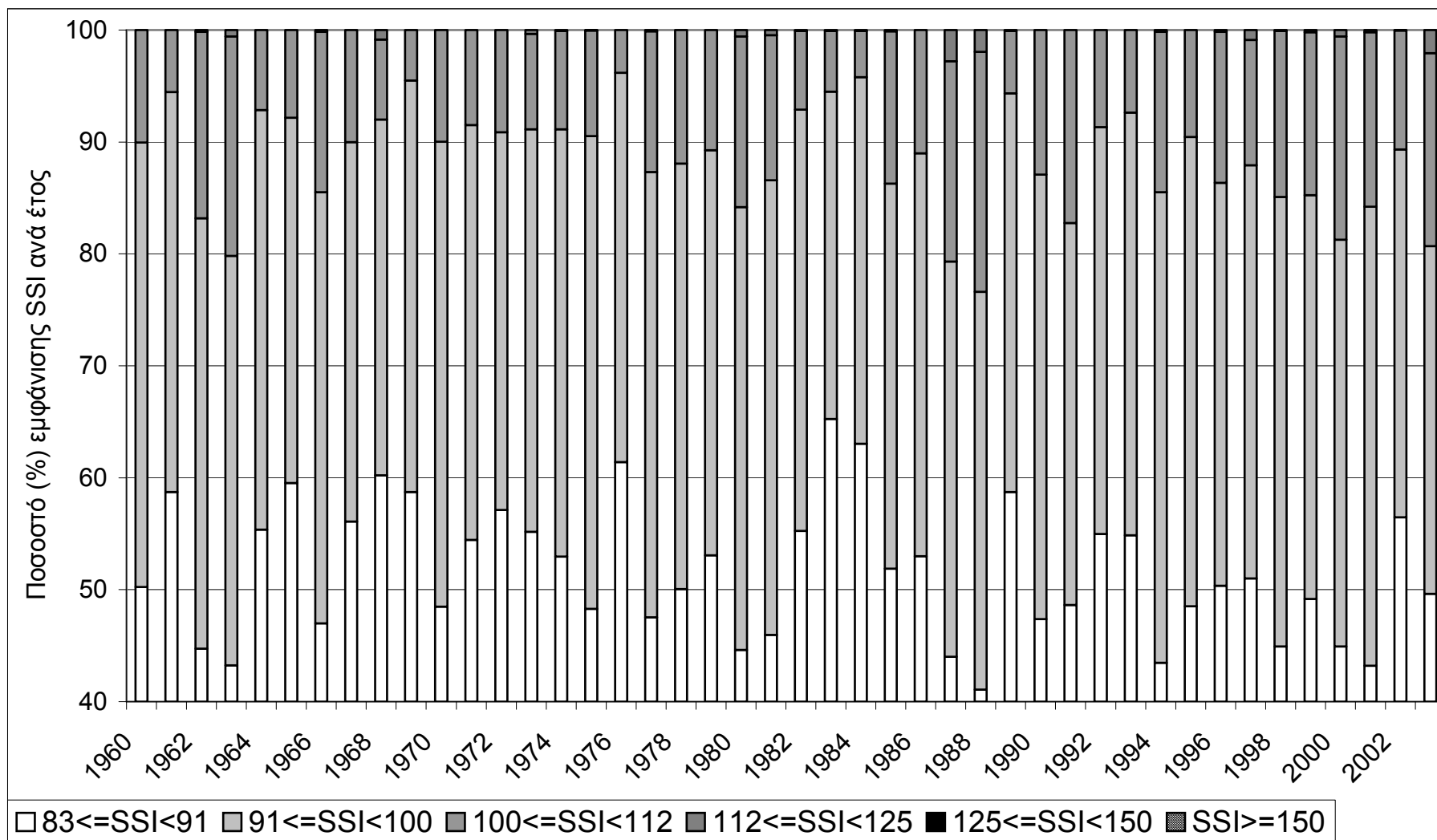
Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν και από τη μελέτη της χρονοσειράς του δείκτη SSI, τόσο για τις περιπτώσεις καύσωνα, όσο και για ολόκληρη την περίοδο μελέτης (Σχήμα 2.3, Σχήμα 2.4). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στο χρονικό διάστημα των 44



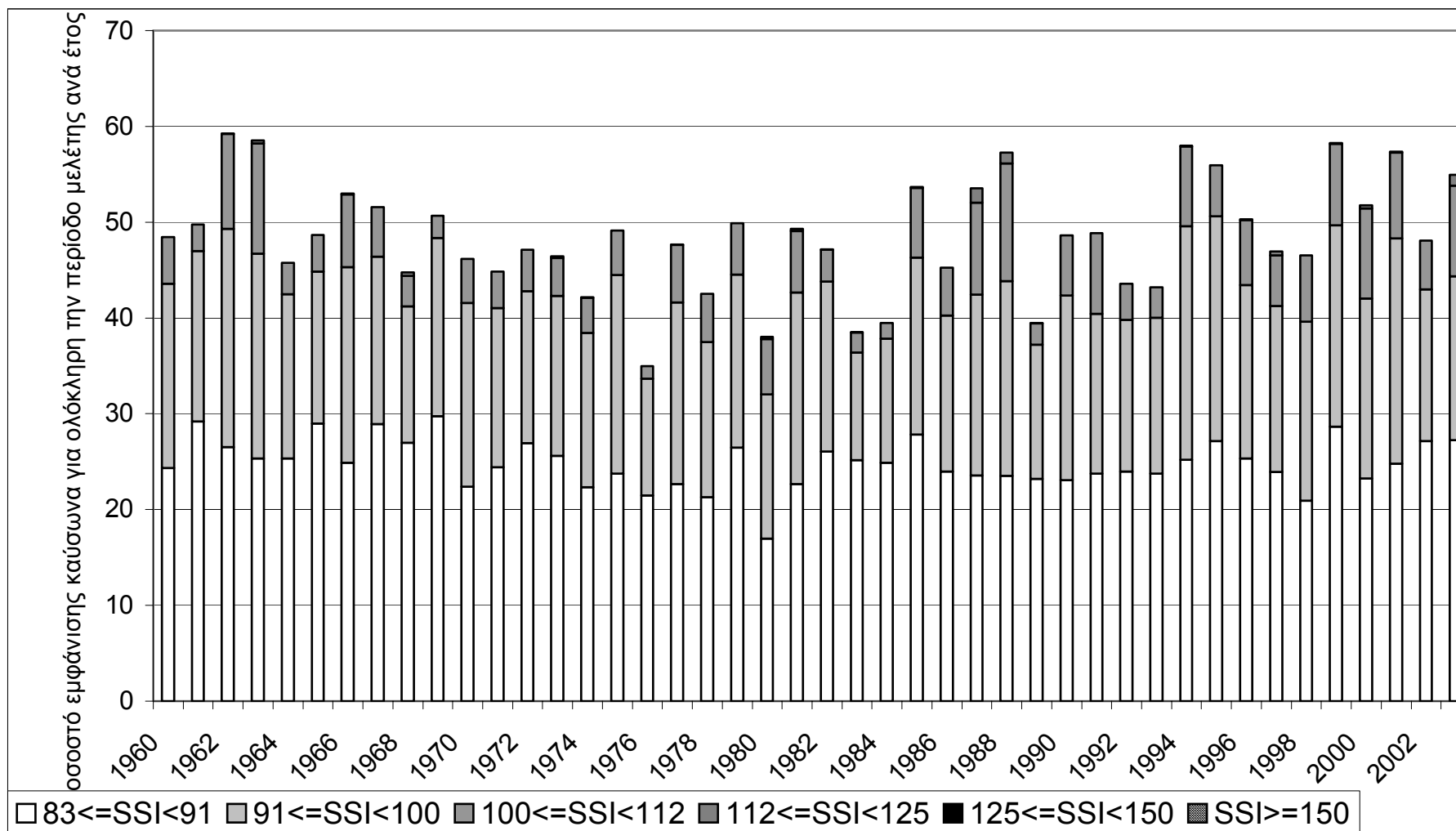
Σχήμα 2.1. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά έτος στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνας, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη



Σχήμα 2.2. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά έτος σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη



Σχήμα 2.3. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά έτος στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνας, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη



Σχήμα 2.4. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά έτος σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη

χρόνων, δεν παρατηρήθηκε η πέμπτη και η έκτη βαθμίδα του δείκτη, δηλαδή οι βαθμίδες που αναφέρονται σε καταστάσεις εξαιρετικού κινδύνου θερμοπληξίας και έντονων προβλημάτων στο κυκλοφορικό σύστημα των ατόμων.

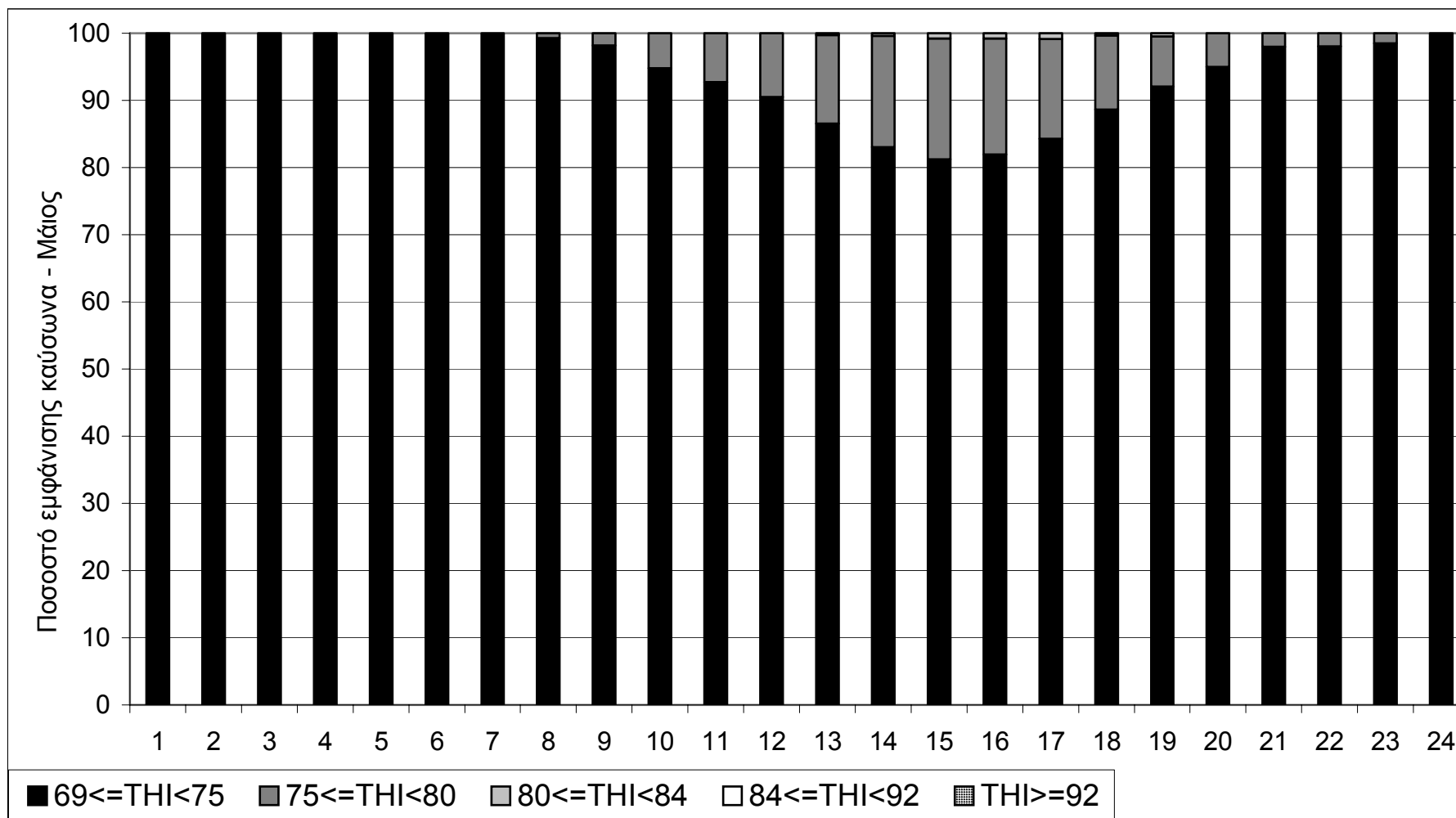
Η πρώτη διαφοροποίηση των δύο δεικτών εντοπίζεται στο ποσοστό εμφάνισης καύσωνα για την περίοδο μελέτης χρησιμοποιώντας τον SSI. Στο Σχήμα 2.4 φαίνεται ότι το έτος με τη μικρότερη διάρκεια θερμών ημερών είναι το 1976, ενώ το επόμενο έτος με λίγο μεγαλύτερη χρονική θερμική διάρκεια είναι το 1980. Το τελευταίο παρουσιάζει έντονες καταστάσεις δυσφορίας.

2.3.2. Μελέτη των δεικτών THI και SSI σε μηνιαία βάση

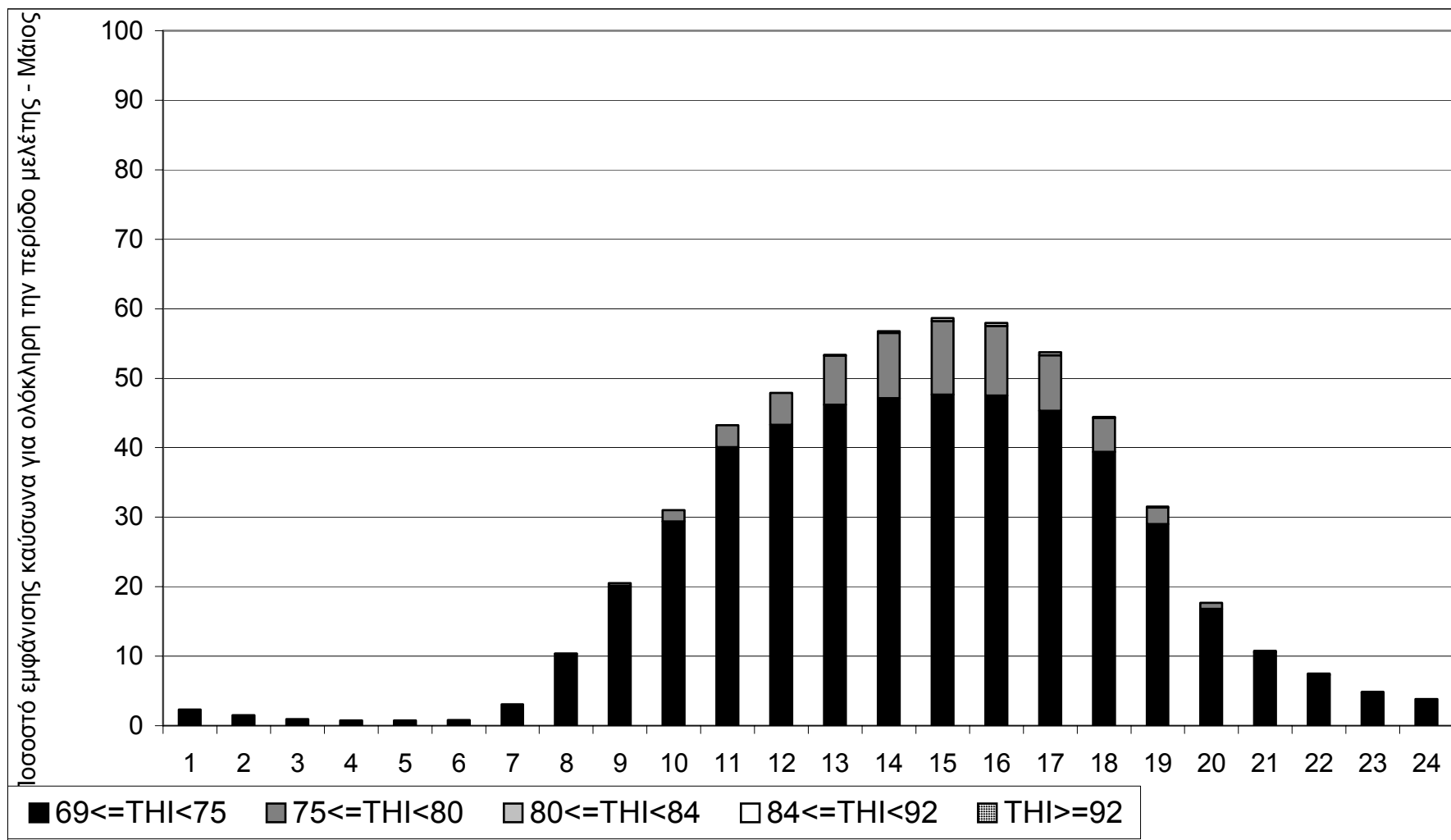
Ο Μάιος (Σχήμα 2.5, Σχήμα 2.6) παρουσιάζει δυσφορία που φτάνει σε ποσοστό μέχρι και 68% τις μεσημβρινές ώρες, ενώ τις πρώτες πρωινές και τις βραδινές ώρες το ποσοστό ελαττώνεται σημαντικά και ελαχιστοποιείται. Πιο συγκεκριμένα, ο μήνας σημειώνει μέγιστο δυσφορίας από τις 1500 έως τις 1600. Το μέγιστο της δυσφορίας αντιστοιχεί στις περιπτώσεις όπου όλοι οι άνθρωποι του συνόλου αισθάνονται δυσφορία. Σημαντικές είναι και οι περιπτώσεις όπου οι μισοί άνθρωποι του συνόλου αισθάνονται δυσφορία, περιπτώσεις που εντοπίζονται από τις 0800 έως και τις 2300, με μέγιστο στις 1500-1600. Τις υπόλοιπες ώρες δυσφορούν κυρίως οι ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού (υπερήλικες). Μελετώντας τις περιπτώσεις καύσωνα για ολόκληρη την περίοδο μελέτης (Σχήμα 2.6) παρατηρείται ότι η ατμόσφαιρα αρχίζει να γίνεται αποπνικτική κυρίως από την ανατολή του ηλίου κι έπειτα, μέχρι και τις βραδινές ώρες (2300-2400), ενώ στις πρώτες πρωινές ώρες οι περιπτώσεις δυσφορίας είναι εξαιρετικά σπάνιες.

Τον Ιούνιο η δυσφορία φτάνει ~94% τις μεσημβρινές ώρες, ενώ το ελάχιστο ποσοστό ~18% στις πρώτες πρωινές ώρες (0500). Ο Ιούνιος (Σχήμα 2.7, Σχήμα 2.8) παρουσιάζει μέγιστο δυσφορίας από τις 1300 έως και τις 1800. Σημειώνονται και ελάχιστες περιπτώσεις ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας. Οι περιπτώσεις όπου όλοι οι άνθρωποι αισθάνονται δυσφορία σημειώνονται από τις 1000 μέχρι και τις 2000, με μέγιστο στις 1500-1600. Με την ανατολή του ηλίου (0700) αυξάνονται σημαντικά οι περιπτώσεις δυσφορίας, οι οποίες παρουσιάζουν πτωτική τάση από τις 2100, σημειώνοντας ελάχιστο στις 0500. Τέλος, η κατάσταση όπου λίγοι άνθρωποι αισθάνονται δυσφορία παρουσιάζει μέγιστο στις 0900 και στις 2000, ενώ κατά τη διάρκεια του μεσημεριού ελαττώνονται οι περιπτώσεις της πρώτης βαθμίδας και αυξάνονται οι περιπτώσεις των άλλων βαθμίδων με εντονότερα προβλήματα. Με άλλα λόγια, το μεσημέρι οι άνθρωποι δυσφορούν περισσότερο από τις υπόλοιπες ώρες της ημέρας.

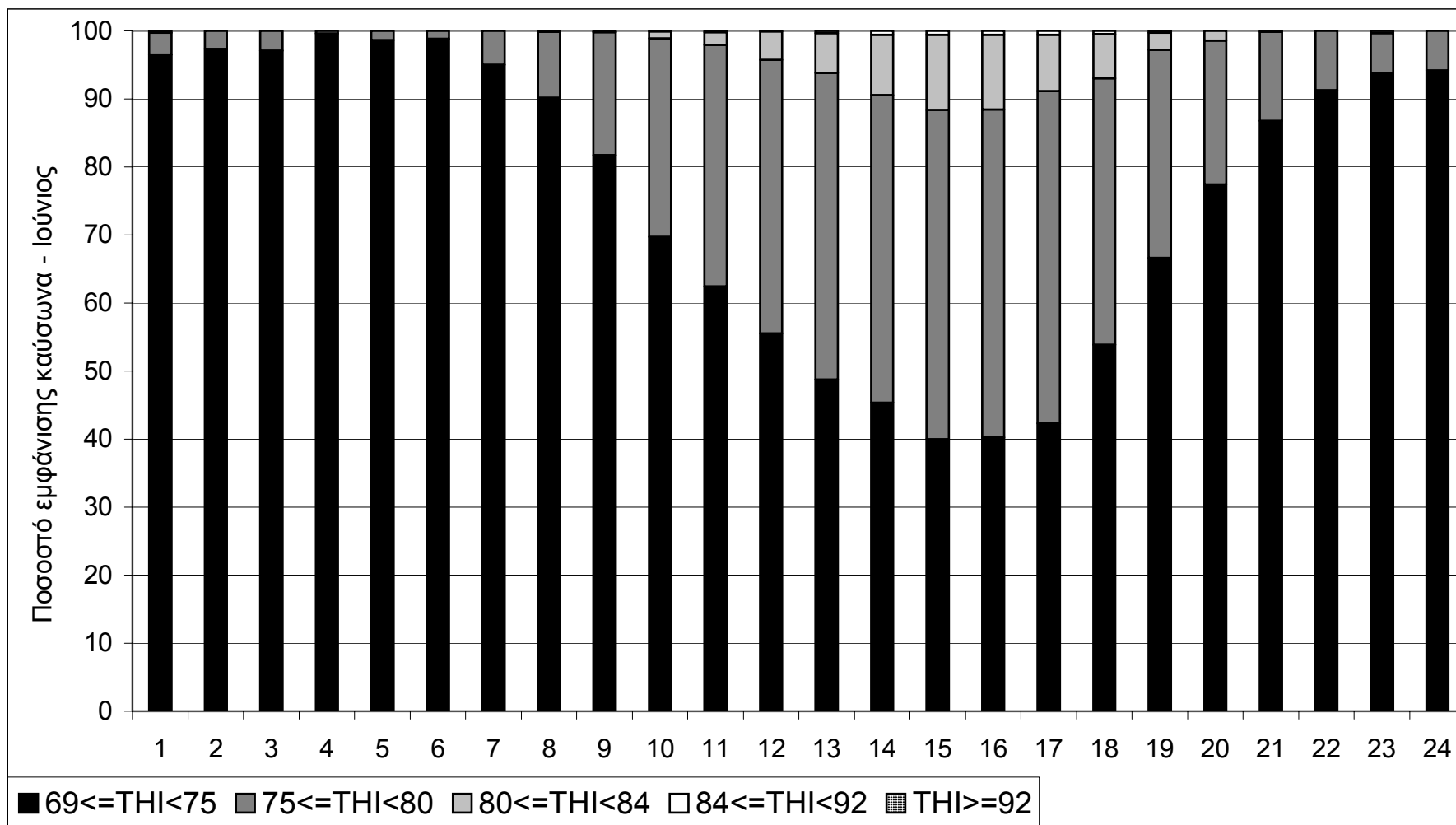
Κατά τη διάρκεια του Ιουλίου (Σχήμα 2.9, Σχήμα 2.10), το 98% των ημερών ολόκληρης της περιόδου μελέτης παρουσιάζει δυσφορία, άλλοτε έντονη και άλλοτε λιγότερο έντονη, από τις 1100 έως και τις 1800. Η αποπνικτική ατμόσφαιρα λόγω υπερβολικής ζέστης αυξάνεται στη Θεσσαλονίκη και σημειώνονται και ακραίες περιπτώσεις ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας (τέταρτη βαθμίδα του THI). Η τέταρτη βαθμίδα κατέχει ένα σημαντικό ποσοστό μεταξύ των περιπτώσεων δυσφορίας και εντοπίζεται από τις 1000 έως και τις 2000, με μέγιστες τις μεσημβρινές ώρες και τις πρώτες απογευματινές ώρες (1300-1700). Πιο αναλυτικά, οι περιπτώσεις όπου λίγοι άνθρωποι αισθάνονται δυσφορία (πρώτη βαθμίδα του THI) παρουσιάζουν μέγιστο τις βραδινές ώρες 2300-0100, σημειώνουν ένα πρώτο ελάχιστο τις πρώτες πρωινές



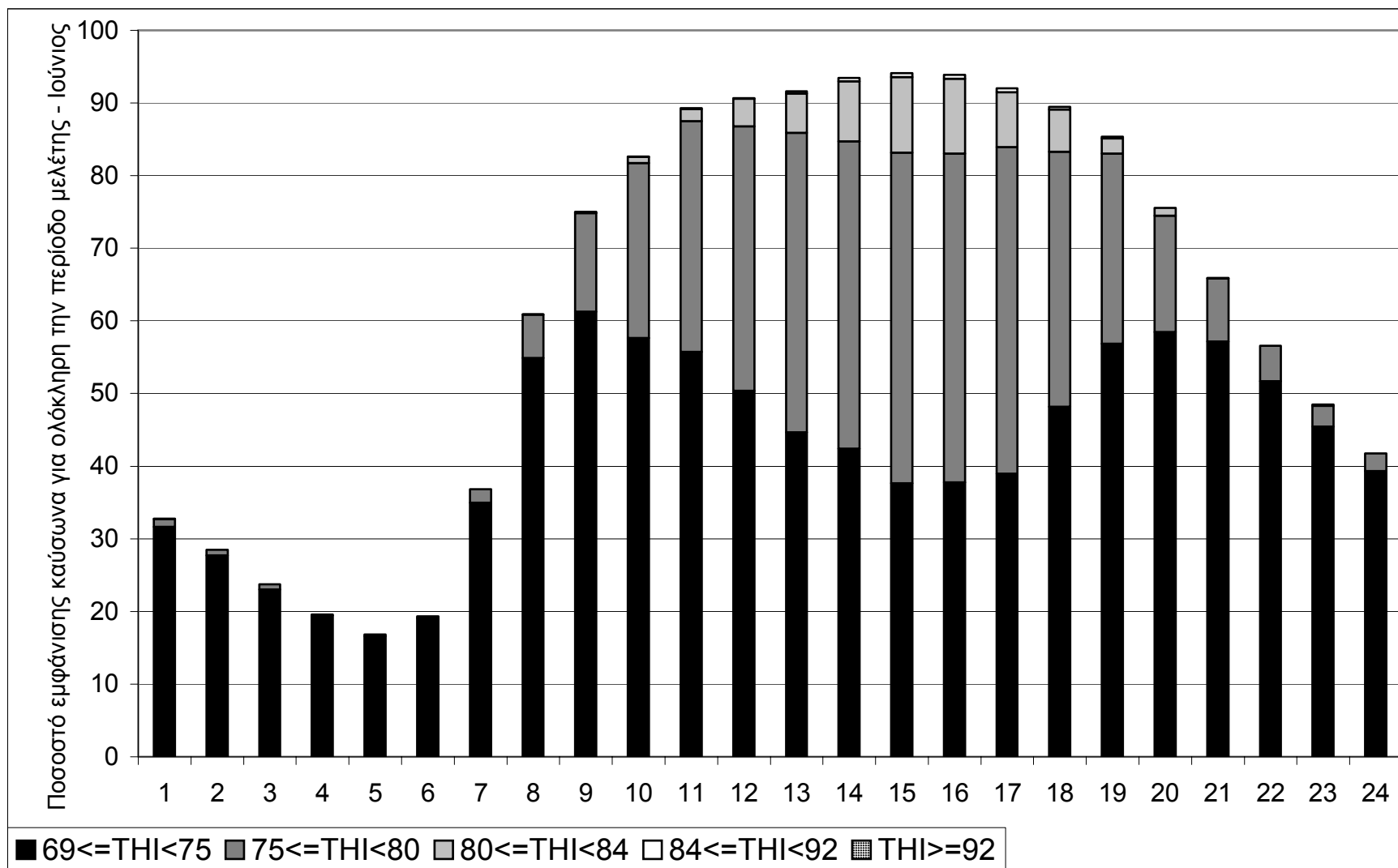
Σχήμα 2.5. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνα, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Μάιο



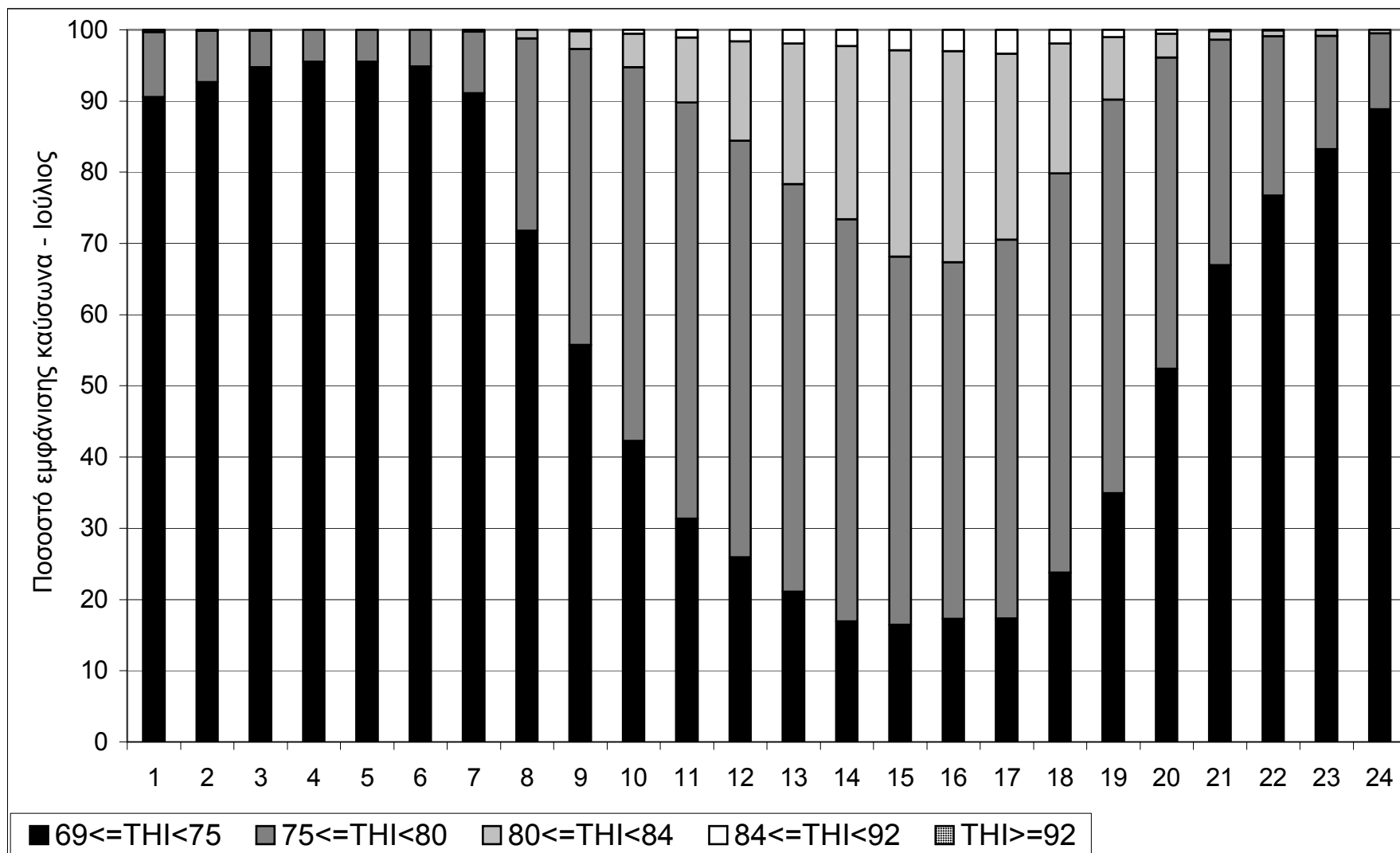
Σχήμα 2.6. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Μάιο



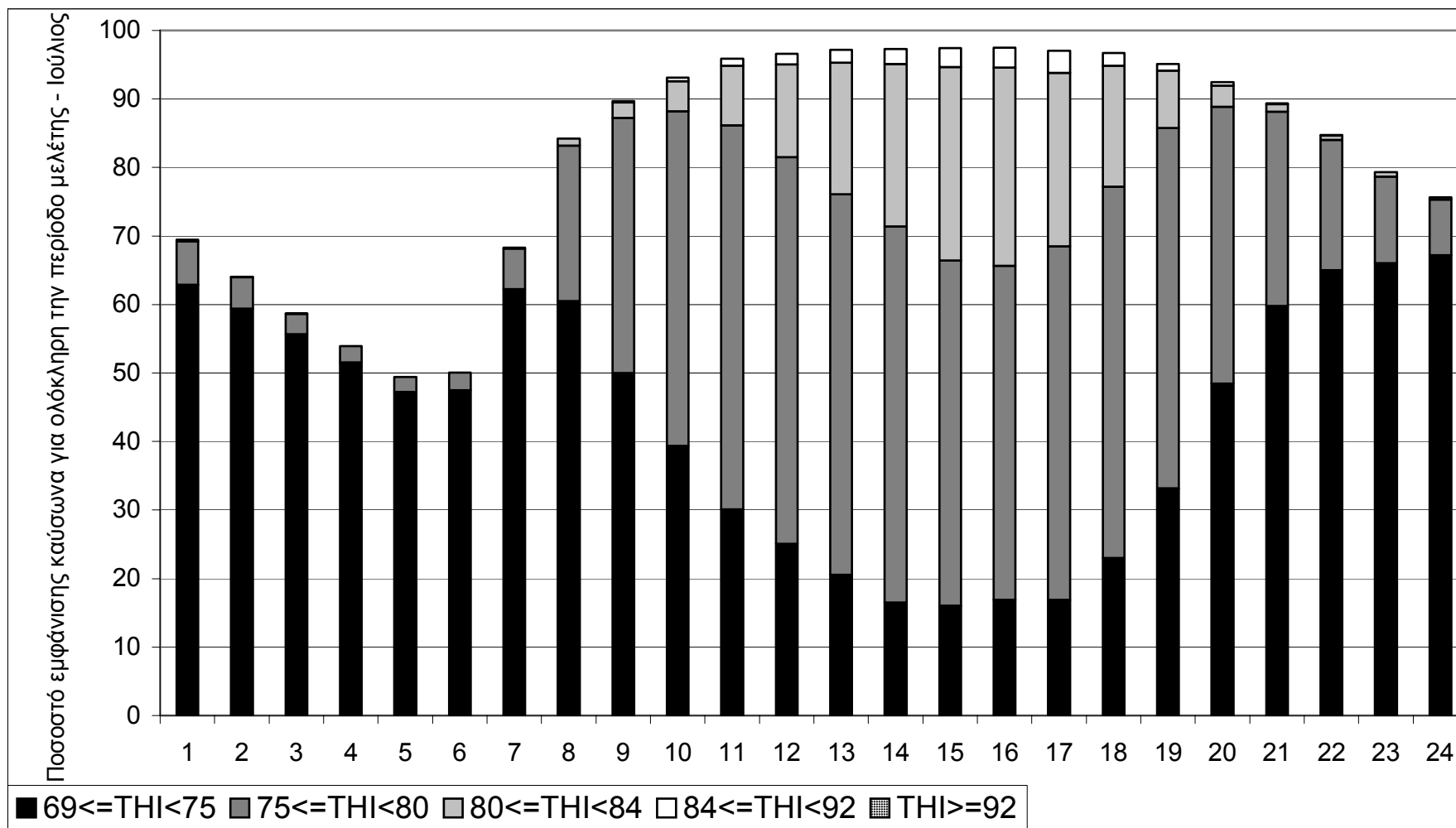
Σχήμα 2.7. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνας, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούνιο



Σχήμα 2.8. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούνιο



Σχήμα 2.9. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνας, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούλιο



Σχήμα 2.10. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούλιο

ώρες 0500-0600, ενώ το δεύτερο ελάχιστο παρατηρείται το μεσημέρι στη διάρκεια 1400-1700. Οι περιπτώσεις στις οποίες από ένα σύνολο ατόμων οι μισοί άνθρωποι αισθάνονται δυσφορία παρουσιάζουν μέγιστο από τις 1000 έως και τις 2000, με το ελάχιστο να εντοπίζεται στις 0500-0600. Οι τελευταίες δύο σημαντικές περιπτώσεις για την κατάσταση των ατόμων ενός συνόλου παρουσιάζουν μέγιστο το μεσημέρι από τις 1500 έως τις 1600. Επομένως, η περισσότερο επικίνδυνη χρονική περίοδος είναι η μεσημβρινή, ενώ η λιγότερο επικίνδυνη είναι νωρίς το πρωί.

Ο Αύγουστος (Σχήμα 2.11, Σχήμα 2.12) παρουσιάζει την ίδια διακύμανση με τον Ιούλιο (ποσοστό δυσφορίας από ολόκληρη την περίοδο μελέτης ~98% από τις 1200 έως και τις 1700). Τον Ιούλιο, όμως, τα φαινόμενα δυσφορίας διαρκούν κοντά 2-3 ώρες περισσότερο από τα αντίστοιχα του Αυγούστου. Για παράδειγμα τον Αύγουστο οι περιπτώσεις όπου όλοι οι άνθρωποι αισθάνονται δυσφορία παρατηρούνται από τις 0900 μέχρι τις 2100, ενώ οι αντίστοιχες περιπτώσεις για τον Ιούλιο παρατηρούνται μία ώρα νωρίτερα μέχρι και δύο ώρες αργότερα.

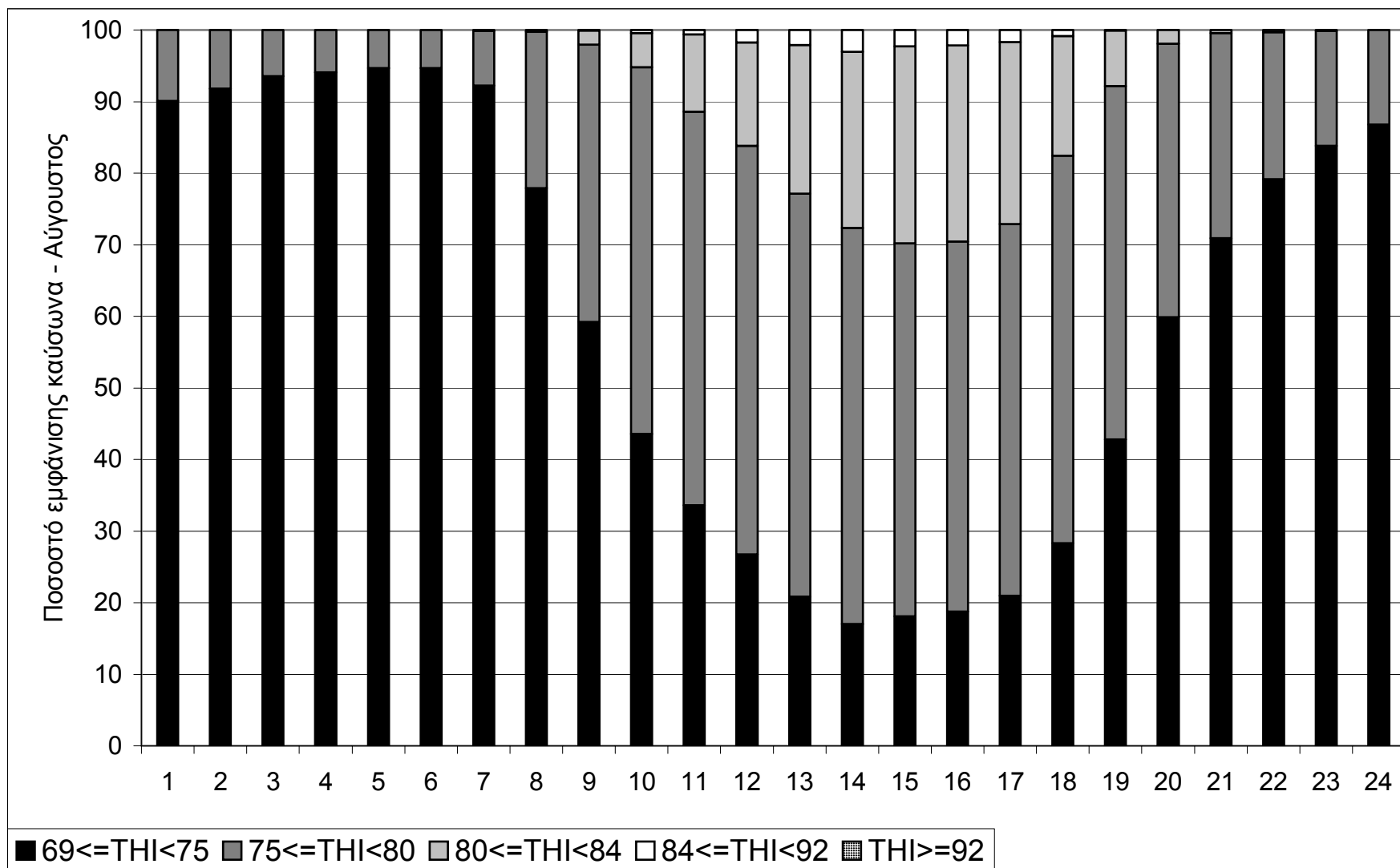
Οι περιπτώσεις δυσφορίας μειώνονται σημαντικά το Σεπτέμβριο (Σχήμα 2.13, Σχήμα 2.14). Το μήνα αυτό δεν παρατηρούνται περιπτώσεις ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας λόγω έντονης ζέστης. Επιπλέον, παρατηρούνται λίγες περιπτώσεις δυσφορίας ολόκληρου σχεδόν του πληθυσμού και μόνο κατά τις μεσημβρινές ώρες μέχρι και τις απογευματινές ώρες (1300-1800). Το ποσοστό δυσφορίας αυξάνεται από τις 0800, κορυφώνεται το μεσημέρι (1400-1500, ποσοστό δυσφορίας ~83%) και ελαττώνεται βαθμιαία παρουσιάζοντας ελάχιστο στις 0500-0600 (ποσοστό δυσφορίας ~6%). Τις μεσημβρινές ώρες η πρώτη βαθμίδα ελαττώνεται και αυξάνεται σημαντικά η δεύτερη βαθμίδα του THI, της οποίας το μέγιστο εντοπίζεται στις 1500.

Μετά τη μηνιαία – ωριαία μελέτη του THI ακολουθεί η αντίστοιχη μελέτη του SSI. Ο δείκτης αυτός παρουσιάζει παρόμοια αποτελέσματα με λίγες διαφοροποιήσεις σχετικές με τη διάρκεια των φαινομένων δυσφορίας.

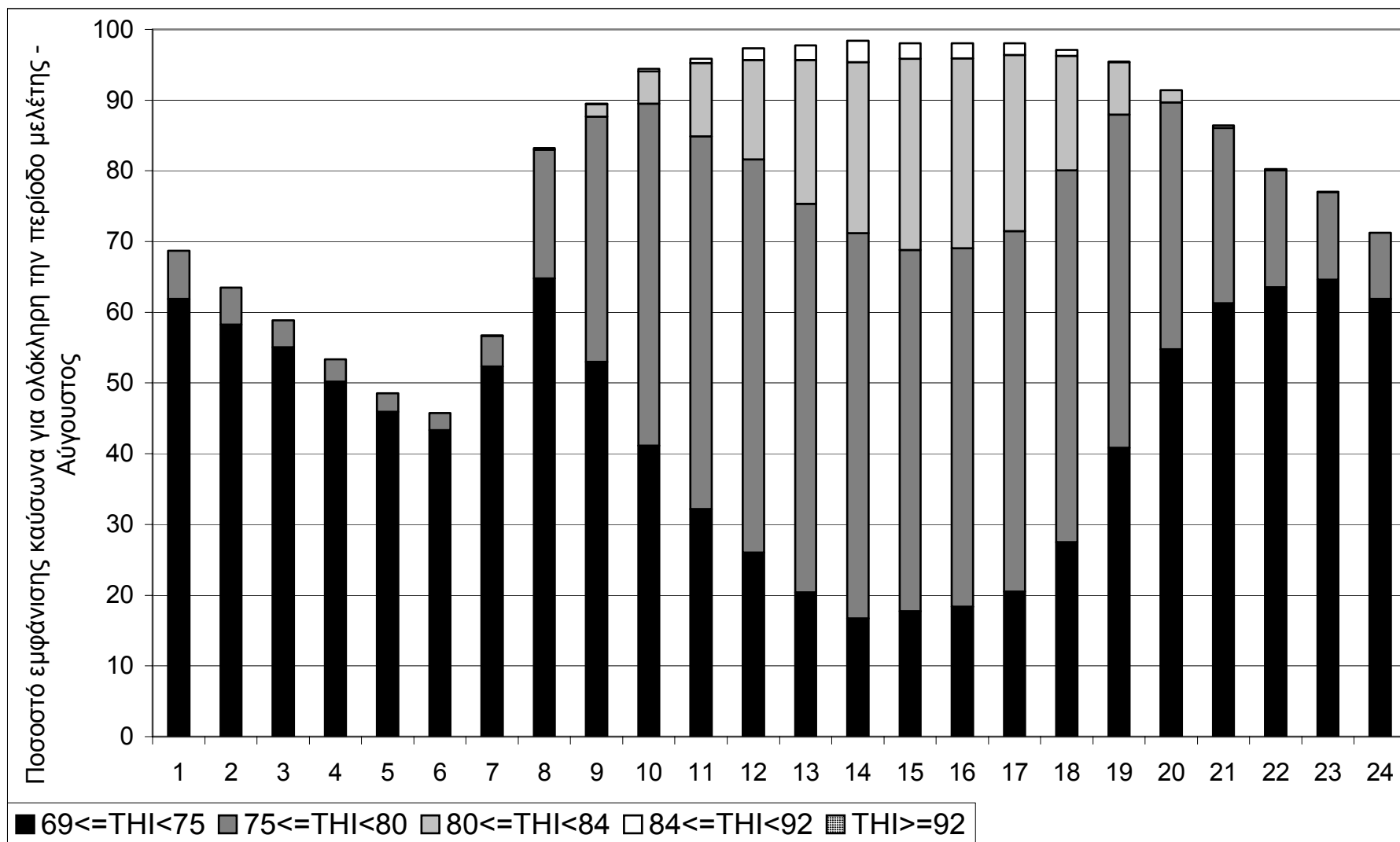
Πιο αναλυτικά, το Μάιο (Σχήμα 2.15, Σχήμα 2.16) σημειώνεται εξαιρετικά θερμό περιβάλλον (τρίτη κατηγορία) σε ελάχιστες περιπτώσεις και μόνο τις μεσημβρινές και τις απογευματινές ώρες (1200-1900). Οι περιπτώσεις δυσφορίας από ολόκληρη την περίοδο μελέτης φτάνουν σε ποσοστό ~46% στην διάρκεια του μεσημεριού, ενώ το περιβάλλον είναι αρκετά άνετο μετά τα μεσάνυχτα μέχρι την ανατολή του ηλίου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας παρατηρούνται κυρίως οι περιπτώσεις άνετου θερμού περιβάλλοντος, με τους υπερήλικες να αισθάνονται δυσφορία. Το θερμό περιβάλλον αρχίζει να σημειώνεται από τις 1000 έως και τις 2000.

Κατά τη διάρκεια του Ιουνίου (Σχήμα 2.17, Σχήμα 2.18), το 89% περίπου ολόκληρης της περιόδου μελέτης παρουσιάζει καταστάσεις δυσφορίας. Συγκεκριμένα, θερμό/άνετο περιβάλλον σημειώνεται κατά τις 0800 έως και τις 2400 κυρίως, με δύο μέγιστα στα ποσοστά εμφάνισης στις 0900-1000 και στις 1900. Οι περιπτώσεις στις οποίες σημειώνεται θερμό περιβάλλον παρατηρούνται από τις 0800 μέχρι και τις 2200. Τέλος η τρίτη κατηγορία του SSI σημειώνεται από τις 1100 έως και τις 1900. Περιπτώσεις θερμοπληξίας και λιποθυμιών δεν εντοπίστηκαν τον Ιούνιο.

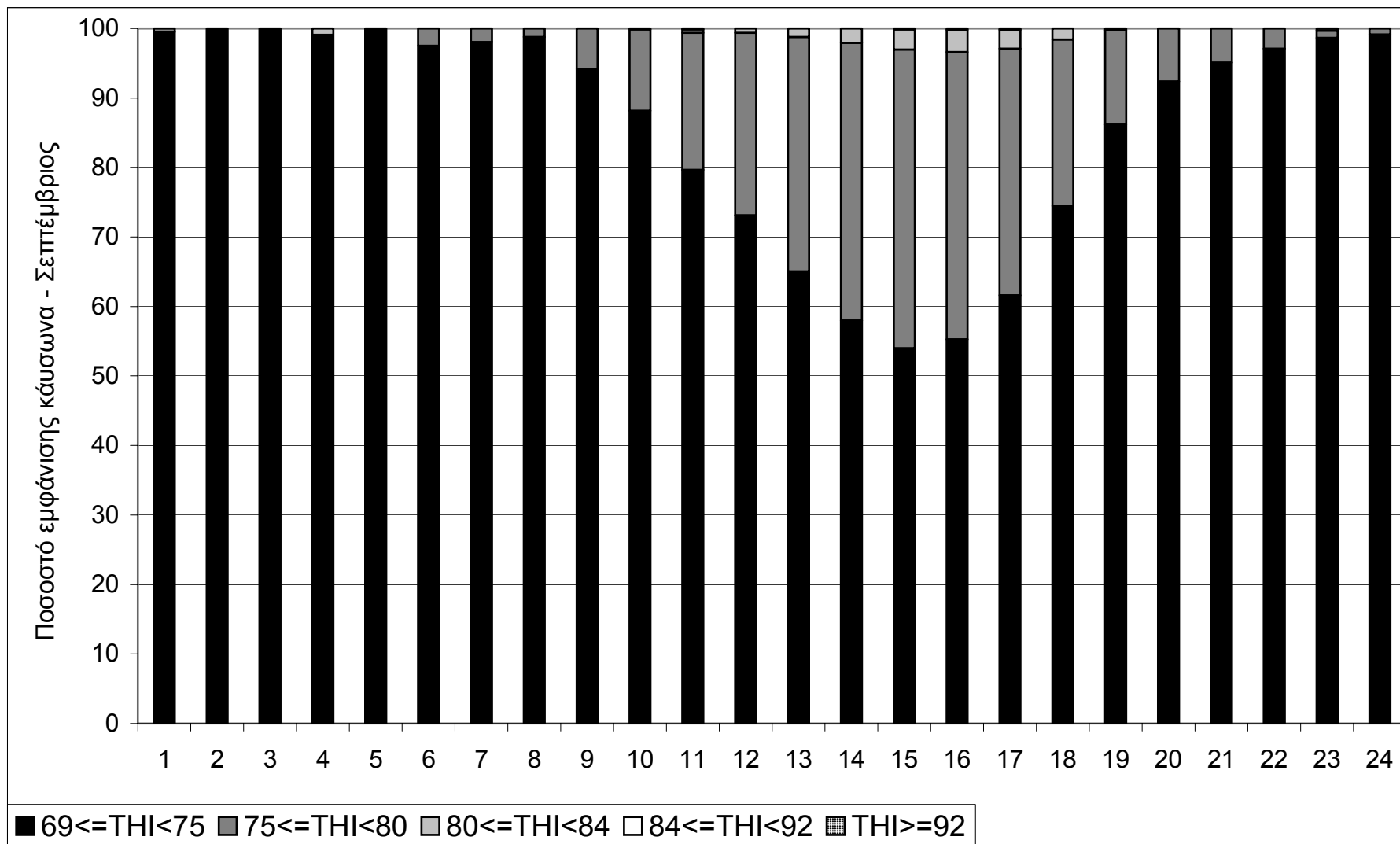
Τον Ιούλιο (Σχήμα 2.19, Σχήμα 2.20) τα επεισόδια θερμού και εξαιρετικά θερμού περιβάλλοντος πολλαπλασιάζονται και το κυριότερο παρατηρούνται περιπτώσεις έντονης δυσφορίας και θερμοπληξίας. Αναλυτικότερα, σε ποσοστό μέχρι 96% παρατηρείται δυσφορία στην ατμόσφαιρα λόγω ζέστης και ιδιαίτερα τις μεσημβρινές ώρες, από τις 1100, έως και τις απογευματινές ώρες (1900), όπου πλέον αρχίζει η δύση του ηλίου.



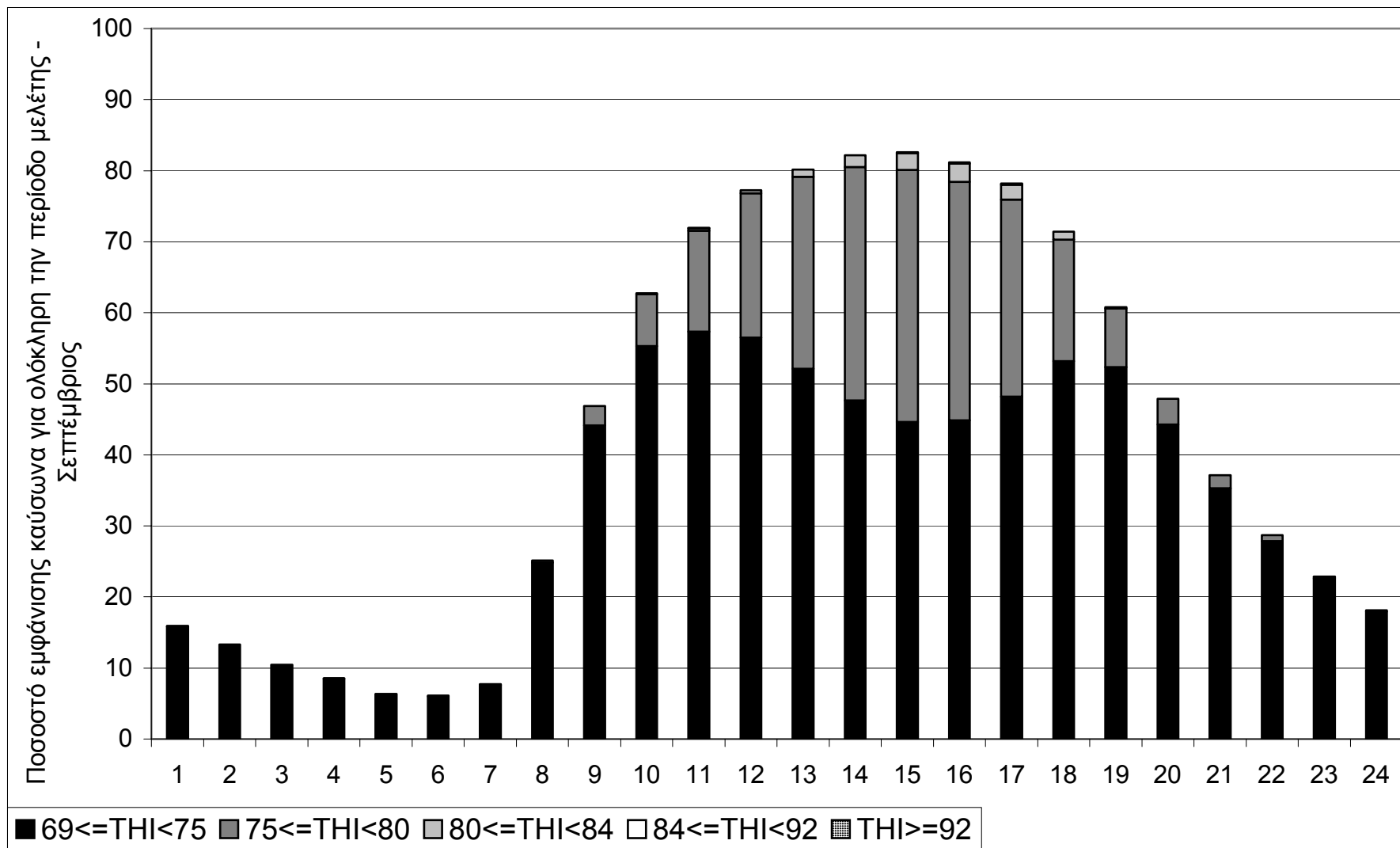
Σχήμα 2.11. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνα, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Αύγουστο



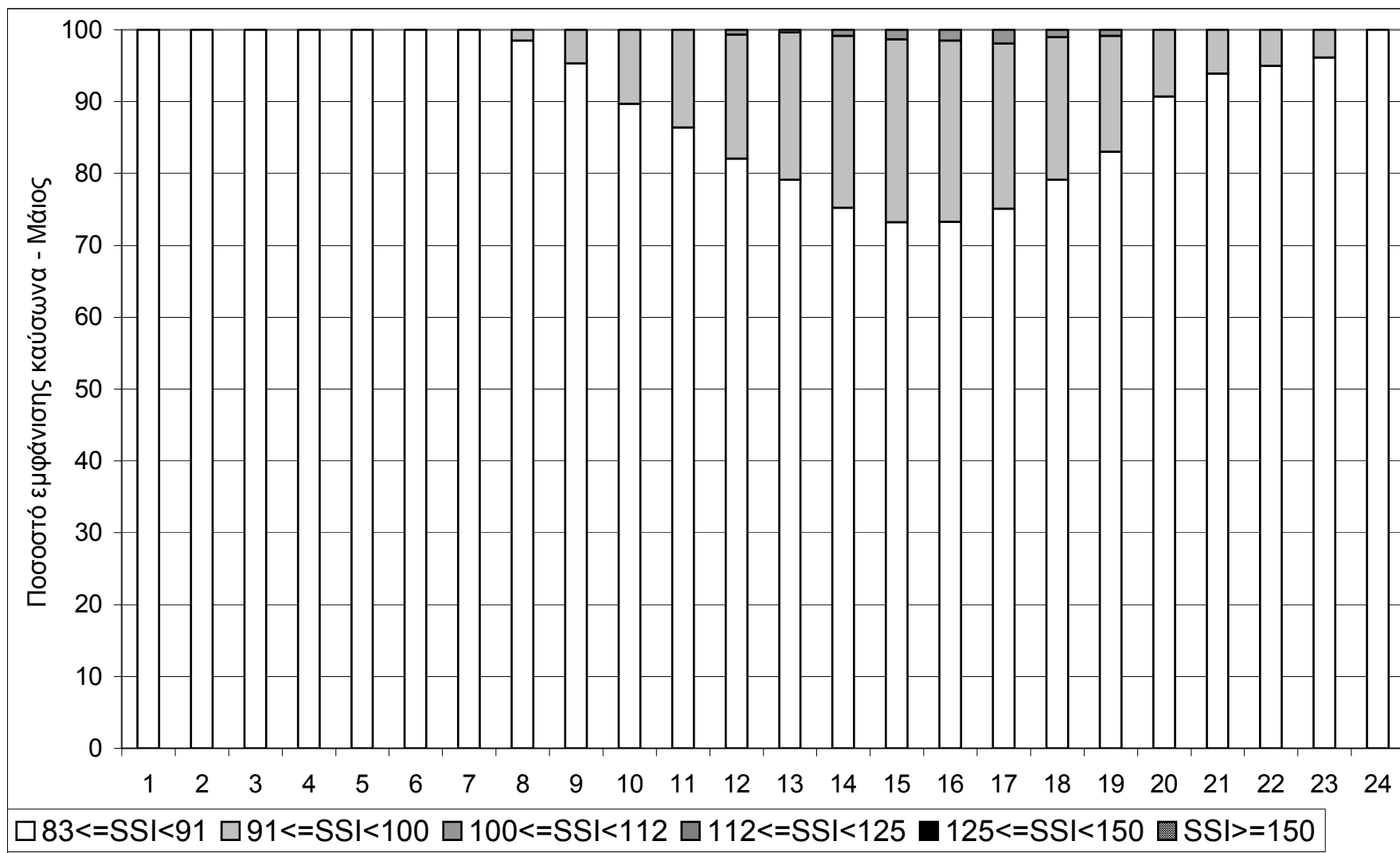
Σχήμα 2.12. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Αύγουστο



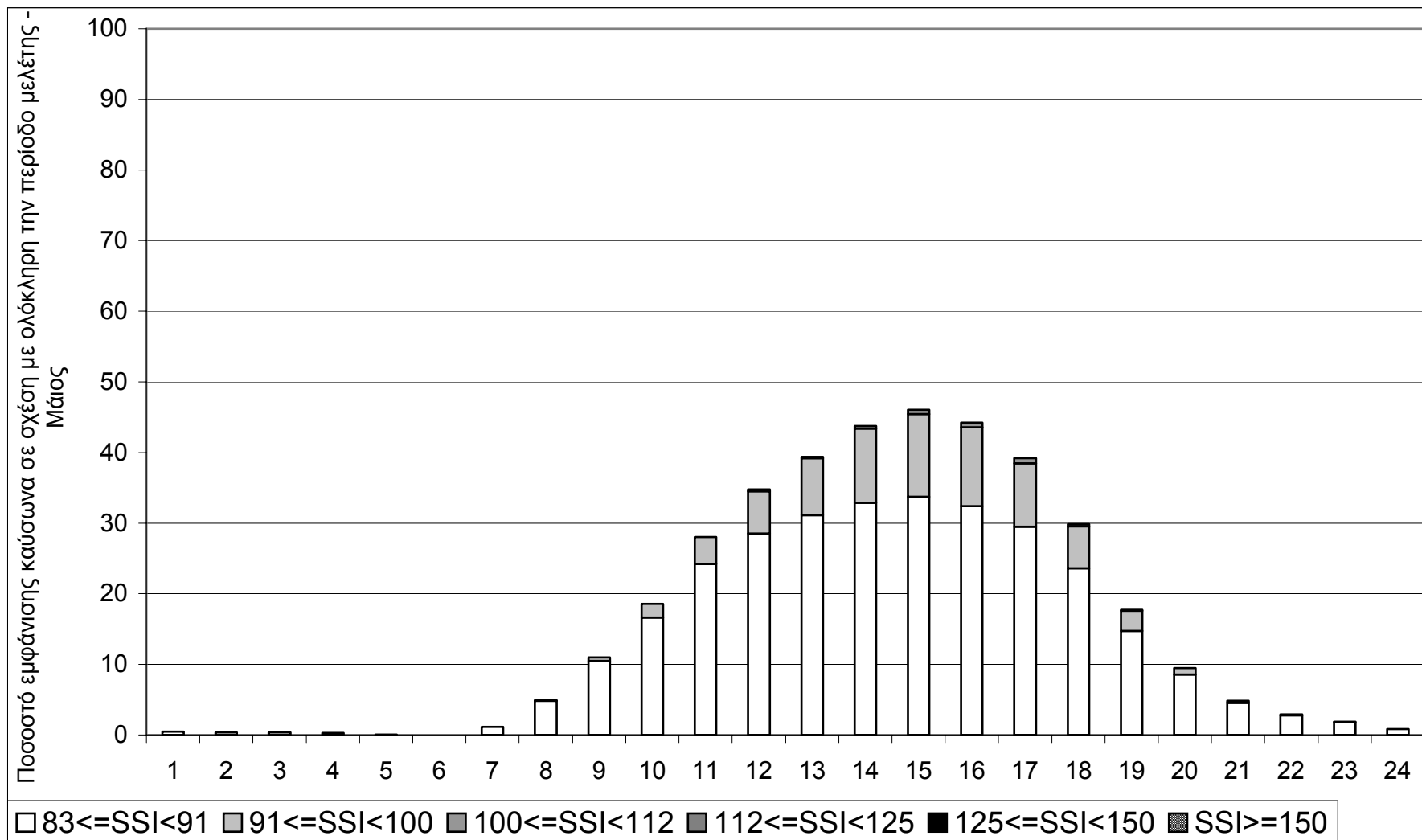
Σχήμα 2.13. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνα, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Σεπτέμβριο



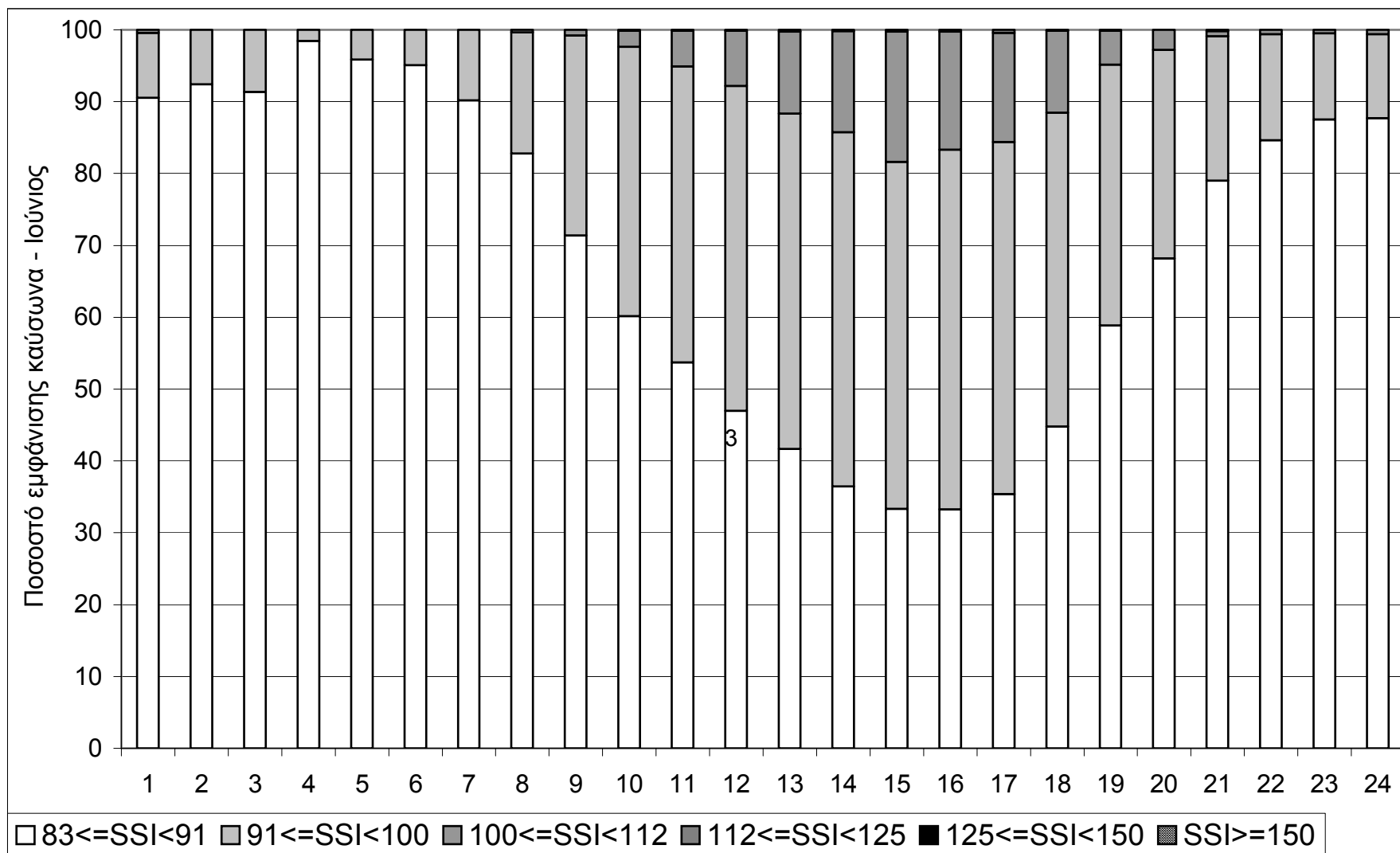
Σχήμα 2.14. Ποσοστό εμφάνισης του THI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Σεπτέμβριο



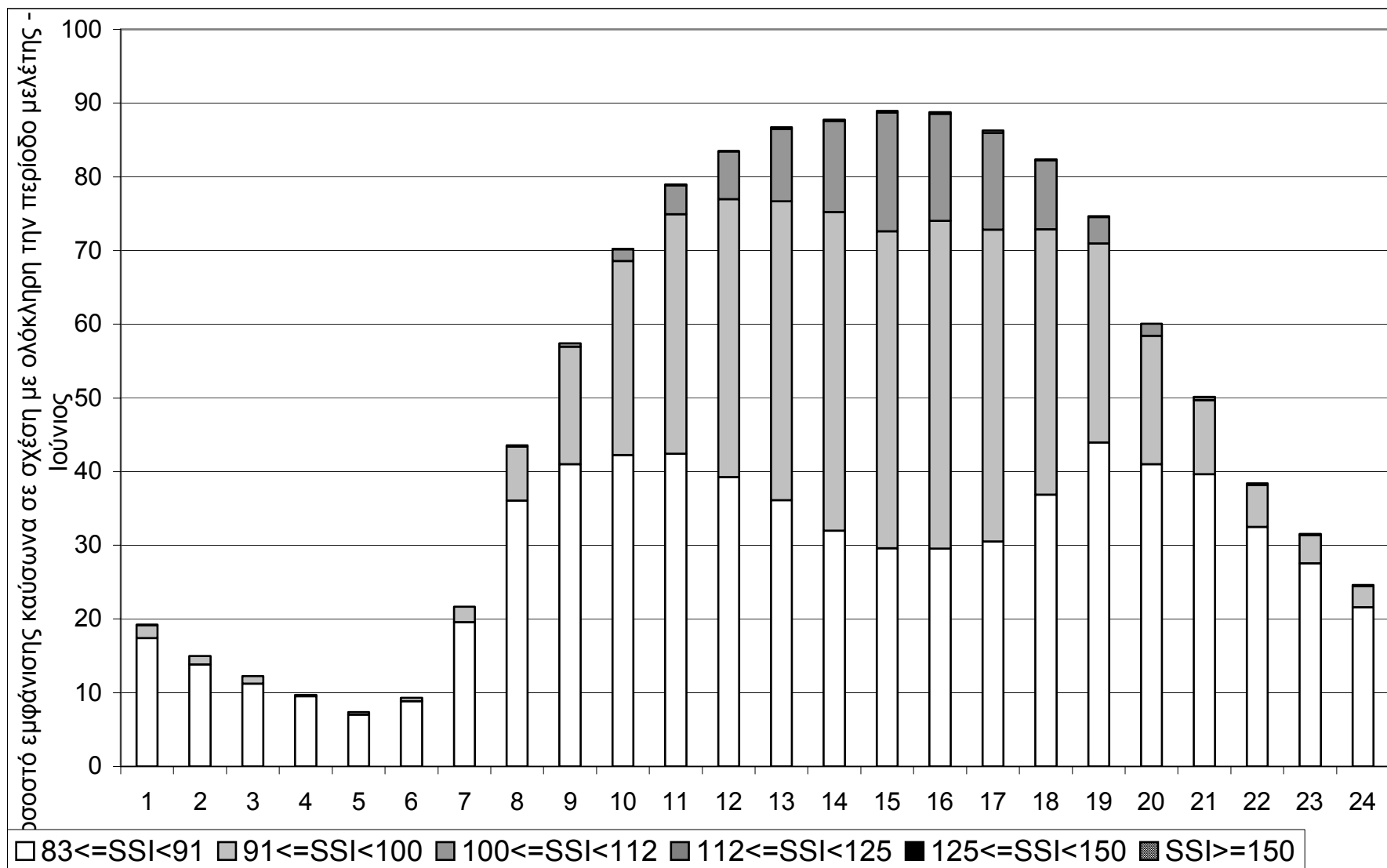
Σχήμα 2.15. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνας, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Μάιο



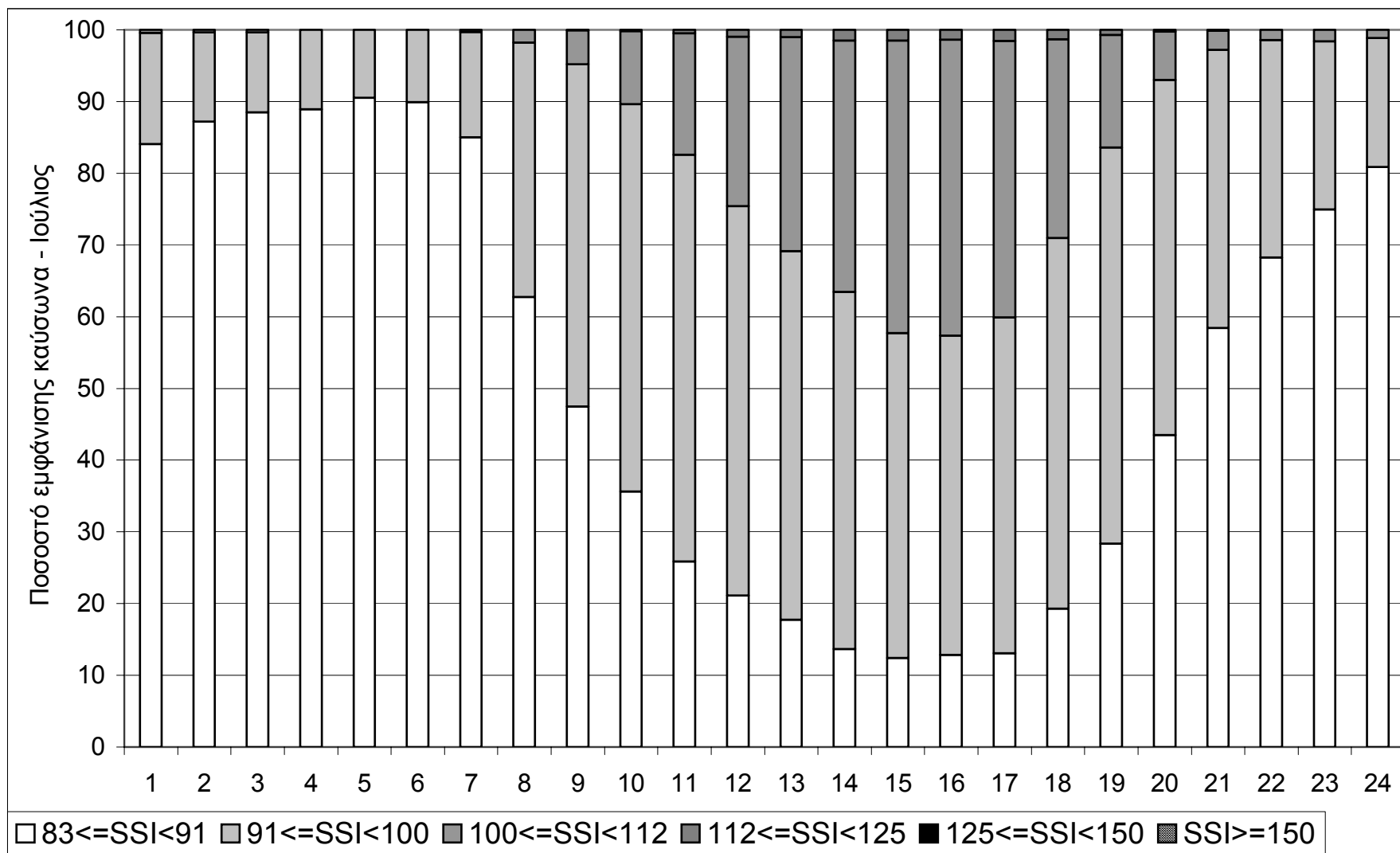
Σχήμα 2.16. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Μάιο



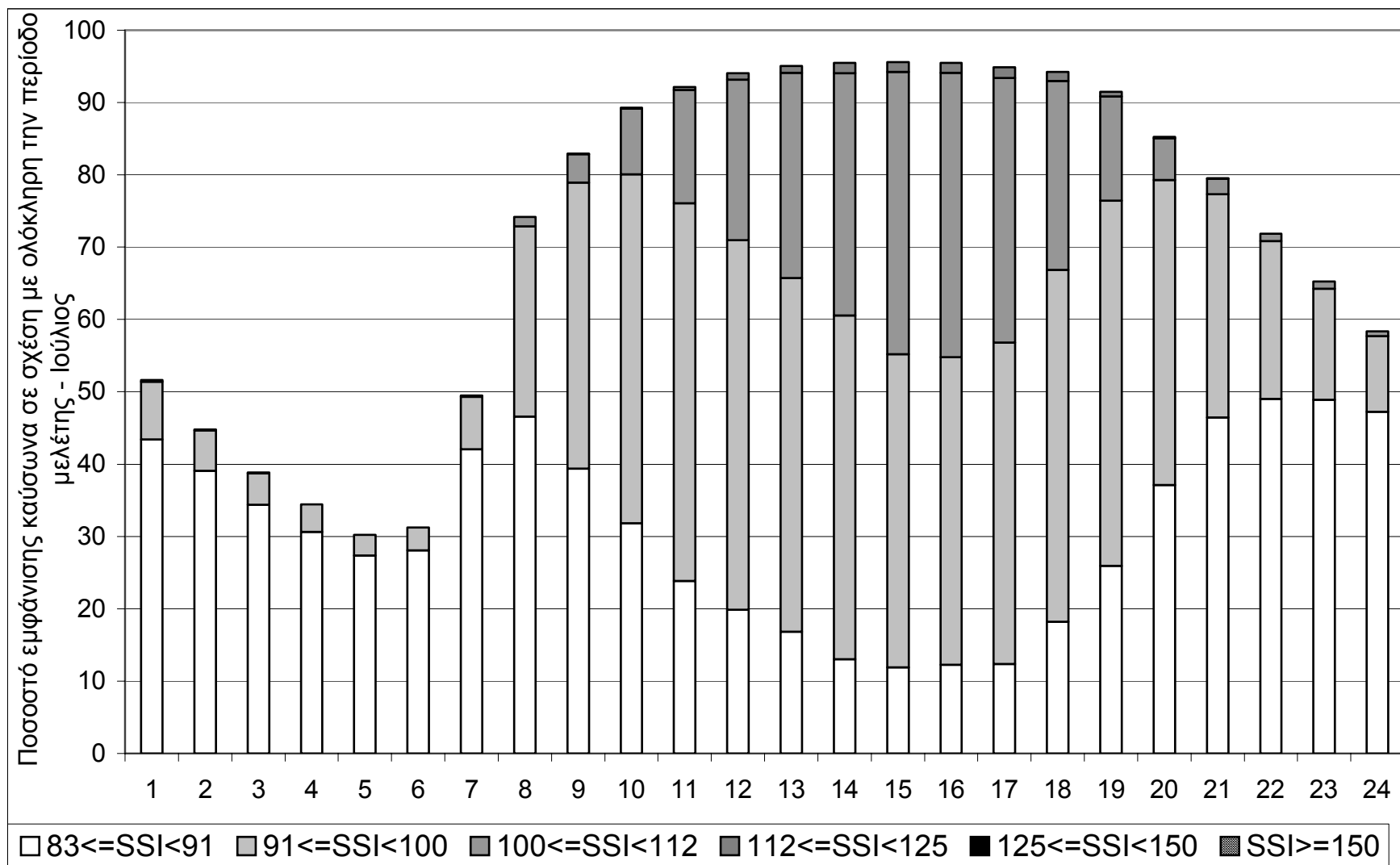
Σχήμα 2.17. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνα, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούνιο



Σχήμα 2.18. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούνιο



Σχήμα 2.19. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνας, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούλιο



Σχήμα 2.20. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Ιούλιο

Ενώ καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας παρατηρείται θερμό περιβάλλον. Τα φαινόμενα γίνονται εξαιρετικά επικίνδυνα από την ανατολή του ηλίου (0800) κι έπειτα. Κατά τη διάρκεια του μεσημεριού τα εξαιρετικά θερμά επεισόδια γίνονται πολύ έντονα και συχνά και παρατηρείται θερμοπληξία στον πληθυσμό.

Παρόμοια διακύμανση με τον Ιούλιο, παρουσιάζει ο Αύγουστος (Σχήμα 2.21, Σχήμα 2.22). Το θερμό περιβάλλον παρατηρείται μέχρι ποσοστό ~96% με τις περιπτώσεις δυσφορίας και θερμοπληξίας να ελαττώνονται και να περιορίζονται κυρίως από τις 1200 έως τις 1700. Γενικότερα το ποσοστό εμφάνισης των περιπτώσεων με θερμό περιβάλλον είναι μικρότερο από το αντίστοιχο ποσοστό για τον Ιούλιο.

Τέλος, ο Σεπτέμβριος (Σχήμα 2.23, Σχήμα 2.24) παρουσιάζεται ηπιότερος στις θερμές καταστάσεις σε σχέση με όλους τους προηγούμενους μήνες (εκτός από το Μάιο). Το μεγαλύτερο ποσοστό εμφάνισης δυσφορίας είναι ~75% και σημειώνεται κατά τη διάρκεια του μεσημεριού, από τις 1400 έως τις 1600. Κατά τις πρώτες πρωινές ώρες δεν σημειώνονται ιδιαίτερα θερμές καταστάσεις, ενώ με την ανατολή του ηλίου αυξάνονται ταχύτατα οι περιπτώσεις δυσφορίας. Θερμές καταστάσεις σημειώνονται από τις 1000 έως τις 1900, ενώ εξαιρετικά θερμά επεισόδια παρατηρούνται από τις 1100 έως τις 1800, με μέγιστο στις μεσημβρινές ώρες.

2.3.3. Μελέτη των δεικτών THI και SSI σε ωριαία βάση

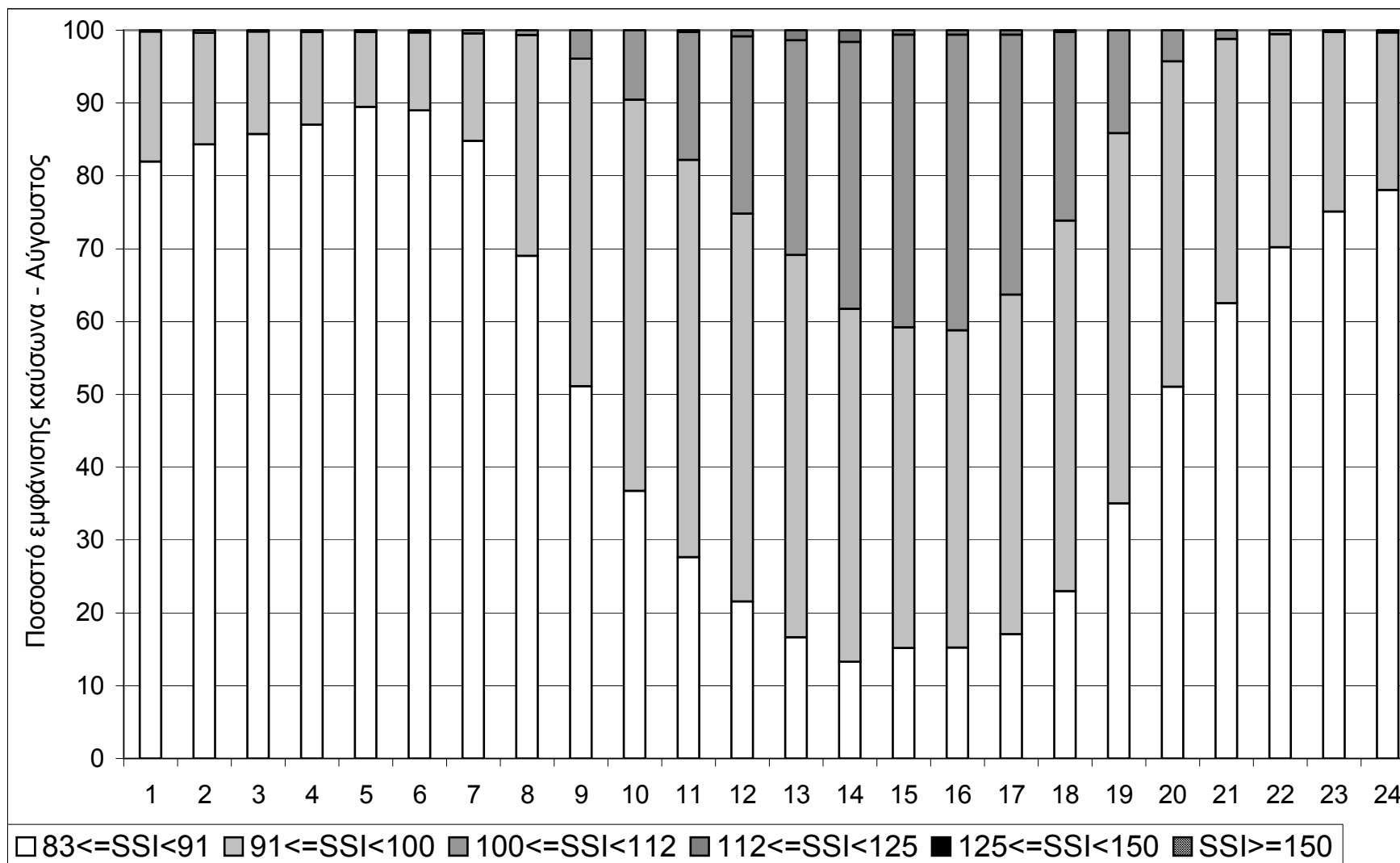
Λίγα άτομα του συνόλου αισθάνονται δυσφορία ιδιαίτερα τις πρώτες πρωινές και βραδινές ώρες, ενώ η κατηγορία αυτή ελαττώνεται μετά την ανατολή του ηλίου σημειώνοντας ελάχιστο στις 1500-1600 (Σχήμα 2.25). Η περίπτωση στην οποία τα μισά άτομα ενός συνόλου αισθάνονται δυσφορία παρουσιάζει μέγιστο ποσοστό εμφάνισης τις μεσημβρινές ώρες και ελάχιστο τις πρώτες πρωινές ώρες (0300-0600). Από τις 0900 έως και τις 2000 σημειώνονται επεισόδια καύσωνα όπου όλοι οι άνθρωποι δυσφορούν, ενώ από τις 1100 έως και τις 1800 σημειώνεται σε μικρό ποσοστό ελάττωση της εργασιακής αποδοτικότητας. Εξαιρετικά επικίνδυνη κατάσταση δεν σημειώθηκε σε καμία περίπτωση καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης.

Το 86% της περιόδου μελέτης παρουσιάζει μέγιστο δυσφορίας κατά τις μεσημβρινές κυρίως ώρες ενώ το ελάχιστο δυσφορίας αντιστοιχεί σε ποσοστό ~25% στη χρονική διάρκεια 0500-0600 (Σχήμα 2.26).

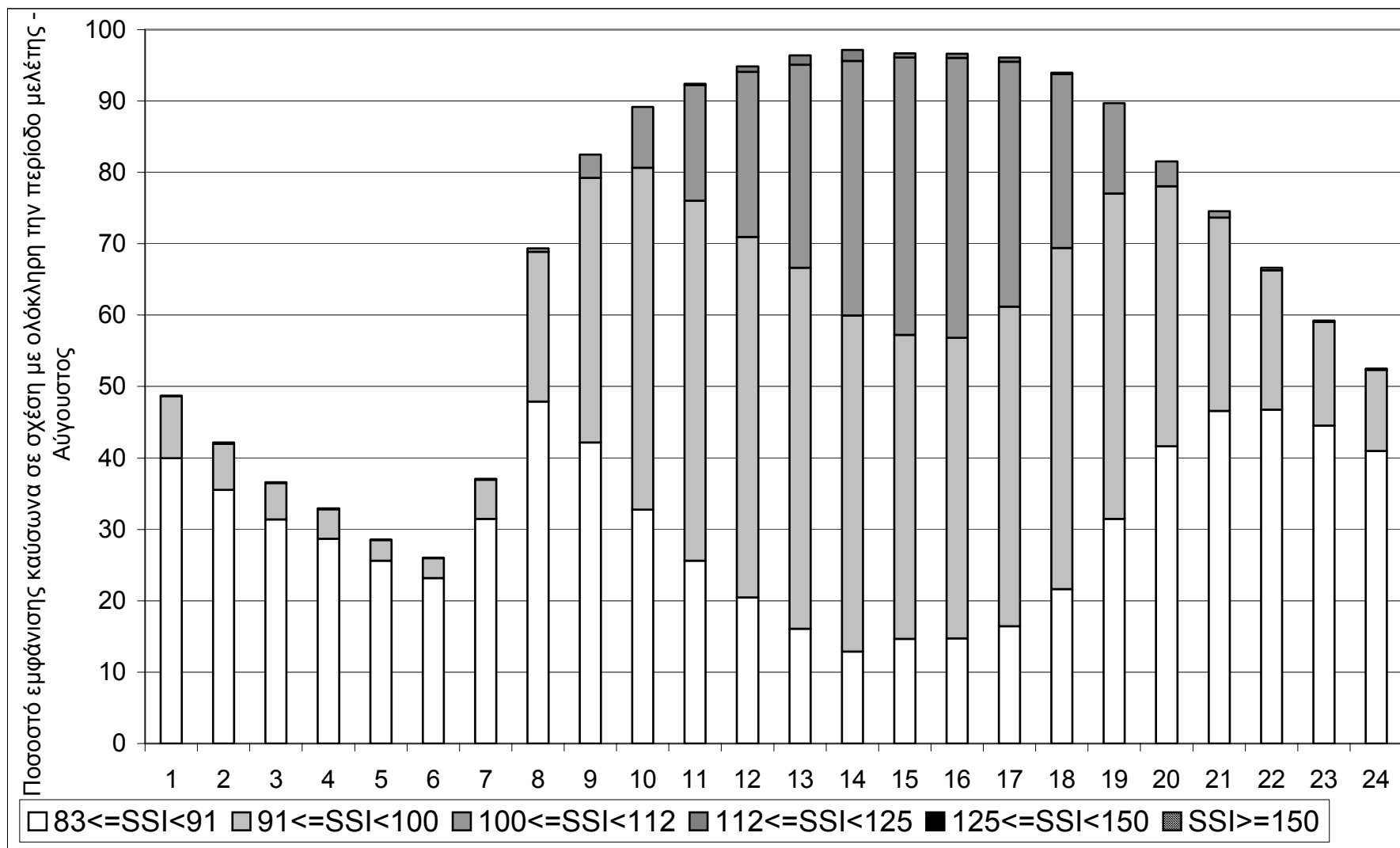
Η μελέτη του δείκτη SSI (Σχήμα 2.27, Σχήμα 2.28) παρουσιάζει παρόμοια διακύμανση με τον THI με ελάχιστες διαφορές. Οι διαφορές αυτές αναφέρονται κυρίως στα ποσοστά εμφάνισης της δυσφορίας ανά ώρα. Ενδεικτικά, το μέγιστο της δυσφορίας σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης εντοπίζεται στις 1400-1600 και αντιστοιχεί στο 80% περίπου ολόκληρης της περιόδου. Αντίθετα το ελάχιστο της δυσφορίας αναφέρεται σε ποσοστό ~14%. Στις μεσημβρινές ώρες σημειώνονται περιπτώσεις θερμοπληξίας και έντονης δυσφορίας, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας, κυρίως το μεσημέρι, σημειώνονται επεισόδια εξαιρετικά θερμού περιβάλλοντος.

2.3.4. Περιγραφή των ετών με τη μεγαλύτερη δυσφορία της περιόδου 1960-2003 στη Θεσσαλονίκη

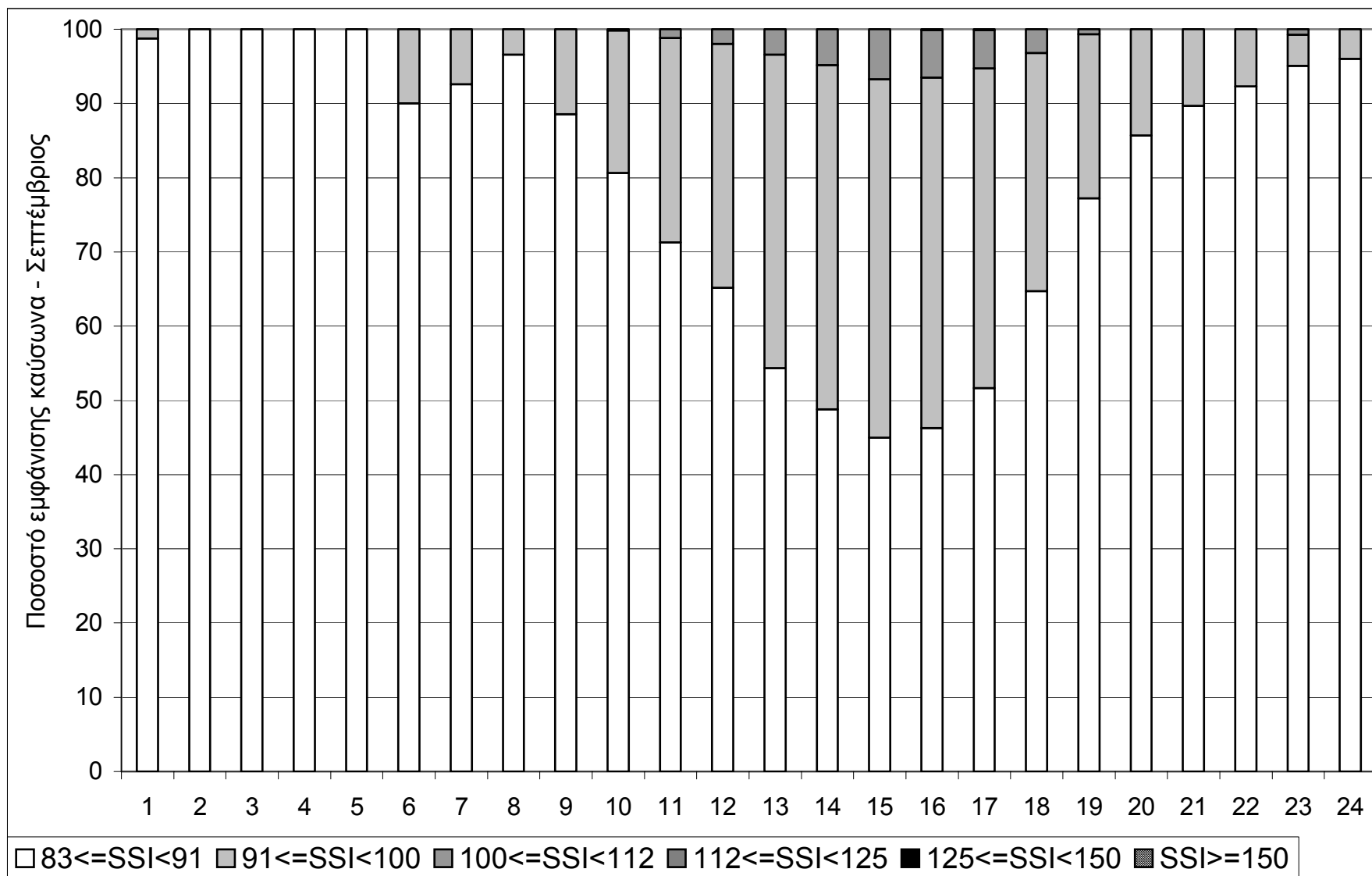
Η μελέτη της χρονοσειράς των επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη, οδηγεί σε δέκα θερμότερα έτη (1963, 1968, 1980, 1981, 1987, 1988, 1996, 1997, 2000, 2003) της



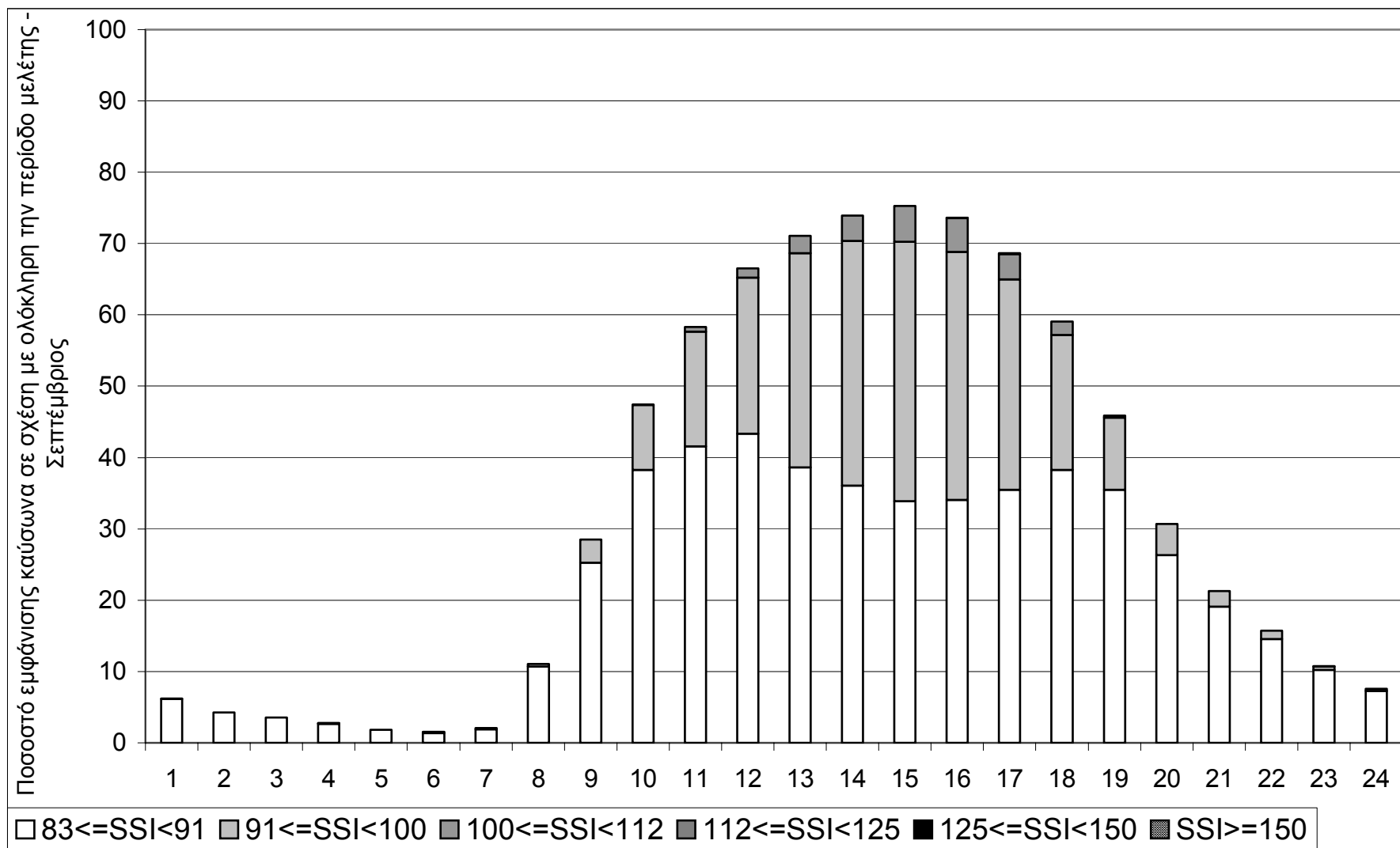
Σχήμα 2.21. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσιων, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Αύγουστο



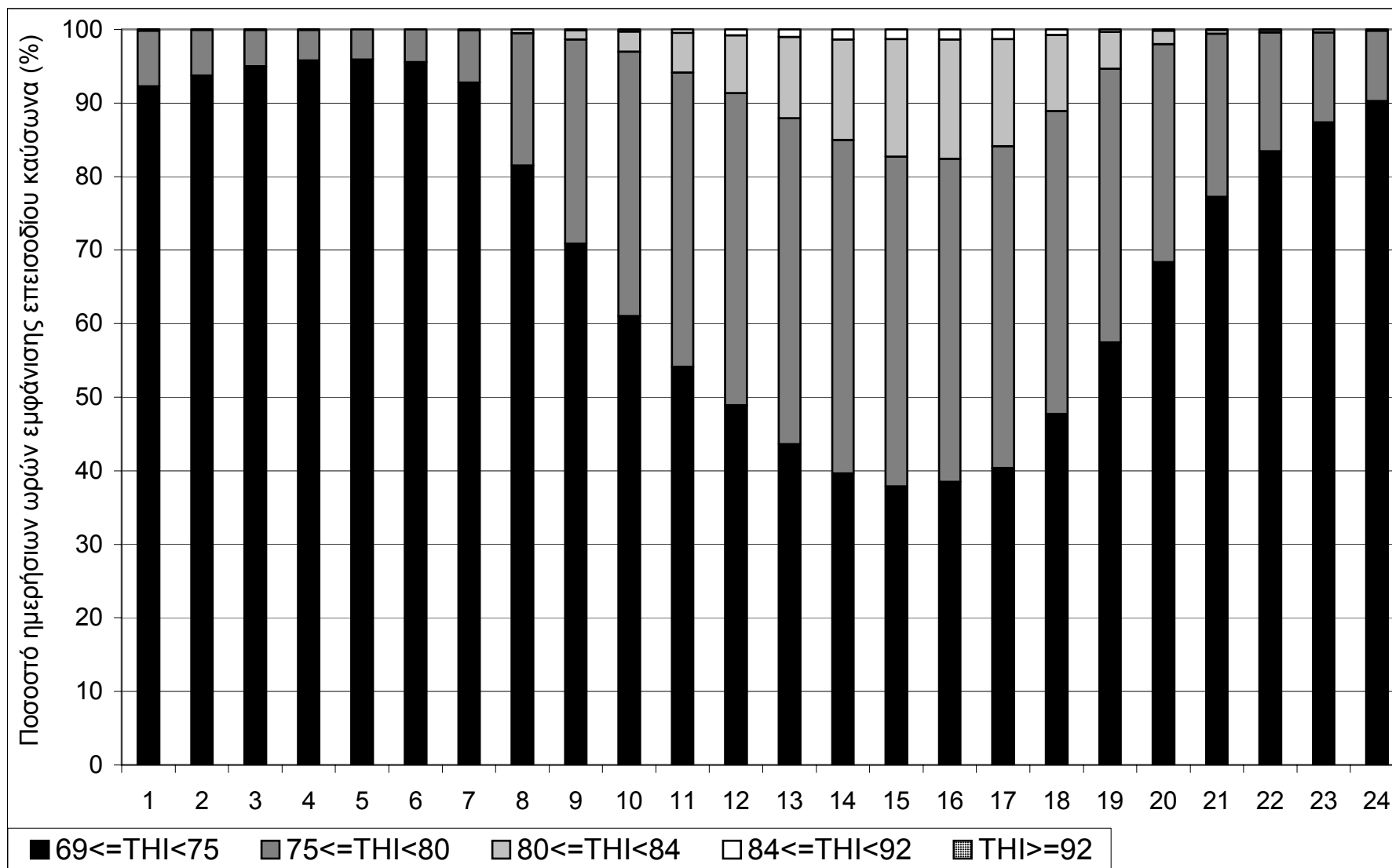
Σχήμα 2.22. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Αύγουστο



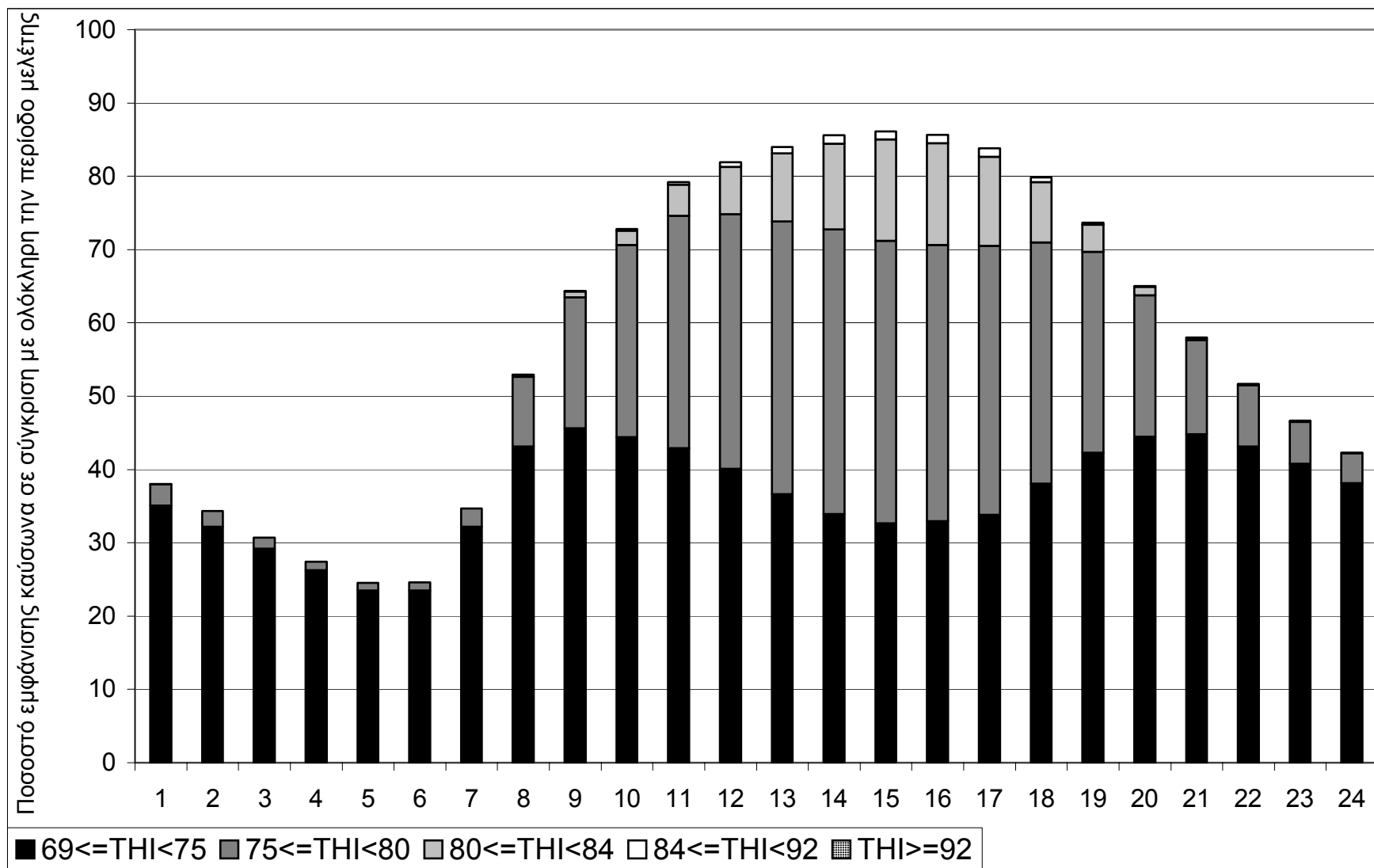
Σχήμα 2.23. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα στις περιπτώσεις που σημειώθηκε καύσωνα, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Σεπτέμβριο



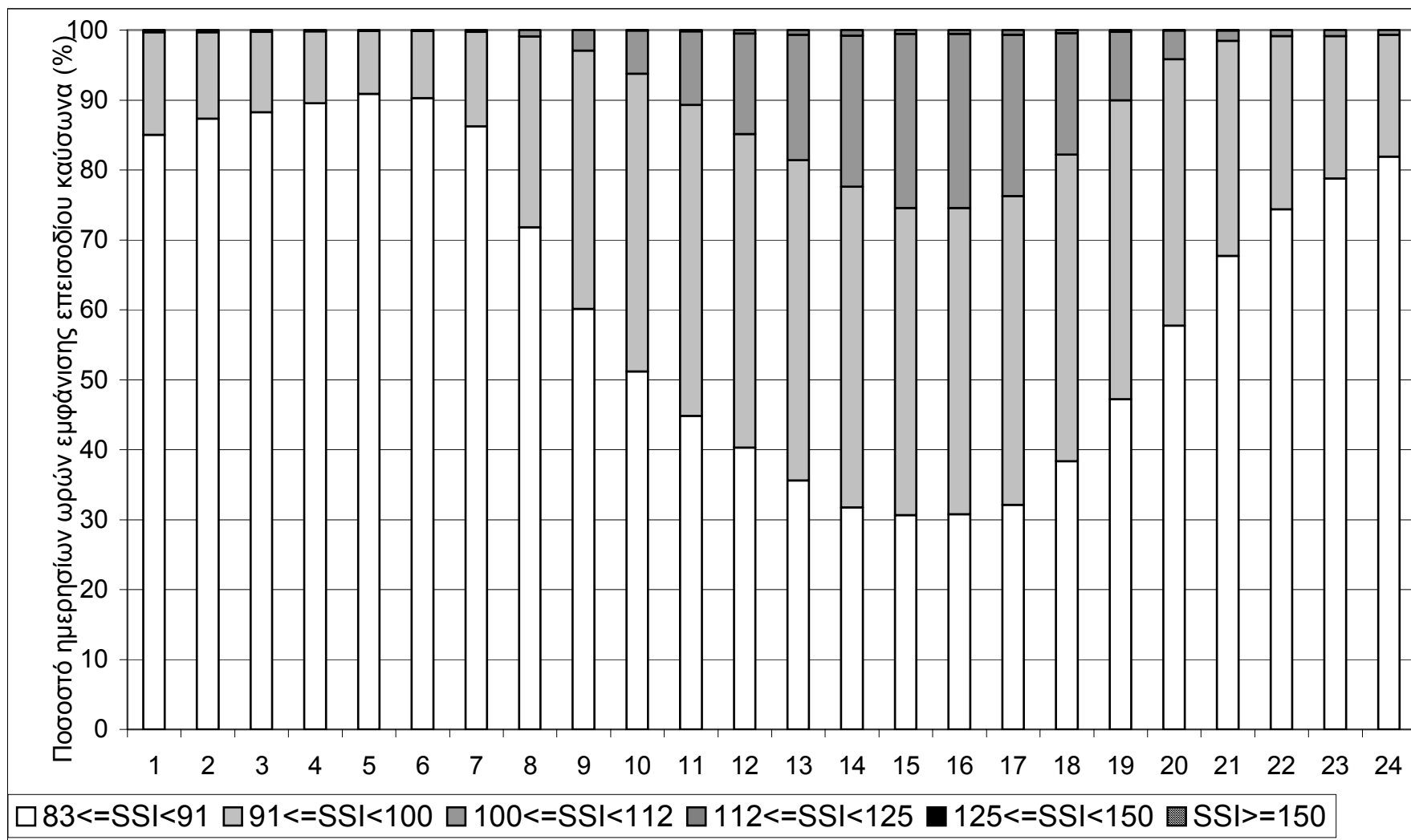
Σχήμα 2.24. Ποσοστό εμφάνισης του SSI ανά ώρα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης, για όλες τις βαθμίδες του δείκτη, αναφερόμενο στο μήνα Σεπτέμβριο



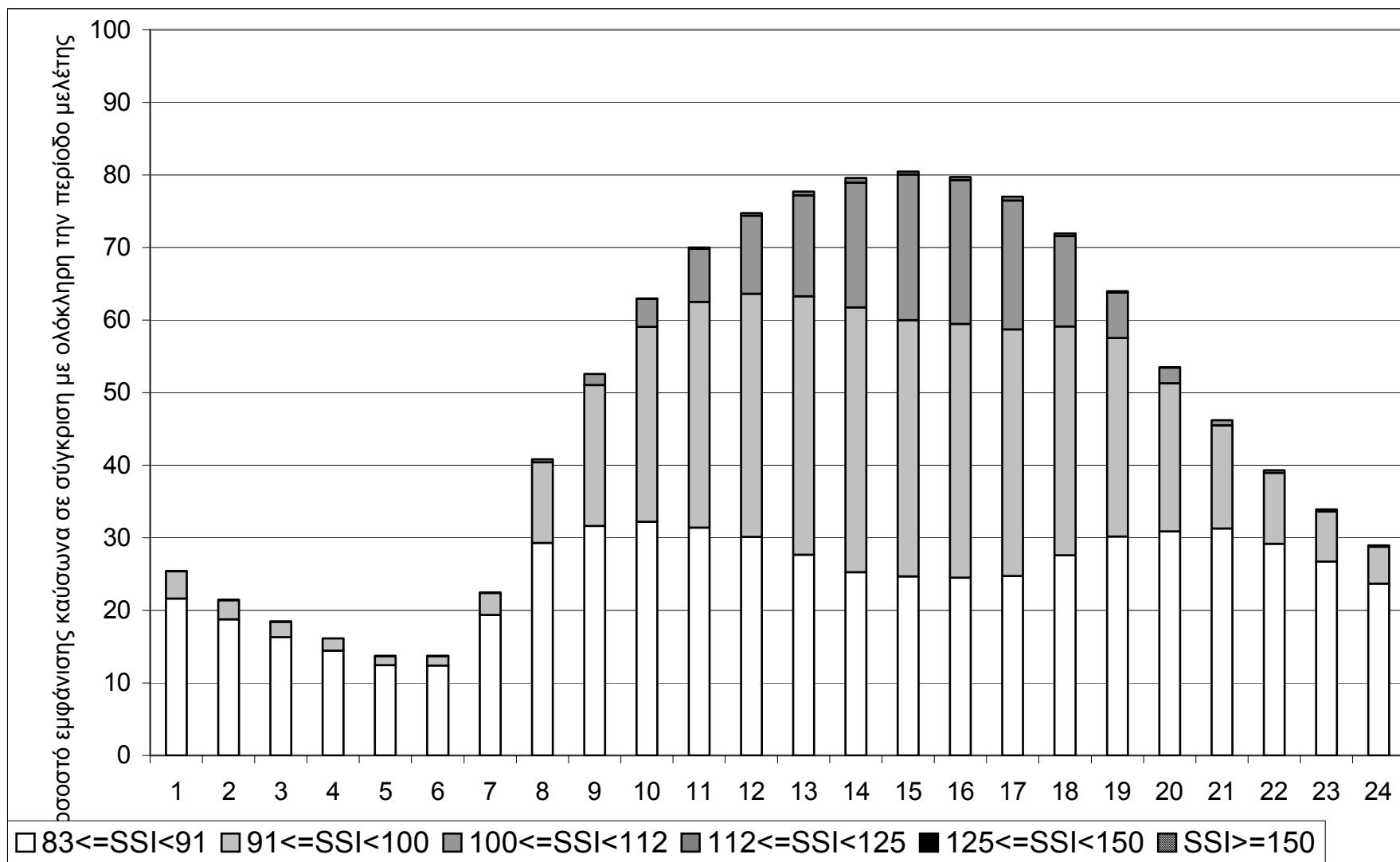
Σχήμα 2.25. Μέσο ποσοστό ημερησίων ωρών εμφάνισης καύσωνα ανά βαθμίδα για το δείκτη THI, στις περιπτώσεις με THI ≥ 69



Σχήμα 2.26. Μέσο ποσοστό ημερησίων ωρών εμφάνισης καύσωνα ανά βαθμίδα για το δείκτη THI, σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης



Σχήμα 2.27. Μέσο ποσοστό ημερησίων ωρών εμφάνισης καύσωνα ανά βαθμίδα για το δείκτη SSI, στις περιπτώσεις με SSI ≥ 83



Σχήμα 2.28. Μέσο ποσοστό ημερησίων ωρών εμφάνισης καύσωνα ανά βαθμίδα για το δείκτη SSI, σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης

περιόδου 1960-2003. Σε αυτά τα έτη μελετήθηκαν οι κατηγορίες των THI και SSI και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 2.29 και στο Σχήμα 2.30, αντίστοιχα. Σαν έτη με έντονη δυσφορία χαρακτηρίστηκαν τα έτη στα οποία σημειώθηκαν τέτοιες καταστάσεις δυσφορίας ώστε να οδηγούν τόσο σε ταχεία ελάττωση της εργασιακής αποδοτικότητας των ατόμων που εργάζονται σε κλειστό χώρο, όσο και σε επεισόδια θερμοπληξίας.

Αναλυτικότερα, η μελέτη του THI (Σχήμα 2.29) έδειξε ότι τα έτη 1987, 1988, 2000 και 2003 χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό εμφάνισης έντονης δυσφορίας, καθώς και από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις όλοι οι άνθρωποι δυσφορούσαν στα έτη αυτά κατά τη διάρκεια του πενταμήνου Μαΐου – Σεπτεμβρίου.

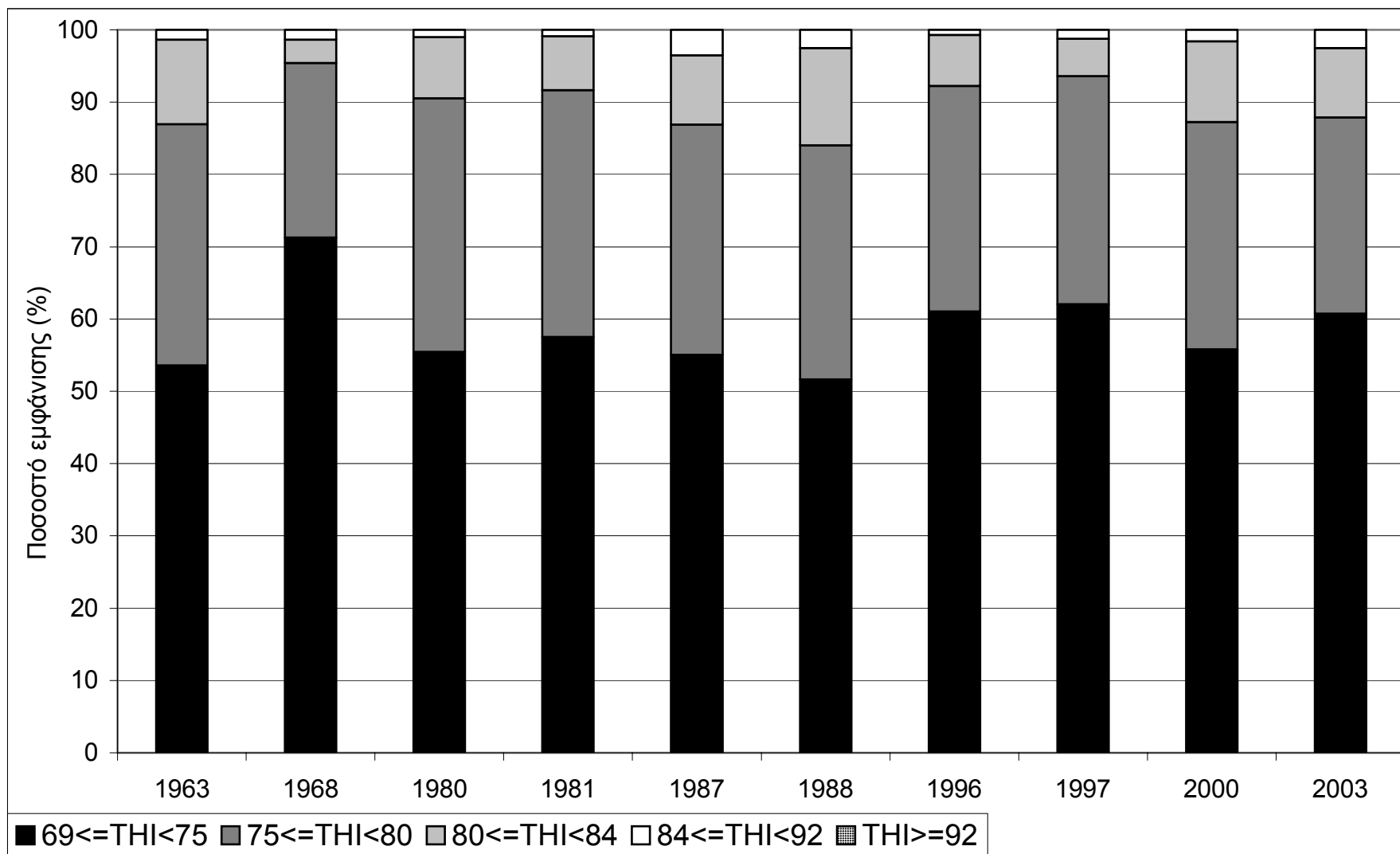
Η μελέτη του SSI (Σχήμα 2.30) έδειξε ότι τα ανωτέρω έτη (1987, 1988, 2003, με εξαίρεση το 2000) χαρακτηρίστηκαν από πολλές περιπτώσεις έντονης δυσφορίας και θερμοπληξίας, καθώς και από πολυάριθμες περιπτώσεις εξαιρετικά θερμού περιβάλλοντος.

Για την καλύτερη μελέτη των θερμών ετών πραγματοποιείται η σύγκριση μεταξύ των διαδοχικών ετών με έντονη δυσφορία. Η σύγκριση αυτή αναφέρεται στον υπολογισμό των αθροιστικών ωρών παρατήρησης επεισοδίου καύσωνα σε κάθε ώρα της ημέρας για τις διάφορες βαθμίδες του δείκτη THI. Προτιμήθηκε ο συγκεκριμένος δείκτης για το λόγο ότι έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές σε παρόμοιες μελέτες στη Θεσσαλονίκη και θεωρείται περισσότερο εφαρμόσιμος από τον SSI ο οποίος δεν έχει χρησιμοποιηθεί μέχρι τώρα.

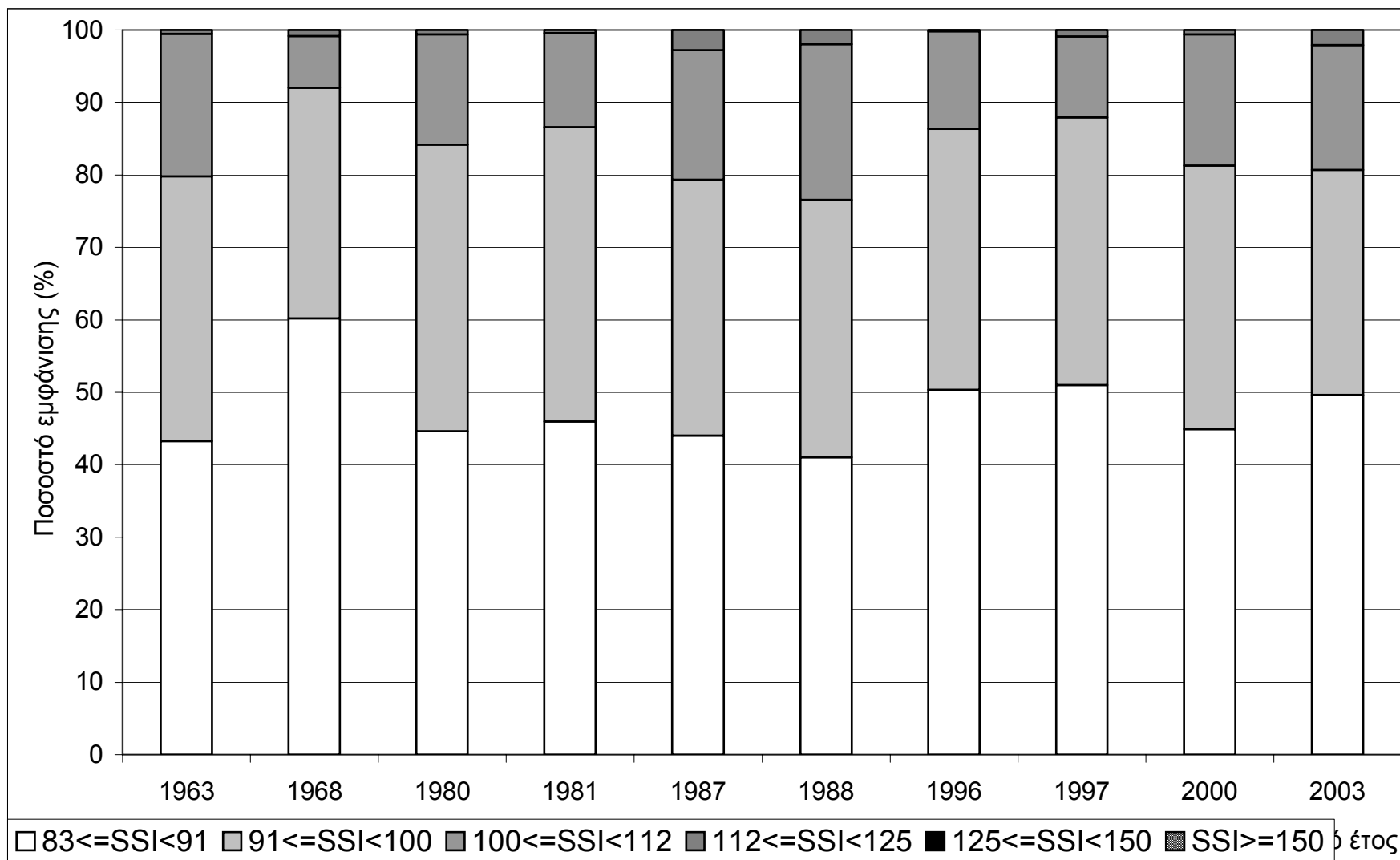
Αρχικά συγκρίνονται τα έτη 1963-1968 και τα αποτελέσματα απεικονίζονται στο Σχήμα 2.31. Το 1963 παρουσιάζεται περισσότερο θερμό από το 1968. Πράγματι καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας στο 1963 σημειώνονται επεισόδια δυσφορίας, άλλοτε έντονα κι άλλοτε ασθενέστερα. Οι άνθρωποι δυσφορούν έντονα από την ανατολή του ηλίου μέχρι και τη δύση αυτού και κυρίως από τις 1100-1800 παρατηρούνται φαινόμενα δυσφορίας από όλους τους κατοίκους. Αργά το μεσημέρι έως και τις πρώτες απογευματινές ώρες σημειώνονται και φαινόμενα ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας των ατόμων που εργάζονται σε κλειστούς χώρους. Αντίθετα, το 1968 η κατάσταση δυσφορίας από τις 2300 έως και τις 0700 δεν είναι τόσο έντονη όσο του 1963. Επίσης, από τις 0800 έως και τις 2200, το 1968 παρουσιάζει περισσότερες περιπτώσεις ασθενούς δυσφορίας, με τους υπερήλικες να δυσφορούν. Τέλος, ταχεία ελάττωση της εργασιακής αποδοτικότητας σημειώνεται περισσότερο συχνά στις ώρες 1100-1400 και 1900-2000.

Στο Σχήμα 2.32 απεικονίζεται η σύγκριση των ετών 1968-1980. Το 1968 σημειώθηκαν περισσότερες περιπτώσεις δυσφορίας ιδιαίτερα από τις 0800 μέχρι και τις 0300. Περιπτώσεις εντονότερων επεισοδίων δυσφορίας από τις 0800 μέχρι και τις 2200 χαρακτηρίζουν το 1980. Επιπλέον, το 1968, κατά τη διάρκεια του μεσημεριού, παρατηρούνται περισσότερες περιπτώσεις της δεύτερης κατηγορίας του THI, ενώ στις αντίστοιχες ώρες στο 1980 παρατηρούνται περισσότερες περιπτώσεις της τρίτης κατηγορίας του δείκτη. Η τέταρτη και πολύ σημαντική κατηγορία (ταχεία ελάττωση της εργασιακής αποδοτικότητας) σημειώθηκε περισσότερες φορές στο 1968, κατά το διάστημα 1100-1900, με εξαίρεση τις ώρες 1600 και 1700 όπου οι περιπτώσεις της συγκεκριμένης βαθμίδας του δείκτη υπερίσχυαν το 1980.

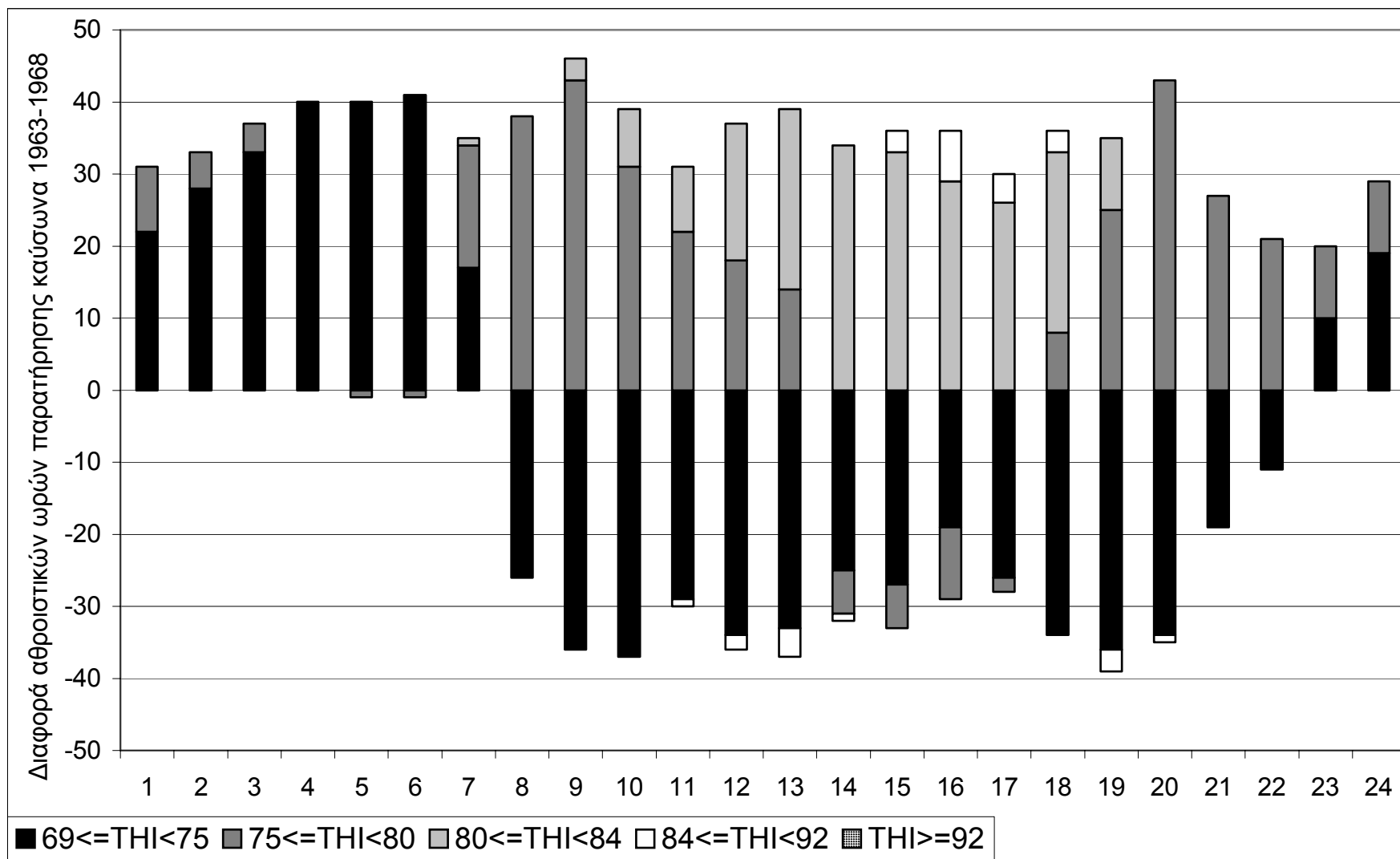
Το 1981 εμφανίζεται θερμότερο από το 1980, με αρκετά μεγάλη διαφορά. Πιο αναλυτικά, η συχνότητα εμφάνισης της πρώτης βαθμίδας του δείκτη για το 1981 είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του 1980. Επίσης, το 1981 εμφανίζει συχνότερα και πολύ πιο έντονα φαινόμενα δυσφορίας. Στο ίδιο έτος, κατά τις μεσημβρινές και τις απογευματινές ώρες όλα σχεδόν τα άτομα ενός συνόλου αισθάνονται έντονη δυσφορία και οι περιπτώσεις αυτές είναι πολύ περισσότερες από τις αντίστοιχες που σημειώθηκαν το



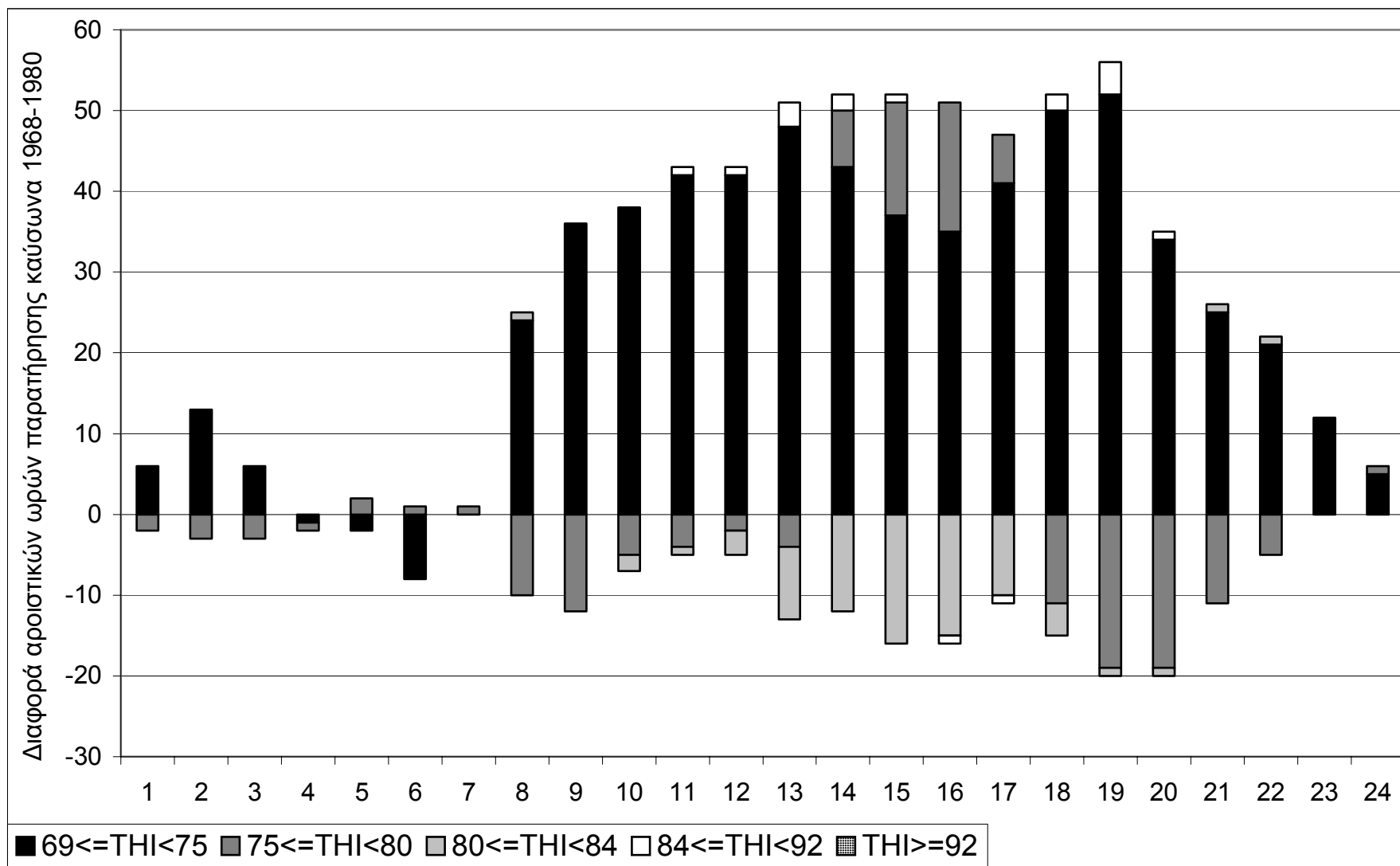
Σχήμα 2.29. Ποσοστό εμφάνισης των θερμότερων ετών της περιόδου 1960-2003, σύμφωνα με το δείκτη THI



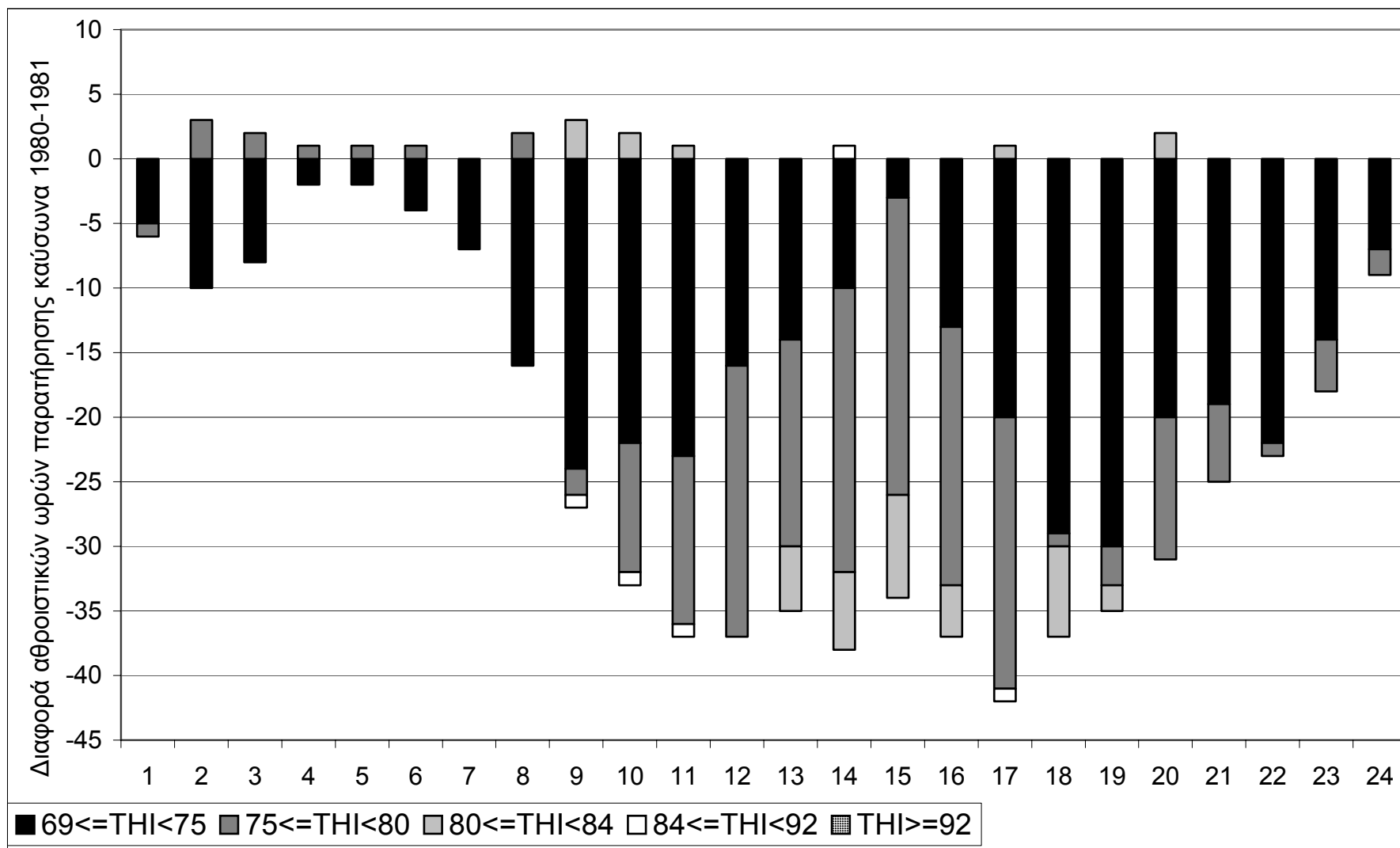
Σχήμα 2.30. Ποσοστό εμφάνισης των θερμότερων ετών της περιόδου 1960-2003, σύμφωνα με το δείκτη SSI



Σχήμα 2.31. Σύγκριση των ετών 1963-1968 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI



Σχήμα 2.32. Σύγκριση των ετών 1968-1980 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI



Σχήμα 2.33. Σύγκριση των ετών 1980-1981 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI

1980. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι το 1980 εμφανίζει περισσότερες περιπτώσεις της δεύτερης κατηγορίας στις πρώτες πρωϊνές ώρες, σε σύγκριση με το 1981 (Σχήμα 2.33).

Καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας το 1987 εμφανίζεται θερμότερο από το 1981. Από τις 0700 έως και τις 2300, το 1987 χαρακτηρίζεται από καταστάσεις έντονης δυσφορίας στις οποίες όλοι οι άνθρωποι δυσφορούν και μάλιστα σημειώνονται πολύ περισσότερες περιπτώσεις ταχείας μείωσης της εργασιακής αποδοτικότητας σε σύγκριση με το 1981. Το τελευταίο υπερισχύει του 1987 στις περιπτώσεις ασθενούς δυσφορίας τις πρωϊνές ώρες και μέτριας δυσφορίας τις μεσημβρινές και τις πρώτες απογευματινές ώρες. Τέλος, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι το 1987 η τέταρτη βαθμίδα του δείκτη σημειώνεται σε πολλές περιπτώσεις και κατά τις απογευματινές ώρες μέχρι και τη δύση του ηλίου (Σχήμα 2.34).

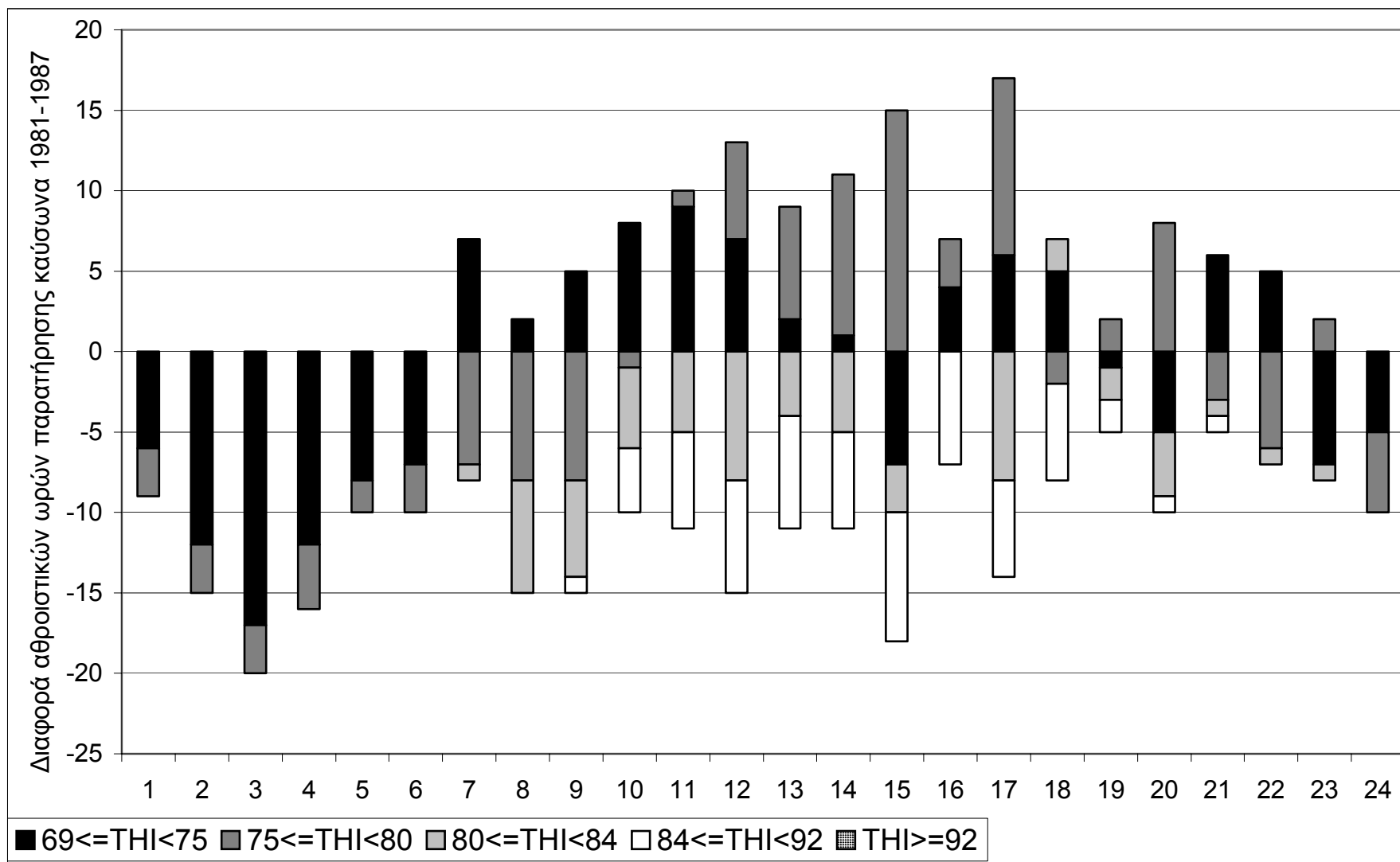
Στο 1987 παρουσιάζεται εντονότερη δυσφορία κατά το διάστημα 0900-1800, με αρκετές περιπτώσεις να αναφέρονται στην ταχεία ελάττωση της εργασιακής αποδοτικότητας των ατόμων ενός συνόλου. Κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, στο 1988 παρατηρούνται περισσότερα επεισόδια σοβαρής δυσφορίας, στα οποία σχεδόν όλοι οι άνθρωποι αισθάνονται δυσφορία. Κατά τη διάρκεια της νύχτας και τις πρώτες πρωϊνές ώρες, το 1988 εμφανίζει σοβαρότερα επεισόδια δυσφορίας σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Τα επεισόδια αυτά χαρακτηρίζονται από μέτρια έως σοβαρή δυσφορία (Σχήμα 2.35).

Η σύγκριση των ετών 1988 και 1996 (Σχήμα 2.36) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το 1988 χαρακτηρίζεται από δυσφορότερες καταστάσεις, με πολλές περιπτώσεις να αναφέρονται σε σοβαρή και έντονη δυσφορία. Συγκεκριμένα το 1988 εμφανίζει έντονα επεισόδια δυσφορίας από τις 1000 έως και τις 2200. Στην ίδια χρονική περίοδο, το 1996 χαρακτηρίζεται από ηπιότερα φαινόμενα. Επιπλέον, Το 1988 χαρακτηρίζεται από θερμές καταστάσεις κατά τη διάρκεια της νύχτας και νωρίς το πρωί, οι οποίες φτάνουν έως και το επίπεδο της σοβαρής δυσφορίας με όλους τους ανθρώπους να δυσφορούν, κυρίως τις βραδινές ώρες. Το 1996 εμφανίζεται ηπιότερο στις πρωϊνές ώρες σε σύγκριση με το 1988.

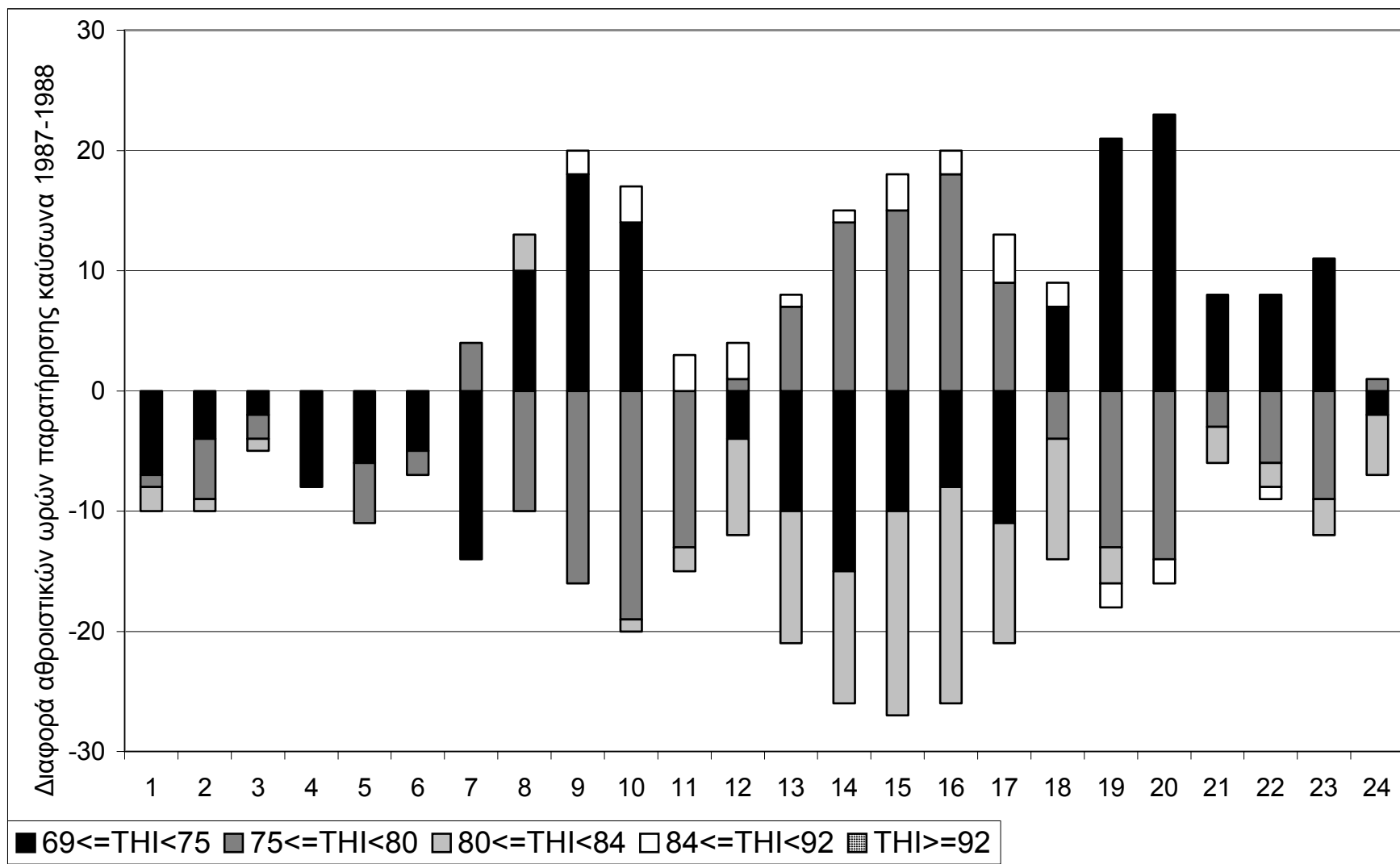
Το 1996 εμφανίζει περισσότερες περιπτώσεις μέτριας και σοβαρής δυσφορίας, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ στο 1997 σημειώνονται περισσότερες περιπτώσεις έντονης δυσφορίας, για την ίδια περίοδο. Πιο αναλυτικά, από τις 1400 έως τις 1600 θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το 1996 είναι θερμότερο από το 1997, ενώ στις επόμενες τρεις ώρες (1700-1900) το δεύτερο έτος εμφανίζεται δυσφορότερο από το πρώτο. Τις πρωϊνές ώρες, το 1996 υπερισχύει σε αθροιστικό αριθμό θερμών ωρών έναντι του 1997 στις κατηγορίες της μέτριας και σοβαρής δυσφορίας, ενώ στο ίδιο χρονικό διάστημα υπερισχύει το 1997 στις κατηγορίες της ήπιας και έντονης δυσφορίας (Σχήμα 2.37).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, το έτος 2000 εμφανίζεται πολύ πιο θερμό από το 1997. Από τις 0800 έως και τις 1900, στο έτος 2000, πολυάριθμα είναι τα επεισόδια μέτριας και σοβαρής δυσφορίας, ενώ τις μεσημβρινές και απογευματινές ώρες κυρίως εμφανίζονται πολλές περιπτώσεις ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας (έντονη δυσφορία). Τέλος, στη διάρκεια 2000-0100, το έτος 2000 εμφανίζεται θερμότερο, ενώ από τις 0200 έως νωρίς το πρωί περισσότερα και εντονότερα θερμά επεισόδια συμβαίνουν το 1997 (Σχήμα 2.38).

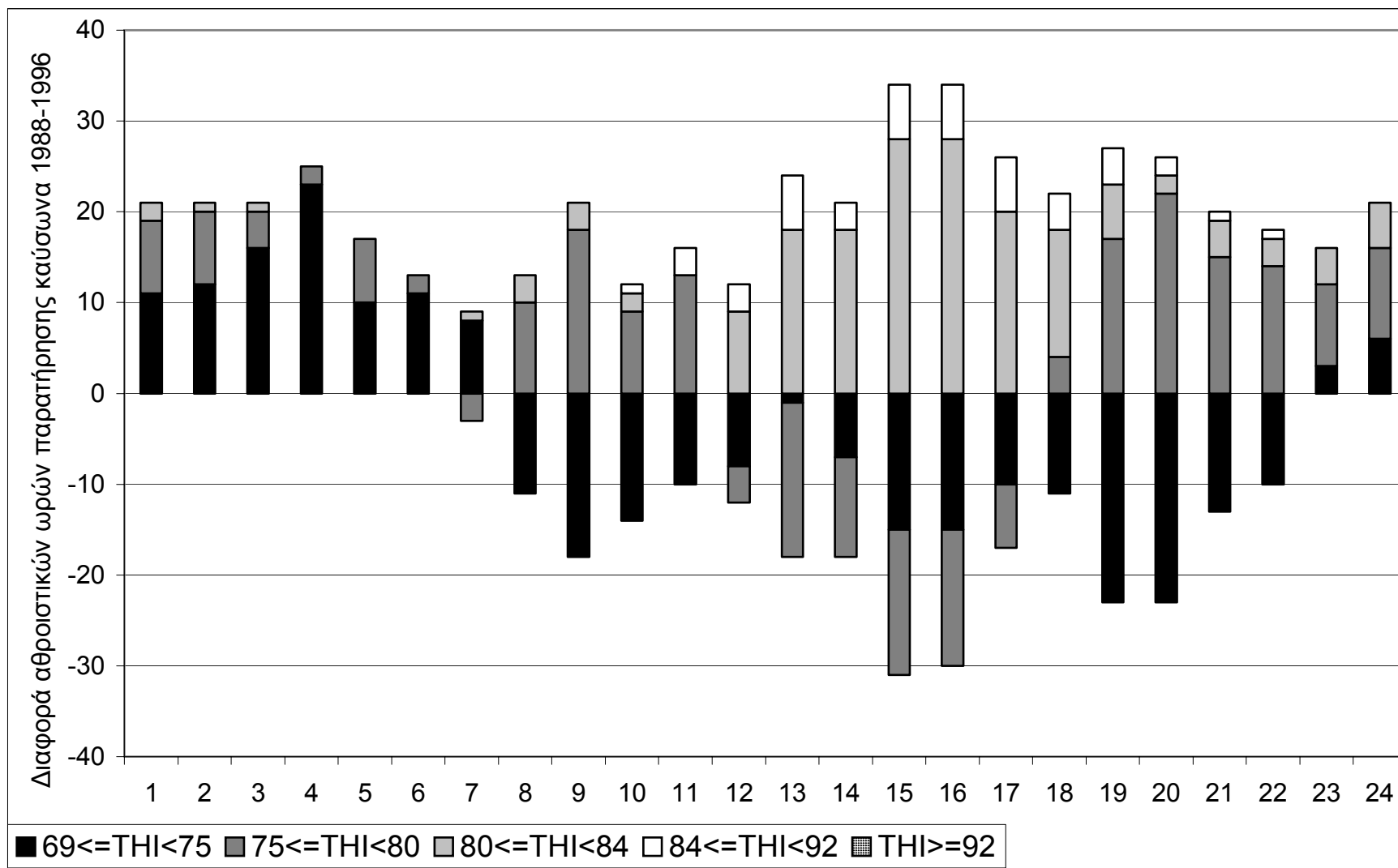
Το 2000 χαρακτηρίστηκε από περισσότερα επεισόδια δυσφορίας σε σχέση με το 2003, στις κατηγορίες μέτρια, σοβαρή και έντονη δυσφορία, τις πρώτες απογευματινές ώρες (1500-1800). Την ίδια χρονική περίοδο το 2003 υπερείχε στη βαθμίδα της ήπιας δυσφορίας. Από τις 1100 έως και τις 1400, το 2003 χαρακτηρίζεται από πάρα πολλές



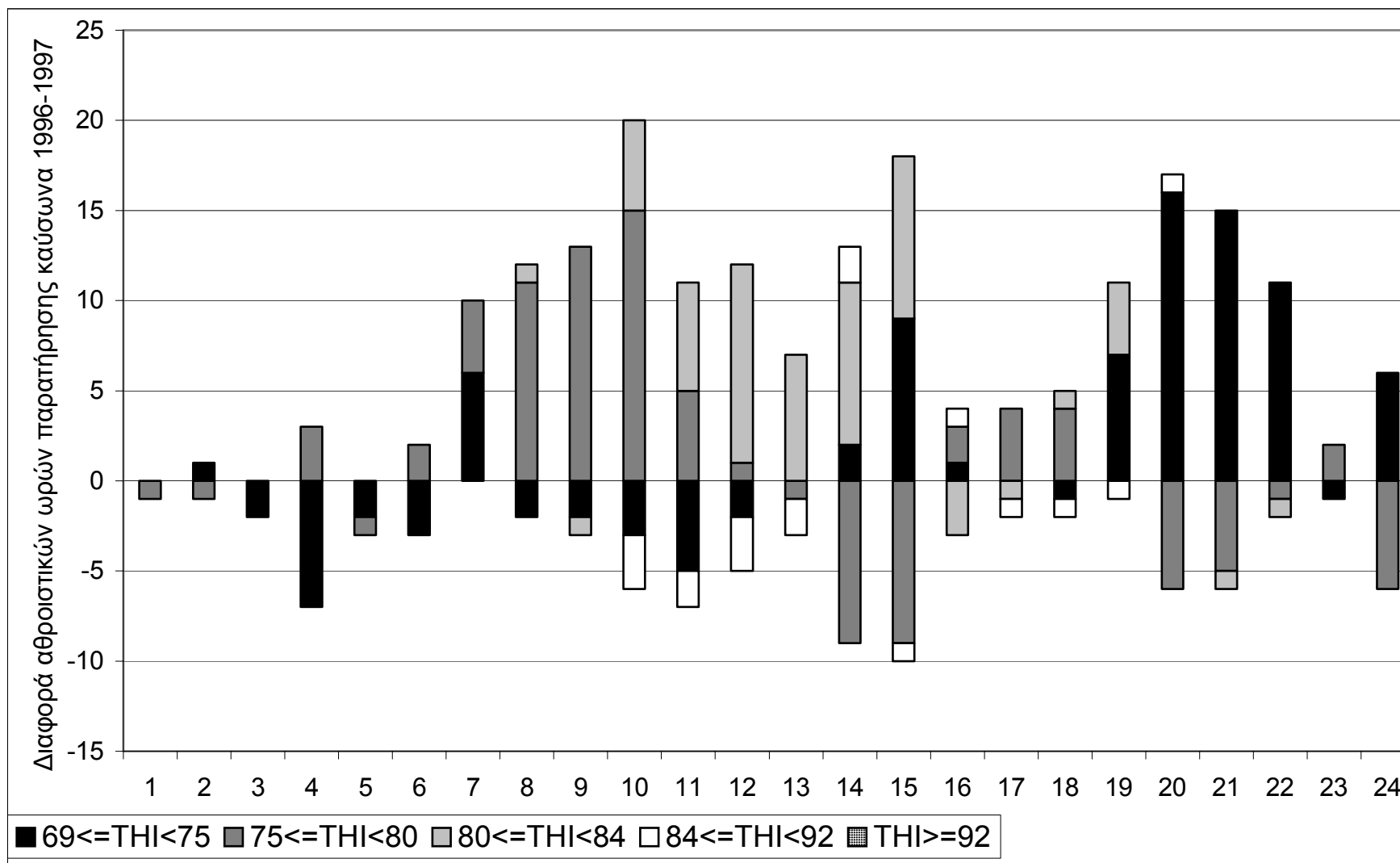
Σχήμα 2.34. Σύγκριση των ετών 1981-1987 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI



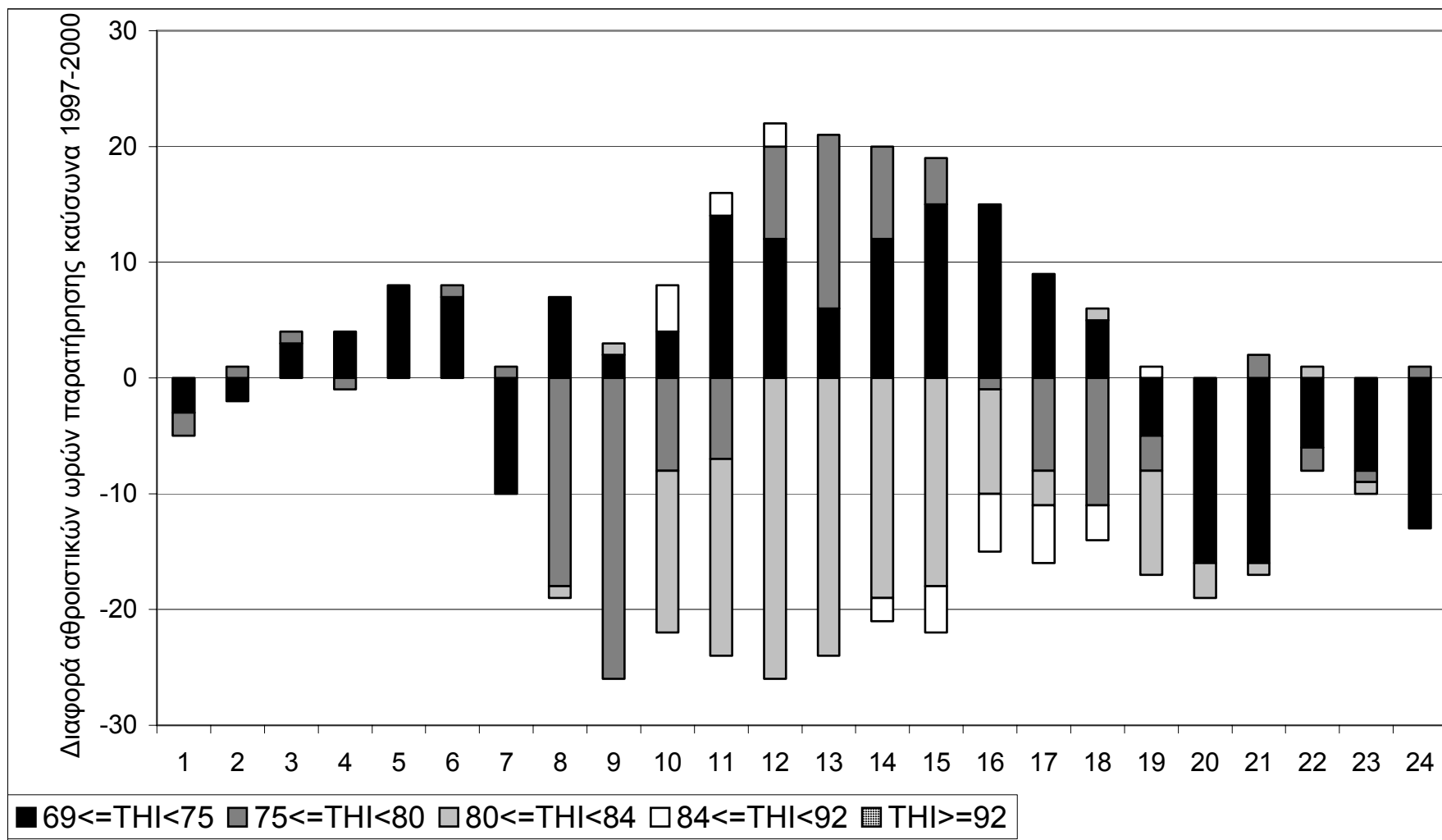
Σχήμα 2.35. Σύγκριση των ετών 1987-1988 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI



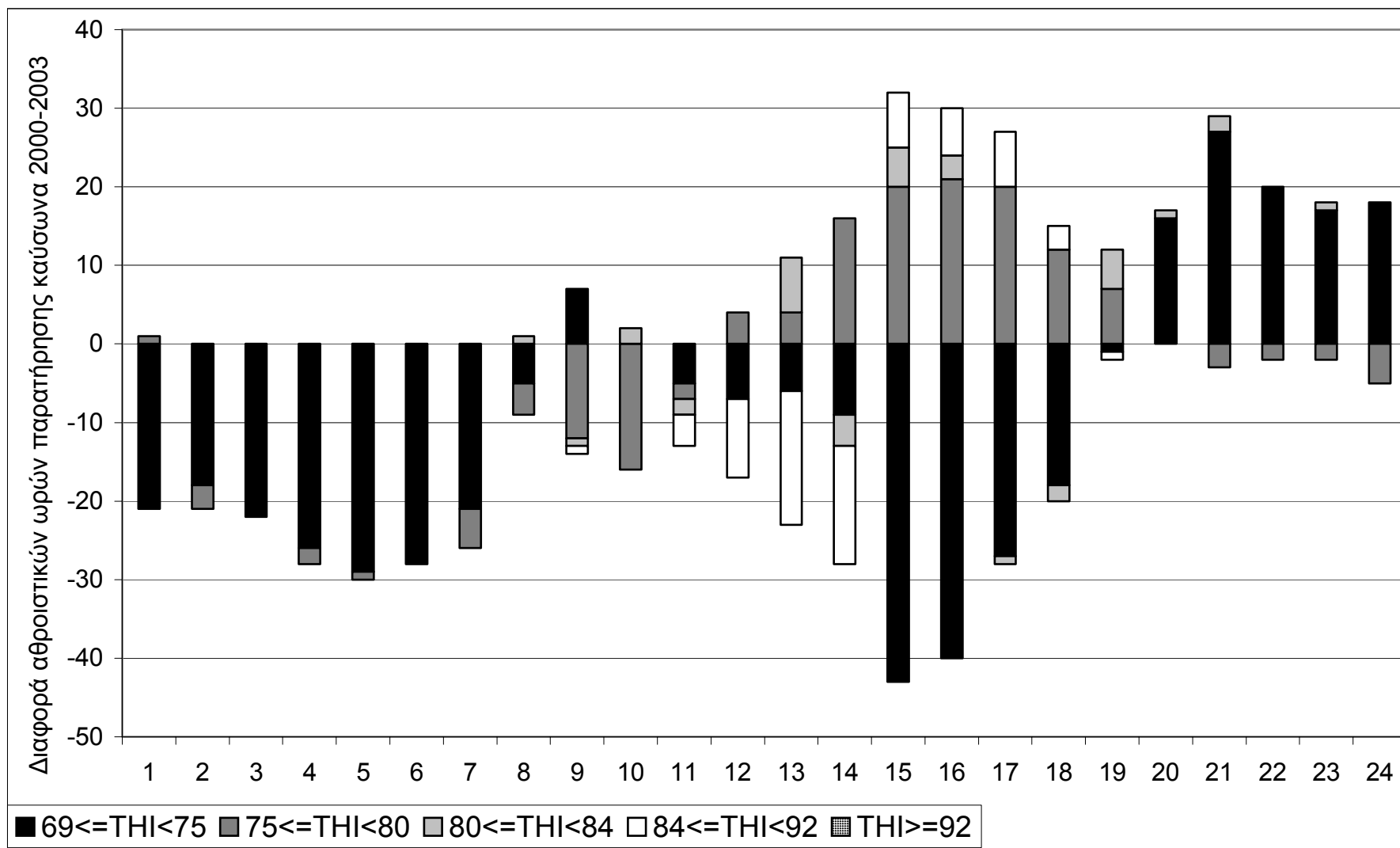
Σχήμα 2.36. Σύγκριση των ετών 1988-1996 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI



Σχήμα 2.37. Σύγκριση των ετών 1996-1997 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI



Σχήμα 2.38. Σύγκριση των ετών 1997-2000 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI



Σχήμα 2.39. Σύγκριση των ετών 2000-2003 ανά ώρα χρησιμοποιώντας το δείκτη THI

περιπτώσεις έντονης δυσφορίας, μιας κατηγορίας ιδιαίτερα σημαντικής, μιας και επιφέρει την ταχεία ελάττωση στην εργασιακή αποδοτικότητα των ατόμων που εργάζονται σε κλειστό χώρο. Τέλος, από πολύ νωρίς το πρωί έως και τις 1000, θερμότερο χαρακτηρίζεται το 2003, σε σύγκριση με το 2000 (Σχήμα 2.39).

2.3.5. Ακολουθίες ημερών στη Θεσσαλονίκη χρησιμοποιώντας το δείκτη THI ($THI \geq 69$ για τουλάχιστον 24 ώρες)

Στην προσπάθεια να μελετηθούν τα επεισόδια καύσωνα στη Θεσσαλονίκη για τη χρονική περίοδο 1960-2003, για το πεντάμηνο Μαΐου – Σεπτεμβρίου, χρησιμοποιείται ο δείκτης THI, για το λόγο ότι θεωρείται περισσότερο εφαρμόσιμος στη Θεσσαλονίκη, μιας και έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες εργασίες στο παρελθόν, από Έλληνες και ξένους επιστήμονες, για την ίδια περιοχή μελέτης.

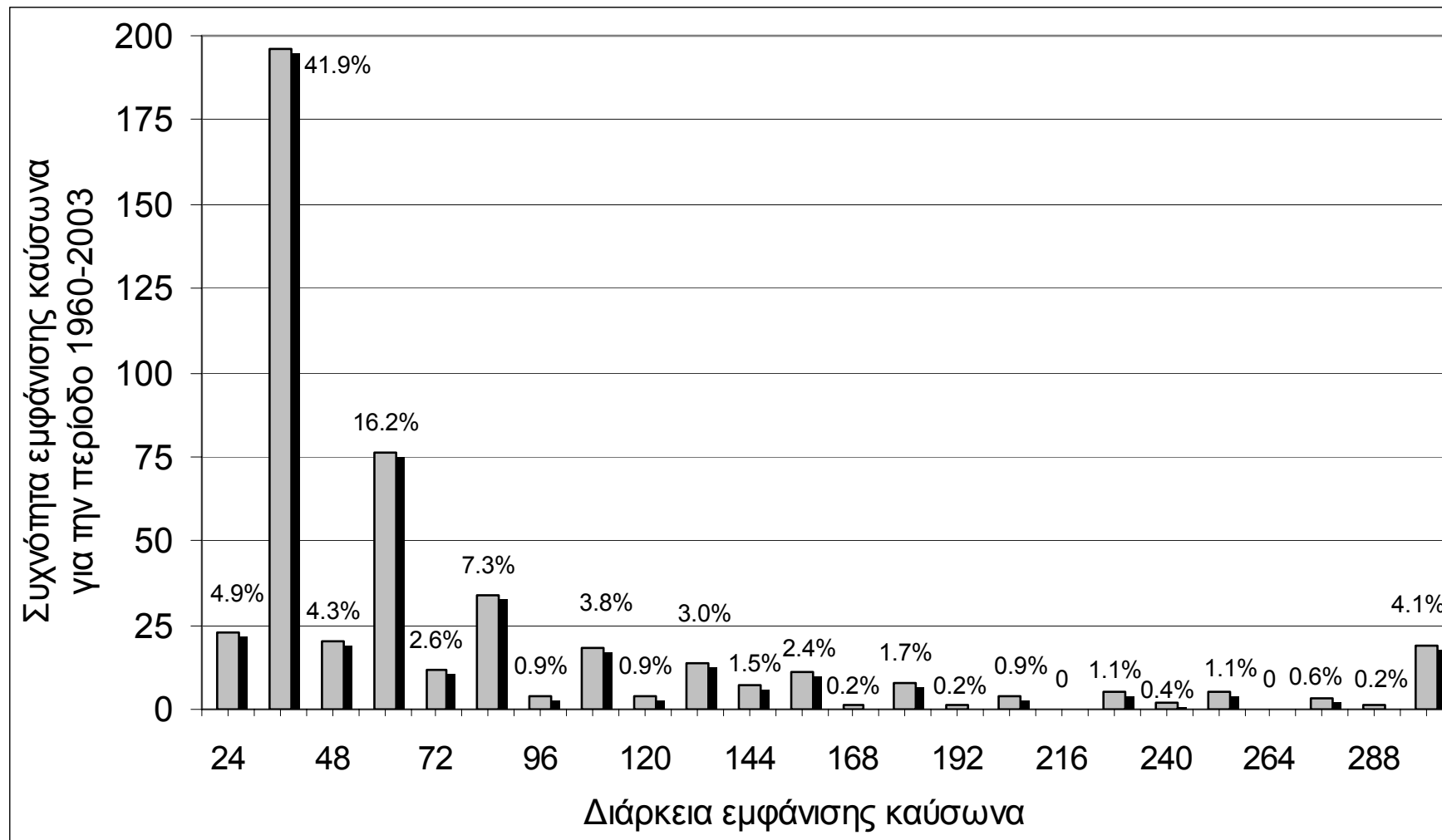
Η μελέτη της συχνότητας εμφάνισης των επεισοδίων καύσωνα απεικονίζεται στο Σχήμα 2.40. Στο σχήμα αυτό αναφέρονται τα επεισόδια καύσωνα διάρκειας τουλάχιστον 24 ώρες (διότι όπως έχει αναφερθεί, καύσωνα θεωρείται η κατάσταση υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας που χαρακτηρίζει μία περιοχή τουλάχιστον για 24 ώρες με τον THI να είναι μεγαλύτερος ή ίσος από 69) με αυξανόμενο βήμα ανά 12 ώρες. Γενικά σημειώθηκαν 468 επεισόδια καύσωνα στη χρονική περίοδο 1960-2003 στη Θεσσαλονίκη. Παρατηρείται ότι συχνότερες είναι οι περιπτώσεις καύσωνα διάρκειας 36 ωρών με 196 περιπτώσεις (41.9 %). Αμέσως επόμενη συχνότερη ακολουθία είναι αυτή των 60 ωρών, με 76 περιπτώσεις (16.2 %). Ακολουθεί η περίπτωση των 84 διαδοχικών ωρών με 34 περιπτώσεις (7.3 %) εμφάνισης δυσφορίας. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι καταγράφηκαν 19 περιπτώσεις στις οποίες ο δείκτης THI ήταν μεγαλύτερος ή ίσος του 69 για τουλάχιστον 300 διαδοχικές ώρες (4.1 %).

2.3.6. Σύγκριση των δεικτών THI και SSI σε ετήσια και μηνιαία βάση

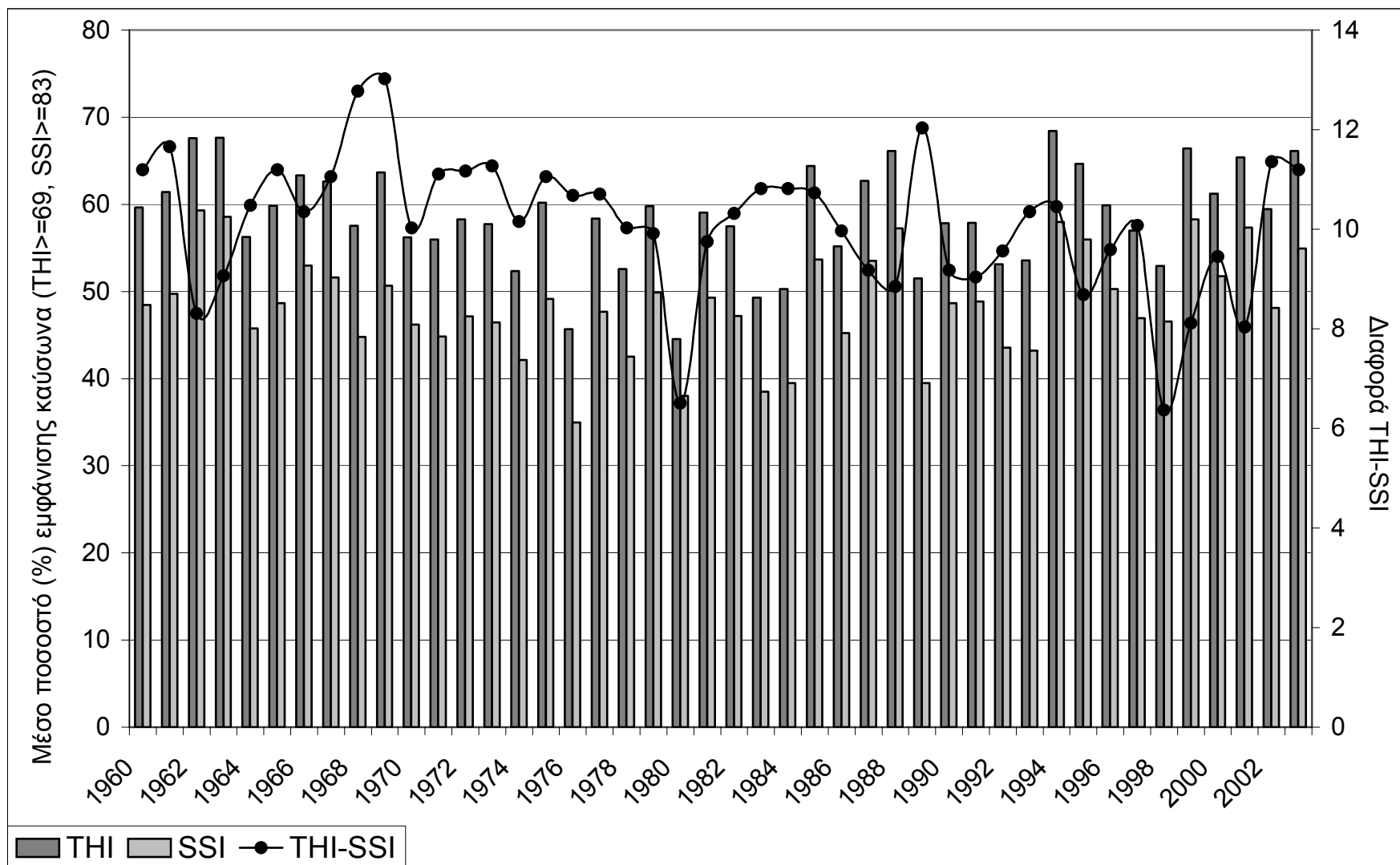
Στην προσπάθεια να γίνει περισσότερο αντιπροσωπευτικός ο βιομετεωρολογικός δείκτης SSI στις γεωγραφικές συντεταγμένες της Θεσσαλονίκης, πραγματοποιείται η σύγκρισή του με τον THI. Η σύγκριση αυτή αναφέρεται τόσο σε ετήσια όσο και σε μηνιαία κλίμακα.

Στο Σχήμα 2.41 απεικονίζεται η ετήσια σύγκριση των δύο δεικτών (THI-SSI). Το σχήμα αυτό αναφέρεται στο μέσο ποσοστό εμφάνισης καύσωνα με $THI \geq 69$ και $SSI \geq 83$. Παρατηρείται ότι η διαφορά των δύο δεικτών γίνεται μέγιστη τα έτη 1968 και 1969, καθώς και το 1989. Αντίθετα η διαφορά των δεικτών ελαχιστοποιείται στα 1980 και 1998. Στα υπόλοιπα έτη παρατηρείται αυξομείωση της διαφοράς των δεικτών, με τον THI πάντοτε να προηγείται του SSI.

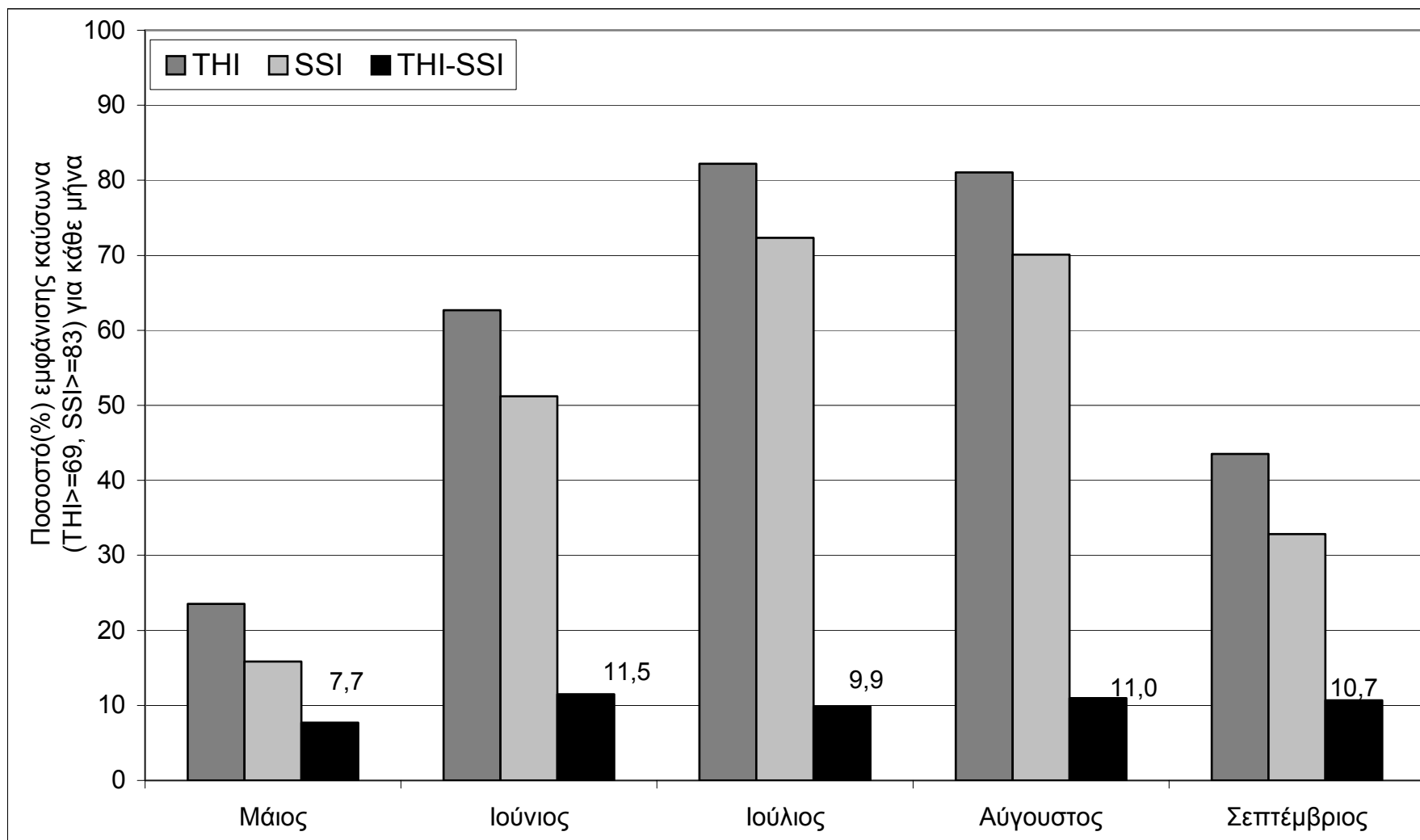
Σε μηνιαία βάση, αρχικά πραγματοποιείται η σύγκριση των μέσων ημερήσιων ποσοστών εμφάνισης καύσωνα για κάθε μήνα (από Μάιο έως και Σεπτέμβριο), όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.42. Η μέγιστη διαφορά εντοπίζεται τον Ιούνιο (~11.5), ενώ η ελάχιστη διαφορά σημειώνεται το Μάιο (~7.7). Τον Ιούλιο σημειώνεται διαφορά ~9.9, τον Αύγουστο διαφορά ~11.0 και τέλος το Σεπτέμβριο η διαφορά των δεικτών ανέρχεται στο 10.7. Σε όλους τους μήνες οι αθροιστικές ώρες καύσωνα, χρησιμοποιώντας τον THI, είναι περισσότερες από τις αντίστοιχες ώρες του SSI.



Σχήμα 2.40. Συχνότητα εμφάνισης καύσωνα για τη χρονική περίοδο 1960-2003, χρησιμοποιώντας το δείκτη THI (με $THI \geq 69$ για 24 τουλάχιστον ώρες)



Σχήμα 2.41. Ετήσια σύγκριση των δεικτών THI και SSI (THI ≥ 69 και SSI ≥ 83)



Σχήμα 2.42. Μηνιαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI ($THI \geq 69$ και $SSI \geq 83$)

Ακολουθεί η σύγκριση των δύο δεικτών ανά ώρα για κάθε μήνα (Σχήμα 2.43 – 2.47). Το Μάιο (Σχήμα 2.43) η διαφορά των THI και SSI γίνεται μέγιστη από την ανατολή του Ηλίου μέχρι και τη δύση αυτού. Οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται από τις 1100 μέχρι και τις 1900. Αντίθετα, μετά τη δύση του ηλίου, από τις 2000, η διαφορά ελαττώνεται και σχεδόν μηδενίζεται πολύ νωρίς το πρωί. Τον Ιούνιο (Σχήμα 2.44) η διακύμανση της διαφοράς των εν λόγω δεικτών αντιστρέφεται, σε σύγκριση με την αντίστοιχη του Μαΐου. Συγκεκριμένα, από τις 0900 μέχρι και τη δύση του ηλίου, παρατηρείται ελάττωση στη διαφορά, με το ελάχιστο να σημειώνεται το μεσημέρι και νωρίς το απόγευμα, από τις 1300 έως και τις 1700. Από τις 2000 μέχρι και τις 0300 η διαφορά γίνεται μέγιστη. Τον Ιούλιο, η μεταβολή της διαφοράς των δεικτών ακολουθεί την αντίστοιχη διακύμανση του Ιουνίου, αλλά με περισσότερο έντονες εναλλαγές (Σχήμα 2.45). Έτσι, από τις 0800 παρατηρείται ελάττωση στη διαφορά των δεικτών μέχρι και τις 2000. Μετά τη δύση του ηλίου, η διαφορά αυξάνεται βαθμιαία και κορυφώνεται νωρίς το πρωί. Ο Αύγουστος ακολουθεί την ίδια ακριβώς διακύμανση με τον Ιούλιο (Σχήμα 2.46), με τα ποσοστά ελάττωσης να γίνονται λίγο μεγαλύτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας και νωρίς το πρωί, και λίγο μικρότερα κατά τη διάρκεια της ημέρας και κυρίως τις μεσημβρινές ώρες και τις πρώτες απογευματινές ώρες. Τέλος, το Σεπτέμβριο η μεταβολή της διαφοράς των THI και SSI (Σχήμα 2.47) είναι παρόμοια με αυτή του Ιουνίου. Εμφανίζει δύο μέγιστες διαφορές στις 0900 και στις 2000. Από τις 0900 μέχρι τις 1500 σημειώνεται ελάττωση στη διαφορά, η οποία αυξάνεται και πάλι μέχρι τις 2000. Κατόπιν, η διαφορά ελαττώνεται και ελαχιστοποιείται στις 0500-0600, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται.

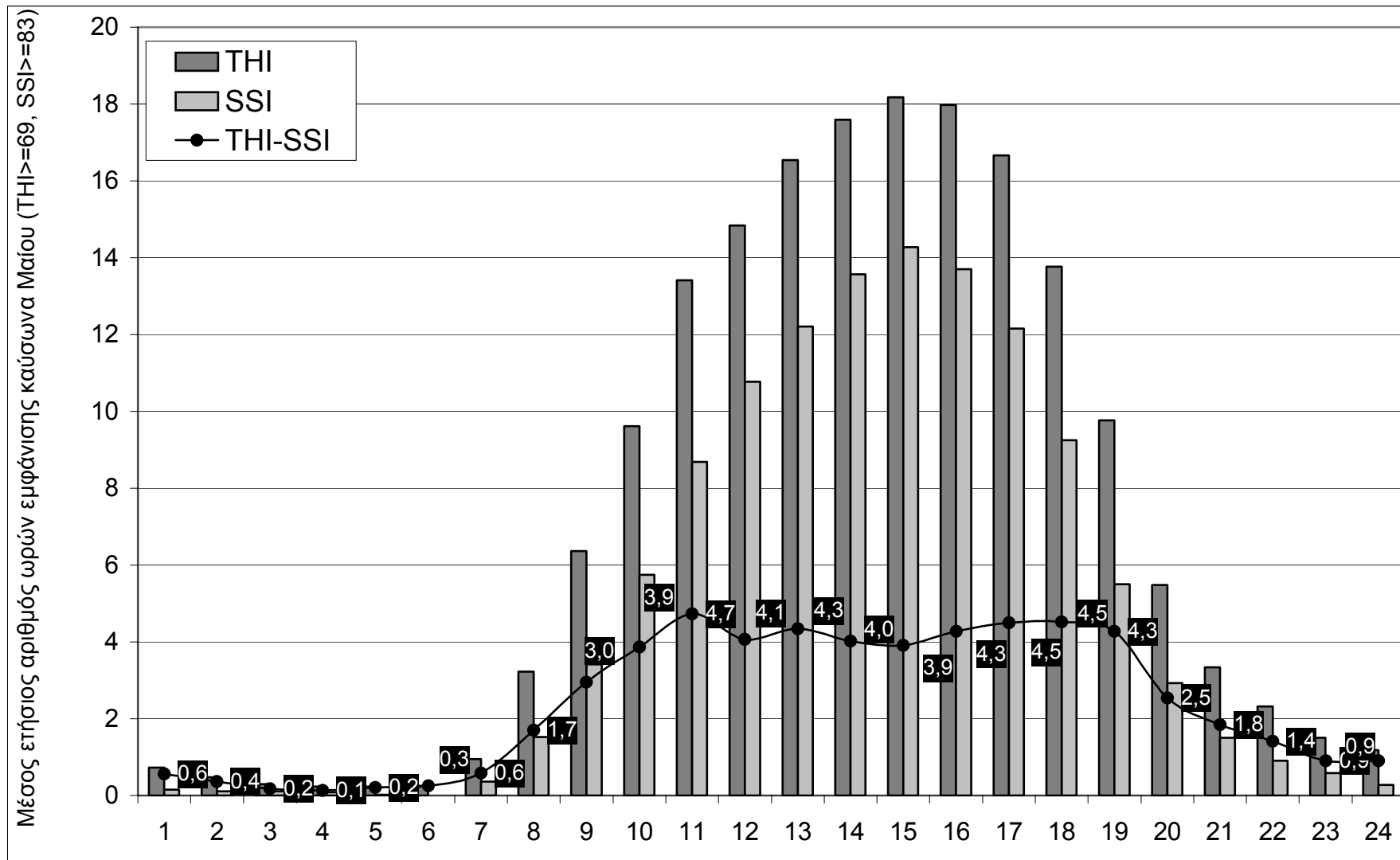
2.3.7. Μεταβολή της κατηγοριοποίησης του SSI συγκρινόμενη με τον THI

Μετά τη σύγκριση σε ετήσια και μηνιαία βάση των δύο δεικτών, διαπιστώνονται σημαντικές διαφορές στις αθροιστικές ώρες εμφάνισης κάθε δείκτη για αντίστοιχα χρονικά διαστήματα. Να σημειωθεί ότι τα ποσοστά εμφάνισης του THI σε κάθε περίπτωση είναι μεγαλύτερα από τα αντίστοιχα του SSI. Δεδομένου ότι ο THI έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες εργασίες στο παρελθόν στη μελέτη των επεισοδίων δυσφορίας στη Θεσσαλονίκη, θεωρείται περισσότερο εφαρμόσιμος από τον SSI. Γι' αυτό το λόγο λαμβάνεται ως μέτρο σύγκρισης για την αλλαγή των κατηγοριών του SSI, με σκοπό ο τελευταίος δείκτης να γίνει περισσότερο εφαρμόσιμος και καταλληλότερος στη μελέτη του καύσωνα στη Θεσσαλονίκη. Η διαδικασία έχει ως εξής: Προσμετρώνται οι αθροιστικές ώρες εμφάνισης Του δείκτη THI για κάθε κατηγορία του. Τα αποτελέσματα γίνεται προσπάθεια να αντιστοιχούν σε ποσοστά στις αθροιστικές ώρες του δείκτη SSI μεταβάλλοντας τις διαβαθμίσεις του. Τότε προκύπτουν οι νέες κατηγορίες του SSI'.

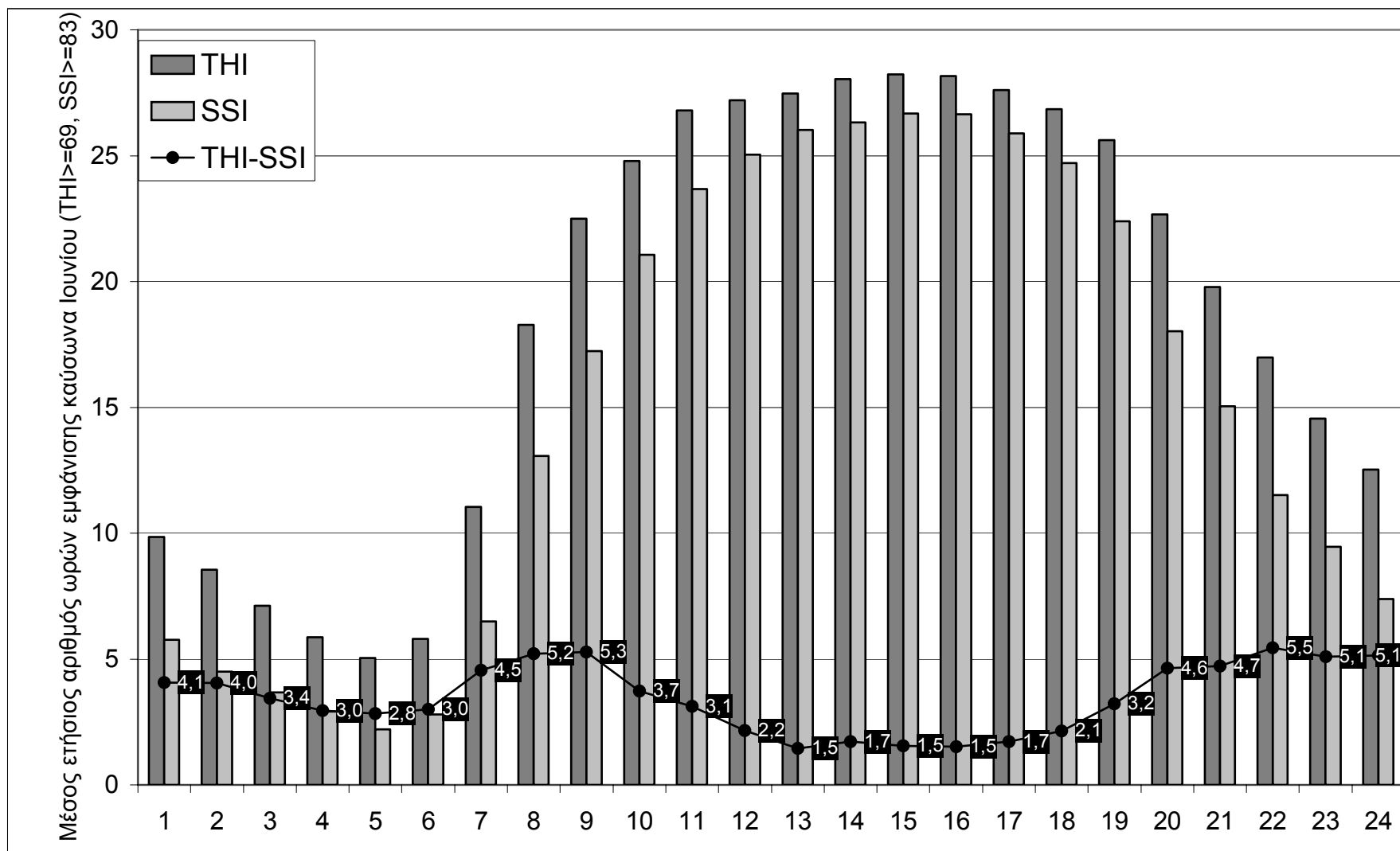
Μετά από τη σύγκριση των αθροιστικών ωρών σε κάθε περίπτωση (ανά μήνα, ανά έτος), διαμορφώνονται οι καινούριες κατηγορίες του SSI (ο οποίος θα ονομάζεται SSI'). Οι κατηγορίες αυτές παρίσταται στον Πίνακα 2.1:

Πίνακας 2.1. Κατηγοριοποίηση του SSI'

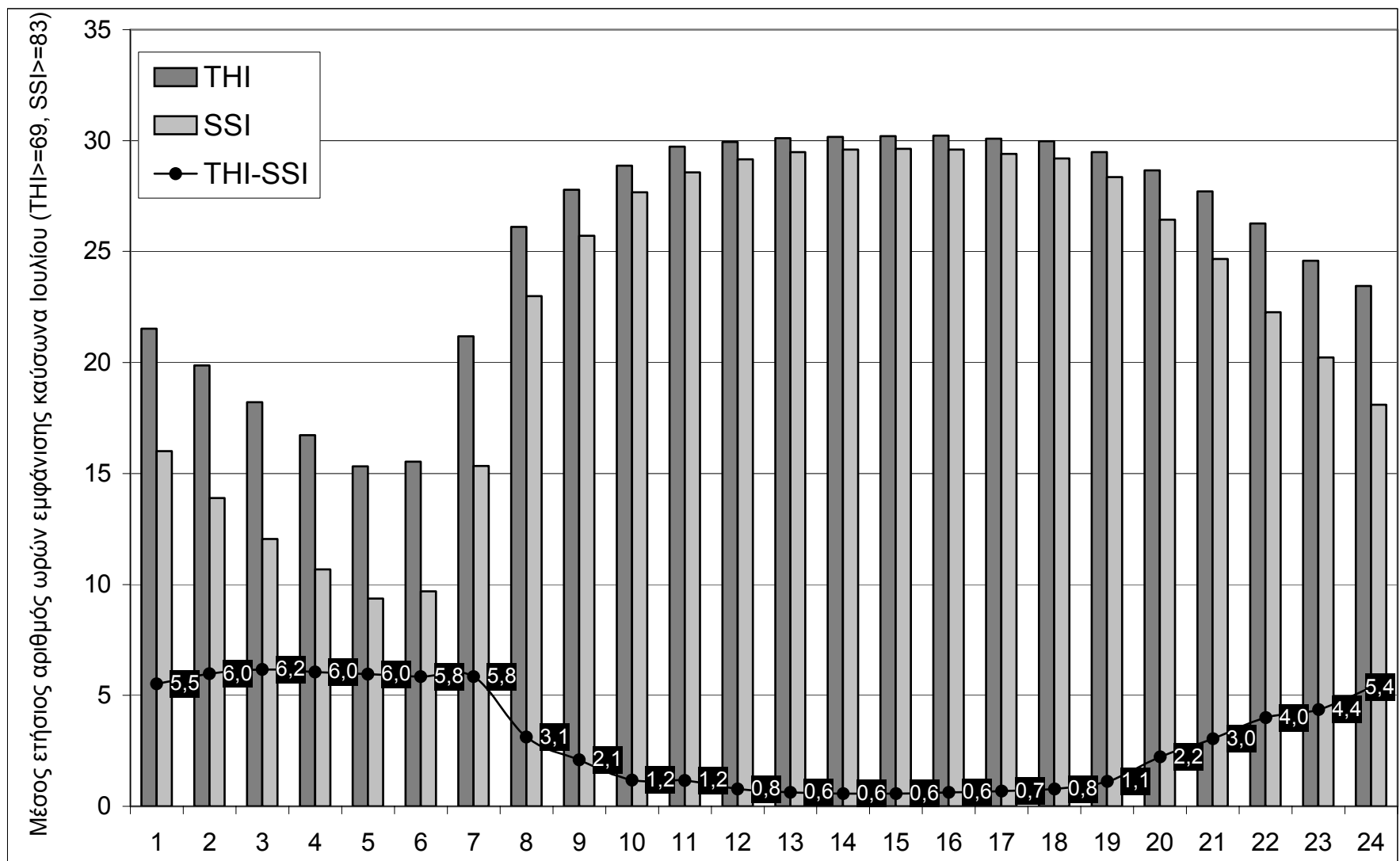
SSI'	Περιγραφή
$80 \leq SSI' < 92$	Άνετα – Θερμά
$92 \leq SSI' < 102$	Θερμά
$102 \leq SSI' < 110$	Εξαιρετικά θερμά
$110 \leq SSI' < 125$	Δυσφορία – Θερμοπληξία
$125 \leq SSI'$	Εξαιρετικός κίνδυνος θερμοπληξίας



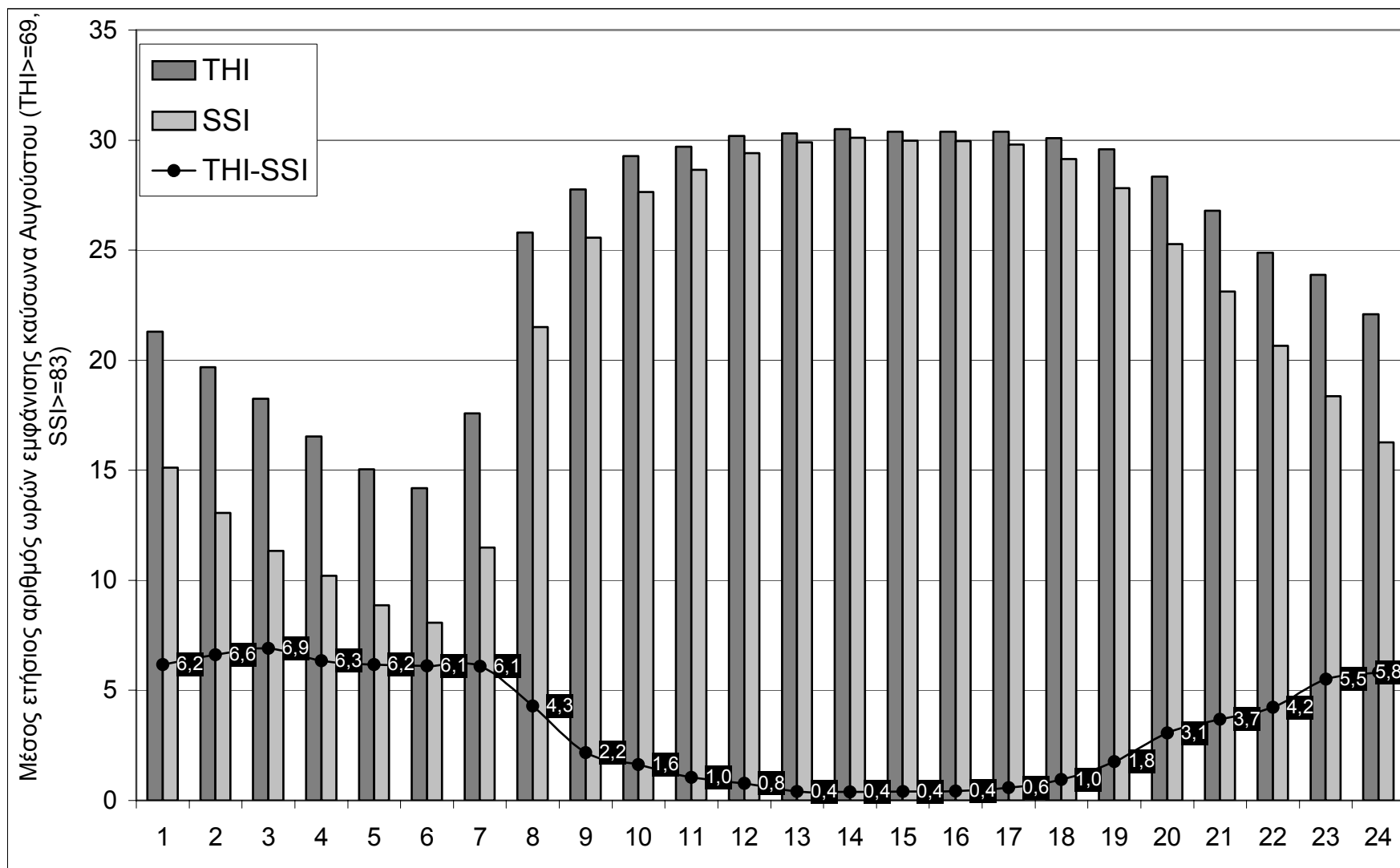
Σχήμα 2.43. Ωριαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI για το Μάιο (THI ≥ 69 και SSI ≥ 83)



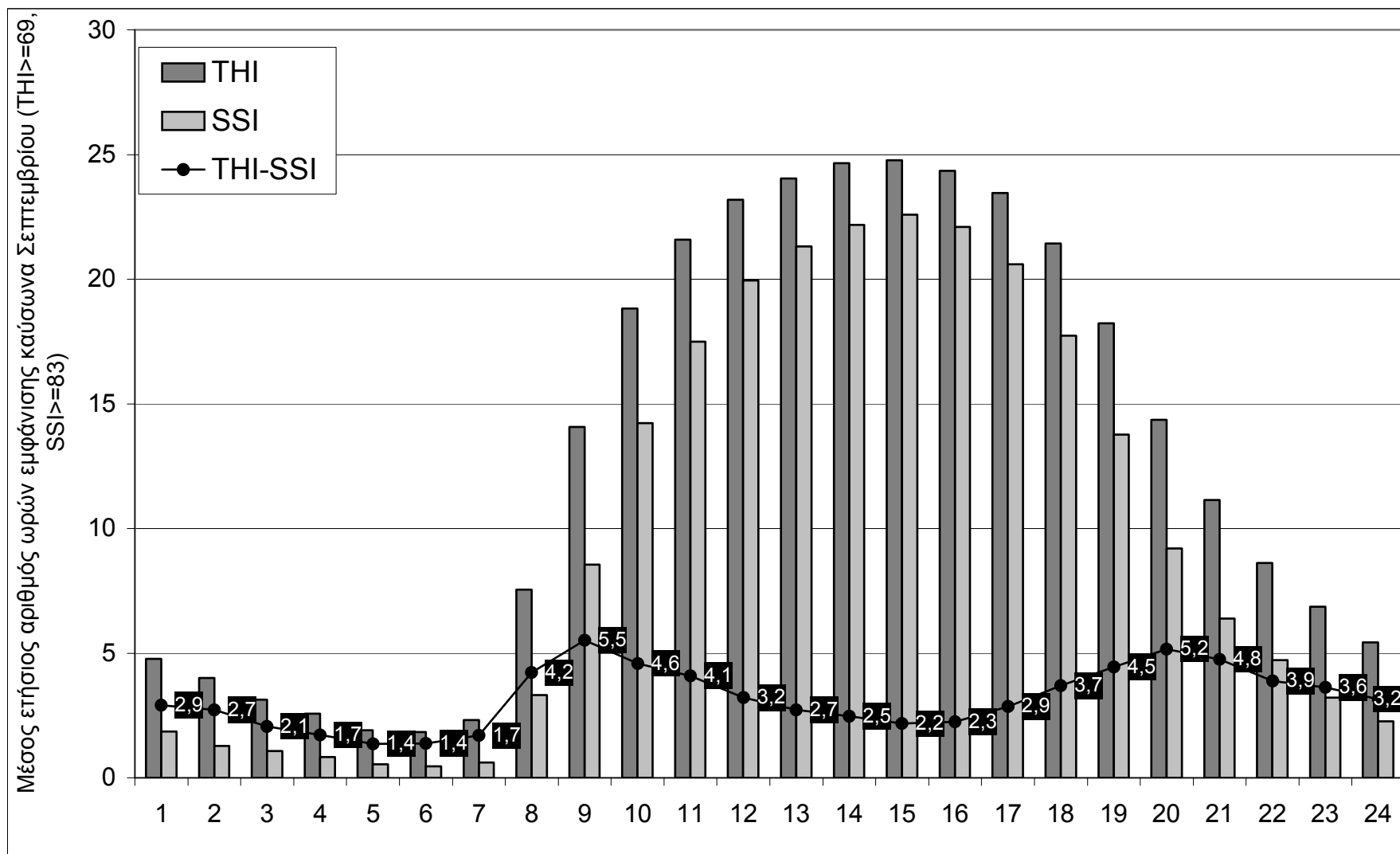
Σχήμα 2.44. Ωριαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI για τον Ιούνιο (THI ≥ 69 και SSI ≥ 83)



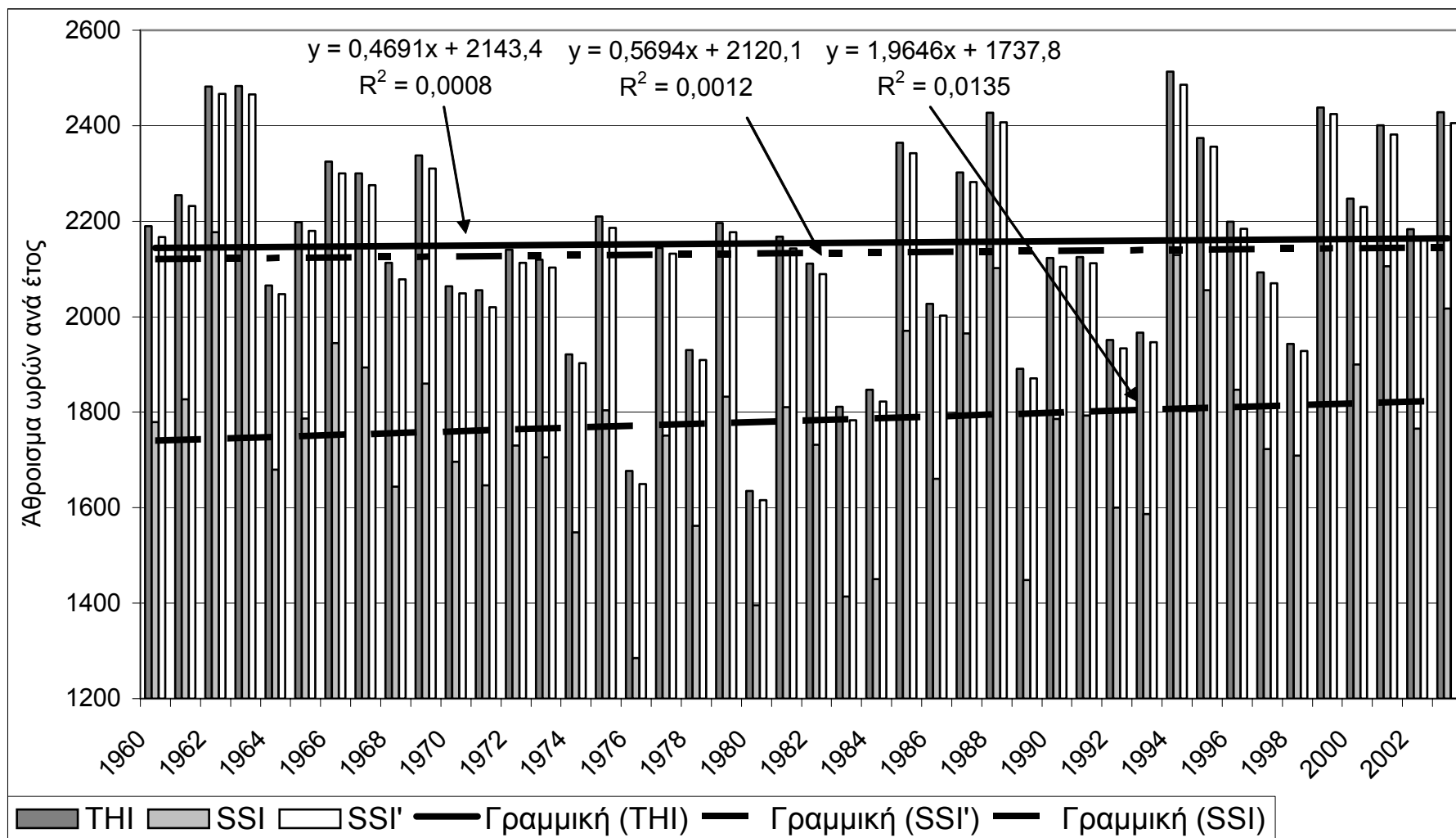
Σχήμα 2.45. Ωριαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI για τον Ιούλιο (THI ≥ 69 και SSI ≥ 83)



Σχήμα 2.46. Ωριαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI για τον Αύγουστο (THI ≥ 69 και SSI ≥ 83)



Σχήμα 2.47. Ωριαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI για το Σεπτέμβριο (THI ≥ 69 και SSI ≥ 83)



Σχήμα 2.48. Τάση χρονοσειράς επεισοδίων καύσινα ανά έτος για τους δείκτες THI, SSI και SSI'

Τελικά, η μελέτη των επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη βοήθεια των βιομετεωρολογικών δεικτών THI και SSI', σύμφωνα με την παρακάτω ταξινόμηση:

Πίνακας 2.2. Βαθμίδες των δεικτών THI και SSI' για τη μελέτη επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη

THI	Περιγραφή	SSI'	Περιγραφή
$69 \leq \text{THI} < 75$	Λίγα άτομα αισθάνονται δυσφορία	$80 \leq \text{SSI}' < 92$	Άνετα – Θερμά
$75 \leq \text{THI} < 80$	Τα μισά άτομα δυσφορούν	$92 \leq \text{SSI}' < 102$	Θερμά
$80 \leq \text{THI} < 84$	Όλα τα άτομα δυσφορούν	$102 \leq \text{SSI}' < 110$	Εξαιρετικά θερμά
$84 \leq \text{THI} < 92$	Ταχεία ελάττωση της εργασιακής αποδοτικότητας	$110 \leq \text{SSI}' < 125$	Δυσφορία – Θερμοπληξία
$92 \leq \text{THI}$	Εξαιρετικά επικίνδυνη κατάσταση	$125 \leq \text{SSI}'$	Εξαιρετικός κίνδυνος θερμοπληξίας - Λιποθυμίες

2.3.8. Μελέτη τάσης χρονοσειράς των δεικτών THI, SSI και SSI'

Μετά την καινούρια κατηγοριοποίηση του δείκτη SSI', ακολουθεί η μελέτη της τάσης της χρονοσειράς των δεικτών THI, SSI και SSI' (Σχήμα 2.48). Όλοι οι δείκτες εμφανίζονται με θετική τάση, με τον SSI να έχει μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης (SSI: 1.9646 ανά έτος), σε σύγκριση με τους άλλους δύο δείκτες, οι οποίες έχουν σχεδόν ίδια κλίση (THI: 0.4691 ανά έτος και SSI': 0.5694 ανά έτος).

Γεγονός πάντως είναι ότι με την πάροδο του χρόνου παρατηρείται αύξηση των ωρών εμφάνισης καύσωνα στη Θεσσαλονίκη. Η αύξηση αυτή μελετάται στο επόμενο μέρος της παρούσης εργασίας ειδίκευσης (Κεφάλαιο τρίτο), στο οποίο γίνεται πρόγνωση των επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη για συγκεκριμένες περιόδους μέχρι και το 2100, χρησιμοποιώντας το καναδικό μοντέλο γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας.

2.4 Συμπεράσματα – Ανακεφαλαίωση

Η μελέτη των δεικτών THI και SSI για τη χρονική περίοδο 1960-2003, έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

α. Μελέτη ανά έτος: Περισσότερο συχνή εμφανίζεται η βαθμίδα του δείκτη THI "οι μισοί άνθρωποι ενός συνόλου αισθάνονται δυσφορία", ενώ δεν παρατηρήθηκε καμία περίπτωση με χαρακτηρισμό "εξαιρετικά επικίνδυνη κατάσταση – λιποθυμίες". Το έτος με τη μικρότερη διάρκεια ημερών έντονης δυσφορίας είναι το 1980. Στο έτος αυτό σημειώθηκαν έντονα φαινόμενα δυσφορίας και ταχεία ελάττωση της εργασιακής αποδοτικότητας του συνόλου των ατόμων που εργάζονται σε κλειστό χώρο.

β. Μελέτη ανά μήνα:

ΜΑΙΟΣ: Η δυσφορία παρατηρείται από την ανατολή του ηλίου μέχρι τις βραδινές ώρες, με το μέγιστο να σημειώνεται στις 1400-1700. Εντοπίζονται οι βαθμίδες "τα μισά άτομα του συνόλου δυσφορούν" και "εξαιρετικά θερμό περιβάλλον", ενώ ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις όπου όλοι οι άνθρωποι δυσφορούν και μόνο στις 1500.

ΙΟΥΝΙΟΣ: Το μέγιστο δυσφορίας σημειώνεται στο διάστημα 1300-1800. Εντοπίζονται ακόμα και περιπτώσεις "ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας". Από τις 1000 έως τις 2000 όλα τα άτομα του συνόλου δυσφορούν, ενώ το μεσημέρι δυσφορούν έντονα.

ΙΟΥΛΙΟΣ: Παρατηρείται μέγιστο δυσφορίας τις μεσημβρινές ώρες ενώ ελάχιστο στις πρώτες πρωινές ώρες (0500-0600). Σημειώνονται αρκετές περιπτώσεις "ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας" από τις 1000 έως τις 2000, καθώς και περιπτώσεις θερμοπληξίας.

ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ: Εμφανίζει παρόμοια διακύμανση με τον Ιούλιο, με ελάχιστες διαφορές. Η σημαντικότερη διαφορά των δύο δεικτών είναι ότι τον Ιούλιο τα φαινόμενα δυσφορίας διαρκούν περισσότερο από ότι τον Αύγουστο (οι καταστάσεις δυσφορίας τον Αύγουστο έχουν συρρικνωθεί κατά δύο με τρεις ώρες). Σημειώνεται μέγιστο δυσφορίας τις μεσημβρινές ώρες και ελάχιστο νωρίς το πρωί (0500-0600).

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ: Σημαντική μείωση περιπτώσεων δυσφορίας. Κυρίως σημειώνονται οι δύο πρώτες βαθμίδες του THI, ενώ η βαθμίδα "όλα τα άτομα αισθάνονται δυσφορία" λόγω "εξαιρετικά θερμού περιβάλλοντος" εντοπίζεται μόνο στο διάστημα 1200-1800. Η δυσφορία είναι σημαντική τις μεσημβρινές ώρες, ενώ ελαχιστοποιείται τις βραδινές και πρωινές ώρες.

γ. Μελέτη ανά ώρα: Το μέγιστο δυσφορίας εμφανίζεται κατά τις μεσημβρινές ώρες σε ποσοστό ~86%. Οι περιπτώσεις της "ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας" λόγω "εξαιρετικά έντονης δυσφορίας και θερμοπληξίας" σημειώνονται από τις 1200 έως τις 1800. Νωρίς το πρωί (0500-0600) οι περιπτώσεις δυσφορίας περιορίζονται ελάχιστα και μόνο οι ευπαθής ομάδες δυσφορούν.

δ. Έτη με έντονη δυσφορία: Εντοπίζονται δέκα έτη με έντονη δυσφορία στην περίοδο 1960-2003: 1963, 1968, 1980, 1981, 1987, 1988, 1996, 1997, 2000, 2003. Τα έτη αυτά χαρακτηρίζονται από πολυάριθμες περιπτώσεις έντονης δυσφορίας και θερμοπληξίας, κατά τη διάρκεια του πενταμήνου Μαΐου – Σεπτεμβρίου.

Η σύγκριση των ετών ανά ζεύγη έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

1963-1968: Το 1963 χαρακτηρίζεται θερμότερο από το 1968, ιδιαίτερα κατά τις μεσημβρινές ώρες.

1968-1980: Τα θερμά επεισόδια σε χρονική διάρκεια είναι περισσότερα το 1968, αλλά περισσότερο ακραίες υψηλές θερμοκρασίες σημειώνονται το 1980.

1980-1981: Το 1981 εμφανίζεται θερμότερο από το 1980, μιας και στο πρώτο τα επεισόδια καύσωνα είναι πολύ πιο έντονα και πολύ πιο συχνά. Το 1980 εμφανίζεται θερμότερο μόνο τις πρώτες πρωινές ώρες.

1981-1987: Το 1987 χαρακτηρίζεται θερμότερο από το 1981. Χαρακτηριστικό είναι ότι το 1987 σε ολόκληρο το 24ωρο σημειώθηκαν φαινόμενα δυσφορίας (ακόμα και νωρίς το πρωί), ενώ τις μεσημβρινές ώρες η αποπνικτική ατμόσφαιρα οδηγούσε σε προβλήματα στην εργασιακή αποδοτικότητα.

1987-1988: Θεωρούνται από τα θερμότερα έτη της περιόδου 1960-2003. Τις μεσημβρινές ώρες, το 1987 εμφανίζεται με περισσότερο ακραία φαινόμενα υψηλής θερμοκρασίας, ενώ τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου τα ακραία φαινόμενα είναι περισσότερο έντονα κατά το 1988.

1988-1996: Το 1988 χαρακτηρίζεται από δυσφορότερες καταστάσεις. Στο έτος αυτό, κατά τη διάρκεια του μεσημεριού σημειώνεται εξαιρετικά έντονη δυσφορία,

1996-1997: Σε διάρκεια τα φαινόμενα είναι περισσότερα το 1996, αλλά το 1997 σημειώνονται πιο ακραίες καταστάσεις δυσφορίας. Στη διάρκεια 1400-1600 το 1996 είναι θερμότερο, ενώ από τις 1700 μέχρι τις 1900 το 1997 εμφανίζεται θερμότερο.

1997-2000: Το 2000 εμφανίζεται θερμότερο του 1997. Στο 2000 σημειώνεται έντονη δυσφορία από τις 0800 μέχρι τις 2100, με το μέγιστο να εντοπίζεται τις μεσημβρινές ώρες.

2000-2003: Τις πρώτες απογευματινές ώρες (1500-1800) το 2000 εμφανίζεται πολύ θερμότερο σε σύγκριση με το 2003, ενώ το τελευταίο χαρακτηρίζεται πολύ πιο θερμό όλες τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου.

ε. Εντοπίστηκαν 468 επεισόδια διαδοχικών ημερών καύσωνα στη χρονική περίοδο 1960-2003 στη Θεσσαλονίκη για το διάστημα Μαΐου – Σεπτεμβρίου. Συχνότερες είναι οι περιπτώσεις καύσωνα ακολουθίας 36 ωρών.

στ. Πραγματοποιήθηκε η ετήσια και μηνιαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI για τις περιπτώσεις καύσωνα ($THI \geq 69$, $SSI \geq 83$). Προκύπτει ότι η μεγαλύτερη διαφορά των δεικτών σημειώνεται στα έτη 1968, 1969 και 1989 και στο μήνα Ιούνιο. Η ελάχιστη διαφορά σημειώνεται στα έτη 1980 και 1998 και στο μήνα Μάιο. Το Μάιο η διαφορά των δεικτών είναι μέγιστη το μεσημέρι, ενώ τους υπόλοιπους μήνες η διαφορά αυτή μεγιστοποιείται τις βραδινές ώρες.

ζ. Ο SSI συγκρίνεται με τον THI και κατηγοριοποιείται εκ νέου ώστε να γίνει εφαρμόσιμος στη Θεσσαλονίκη ως SSI'.

η. Η μελέτη της τάσης της χρονοσειράς των THI, SSI και SSI', έδωσε θετική τάση και στους τρεις δείκτες, με τη μεγαλύτερη τάση να εμφανίζεται στο δείκτη SSI.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΚΑΥΣΩΝΑ ΣΤΟ ΜΕΛΛΟΝ

3.1 Εισαγωγή

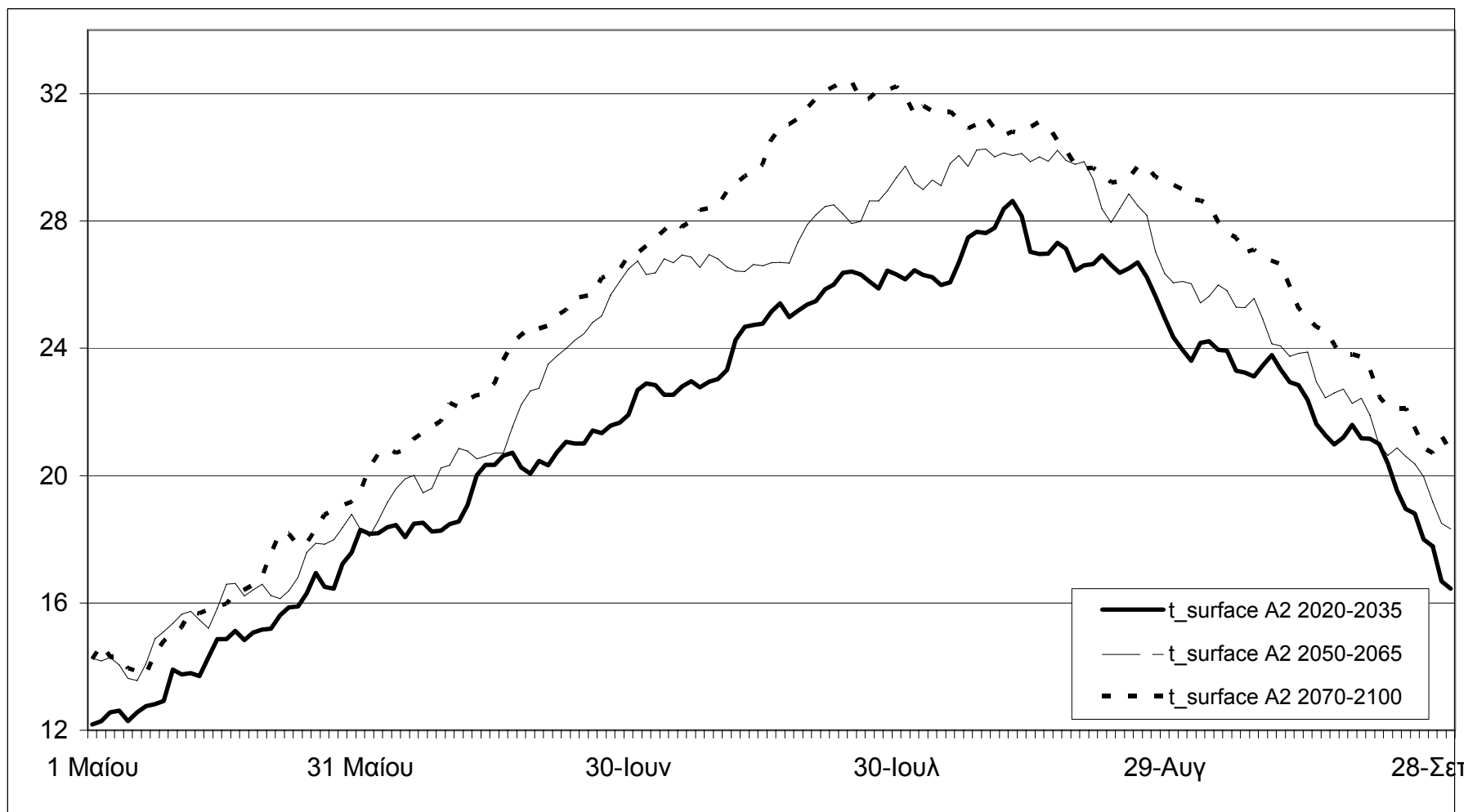
Στο κεφάλαιο αυτό χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας δεύτερης γενιάς (CGCM2) προκειμένου να γίνει πρόβλεψη της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας σε τρεις διαφορετικές μελλοντικές περιόδους (2020-2035, 2050-2065, 2070-2100) στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η προβολή του μοντέλου στο μέλλον αναφέρεται στα δύο κλιματικά σενάρια εκπομπής, SRES A2 και SRES B2 του IPCC. Οι διαφορές αυτών των σεναρίων αναφέρθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο της εισαγωγής.

Αρχικά συγκρίνεται η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία των σεναρίων εκπομπής με τις παρατηρήσεις της περιόδου 1960-2003. Πραγματοποιείται η ημερήσια και η μηνιαία σύγκριση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας μεταξύ μελλοντικών περιόδων και μελλοντικών περιόδων και παρατηρήσεων, αντιστοίχως, για τα δύο σενάρια. Στη συνέχεια υπολογίζονται οι δείκτες THI και SSI (πρόκειται για τη νέα διαβάθμιση του δείκτη SSI) καθώς και η σχετική συχνότητα εμφάνισης αυτών ανά περίοδο και ανά σενάριο εκπομπής. Η μελέτη ολοκληρώνεται με τη σύγκριση των σχετικών συχνοτήτων των δύο δεικτών μεταξύ σεναρίων.

3.2 Ημερήσια σύγκριση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μεταξύ μελλοντικών περιόδων για τα δύο σενάρια εκπομπής

Με βάση τα δεδομένα του CGCM2 υπολογίζεται η μέση ημερήσια θερμοκρασία και σχετική υγρασία για τις περιόδους 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στη χρονική περίοδο Μαΐου - Σεπτεμβρίου (Σχήματα 3.2.1 έως 3.2.4).

Μελετώντας τη μέση ημερήσια θερμοκρασία (Σχήμα 3.2.1) παρατηρούμε ότι για τις τρεις περιόδους για το σενάριο A2, αναμένονται σημαντικές διαφορές στη μελλοντική μέση ημερήσια θερμοκρασία μεταξύ των τριών περιόδων.



Σχήμα 3.2.1 Ημερήσια σύγκριση μέσης θερμοκρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100. Σενάριο εκπομπής A2.

Σα συνάρτηση των μελλοντικών ετών, παρατηρείται μια σταδιακή έως και έντονη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στη Θεσσαλονίκη. Μάλιστα η περίοδος 2070-2100, προβλέπεται πολύ θερμότερη σε σύγκριση με τις άλλες δύο, με τη μεγαλύτερη διαφορά να εντοπίζεται στο δεύτερο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου. Τέλος, η μεγαλύτερη διαφορά των περιόδων 2020-2035 και 2050-2065 προβλέπεται στα τέλη Ιουνίου και στις αρχές Ιουλίου.

Στο Σχήμα 3.2.2 απεικονίζεται η σύγκριση της μέσης θερμοκρασίας των μελλοντικών περιόδων για το σενάριο εκπομπής B2. Το μοντέλο για το σενάριο αυτό προβλέπει σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας καθώς οδηγούμαστε προς το μέλλον.

Επιπλέον, η διαφορά στη μέση θερμοκρασία μεταξύ των περιόδων δεν είναι τόσο σημαντική. Η περίοδος από τα τέλη Ιουλίου μέχρι και το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου προβλέπει το ίδιο θερμές τις περιόδους 2050-2065 και 2070-2100. Ομοίως και για το διάστημα από τα μέσα Σεπτεμβρίου έως και τα τέλη του μήνα.

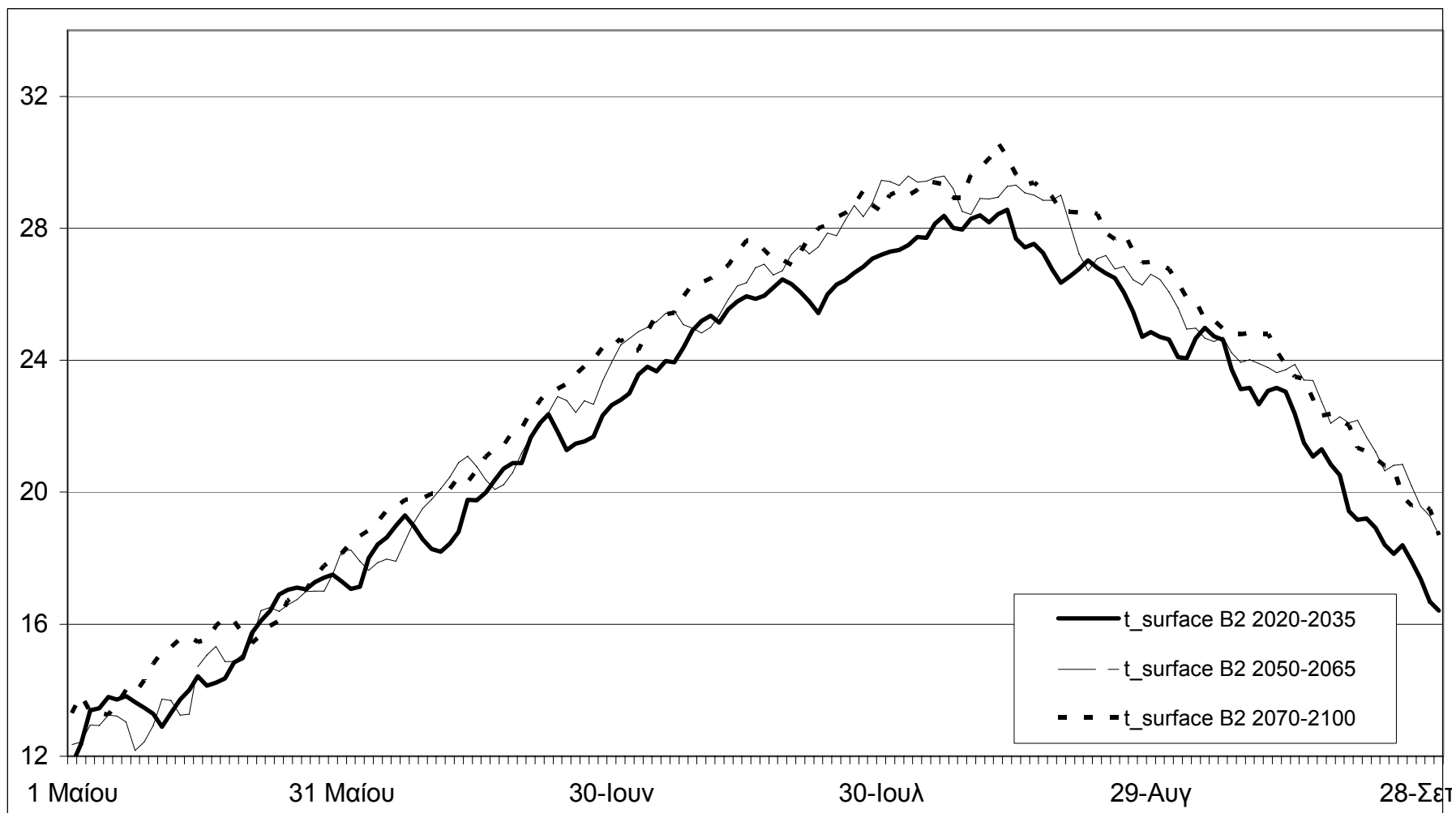
Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια A2 και B2, διαπιστώνει κανείς ότι πράγματι το σενάριο A2 προβλέπει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με το B2 σενάριο. Συγκεκριμένα η υψηλότερη μέση ημερήσια θερμοκρασία των περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100 σύμφωνα με το σενάριο A2 αναμένεται να φτάσει στους 28.6 °C, 30.3 °C και 32.4 °C, αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες τιμές της μέσης θερμοκρασίας για το σενάριο B2 είναι 28.6 °C, 29.6 °C και 30.6 °C. Πάντως οι περίοδοι που εντοπίζονται τα μέγιστα της θερμοκρασίας είναι στα τέλη Ιουλίου και στις αρχές Αυγούστου και στα δύο σενάρια εκπομπής. Μία ακόμα διαφορά μεταξύ των δύο σεναρίων είναι η σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των περιόδων που προβλέπεται από το σενάριο A2 (σε αντίθεση με την αντίστοιχη με το σενάριο B2). Η διαφορά των δύο σεναρίων στις τιμές της θερμοκρασίας του αέρα δικαιολογούνται δεδομένου ότι το σενάριο εκπομπής A2 προβλέπει μεγαλύτερο ρυθμό εκπομπής θερμοκηπικών αερίων σε σχέση με το σενάριο B2.

Δεδομένου ότι ο καύσωνας επηρεάζεται τόσο από τη θερμοκρασία όσο και από την υγρασία του επιφανειακού αέρα σε μία περιοχή, θεωρήθηκε σημαντικό να γίνει και η σύγκριση της σχετικής υγρασίας του αέρα μεταξύ των μελλοντικών περιόδων για τα δύο σενάρια εκπομπής. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 3.2.3 και 3.2.4.

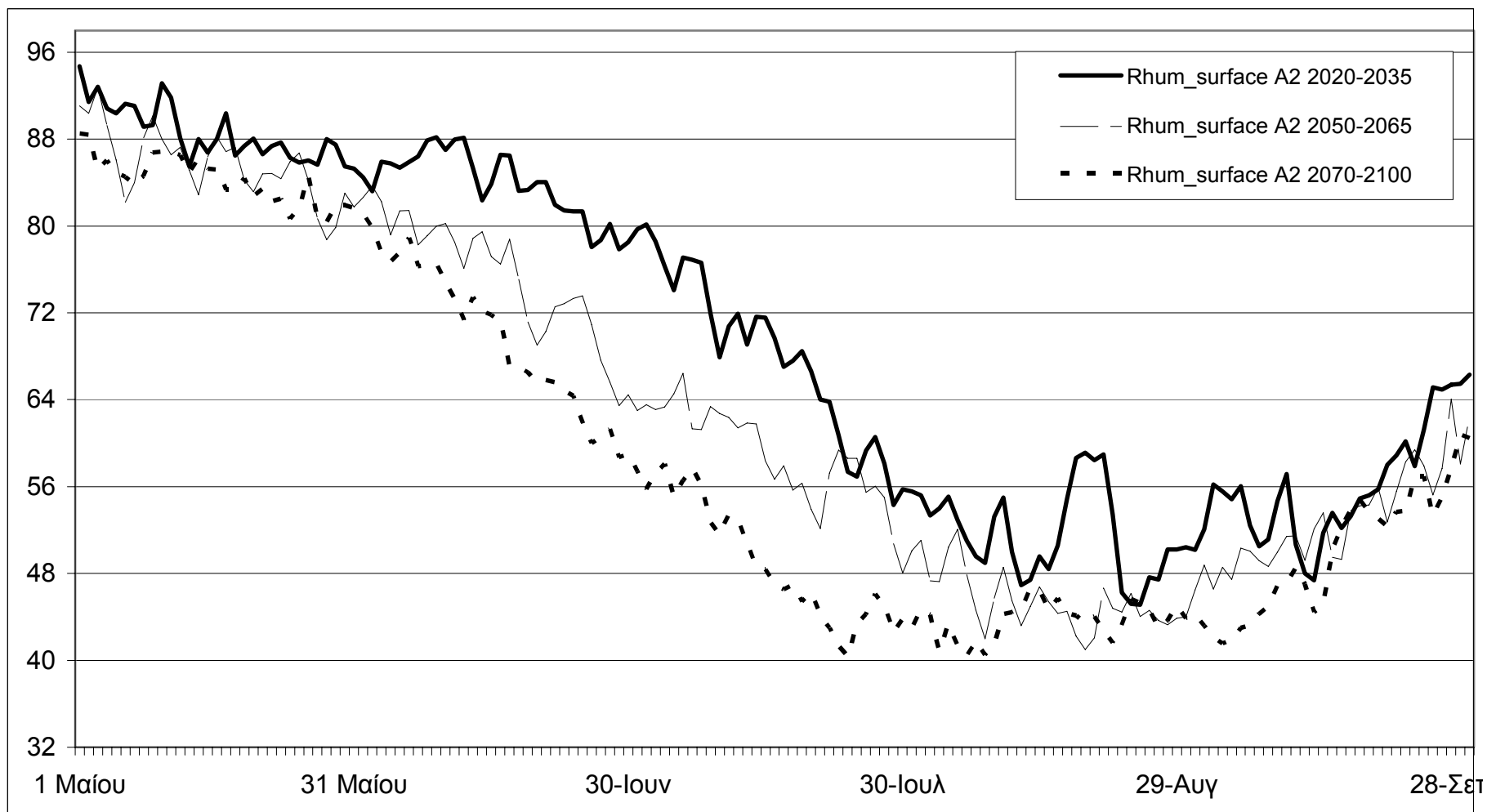
Στο Σχήμα 3.2.3 απεικονίζεται η σύγκριση της σχετικής υγρασίας μεταξύ των περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100 για το σενάριο εκπομπής A2. Για τις τρεις μελλοντικές περιόδους προβλέπεται πτωτική τάση της σχετικής υγρασίας μέχρι τις αρχές του δεύτερου μισού του Αυγούστου. Από τα τέλη Αυγούστου κι έπειτα προβλέπεται τάση αύξησης της σχετικής υγρασίας του αέρα. Επιπλέον, η περίοδος 2070-2100 αναμένεται με τη μικρότερη μέση σχετική υγρασία, ενώ η περίοδος 2020-2035 με τη μεγαλύτερη. Τέλος, να σημειωθεί ότι στο δεύτερο δεκαπενθήμερο του Αυγούστου, η δεύτερη και η τρίτη μελλοντική περίοδος προβλέπουν σχεδόν την ίδια σχετική υγρασία.

Η μελέτη της μέσης σχετικής υγρασίας για το σενάριο B2 απεικονίζεται στο Σχήμα 3.2.4. Οι μελλοντικές περίοδοι δεν διαφέρουν και πολύ μεταξύ τους, ενώ εμφανίζουν πτωτική τάση από την αρχή της περιόδου μελέτης μέχρι τα μέσα Αυγούστου περίπου, και στη συνέχεια σημειώνουν ανοδική τάση μέχρι το τέλος της περιόδου. Μία σύγκριση της μέσης σχετικής υγρασίας μεταξύ των δύο σεναρίων εκπομπής A2 και B2, για τις διάφορες μελλοντικές περιόδους, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι τιμές της σχετικής υγρασίας για το σενάριο A2 των περιόδων έχουν μεγαλύτερη διακύμανση από τις αντίστοιχες για το B2. Επιπλέον, το σενάριο A2 προβλέπει για την τρίτη μελλοντική περίοδο μικρότερη σχετική υγρασία συγκρινόμενη με το σενάριο B2.

Η διαφορά των δύο σεναρίων εκπομπής στις τιμές της σχετικής υγρασίας θα μπορούσε να δικαιολογηθεί από το γεγονός ότι το σενάριο B2 λαμβάνει περισσότερα



Σχήμα 3.2.2 Ημερήσια σύγκριση μέσης θερμοκρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100. Σενάριο εκπομπής B2.



Σχήμα 3.2.3 Ημερήσια σύγκριση μέσης σχετικής υγρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100. Σενάριο εκπομπής A2.

υπόψη του τις ωκεάνιες παραμέτρους και γι' αυτό αναμένεται περισσότερη σχετική υγρασία με το σενάριο αυτό, συγκρινόμενο με το σενάριο A2.

3.3 Μηνιαία σύγκριση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας μεταξύ σεναρίων και παρατηρήσεων

Η μηνιαία σύγκριση της μέσης θερμοκρασίας του σεναρίου A2 με τις παρατηρήσεις σημειώνεται στο Σχήμα 3.3.1. Το Μάιο παρατηρούμε ότι η μέση θερμοκρασία και για τις τρεις μελλοντικές περιόδους προβλέπεται μικρότερη από την αντίστοιχη για την περίοδο 1960-2003. Τον Ιούνιο επικρατεί το ίδιο σκηνικό με τη διαφορά ότι έχει ελαττωθεί η θερμοκρασιακή απόσταση των σεναρίων με τις παρατηρήσεις. Τους μήνες Ιούλιο - Σεπτέμβριο η μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία παρατηρείται στην περίοδο 2070-2100, ενώ ακολουθεί η περίοδος 2050-2065.

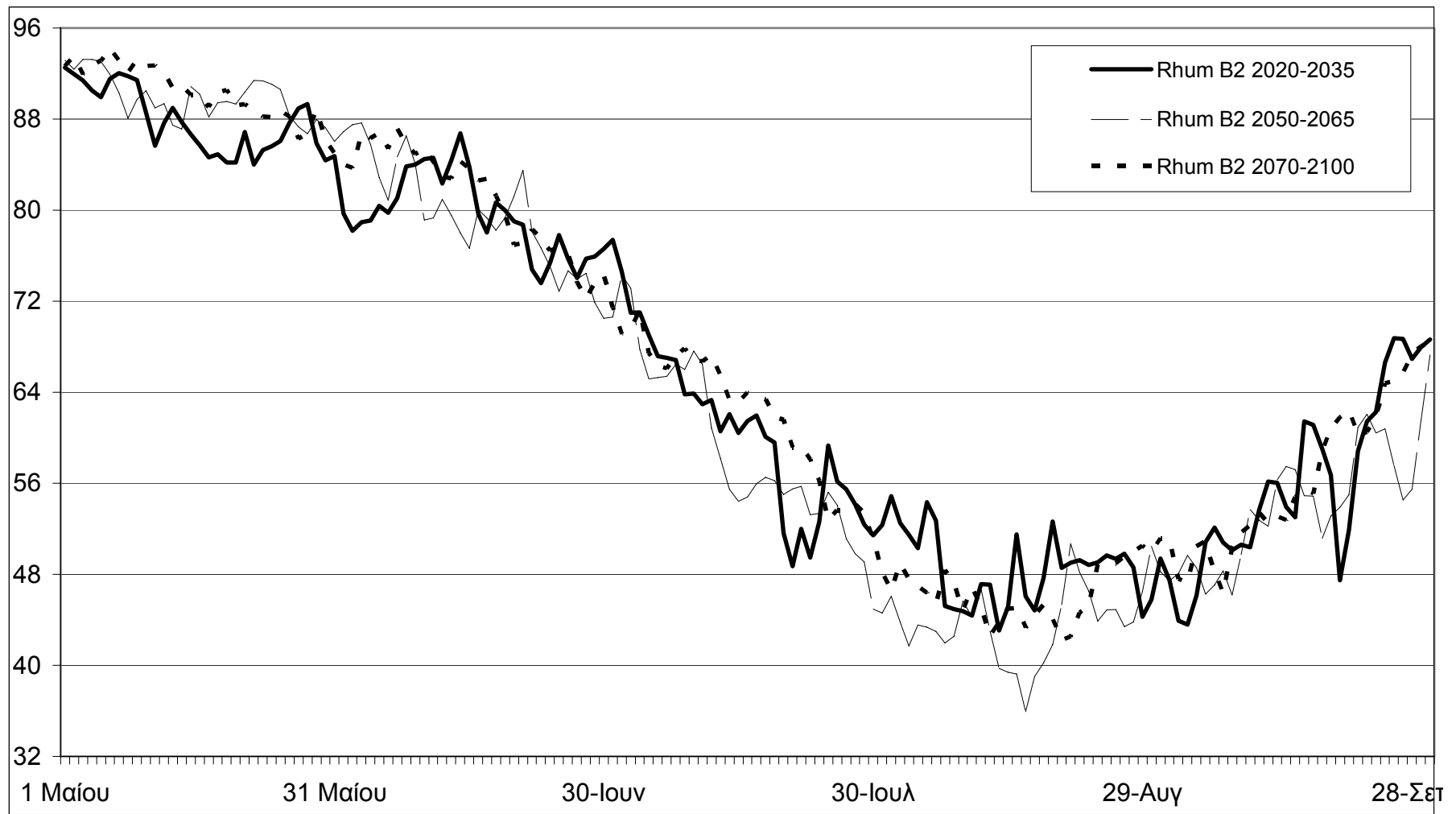
Η σύγκριση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας για το σενάριο εκπομπής B2 δίνεται στο Σχήμα 3.3.2. Το Μάιο και τον Ιούνιο, η μέση μηνιαία θερμοκρασία για τις μελλοντικές περιόδους προβλέπεται μικρότερη από τις παρατηρήσεις. Αντίθετα, τους υπόλοιπους τρεις μήνες, η δεύτερη (2050-2065) και η τρίτη (2070-2100) μελλοντική περίοδος εμφανίζεται θερμότερη από την περίοδο 1960-2003. Ωστόσο, για το τελευταίο τρίμηνο της περιόδου μελέτης, η πρώτη μελλοντική περίοδος (2020-2035) διαφέρει ελάχιστα από την παρελθούσα χρονική περίοδο.

Τέλος, μία σύγκριση των δύο σεναρίων εκπομπής, για τη μέση μηνιαία θερμοκρασία, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το σενάριο B2 προβλέπει, σε ολόκληρο το πεντάμηνο μελέτης, μικρότερη μέση θερμοκρασία για τη δεύτερη και τρίτη μελλοντική περίοδο από τις αντίστοιχες του A2. Αντίθετα, το σενάριο B2 προβλέπει λίγο μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία για την περίοδο 2020-2035 από αυτήν που προβλέπει το σενάριο A2.

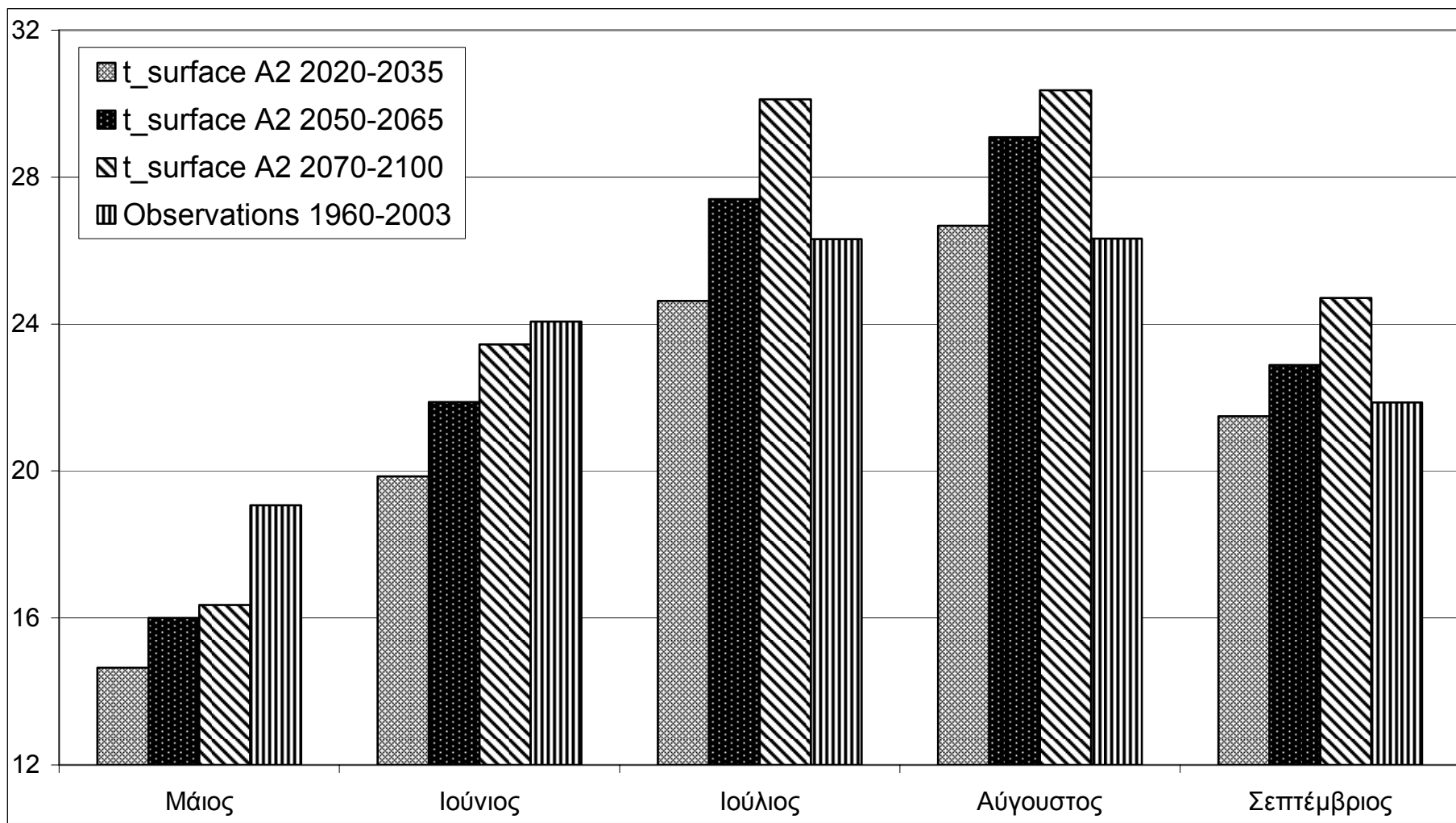
Οι μέσες τιμές θερμοκρασίας για τα δύο σενάρια εκπομπής και για τις διάφορες περιόδους, μελλοντικές και παρελθούσες, παρατίθενται στους Πίνακες 3.3.1 και 3.3.2.

Πίνακας 3.3.1. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας (°C) για τις διάφορες περιόδους, όπως προβλέπονται από το σενάριο εκπομπής A2.

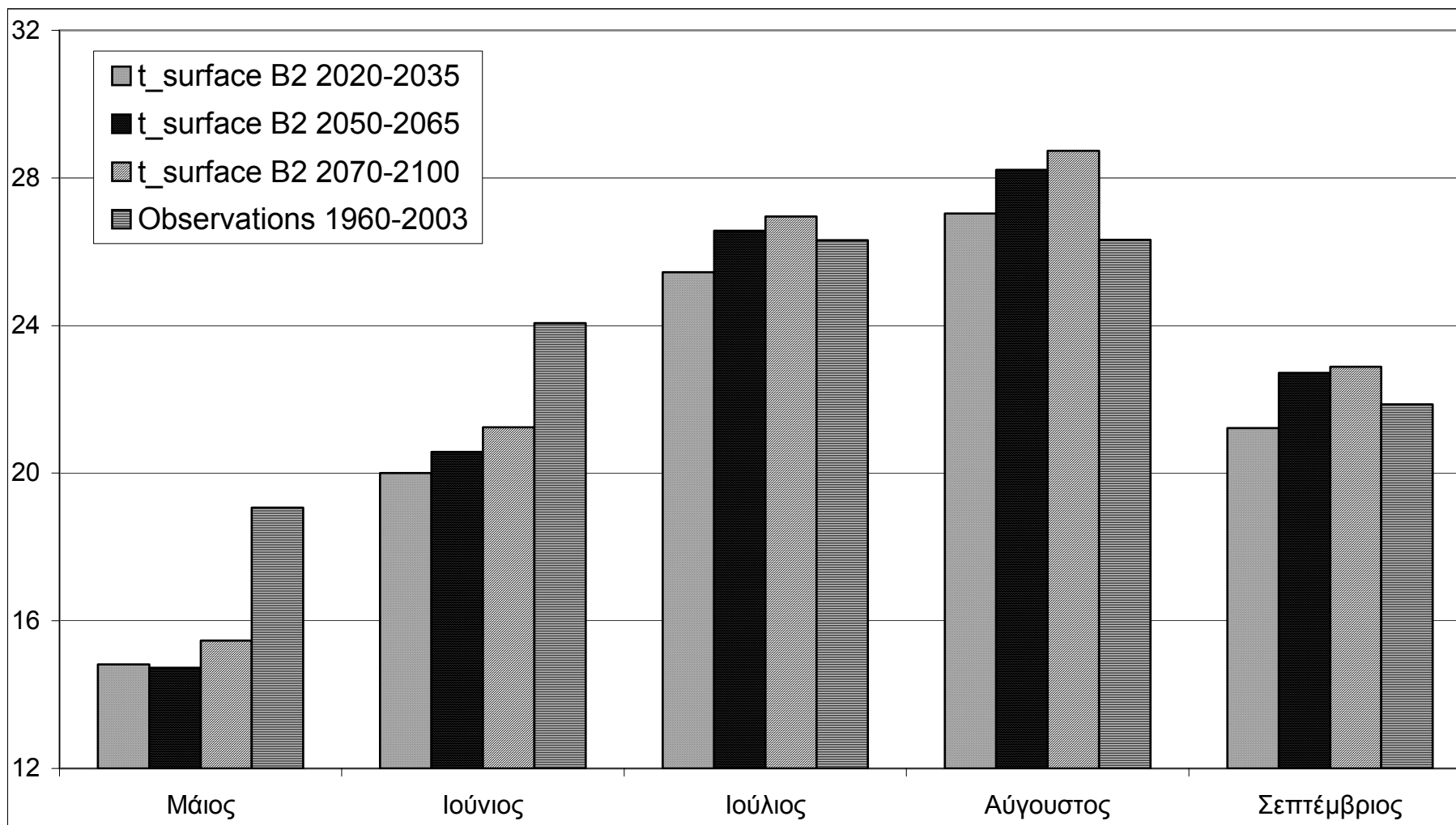
Σενάριο εκπομπής A2	Μέση θερμοκρασία περιόδου 2020-2035	Μέση θερμοκρασία περιόδου 2050-2065	Μέση θερμοκρασία περιόδου 2070-2100	Μέση θερμοκρασία παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003
Μάιος	14.7	16.0	16.4	19.1
Ιούνιος	19.9	21.9	23.4	24.1
Ιούλιος	24.6	27.4	30.1	26.3
Αύγουστος	26.7	29.1	30.4	26.3
Σεπτέμβριος	21.5	22.9	24.7	21.9



Σχήμα 3.2.4 Ημερήσια σύγκριση μέσης σχετικής υγρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100. Σενάριο εκπομπής B2.



Σχήμα 3.3.1 Μηνιαία σύγκριση μέσης θερμοκρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100 και των παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003. Σενάριο εκπομπής A2.



Σχήμα 3.3.2 Μηνιαία σύγκριση μέσης θερμοκρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100 και των παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003. Σενάριο εκπομπής B2.

Πίνακας 3.3.2. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας (°C) για τις διάφορες περιόδους, όπως προβλέπονται από το σενάριο εκπομπής B2.

Σενάριο εκπομπής B2	Μέση θερμοκρασία περιόδου 2020-2035	Μέση θερμοκρασία περιόδου 2050-2065	Μέση θερμοκρασία περιόδου 2070-2100	Μέση θερμοκρασία παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003
Μάιος	14.8	14.7	15.5	19.1
Ιούνιος	20.0	20.6	21.2	24.1
Ιούλιος	25.4	26.6	27.0	26.3
Αύγουστος	27.0	28.2	28.7	26.3
Σεπτέμβριος	21.2	22.7	22.9	21.9

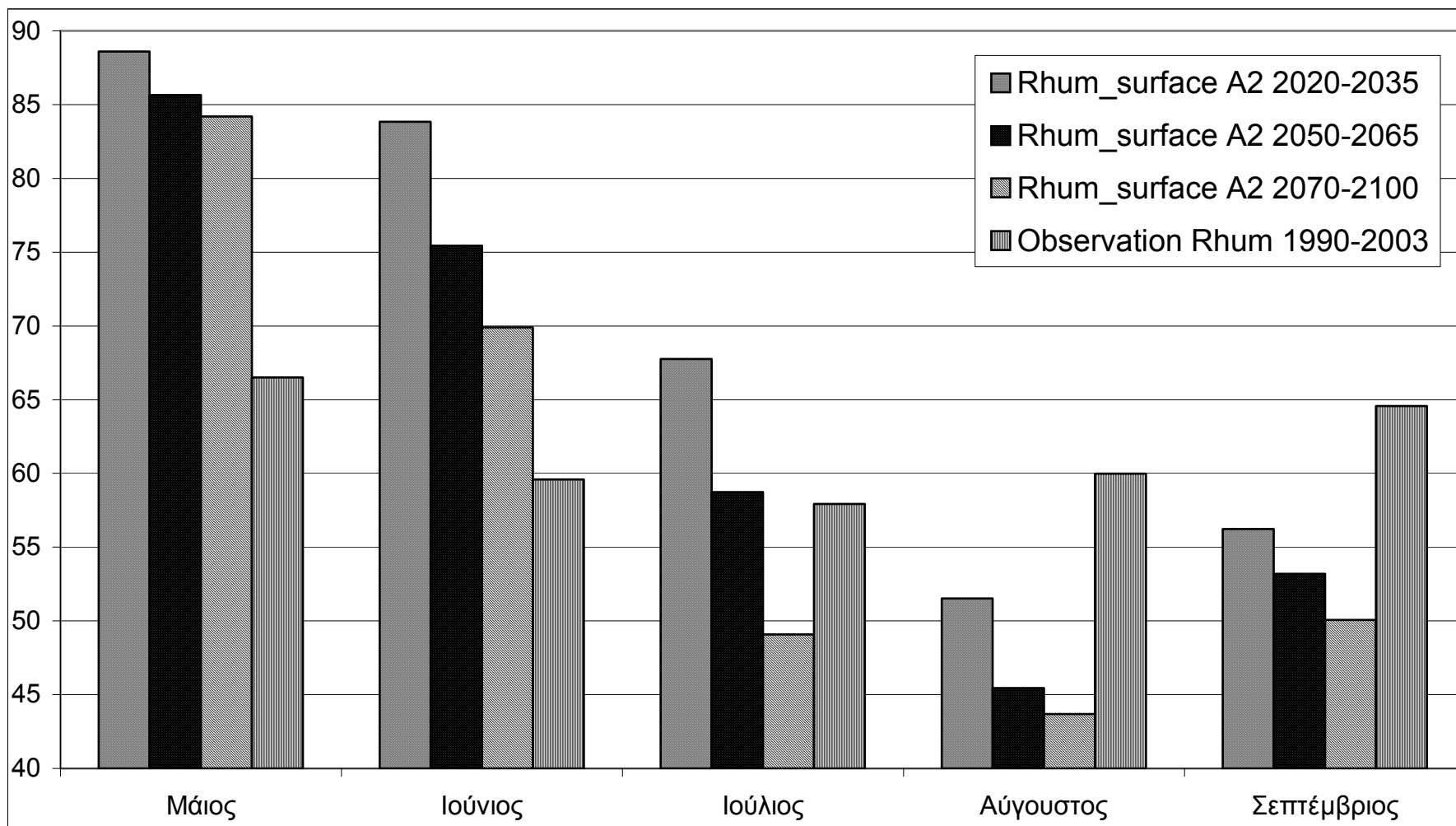
Το σενάριο εκπομπής A2 (Σχήμα 3.3.3) προβλέπει ότι το Μάιο και τον Ιούνιο η μέση σχετική υγρασία για τις μελλοντικές περιόδους θα είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των παρατηρήσεων της περιόδου 1960-2003. Τον Ιούλιο, η μέση σχετική υγρασία της περιόδου 2070-2100 αναμένεται μικρότερη από την αντίστοιχη των ιστορικών δεδομένων. Αντίθετα, η πρώτη και η δεύτερη μελλοντική περίοδος προβλέπει μεγαλύτερες και ελάχιστα μεγαλύτερη, αντίστοιχα, από την περίοδο 1960-2003. Τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, και οι τρεις μελλοντικές περίοδοι δίνουν μικρότερη σχετική υγρασία από τις παρατηρήσεις, με την ελάχιστη να αντιστοιχεί στην περίοδο 2070-2100.

Η μελέτη της μέσης μηνιαίας σχετικής υγρασίας για το σενάριο B2 απεικονίζεται στο Σχήμα 3.3.4. Το Μάιο, αναμένεται πολύ μεγαλύτερη σχετική υγρασία σε σύγκριση με τα ιστορικά στοιχεία, όπως άλλωστε και τον Ιούνιο. Τον Ιούλιο, η σχετική υγρασία για κάθε περίοδο δεν διαφέρει και πολύ από τις παρατηρήσεις, ενώ τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο, οι προβλεπόμενες τιμές της σχετικής υγρασίας για τις μελλοντικές περιόδους είναι μικρότερες από τη μέση υγρασία της περιόδου 1960-2003.

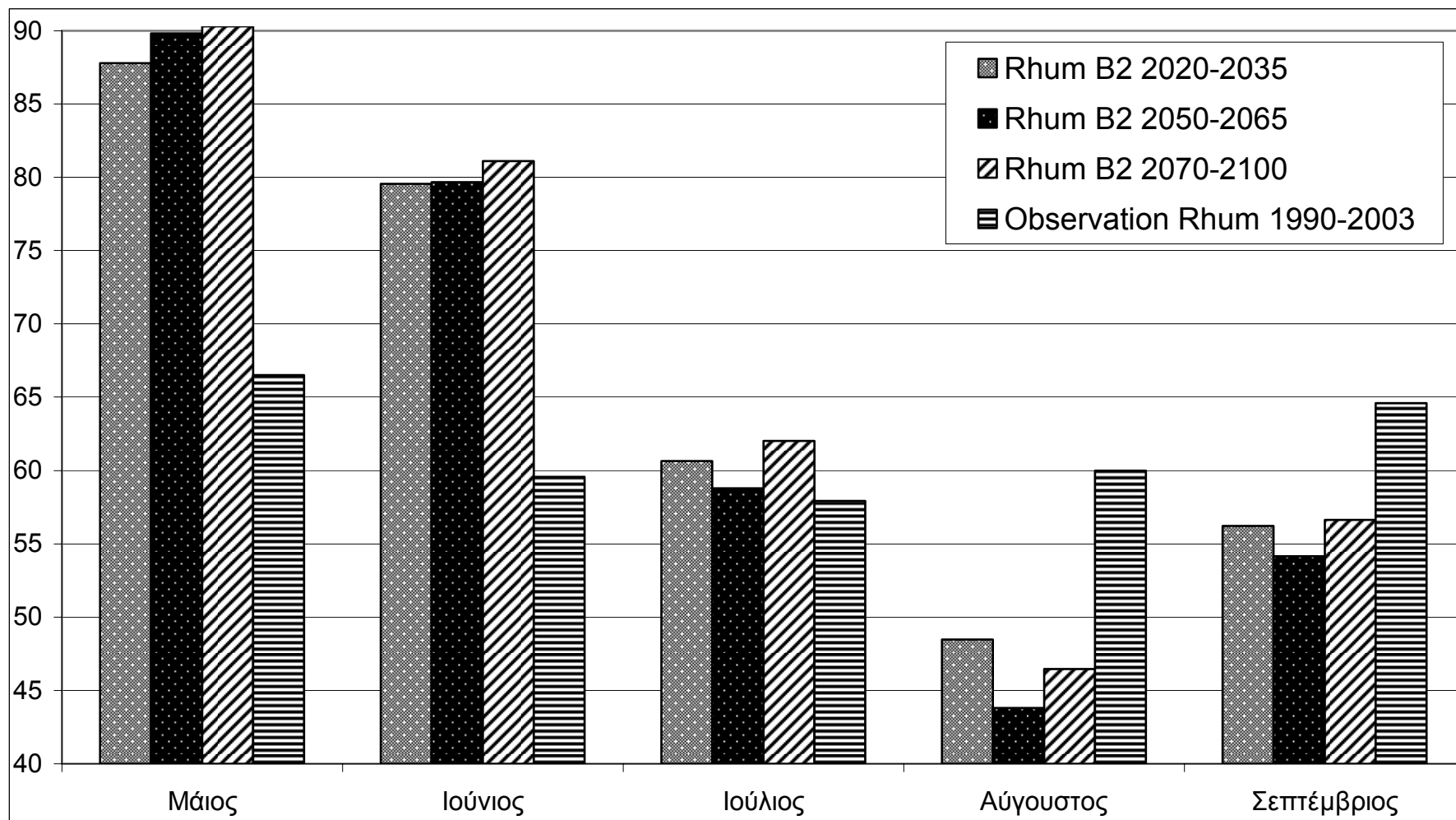
Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια εκπομπής, A2 και B2, παρατηρούμε ότι το σενάριο B2 προβλέπει, ως επί το πλείστον, μεγαλύτερες τιμές σχετικής υγρασίας για τις περιόδους 2050-2065 και 2070-2100 σε σχέση με αυτές που προβλέπει το σενάριο A2. Αντίθετα, το ίδιο σενάριο προβλέπει μικρότερες τιμές σχετικής υγρασίας για την πρώτη περίοδο (2020-2035). Οι μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας για κάθε περίοδο, όπως προβλέπεται από κάθε σενάριο εκπομπής, παρατίθενται στους Πίνακες 3.3.3 και 3.3.4.

Πίνακας 3.3.3. Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας (%) για τις διάφορες περιόδους, όπως προβλέπονται από το σενάριο εκπομπής A2.

Σενάριο εκπομπής A2	Μέση σχετική υγρασία περιόδου 2020-2035	Μέση σχετική υγρασία περιόδου 2050-2065	Μέση σχετική υγρασία περιόδου 2070-2100	Μέση σχετική υγρασία παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003
Μάιος	88.6	85.6	84.2	66.5
Ιούνιος	83.8	75.4	69.9	59.6
Ιούλιος	67.7	58.7	49.1	57.9
Αύγουστος	51.5	45.4	43.7	60.0
Σεπτέμβριος	56.2	53.2	50.1	64.6



Σχήμα 3.3.3 Μηνιαία σύγκριση μέσης σχετικής υγρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100 και των παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003. Σενάριο εκπομπής A2.



Σχήμα 3.3.4 Μηνιαία σύγκριση μέσης σχετικής υγρασίας αέρα στη Θεσσαλονίκη μεταξύ των μελλοντικών περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100 και των παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003. Σενάριο εκπομπής B2.

Πίνακας 3.3.4. Μέσες μηνιαίες τιμές σχετικής υγρασίας (%) για τις διάφορες περιόδους, όπως προβλέπονται από το σενάριο εκπομπής B2.

Σενάριο εκπομπής B2	Μέση σχετική υγρασία περιόδου 2020-2035	Μέση σχετική υγρασία περιόδου 2050-2065	Μέση σχετική υγρασία περιόδου 2070-2100	Μέση σχετική υγρασία παρατηρήσεων περιόδου 1960-2003
Μάιος	87.8	89.8	90.3	66.5
Ιούνιος	79.6	79.7	81.1	59.6
Ιούλιος	60.6	58.8	62.0	57.9
Αύγουστος	48.5	43.8	46.5	60.0
Σεπτέμβριος	56.2	54.1	56.6	64.6

3.4 Σχετική συχνότητα εμφάνισης των δεικτών THI και SSI' για τις διάφορες μελλοντικές περιόδους όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2

Τη μελέτη της μέσης θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας για τις μελλοντικές περιόδους, ακολουθεί η προβολή και η μελέτη των βιομετεωρολογικών δεικτών THI και SSI', σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπής A2 και B2. Να σημειωθεί ότι ο δείκτης SSI' αναφέρεται στον καινούριο δείκτη SSI όπως διαμορφώθηκε μετά τη μελέτη των επεισοδίων δυσφορίας στη Θεσσαλονίκη (Βλέπε δεύτερο κεφάλαιο της διατριβής ειδίκευσης). Να υπενθυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι το κατώφλι των δεικτών είναι 69 για τον THI και 80 για τον SSI'.

Αρχικά πραγματοποιείται η εκτίμηση του δείκτη THI στις περιόδους 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100, για τα σενάρια εκπομπής A2 και B2 (Σχήματα 3.4.1 – 3.4.3). Στην πρώτη μελλοντική περίοδο εμφανίζονται μόνο οι δύο πρώτες κατηγορίες του δείκτη THI, με σχετική συχνότητα εμφάνισης 83.13 και 16.87 %, αντίστοιχα, για το σενάριο A2, και 82.72 και 17.28 %, αντίστοιχα, για το σενάριο B2. Δεν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις, ποσοτικές και ποιοτικές, στα σενάρια εκπομπής στην πρώτη μελλοντική περίοδο. Η διαφορά των δύο σεναρίων αυξάνεται σημαντικά στη δεύτερη περίοδο, ενώ κορυφώνεται την τρίτη περίοδο. Πιο αναλυτικά, για την περίοδο 2050-2065, το σενάριο εκπομπής A2 προβλέπει την εμφάνιση των δύο πρώτων κατηγοριών του δείκτη με σχετική συχνότητα εμφάνισης 42.39 και 57.61 %, αντίστοιχα. Το σενάριο B2 προβλέπει για τις δύο αυτές κατηγορίες ποσοστά εμφάνισης 64.04 και 35.96 %, αντίστοιχα. Η ποσοτική διαφορά των δύο δεικτών είναι αρκετά σημαντική, μια και το σενάριο A2 προβλέπει περισσότερες περιπτώσεις όπου τα μισά άτομα ενός συνόλου αισθάνονται δυσφορία, ενώ το σενάριο B2 προβλέπει περισσότερες περιπτώσεις της κατηγορίας όπου λίγα άτομα αισθάνονται δυσφορία. Για την περίοδο 2070-2100, το σενάριο A2 προβλέπει την εμφάνιση των τριών πρώτων κατηγοριών του δείκτη, με ποσοστά αντιστοίχως 34.78, 54.78 και 10.43 %. Αντίθετα, το σενάριο εκπομπής B2 δεν προβλέπει την εμφάνιση της τρίτης κατηγορίας του THI, δηλαδή της κατηγορίας όπου όλοι οι άνθρωποι ενός συνόλου δυσφορούν, αλλά μόνο των δύο πρώτων με σχετικές συχνότητες εμφάνισης 46.74 και 53.26 %, αντίστοιχα.

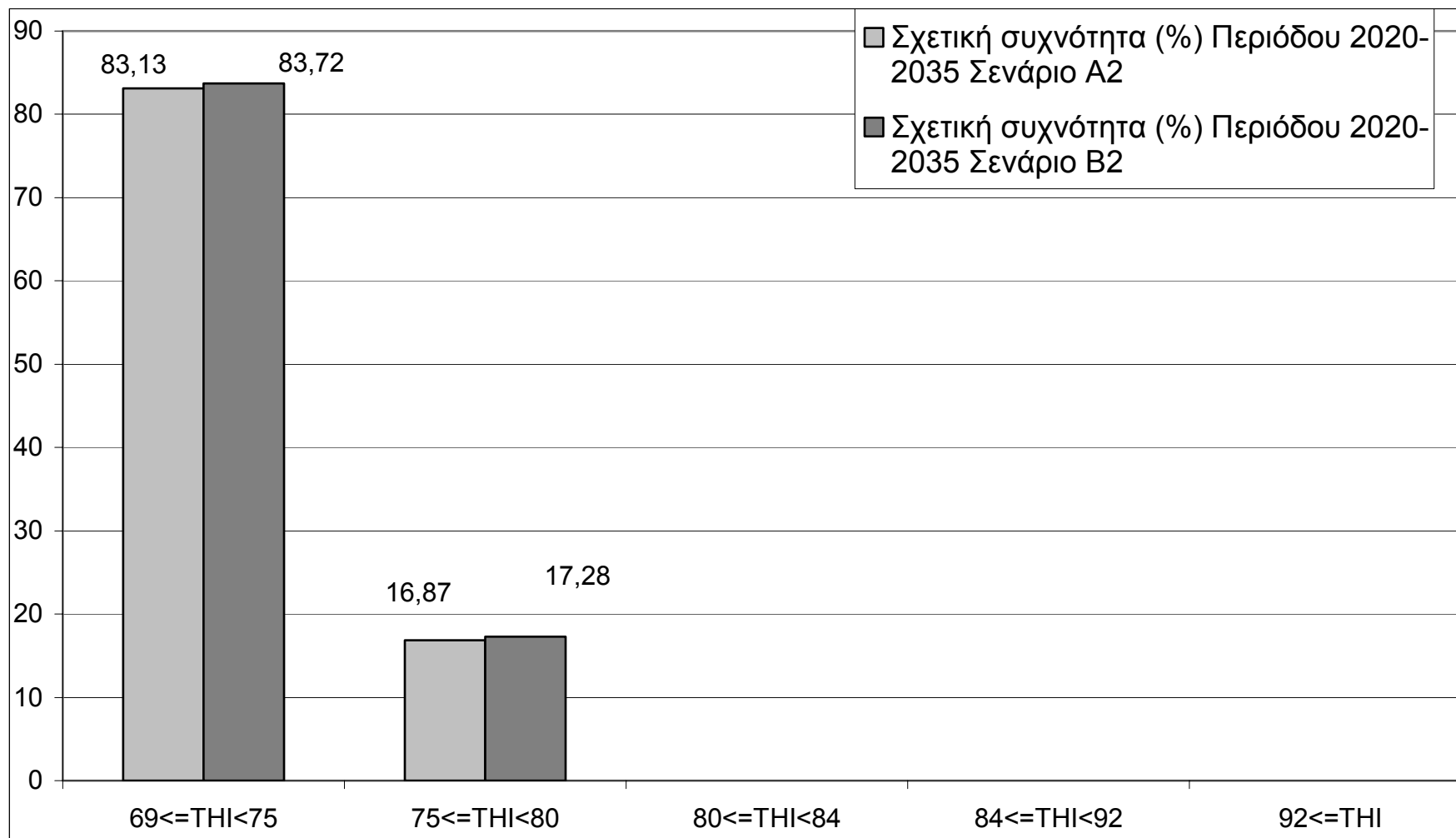
Μελετώντας συνοπτικά τα ποσοστά εμφάνισης και για τις τρεις περιόδους, παρατηρούμε ότι το σενάριο A2 προβλέπει περισσότερες περιπτώσεις της πρώτης κατηγορίας του δείκτη από ότι της δεύτερης για την περίοδο 2020-2035, περισσότερες περιπτώσεις της δεύτερης κατηγορίας από την πρώτη για την περίοδο 2050-2065 και εμφάνιση της τρίτης κατηγορίας του δείκτη στην περίοδο 2070-2100. Από την άλλη

πλευρά, το σενάριο B2 προβλέπει για την περίοδο 2020-2035 περισσότερες περιπτώσεις της πρώτης κατηγορίας του δείκτη σε σχέση με τη δεύτερη κατηγορία, ομοίως και για την περίοδο 2050-2065, ενώ για την περίοδο 2070-2100 εμφανίζει μόνο τις δύο πρώτες κατηγορίες του δείκτη, με μεγαλύτερο ποσοστό στη δεύτερη.

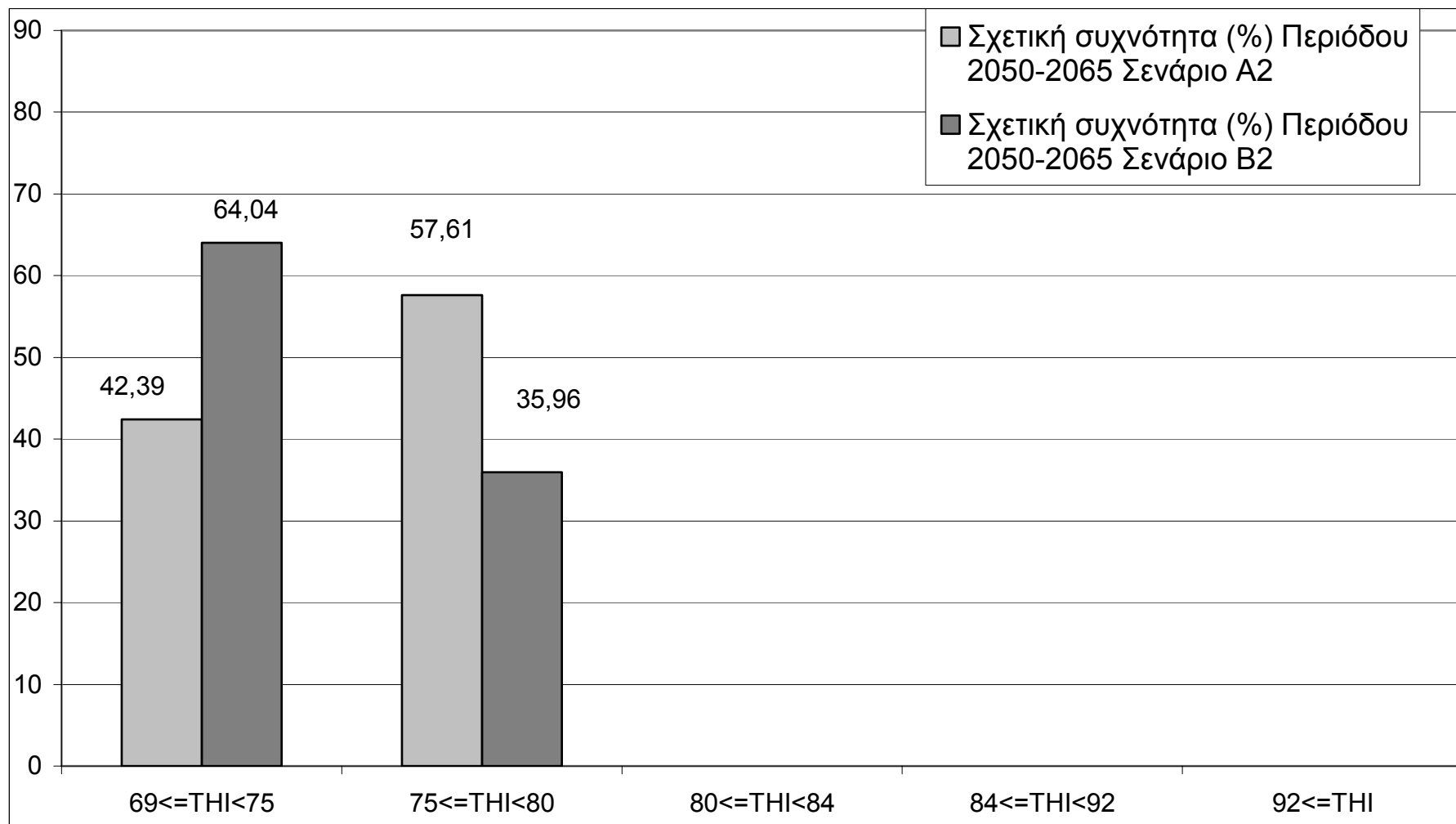
Ακολουθεί ο υπολογισμός των σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης καύσωνα στις μελλοντικές περιόδους χρησιμοποιώντας το δείκτη SSI'. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 3.4.4 – 3.4.6. Την πρώτη μελλοντική περίοδο, σύμφωνα με το σενάριο εκπομπής A2, αναμένεται εμφάνιση μόνο των δύο πρώτων κατηγοριών με ποσοστά 90.79 και 9.21 %, αντίστοιχα (Σχήμα 3.4.4). Ομοίως το σενάριο B2 προβλέπει εμφάνιση των ιδίων κατηγοριών με ποσοστό εμφάνισης 86.42 και 13.58 %, αντίστοιχα. Τη χρονική περίοδο 2050-2065, τα αποτελέσματα δείχνουν εμφάνιση των δύο πρώτων κατηγοριών του δείκτη, για το μεν A2 σενάριο με ποσοστό 47.25 και 52.75 %, για το δε B2 σενάριο με ποσοστό 64.44 και 35.56 %, αντιστοίχως. Τα δύο σενάρια διαφέρουν αρκετά στα αποτελέσματά τους, με το B2 να εμφανίζει περισσότερες περιπτώσεις άνετου – θερμού κλίματος και πολύ λιγότερες θερμού κλίματος. Αντίθετα το σενάριο A2 σημειώνει περισσότερο θερμό περιβάλλον κατά την περίοδο 2050-2065 (Σχήμα 3.4.5).

Η περίοδος 2070-2100 εμφανίζεται θερμότερη σε σύγκριση με τις δύο προηγούμενες μελλοντικές περιόδους. Αυτό αποδεικνύεται εύκολα μελετώντας το Σχήμα 3.4.6. Ο δείκτης SSI' εμφανίζει και την τρίτη του κατηγορία (εξαιρετικά θερμό περιβάλλον). Αναλυτικότερα, το σενάριο εκπομπής A2, προβλέπει εμφάνιση της πρώτης, δεύτερης και τρίτης κατηγορίας του δείκτη με ποσοστό 38.10, 58.10 και 3.81 %, αντίστοιχα. Από την άλλη μεριά, το σενάριο εκπομπής B2, προβλέπει την εμφάνιση των δύο πρώτων κατηγοριών του δείκτη σε ποσοστό 48.39 και 51.61 %, αντίστοιχα. Η σύγκριση των δύο σεναρίων για την περίοδο 2070-2100 δείχνει ότι το σενάριο A2 προβλέπει θερμότερο κλίμα σε σχέση με το σενάριο B2, και μάλιστα με περισσότερο ακραίες περιπτώσεις δυσφορίας.

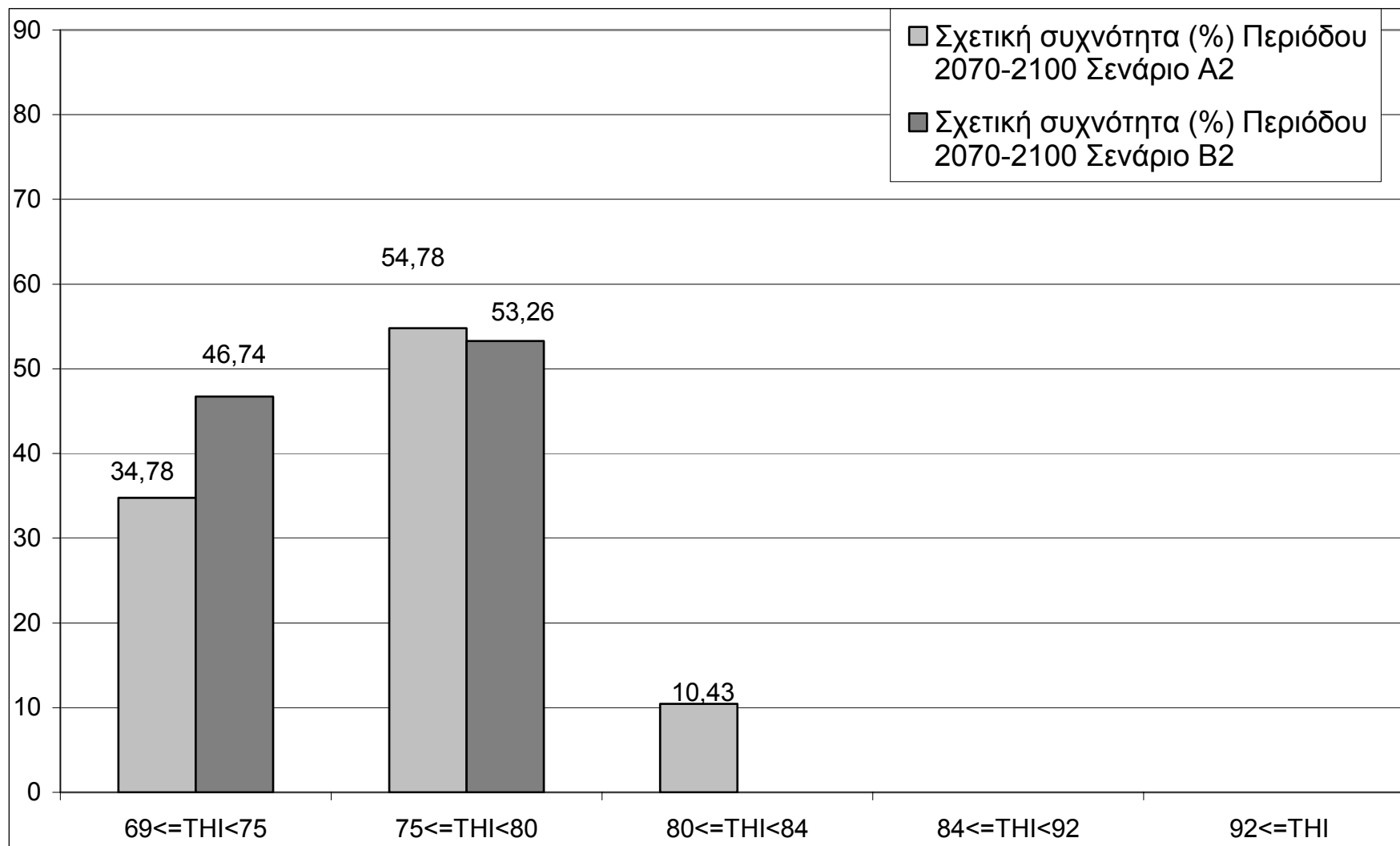
Μία γενική σύγκριση των περιόδων μεταξύ τους για κάθε σενάριο, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η τρίτη περίοδος προβλέπεται πολύ θερμότερη από τις δύο προηγούμενες, ενώ η δεύτερη θερμότερη από την πρώτη. Σε παρόμοια συμπεράσματα οδηγεί και το σενάριο εκπομπής B2, με τη διαφορά ότι το σενάριο αυτό δεν προβλέπει τόσο έντονη θέρμανση όσο το σενάριο A2.



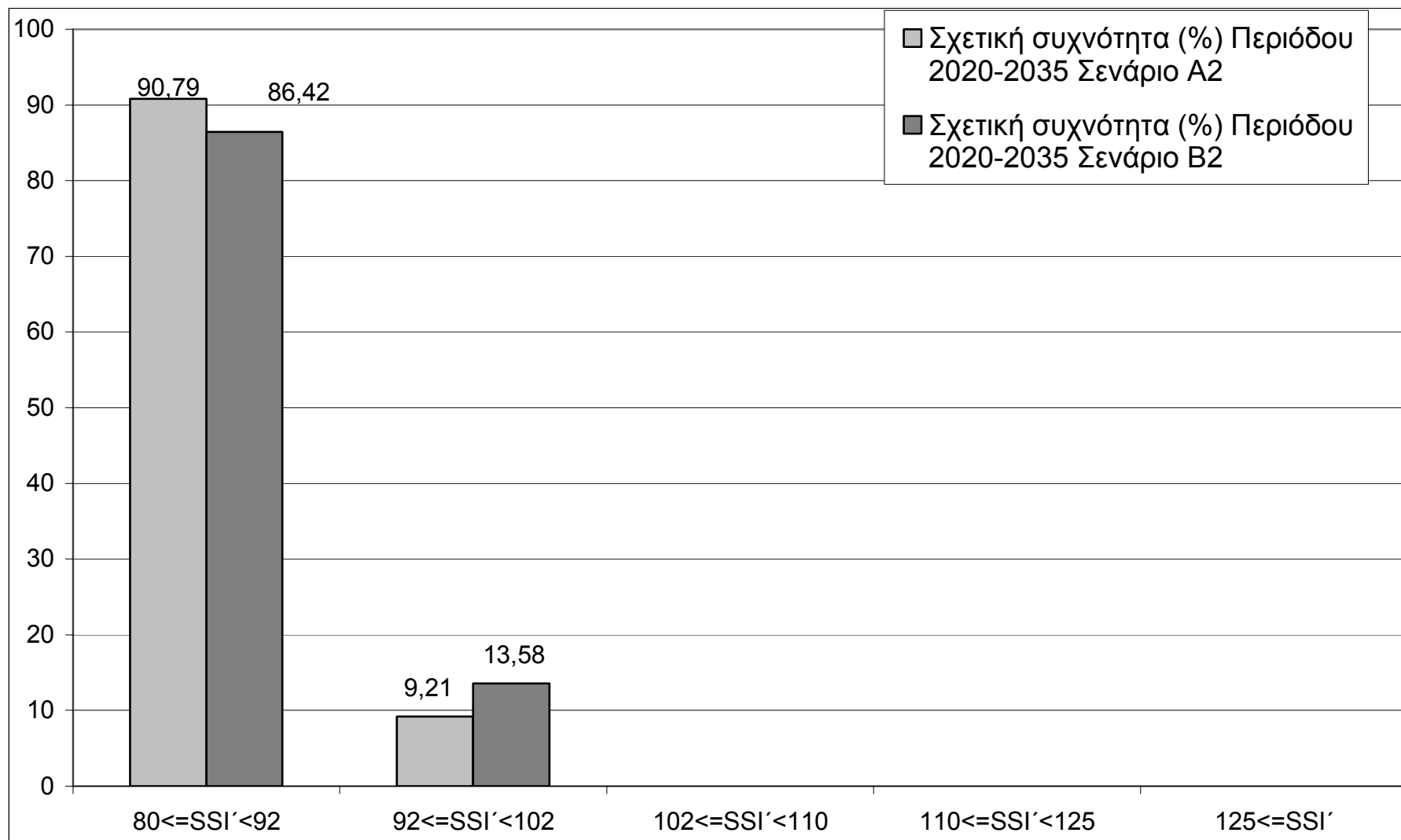
Σχήμα 3.4.1 Σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για τη μελλοντική περίοδο 2020-2035, όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2.



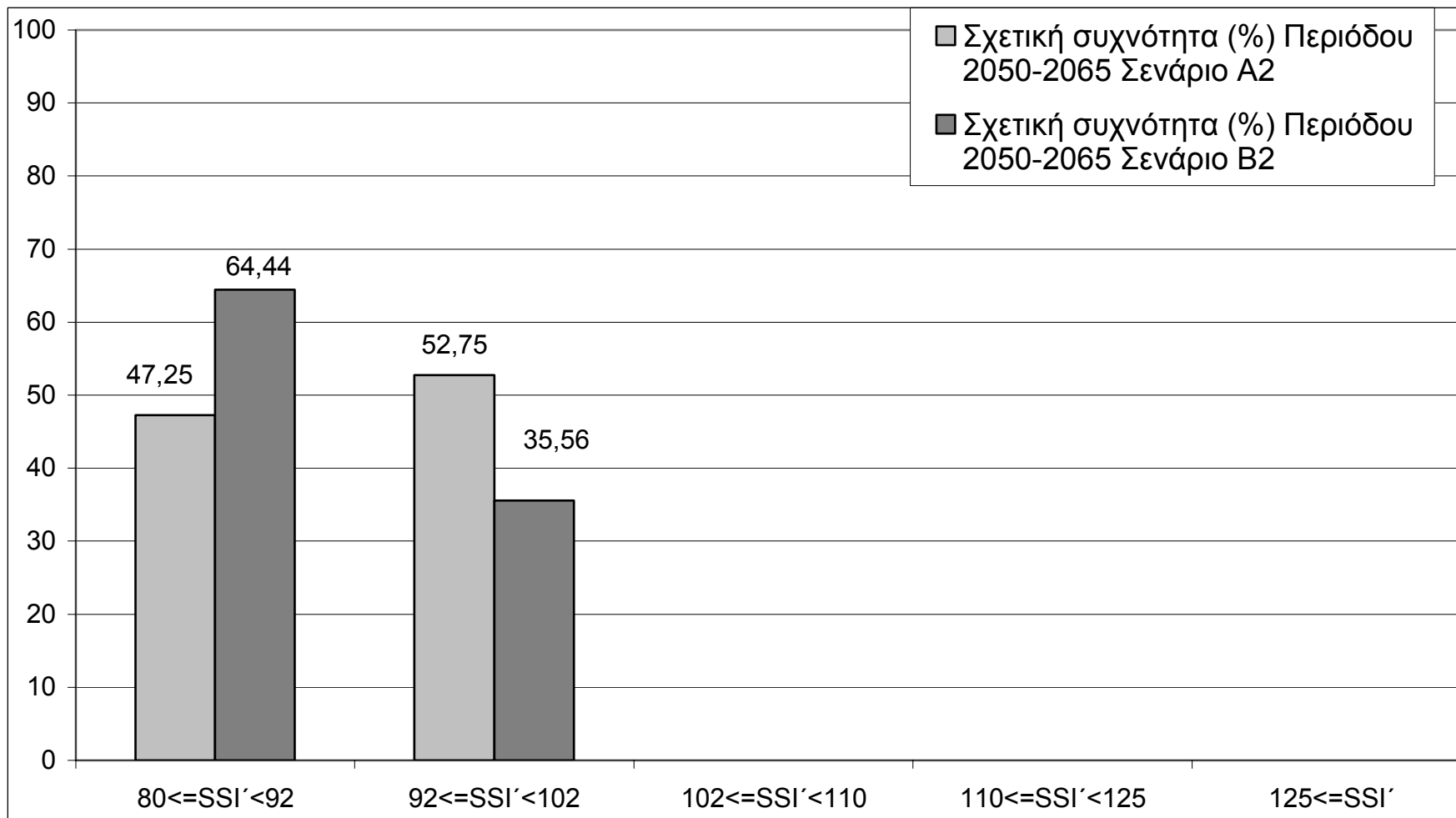
Σχήμα 3.4.2 Σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για τη μελλοντική περίοδο 2050-2065, όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2.



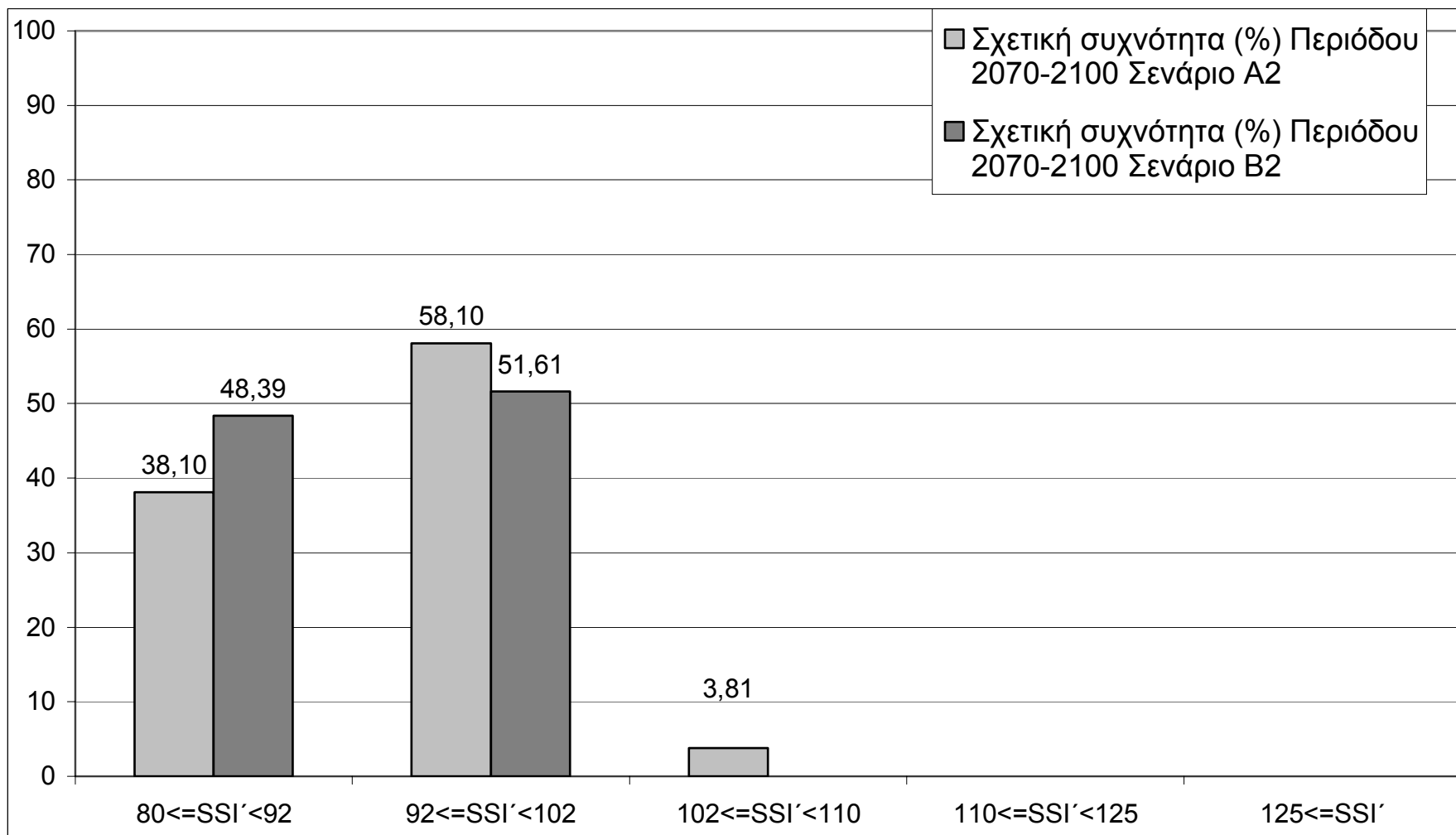
Σχήμα 3.4.3 Σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για τη μελλοντική περίοδο 2070-2100, όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2.



Σχήμα 3.4.4 Σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για τη μελλοντική περίοδο 2020-2035, όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2.



Σχήμα 3.4.5 Σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για τη μελλοντική περίοδο 2050-2065, όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2.



Σχήμα 3.4.6 Σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για τη μελλοντική περίοδο 2070-2100, όπως προβλέπεται από τα σενάρια εκπομπής A2 και B2.

3.5 Σύγκριση των σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης δυσφορίας για τις μελλοντικές περιόδους στα δύο σενάρια εκπομπής

Μετά από τη μελέτη των προβλεπόμενων επεισοδίων καύσωνα στις περιόδους 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100, θεωρήθηκε σημαντική η σύγκριση των σχετικών συχνοτήτων δυσφορίας για τους δύο δείκτες μεταξύ μελλοντικών περιόδων στα δύο σενάρια εκπομπής. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στα Σχήματα 3.5.1 και 3.5.2.

Στο Σχήμα 3.5.1 παρατίθεται η μελέτη χρησιμοποιώντας το δείκτη THI. Στη βαθμίδα του δείκτη όπου λίγα άτομα ενός συνόλου αισθάνονται δυσφορία, μεγαλύτερη σχετική συχνότητα εμφανίζει η μελλοντική περίοδος 2020-2035 και για τα δύο σενάρια εκπομπής. Ακολουθεί η περίοδος 2050-2065 για το σενάριο B2 και η περίοδος 2070-2100 για το ίδιο σενάριο. Με τη μικρότερη σχετική συχνότητα εμφανίζονται οι περίοδοι 2050-2065 και 2070-2100 για το σενάριο εκπομπής A2.

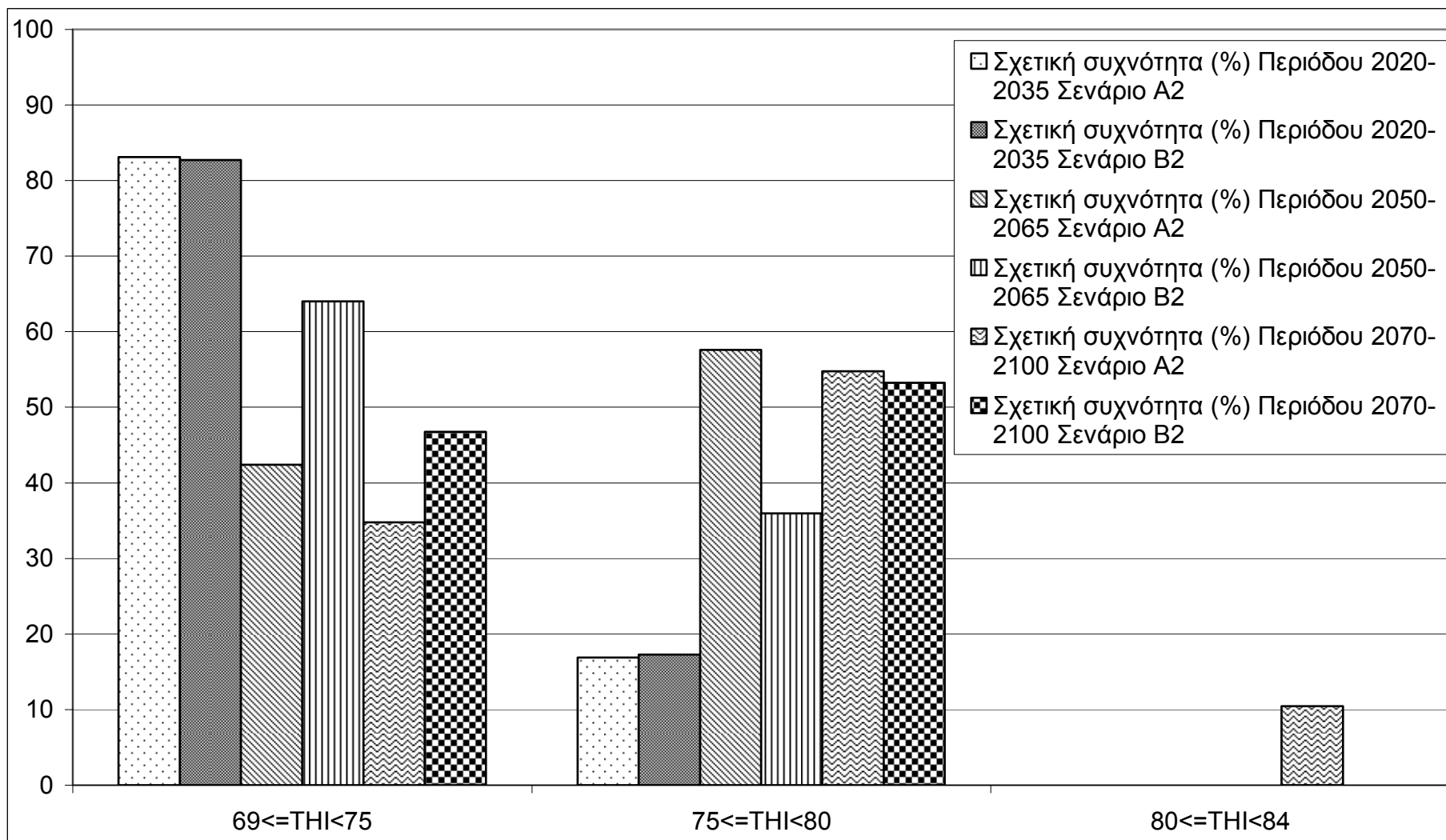
Σημαντικές είναι οι διαφοροποιήσεις στη δεύτερη βαθμίδα του δείκτη THI η οποία χαρακτηρίζεται ως "τα μισά περίπου άτομα ενός συνόλου αισθάνονται δυσφορία". Συγκεκριμένα, μέγιστη συχνότητα εμφάνισης σημειώνει η περίοδος 2050-2065 του σεναρίου A2, ενώ ακολουθεί η περίοδος 2070-2100 και για τα δύο σενάρια εκπομπής. Την τέταρτη μεγαλύτερη σχετική συχνότητα δυσφορίας σημειώνει η περίοδος 2050-2065 για το σενάριο B2. Τη μικρότερη σχετική συχνότητα εμφανίζει η περίοδος 2020-2035 και για τα δύο σενάρια.

Στη βαθμίδα όπου όλα τα άτομα του συνόλου αισθάνονται δυσφορία, εμφανίζεται μόνο η περίοδος 2070-2100 για το σενάριο A2. Τέλος, καμία μελλοντική περίοδος δεν προβλέπει την εμφάνιση των δύο τελευταίων και πολύ σημαντικών κατηγοριών του δείκτη.

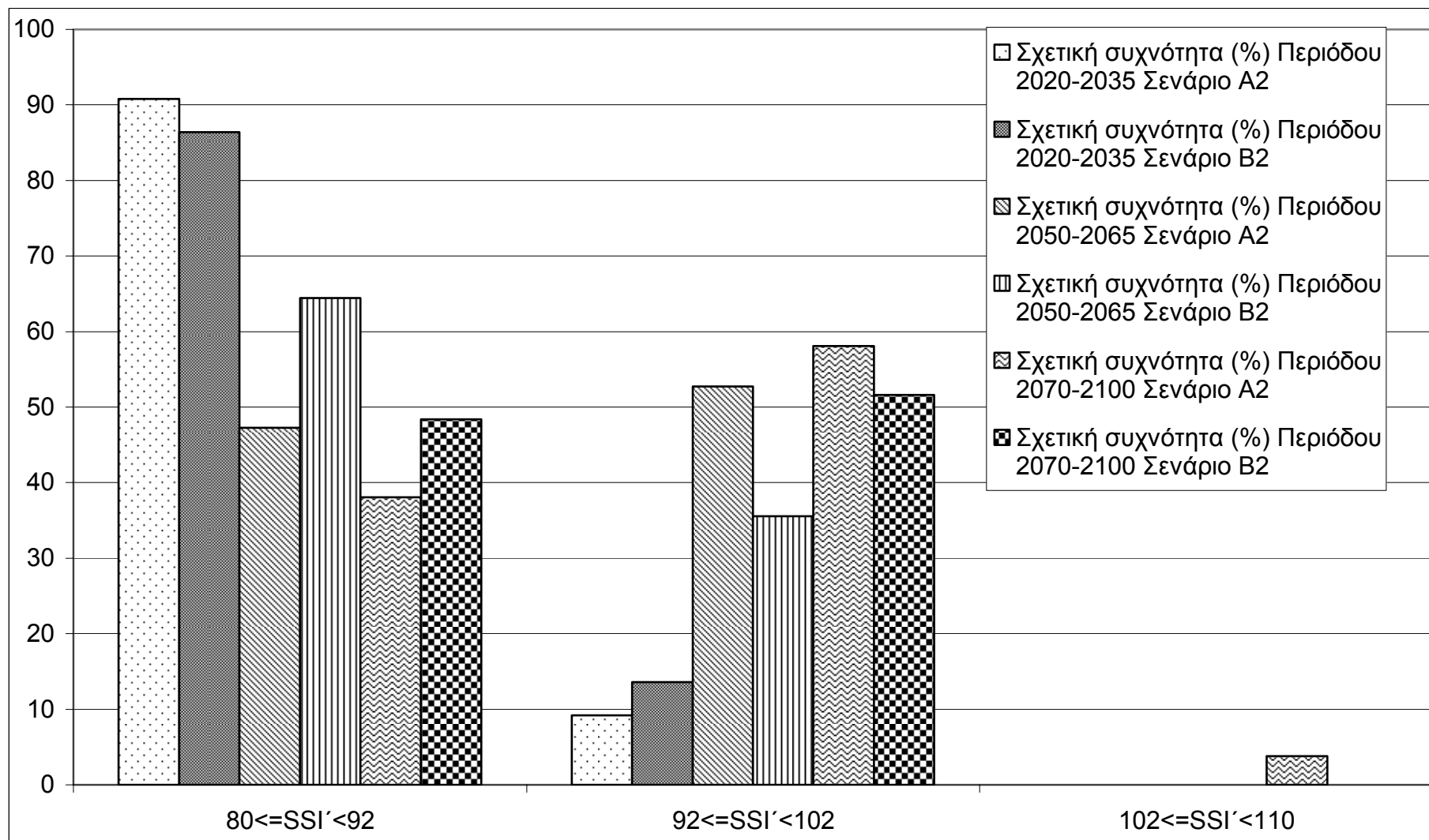
Παρόμοια αποτελέσματα με μικρές διαφορές εμφανίζει ο δείκτης SSI (Σχήμα 3.5.2). Στην πρώτη βαθμίδα του δείκτη, η σειρά των μέγιστων σχετικών συχνοτήτων είναι ίδια με την αντίστοιχα του δείκτη THI. Δηλαδή μέγιστη συχνότητα σημειώνει η περίοδος 2020-2035, ακολουθεί η περίοδος 2050-2065 και κατόπιν η περίοδος 2070-2100.

Στη δεύτερη βαθμίδα του δείκτη, που χαρακτηρίζεται από "θερμό κλίμα", η μέγιστη σχετική συχνότητα σημειώνεται στην περίοδο 2070-2100 για το σενάριο εκπομπής A2, και ακολουθούν οι περίοδοι 2050-2065 για το σενάριο A2 και 2070-2100 για το σενάριο B2, με ελάχιστη διαφορά. Η σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για την περίοδο 2020-2035 είναι πολύ μικρή από αυτή που προβλέπει ο δείκτης THI.

Τέλος, η βαθμίδα που αντιστοιχεί στο χαρακτηρισμό "εξαιρετικά θερμού περιβάλλοντος", έχει μικρότερη σχετική συχνότητα δυσφορίας σε σύγκριση με το δείκτη THI για τη βαθμίδα "όλα σχεδόν τα άτομα ενός συνόλου δυσφορούν".



Σχήμα 3.5.1 Σύγκριση σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης δυσφορίας μεταξύ μελλοντικών περιόδων και παρατηρήσεων, χρησιμοποιώντας το δείκτη THI.



Σχήμα 3.5.2 Σύγκριση σχετικών συχνοτήτων εμφάνισης δυσφορίας μεταξύ μελλοντικών περιόδων και παρατηρήσεων, χρησιμοποιώντας το δείκτη SSl'.

3.6 Συμπεράσματα – Ανακεφαλαίωση

Η προβολή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του επιφανειακού αέρα στις τρεις μελλοντικές περιόδους 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100, έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Ημερήσια σύγκριση: Τόσο για το σενάριο A2, όσο και για το σενάριο B2, η περίοδος 2070-2100 αναμένεται πολύ θερμότερη (κυρίως στο δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου) από τις περιόδους 2020-2035 και 2050-2065. Το 2070-2100 προβλέπει τη μικρότερη σχετική υγρασία, ενώ το 2020-2035 τη μεγαλύτερη. Από τα δύο σενάρια εκπομπής, το A2 αναμένει περισσότερο θερμό και ξηρό περιβάλλον, σε σύγκριση με το B2.

2. Το σενάριο εκπομπής A2 προβλέπει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με το σενάριο εκπομπής B2. Για τις περιόδους 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100, το A2 σενάριο προβλέπει μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία 28.6 °C, 30.3 °C και 32.4 °C, αντίστοιχα. Το σενάριο B2, για τις ίδιες περιόδους, προβλέπει 28.6 °C, 29.6 °C και 30.6 °C, αντίστοιχα.

3. Μηνιαία σύγκριση: Σε γενικές γραμμές, τα σενάρια προβλέπουν μικρότερη μέση θερμοκρασία σε σύγκριση με τα ιστορικά δεδομένα για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, ενώ μεγαλύτερη για τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία, το μοντέλο προβλέπει (και για τα δύο σενάρια) υψηλότερη μέση σχετική υγρασία το Μάιο και τον Ιούνιο, ενώ τον Ιούλιο μόνο για την περίοδο 2020-2035 προβλέπει υψηλή σχετική υγρασία σε σύγκριση με την περίοδο 1960-2003. Τους υπόλοιπους μήνες της περιόδου μελέτης, η μέση σχετική υγρασία που προβλέπεται από το μοντέλο είναι μικρότερη από τις παρατηρήσεις.

4. Σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας:

- Στην περίοδο 2020-2035, εντοπίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες των THI και SSI', με το σενάριο B2 να προβλέπει γενικά θερμότερο περιβάλλον από το σενάριο A2.
- Στην περίοδο 2050-2065, εντοπίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες των THI και SSI', με μία διαφοροποίηση. Το σενάριο A2 προβλέπει περισσότερες περιπτώσεις της δεύτερης κατηγορίας ενώ το B2 σενάριο περισσότερες της πρώτης.
- Στην περίοδο 2070-2100, το σενάριο A2 προβλέπει την εμφάνιση των τριών πρώτων κατηγοριών των δεικτών THI και SSI', ενώ το B2 περιορίζεται στις δύο πρώτες κατηγορίες. Με άλλα λόγια, το A2 σενάριο προβλέπει πολύ πιο δυσμενείς καταστάσεις δυσφορίας από το B2 σενάριο εκπομπής.

5. Συγκρίνοντας τη σχετική συχνότητα εμφάνισης δυσφορίας για τις μελλοντικές περιόδους προκύπτει ότι:

- Η περίοδος 2020-2035 χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλά ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών "λίγα άτομα δυσφορούν" και "άνετο – θερμό περιβάλλον" και από λιγότερα ποσοστά των κατηγοριών "τα μισά άτομα δυσφορούν" και "θερμό περιβάλλον".

- Η περίοδος 2050-2065 εμφανίζεται παρόμοια με την προηγούμενη μελλοντική περίοδο, αλλά με μικρότερα ποσοστά εμφάνισης στην πρώτη κατηγορία και με μεγαλύτερα στη δεύτερη.
- Η περίοδος 2070-2100 εμφανίζει αρκετά μεγάλα ποσοστά της πρώτης και της δεύτερης κατηγορίας των δεικτών, ενώ η τρίτη κατηγορία όπου "όλα τα άτομα δυσφορούν" λόγω "εξαιρετική θερμού περιβάλλοντος" προβλέπεται μόνο από το σενάριο εκπομπής A2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1. Σύνοψη

Τα επεισόδια καύσωνα αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά ακραία καιρικά φαινόμενα. Έχουν δυσμενείς επιπτώσεις, όχι μόνο στην ομαλή λειτουργία των οικοσυστημάτων, αλλά κυρίως στην ανθρώπινη επιβίωση. Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν πολυάριθμα προβλήματα στην υγεία των ατόμων ενός συνόλου, επηρεάζοντας ιδιαίτερα τις ευπαθείς ομάδες των ανθρώπων (ηλικιωμένους, μικρά παιδιά). Για λόγους, λοιπόν, κυρίως υγείας, είναι απαραίτητη η μελέτη τέτοιων φαινομένων.

Το κλίμα της Ελλάδος χαρακτηρίζεται γενικά μεσογειακό με ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια. Κατά τους θερινούς, όμως, μήνες, σε πολλές περιοχές της χώρας, παρατηρούνται ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες, προκαλώντας πολλά προβλήματα στους κατοίκους, κυρίως των μεγάλων αστικών κέντρων.

Η παρούσα εργασία έχει ως κύριο αντικειμενικό σκοπό τη μελέτη των επεισοδίων καύσωνα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, τόσο για το παρελθόν (1960-2003) όσο και για το μέλλον (21^{ος} αιώνας). Για τη μελέτη αυτή υιοθετείται ο ορισμός του καύσωνα όπως δόθηκε από την American Meteorological Society (Huschke; 1959): "Καύσωνας μπορεί να ονομασθεί η περίοδος της αφύσικης και ασυνήθιστης ζέστης συνοδευόμενη από υγρό καιρό. Για να χαρακτηριστεί καύσωνας θα πρέπει η περίοδος αυτών των συνθηκών να διαρκεί τουλάχιστον μία ημέρα. Συνήθως διαρκεί από μερικές ημέρες μέχρι μερικές εβδομάδες.". Επιπλέον, χρησιμοποιούνται δύο κατώφλια για τους δείκτες THI ≥ 69 και SSI ≥ 83 για τουλάχιστον 24 ώρες, προκειμένου να ορισθεί ποσοτικά ο καύσωνας στη Θεσσαλονίκη.

Έχοντας υπόψη τον παραπάνω ορισμό, χρησιμοποιούνται δύο βιομετεωρολογικοί δείκτες για τη μελέτη του φαινομένου. Ο πρώτος είναι ο Δείκτης Θερμοκρασίας – Υγρασίας (THI – Temperature Humidity Index) και ο δεύτερος είναι ο Δείκτης Έντονου Θέρου SSI (Summer Simmer Index). Από αυτούς τους δείκτες, ο μεν πρώτος έχει χρησιμοποιηθεί πολλές φορές στο παρελθόν για τη μελέτη της δυσφορίας σε διάφορες περιοχές της Ελλάδος, ο δε δεύτερος χρησιμοποιήθηκε ελάχιστα για παρόμοιες μελέτες. Και οι δύο δείκτες περιγράφονται από μαθηματικές σχέσεις που περιέχει σαν μεταβλητές τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν ως

δεδομένα οι παραπάνω μεταβλητές. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τη μελέτη του καύσωνα στο παρελθόν, τα δεδομένα είναι η σχετική υγρασία και η θερμοκρασία του επιφανειακού αέρα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και προέρχονται από το Μετεωρολογικό Σταθμό του Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, για το χρονικό διάστημα 1960-2003 και για τους μήνες Μάιο – Σεπτέμβριο. Όσον αφορά τη μελέτη του καύσωνα στον 21^ο αιώνα, τα δεδομένα προέρχονται από το Καναδικό μοντέλο γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας δεύτερης γενιάς (Canadian model of general atmospheric circulation) για τα δύο σενάρια εκπομπής του IPCC, τα SRES A2 και SRES B2. Η προβολή του καύσωνα στον 21^ο αιώνα αναφέρεται σε τρεις περιόδους: 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100.

Η μελέτη έχει ως εξής: Στο πρώτο μέρος υπολογίζονται οι ωριαίες τιμές των δεικτών THI και SSI για την περίοδο 1960-2003 και για το πεντάμηνο Μαΐου – Σεπτεμβρίου. Στη συνέχεια μελετάται η κατανομή αυτών ανά έτος, ανά μήνα, καθώς και η ωριαία διακύμανση των τιμών τους. Εντοπίζονται τα θερμότερα έτη της περιόδου 1960-2003 και πραγματοποιείται σύγκριση αυτών ανά ζεύγη, προκειμένου να εντοπισθούν ομοιότητες και διαφορές αυτών κατά τη διάρκεια της ημέρας. Ακολουθεί η καταμέτρηση των επεισοδίων καύσωνα σε ολόκληρη την περίοδο μελέτης. Οι δύο δείκτες συγκρίνονται μεταξύ τους σε μηνιαία και σε ετήσια βάση ώστε να εντοπισθούν οι ομοιότητες και διαφορές αυτών. Πραγματοποιείται κατάλληλη μεταβολή των βαθμίδων του δείκτη SSI, με κριτήριο την κατανομή του THI, και παρουσιάζεται η καινούρια πλέον ταξινόμηση του SSI'. Τέλος, παρουσιάζεται η τάση των χρονοσειρών των δεικτών THI, SSI και SSI'.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας ειδικευσης συγκρίνεται η ημερήσια θερμοκρασία και η σχετική υγρασία των σεναρίων εκπομπής των περιόδων 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100. Πραγματοποιείται η μηνιαία σύγκριση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας μεταξύ των μελλοντικών περιόδων και των παρατηρήσεων για τα δύο σενάρια εκπομπής A2 και B2. Υπολογίζονται οι δείκτες THI και SSI', καθώς και η σχετική συχνότητα εμφάνισης αυτών ανά περίοδο και ανά σενάριο εκπομπής. Τέλος, συγκρίνονται οι σχετικές συχνότητες των δύο δεικτών για τα δύο σενάρια.

4.2 Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας τη μελέτη προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα για την περίοδο 1960-2003:

1. Από τη μελέτη της ετήσιας διακύμανσης των δεικτών THI και SSI για την περίοδο 1960-2003, εμφανίζεται περισσότερο συχνά η βαθμίδα του THI "οι μισοί άνθρωποι ενός συνόλου αισθάνονται δυσφορία". Από ολόκληρη την περίοδο μελέτης, στο έτος 1987 εντοπίζονται εξαιρετικά ακραία φαινόμενα δυσφορίας, με ιδιαίτερα σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων. Να σημειωθεί ότι δεν παρατηρήθηκε καμία περίπτωση με χαρακτηρισμό "εξαιρετικά επικίνδυνη κατάσταση – λιποθυμίες".

2. Από τη μελέτη της μηνιαίας διακύμανσης των δεικτών THI και SSI για την περίοδο 1960-2003, προκύπτει ότι το Μάιο η δυσφορία σημειώνεται σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, με το μέγιστο στις 1500. Εντοπίζονται οι βαθμίδες "τα μισά άτομα του συνόλου δυσφορούν" και "εξαιρετικά θερμό περιβάλλον", ενώ ελάχιστες είναι οι περιπτώσεις όπου όλοι οι άνθρωποι δυσφορούν και μόνο στις 1500 το μεσημέρι. Κατά τη διάρκεια του Ιουνίου, έντονη δυσφορία σημειώνεται στο διάστημα 1300-1800.

Εντοπίζονται ακόμα και περιπτώσεις "ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας". Από τις 1000 έως τις 2000 όλα τα άτομα του συνόλου δυσφορούν, ενώ το μεσημέρι δυσφορούν έντονα. Τον Ιούλιο παρατηρείται μέγιστο δυσφορίας τις μεσημβρινές ώρες ενώ ελάχιστο στις πρώτες πρωινές ώρες (0500-0600). Σημειώνονται αρκετές περιπτώσεις "ταχείας ελάττωσης της εργασιακής αποδοτικότητας" από τις 1000 έως τις 2000, καθώς και περιπτώσεις θερμοπληξίας. Ο Αύγουστος εμφανίζει παρόμοια διακύμανση με τον Ιούλιο, με ελάχιστες διαφορές. Η σημαντικότερη διαφορά των δύο μηνών είναι ότι τον Ιούλιο τα φαινόμενα δυσφορίας διαρκούν περισσότερο από ότι τον Αύγουστο (οι καταστάσεις δυσφορίας τον Αύγουστο έχουν συρρικνωθεί κατά δύο με τρεις ώρες). Το μέγιστο της δυσφορίας σημειώνεται τις μεσημβρινές ώρες και το ελάχιστο νωρίς το πρωί (0500-0600). Τέλος, το Σεπτέμβριο σημειώνονται κυρίως οι δύο πρώτες βαθμίδες του THI, ενώ η βαθμίδα "όλα τα άτομα αισθάνονται δυσφορία" λόγω "εξαιρετικά θερμού περιβάλλοντος" εντοπίζεται μόνο στο διάστημα 1200-1800. Η δυσφορία είναι σημαντική τις μεσημβρινές ώρες, ενώ ελαχιστοποιείται τις βραδινές και πρωινές ώρες.

3. Η ωριαία μελέτη των δύο δεικτών για την περίοδο 1960-2003 έδειξε ότι από ολόκληρη την περίοδο μελέτης, το μέγιστο δυσφορίας κατά τις μεσημβρινές ώρες εμφανίζεται σε ποσοστό ~86%. Οι περισσότερες ακραίες καταστάσεις δυσφορίας σημειώνονται κατά τις μεσημβρινές-απογευματινές ώρες από τις 1200 έως τις 1800. Νωρίς το πρωί (0500-0600) οι περιπτώσεις δυσφορίας περιορίζονται ελάχιστα και μόνο οι ευπαθείς ομάδες δυσφορούν.

4. Η μελέτη των δεικτών έδωσε τα δέκα έτη με έντονη δυσφορία στην περίοδο 1960-2003: 1963, 1968, 1980, 1981, 1987, 1988, 1996, 1997, 2000, 2003. Τα έτη αυτά χαρακτηρίζονται από πολυάριθμες περιπτώσεις έντονης δυσφορίας και θερμοπληξίας, κατά τη διάρκεια του πενταμήνου Μαΐου – Σεπτεμβρίου.

5. Η σύγκριση των ετών έντονης δυσφορίας ανά ζεύγη έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

1963-1968: Το 1963 χαρακτηρίζεται θερμότερο από το 1968, ιδιαίτερα κατά τις θερμές ώρες.

1968-1980: Σε χρονική διάρκεια τα θερμά επεισόδια είναι περισσότερα το 1968, αλλά περισσότερο ακραίες υψηλές θερμοκρασίες σημειώνονται το 1980.

1980-1981: Το 1981 εμφανίζεται θερμότερο από το 1980, εκτός από τις πρωινές ώρες, μιας και στο πρώτο τα επεισόδια καύσωνα είναι πολύ πιο έντονα και πολύ πιο συχνά.

1981-1987: Το 1987 χαρακτηρίζεται θερμότερο από το 1981. Χαρακτηριστικό είναι ότι το 1987 σε ολόκληρο το 24ωρο σημειώθηκαν φαινόμενα δυσφορίας (ακόμα και νωρίς το πρωί), ενώ τις μεσημβρινές ώρες η υψηλή θερμοκρασία και υγρασία οδηγούσε σε προβλήματα στην εργασιακή αποδοτικότητα.

1987-1988: Θεωρούνται από τα θερμότερα έτη της περιόδου 1960-2003. Τις μεσημβρινές ώρες, το 1987 εμφανίζεται με περισσότερο ακραία φαινόμενα υψηλής θερμοκρασίας, ενώ τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου τα ακραία φαινόμενα είναι περισσότερο έντονα κατά το 1988.

1988-1996: Το 1988 χαρακτηρίζεται από δυσφορότερες καταστάσεις, ιδιαίτερα κατά τις μεσημβρινές ώρες όπου σημειώνεται εξαιρετικά έντονη δυσφορία,

1996-1997: Σε διάρκεια τα φαινόμενα είναι περισσότερα το 1996, αλλά το 1997 σημειώνονται πιο ακραίες καταστάσεις δυσφορίας. Στο χρονικό διάστημα 1400-1600, το 1996 είναι θερμότερο, ενώ από τις 1700 μέχρι τις 1900 το 1997 εμφανίζεται δυσφορότερο.

1997-2000: Το 2000 εμφανίζεται θερμότερο του 1997. Στο 2000 σημειώνεται έντονη δυσφορία από τις 0800 μέχρι τις 2100, με το μέγιστο να εντοπίζεται τις μεσημβρινές ώρες.

2000-2003: Τις πρώτες απογευματινές ώρες (1500-1800) το 2000 εμφανίζεται πολύ θερμότερο σε σύγκριση με το 2003, ενώ το τελευταίο χαρακτηρίζεται πολύ πιο θερμό όλες τις υπόλοιπες ώρες του 24ώρου.

6. Στην περίοδο 1960-2003 για το πεντάμηνο Μαΐου – Σεπτεμβρίου αριθμήθηκαν 468 επεισόδια καύσωνα στη Θεσσαλονίκη (με κριτήριο το δείκτη $THI \geq 69$, για τουλάχιστον 24 ώρες). Από αυτά τα επεισόδια δυσφορίας, συχνότερες ήταν οι περιπτώσεις καύσωνα ακολουθίας 36 ωρών (ποσοστό περίπου 42 %).

7. Αφού πραγματοποιήθηκε η ετήσια και μηνιαία σύγκριση των δεικτών THI και SSI για τις περιπτώσεις καύσωνα ($THI \geq 69$, $SSI \geq 83$, για τουλάχιστον 24 ώρες) για την περίοδο 1960-2003, προέκυψε ότι η μεγαλύτερη διαφορά των δεικτών σημειώνεται στα έτη 1968, 1969 και 1989 και στο μήνα Ιούνιο. Η ελάχιστη διαφορά σημειώνεται στα έτη 1980 και 1998 και στο μήνα Μάιο. Το Μάιο η διαφορά των δεικτών είναι μέγιστη το μεσημέρι, ενώ τους υπόλοιπους μήνες η διαφορά αυτή μεγιστοποιείται τις βραδινές ώρες.

8. Ο δείκτης SSI συγκρίνεται με το δείκτη THI και κατηγοριοποιείται εκ νέου ώστε να γίνει εφαρμόσιμος στη Θεσσαλονίκη. Προκύπτει η παρακάτω ταξινόμηση του τροποποιημένου δείκτη SSI' :

Βαθμίδες των δεικτών THI και SSI' για τη μελέτη επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη.

THI	Περιγραφή	SSI'	Περιγραφή
$69 \leq THI < 75$	Ήπια	$80 \leq SSI' < 92$	Άνετα – Θερμά
$75 \leq THI < 80$	Μέτρια	$92 \leq SSI' < 102$	Θερμά
$80 \leq THI < 84$	Σοβαρή	$102 \leq SSI' < 110$	Εξαιρετικά θερμά
$84 \leq THI < 92$	Έντονη	$110 \leq SSI' < 125$	Δυσφορία – Θερμοπληξία
$92 \leq THI$	Εξαιρετική	$125 \leq SSI'$	Εξαιρετικός κίνδυνος θερμοπληξίας Λιποθυμίες

9. Η μελέτη της τάσης της χρονοσειράς των THI , SSI και SSI' , έδωσε θετική τάση και στους τρεις δείκτες, με τη μεγαλύτερη κλίση να εμφανίζεται στο δείκτη SSI .

Η προβολή των δεικτών στις περιόδους 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100 έδωσε τα παρακάτω αποτελέσματα:

10. Για το σενάριο A2 και B2, για τη χρονική περίοδο 2070-2100, το μοντέλο προβλέπει θερμοκρασία πολύ μεγαλύτερη (κυρίως στο δεύτερο δεκαήμερο του Ιουλίου) από τις περιόδους 2020-2035 και 2050-2065. Επιπλέον, το 2070-2100, προβλέπεται από το μοντέλο η μικρότερη σχετική υγρασία, ενώ για το 2020-2035 η μεγαλύτερη, συγκρίνοντας τις περιόδους μεταξύ τους.

11. Συγκρίνοντας τα δύο σενάρια εκπομπής μεταξύ τους, προκύπτει ότι το μοντέλο, χρησιμοποιώντας το σενάριο εκπομπής A2, προβλέπει υψηλότερη θερμοκρασία και μικρότερη σχετική υγρασία. Δηλαδή με άλλα λόγια, χρησιμοποιώντας το σενάριο A2, αναμένεται θερμότερο και ξηρότερο περιβάλλον σε σύγκριση με τις καταστάσεις που προβλέπονται με το σενάριο B2. Αυτό είναι αναμενόμενο για τους εξής κυρίως λόγους: (α) Το σενάριο A2 αναμένει μεγαλύτερο ρυθμό εκπομπής θερμοκηπικών αερίων, συγκρινόμενο με το B2. (β) Το σενάριο B2 λαμβάνει υπόψη του κυρίως τις ωκεάνιες παραμετροποιήσεις και γι' αυτό το λόγο δίνει μεγαλύτερη σχετική υγρασία.

12. Τα σενάρια εκπομπής A2 και B2 προβλέπουν μικρότερη μέση μηνιαία θερμοκρασία σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις για τους μήνες Μάιο και Ιούνιο, ενώ μεγαλύτερη για τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία, το μοντέλο προβλέπει (και για τα δύο σενάρια) υψηλότερη μέση σχετική υγρασία το Μάιο και τον Ιούνιο. Τον Ιούλιο για την περίοδο 2020-2035, το μοντέλο προβλέπει υψηλή σχετική υγρασία σε σύγκριση με την περίοδο 1960-2003. Τους υπόλοιπους μήνες της περιόδου μελέτης, η μέση σχετική υγρασία που προβλέπεται από το μοντέλο είναι μικρότερη από τις παρατηρήσεις. Τα αποτελέσματα αυτά οδηγούν στο συμπέρασμα ότι το μοντέλο δεν μπορεί να "αντιληφθεί" την εποχικότητα και κυρίως κατά τους μεταβατικούς μήνες Μάιο και Σεπτέμβριο.

13. Στην περίοδο 2020-2035, εντοπίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες των THI και SSI', με το σενάριο B2 να προβλέπει γενικά υψηλότερες θερμοκρασίες από το σενάριο A2. Στην περίοδο 2050-2065, εντοπίζονται οι δύο πρώτες κατηγορίες των THI και SSI', με μία διαφοροποίηση. Το σενάριο A2 προβλέπει περισσότερες περιπτώσεις της δεύτερης κατηγορίας ενώ το B2 σενάριο περισσότερες της πρώτης. Στην περίοδο 2070-2100, το σενάριο A2 προβλέπει την εμφάνιση των τριών πρώτων κατηγοριών των δεικτών THI και SSI', ενώ το B2 περιορίζεται στις δύο πρώτες κατηγορίες. Με άλλα λόγια, το A2 σενάριο προβλέπει πολύ πιο δυσμενείς καταστάσεις από το B2 σενάριο εκπομπής. Να σημειωθεί ότι οι υπόλοιπες κατηγορίες των δεικτών δεν προβλέπονται στη μέση μηνιαία μελέτη.

14. Η περίοδος 2020-2035 χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλά ποσοστά εμφάνισης των κατηγοριών "λίγα άτομα δυσφορούν" και "άνετο – θερμό περιβάλλον" και από λιγότερα ποσοστά των κατηγοριών "τα μισά άτομα δυσφορούν" και "θερμό περιβάλλον". Η περίοδος 2050-2065 εμφανίζει παρόμοια χαρακτηριστικά με την προηγούμενη μελλοντική περίοδο, αλλά με μικρότερα ποσοστά εμφάνισης στην πρώτη κατηγορία και με μεγαλύτερα στη δεύτερη. Με άλλα λόγια είναι αυξημένα τα ποσοστά εμφάνισης των ακραίων περιπτώσεων δυσφορίας. Τέλος, η περίοδος 2070-2100 εμφανίζει αρκετά μεγάλα ποσοστά της πρώτης και της δεύτερης κατηγορίας των δεικτών, ενώ η τρίτη κατηγορία όπου "όλα τα άτομα

δυσφορούν" λόγω "εξαιρετικά θερμού περιβάλλοντος" προβλέπεται μόνο από το σενάριο εκπομπής A2.

15. Γενικά σαν κατακλείδα θα μπορούσε να ειπωθεί ότι το σενάριο A2 προβλέπει υψηλότερες θερμοκρασίες από το σενάριο εκπομπής B2, και καθώς απομακρυνόμαστε από το παρόν οι περιπτώσεις ακραίων υψηλών θερμοκρασιών αυξάνονται στην περιοχή της Θεσσαλονίκης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα που έχουν παρουσιασθεί για τις μελλοντικές περιόδους αναφέρονται σε εικασίες και υποθέσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πρόκειται για πλανητικά μοντέλα τα οποία αναφέρονται σε μία ευρεία περιοχή κι όχι σε ένα μόνο σημείο (όπως η Θεσσαλονίκη). Αυτό οδηγεί σε σφάλμα στα αποτελέσματα.

ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΚΑΥΣΩΝΑ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΥΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΟΜΕΝΗ ΕΙΚΟΣΑΕΤΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διατριβή ειδίκευσης γίνεται προσπάθεια να μελετηθούν τα επεισόδια καύσωνα στη Θεσσαλονίκη τόσο στο παρελθόν όσο και στο μέλλον.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Αντικειμενικός σκοπός του πρώτου μέρους είναι η μελέτη των επεισοδίων καύσωνα στη Θεσσαλονίκη για το χρονικό διάστημα 1960-2003 και για το πεντάμηνο Μάιος – Σεπτέμβριος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι ωριαίες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας κοντά στη επιφάνεια του εδάφους προκειμένου να υπολογισθούν οι ωριαίες τιμές των δεικτών Θερμοκρασίας – Υγρασίας (Temperature – Humidity Index – THI) και Έντονου Θέρου (Summer Simmer Index – SSI). Τα δεδομένα προέρχονται από τον Τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Γίνονται οι ετήσιες και μηνιαίες κατανομές των δεικτών αυτών, και εντοπίζονται οι μέγιστες συχνότητες εμφάνισης των επεισοδίων καύσωνα στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Οι δείκτες THI και SSI συγκρίνονται σε ετήσια και μηνιαία κλίμακα και οι ομοιότητες και διαφορές αυτών παρουσιάζονται και αξιολογούνται. Τέλος, τροποποιείται ο SSI (προκύπτει ο SSI') προκειμένου να γίνει περισσότερο εφαρμόσιμος στην περιοχή μελέτης.

Αντικειμενικός σκοπός του δεύτερου μέρους της εργασίας ειδίκευσης είναι η προβολή των επεισοδίων καύσωνα σε τρεις μελλοντικές περιόδους: 2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100. Χρησιμοποιούνται οι μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Οι μεταβλητές προέρχονται από το Καναδικό μοντέλο γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας δεύτερης γενιάς (Coupled Global Climate Model 2 – CGCM2) και αναφέρονται στα κλιματικά σενάρια εκπομπής SRES A2 και SRES B2. Συγκρίνονται και αξιολογούνται οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας των μελλοντικών περιόδων με τις αντίστοιχες των παρατηρήσεων της περιόδου 1960-2003. Υπολογίζονται οι τιμές των δεικτών THI και SSI' για κάθε σενάριο και για κάθε μελλοντική περίοδο.

Η μελέτη ολοκληρώνεται με τη σύγκριση των σχετικών συχνοτήτων των δύο δεικτών μεταξύ σεναρίων εκπομπής (2020-2035, 2050-2065 και 2070-2100) και παρατηρήσεων (1960-2003).

ABSTRACT

In this study, it is attempt that study the heatwave events in Thessaloniki in the past and in the future.

The study divided in two parts. In the first part, heatwave incidents are considered in Thessaloniki for the period 1960-2003. Hourly air temperature and relative humidity are used for the months May, June, July, August, September. Data are derived by Meteorological Station of Institute Meteorology and Climatology of Aristotle University of Thessaloniki.

Hourly bioclimatic indexes Temperature Humidity Index (THI) and Summer Simmer Index (SSI) are calculated. Annual and monthly distributions of these indexes are constructed, and maximum frequencies of heatwave are detected in Thessaloniki.

THI and SSI are compared in annually and monthly scale and their similarities and differences are appeared and surveyed. Finally, SSI is changed (new SSI') because of apply in the area.

In the second part, it is projected the frequency distributions of the heatwave events in Thessaloniki, for future periods up to 2100.

To meet this objective, the observed hourly values of air temperature and relative humidity obtained at the Meteorological Station of the Department of Meteorology and Climatology of the Aristotle University of Thessaloniki are used. In addition, the average values of air temperature and relative humidity, which correspond to the three periods: 2020-2035, 2050-2065 and 2070-2100, for the month-period May to September, are used. These data information are derived through the Canadian model of general circulation of atmosphere CGCModel2 and incorporate the emissions scenarios SRES A2 and SRES B2.

The average values of air temperature and relative humidity, among the future periods and observations obtained during the period 1960-2003, are compared and evaluated. The bioclimatic indices, Temperature Humidity Index (THI) and Summer Simmer Index (SSI'), are calculated for each emission scenarios, during the future periods. Finally, the relative frequency of the indices, between scenarios (2020-2035, 2050-2065 and 2070-2100) and observations (1960-2003), are compared.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Angouridakis, V.E., and Makrogiannis, T., 1982: *The discomfort index in Thessaloniki, Greece, International Journal of Biometeorology, Vol. 26: 53-59.*

Arseni-Papadimitriou, A., 1974: Contribution to the study of air temperature in Thessaloniki (1946-1973), *Sci. Annals, Fac. Phys. & Mathem, University of Thessaloniki, Vol. 14, 151-163.*

Ανδρεάκος, Κ., και Μποζανάς, Μ., 1980: *Ο καύσωνας στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας: Περίοδος συνεχών ημερών καύσωνα*, Αναμνηστικός Τόμος στη μνήμη του Η.Γ. Μαριολόπουλου, Μετεωρολογικά, No 69, 29-42.

Balafoutis, C., and Maheras, P., 1986: Geographical distribution and grouping of bioclimatic types in Greece related to air enthalpy, *Z. Meteorol. 36, 4: 259-264.*

Balafoutis, C., 1990: Urban effects on the secular variations of annual and seasonal wind chill index in Athens (Greece), *Z. Meteorologie, 40(6): 383-386.*

Balafoutis, C., and Arseni-Papadimitriou, A., 1998: *Lengths of very warm and very cold spells at Southern Balkans*, Τιμητικός τόμος Gorczynski (Υπό δημοσίευση).

Balafoutis, Ch.J, and Macrogiannis, T.J., 2000: A contribution to the study of the heat wave phenomenon over Greece in August 1999, *Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Climatology (ECAC2000), Pisa, Italy.*

Ball, D.J., and Bernard, R.E., 1978: An analysis of photochemical pollution incidents in the Greater London Area with particular reference to the summer 1976, *Atm. Env., 12: 1391-1401.*

Bardossy, A., Caspary, H.J., 1990: Detection of climate change in Europe by analyzing European atmospheric circulation patterns from 1881 to 1989, *Theoretical and Applied Climatology, 42: 155-167.*

Bardossy, A., and Plathe, E., 1992: Space-time model for daily rainfall using atmospheric circulation patterns, *Water Resour. Res., 28: 1247-1259.*

Barrow, E.M., and Karacostas, T.S., 1996: *The impact of greenhouse gas - induced climate change on the frequency and intensity of heat waves in Greece*, University of East Anglia, Norwich, 88 pp.

Bell, P.A., and Greene, T.C., 1982: *Thermal stress: physiological, comfort, performance, and social effects of hot and cold environments*, In: Evans, G.W. (ed.), Environmental Stress, Cambridge University Press, Cambridge, 75-104.

Bengtsson, L., Botzet, M., and Esch, M., 1995: *Hurricane-type vortices in a general circulation model*, Tellus, 47A: 175-196.

Benestad, R.E., 1998: *SVD applied statistical downscaling for prediction of monthly mean land surface temperatures: model documentation*, DNMI Report, No. 30.

Benestad, R.E., 2001a: The cause of warming over Norway in the ECHAM4/OPYC3 GCM integration, *Int. J. Climatol.*, 21: 371-387.

Benestad, R.E., 2001b: A comparison between two empirical downscaling strategies, *Int. J. Climatol.*, 21: 1645-1668.

Besancenot, J.P., 1987: *Les bioclimats humains en façade méditerranéenne de l'Europe*, Centres de Recherches de Climatologie, Université de Bourgogne, Dijon, pp.214.

Binkley, M.A., 1993: Spatial and temporal trends of mortality in the Aged, *Proc. 13th Int. Congr. Biometeorology, Part I, Maarouf, A.R., and Barthakur, N.N. (eds.), 12-18 Sep. 1993, Calgary, Alberta, Canada, 99 pp.*

Bradtke, F., and Liese, W., 1952: *Hilfsbuch für raum-und bauklimatische Messungen*, Berlin – Göttingen – Heidelberg, Springer.

Brazol, D., 1951: La temperatura biológica optima, *Meteoros 1*, 99-106.

Brazol, D., 1954: Bosquezo bioclimático de la República Argentina, *Meteoros 4*, 381-394.

Brugge, R., 1991: The record – breaking heat wave of 1-4 August 1990 over England and Wales, *Weather*, 46(1): 2-10.

Burt, S., 1992: The exceptional hot spell of early August 1990 in the United – Kingdom, *International Journal of Climatology*, 12(6): 547-567, Sep-Oct.

Busuioc, A., Chen, D., and Hellström, H., 2001: Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: Application for Swedish precipitation, *Int. J. Climatol.*, 21: 557-578.

Campetella, C., and Rusticucci, M., 1998: *Synoptic analysis of an extreme heat wave over Argentina in March 1980*, Meteorological Applications, Vol. 5, 217-226, Cambridge University Press.

Casimiro, E., and Calheiros, J., 2003: *Climate change in Portugal: Potential impacts on tourist health*, Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar da Universidade do Porto, Portugal, 12 pp, ecasimiro@hotmail.com.

Cavazos, T., 1999: Large-scale circulation anomalies conducive to extreme precipitation events and derivation of daily rainfall in northeastern Mexico and southeastern Texas, *Journal of Climate*, 12: 1506-1523.

Cavestany, D., Wishy, A.B., and Foote, R.H., 1985: Effect of season and high environmental temperature on fertility of holstein cattle, *J. Dairy Sci.*, 68: 1471-1478.

Changnon, S.A., Kunkel, K.E., and Reinke, B.C., 1996: Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(7): 1497-1506, Jul.

Chen, D., and Chen, Y., 1999: Development and verification of a multiple regression downscaling model for monthly temperature in Sweden. In: Preliminary analysis and statistical downscaling of monthly temperature in Sweden, Report C16, Chen, D., Hellström, C., and Chen, Y., (eds), *Earth Sciences Centre, Göteborg University: Sweden*, 41-55.

Colacino, M., and Conte, M., 1995: Heat waves in the Central Mediterranean. A synoptic Climatology, *Il Nuovo Cimento, Vol. 18C, N.3*, 295-304.

Colombo, A.F., Etkin, D., and Kamey, B.W., 1999: Climate variability and the frequency of extreme temperature events for nine sites across Canada: Implications for power usage, *J. Climate*, 12: 2490-2502.

Corte-Real, J., Zhang, X., and Wang, X., 1995: Downscaling GCM information to regional scales: A non-parametric multivariate regression approach, *Clim. Dyn.*, 11: 413-424.

Cox, P.M., Betts, R.A., Bunton, C.B., Essery, R.L.H., Rowntree, P.R., and Smith, J., 1999: The impact of new land surface physics on the GCM simulation of climate and climate sensitivity, *Clim. Dyn.*, 15: 183-203.

Cubasch, U., Waszkewitz, J., Hegerl, G., Perlwitz, J., 1995: Regional climate as simulated in time – slice experiments, *Clim. Change*, 31: 273-304.

Dai, A., Giorgi, F., and Trenberth, K.F., 1999: Observed and model – simulated diurnal cycles of precipitation over the contiguous United States, *J. Geophys. Res.*, 104: 6377-6402.

Darmstadter, J., 1993: Climate change impacts on the energy sector and possible adjustment in the Mink Region, *Clim. Change*, 24: 117-129.

DeGaetano, A.T., 1996: Recent trends in maximum and minimum temperature threshold exceedences in the Northeastern United States, *Journal of Climate*, Vol. 9, Issue 7, 1646-1660.

Delworth, T.L., Mahlman, J.D., and Knutson, T.R., 1999: Changes in heat index associated with CO₂ - induced global warming, *Climatic Change*, 43: 369-386.

Department of the Environment (DOE), 1996: *Review of the potential effects of climate change in the United Kingdom*, HMSO, London.

Dikaiakos, B.J., 1987: Recent bioclimatic trends in Athens, *Weather*, 42: 309-313.

Domonkos, P., 1998: Statistical characteristics of extreme temperature anomaly groups in Hungary, *Theoretical and Applied Climatology*, 59: 165-179.

Durman, C.F., Gregory, J.M., Hassell, D.C., Jones, R.G., and Murphy, J.M., 2001: A comparison of extreme European daily precipitation simulated by a global and a regional climate model for present and future climates, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 127: 1005-1015.

Edwards, J.M., and Slingo, A., 1996: Studies with a flexible new radiation code, I: Choosing a configuration for a large – scale model, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 122: 689-720.

Ellis, F.P., 1972: Mortality from heat illness and heat aggravated illness in the U.S., *Environ. Res.*, 5: 1-58.

Ellis, F.P., Nelson, F., and Pincus, L., 1975: Mortality during heat waves in New York City, July, 1972 and August and September, 1973, *Environ. Res.*, 10: 1-13.

Ellis, F.P., and Nelson, F., 1978: *Mortality in the elderly in a haet wave in New York City, August, 1975*, *Environ. Res.*, 15: 504-512.

Fanger, P.O., 1972: *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.

Flocas, A.A., and Angouridakis, V.E., 1979: Extreme values analysis of air temperature over Greece, *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol., Ser. B*, 27: 47-57.

Flocas, A.A., 1981: Persistance of cold and hot spells at Thessaloniki, *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. A, Vol. 30*: 135-144.

Frederick, K.D., 1993: Climate change impacts on water resources and possible responses in the Mink Region, *Clim. Change*, 24: 83-115.

Frei, C., Christensen, J.H., Déqué, M., Jacob, D., Jones, R.G., and Vidale, P.L., 2003: Daily precipitation statistics in regional climate model: Evaluation and intercomparison for the European Alps, *Journal of Geophysical Research*, 108(D3,4124), 19 pp.

Furquay, J.W., 1989: Heatstress as it affects animal production, *J. Animal Sci.*, 52: 164-174.

Φλόκας, Α.Α., 1970: *Συμβολή εις τη μελέτη των θερμών εισβολών εν Ελλάδι*, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 102 pp.

Gawith, M.J., Downing, T.E., and Karacostas, T.S., 1994: *Heat waves in changing climate*, 53-60. In *Climate Change and Extreme Events*, Environmental Change Unit, University of Oxford, 125 pp.

Gershunov, A., and Barnett, T.P., 1998: ENSO influence on intraseasonal extreme rainfall and temperature frequencies in the contiguous United States – observations and model results, *J. Climate*, 11: 1575-1586.

Gerstengarbe, F.W., and Werner, P.C., 1993: *Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881-1992*, Deutscher Wetterdienst: Offenbach a Main, 249 pp.

Gerstengarbe, F.W., Werner, P.C., and Rüge, U., 1999: *Katalog der Grosswetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowsky 1881-1992*, Deutscher Wetterdienst: Offenbach a Main.

Gregorczyk, M., 1968: *The distribution of air enthalpy on the globe*, *Zeitschrift für Meteorologie*, Band 20, Heft 7/8, 204-208.

Changnon, S.A., Kunkel, K.E., and Reinke, B.C., 1996: Impacts and responses to the 1995 heat wave: A call to action, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77: 1497-1506.

Gibelin, A.-L., and Déqué, M., 2003: Antropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model, *Climate Dynamics*, 20(4): 327-339.

Giles, B.D., and Balafoutis, C.J., 1984: Diurnal variation of air enthalpy at Thessaloniki, Greece, *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol., Ser. B*, 34: 375-383.

Giles, B.D., and Balafoutis, C.J., 1990: The greek heat waves of 1987 and 1988, *International Journal of Climatology*, 10(5): 505-517, Jul-Aug.

Giles, B.D., Balafoutis, C., and Maheras, P., 1990: Too hot for comfort: The heat waves in Greece in 1987 and 1988, *Int. J. Biomet.*, 34: 98-104.

Giorgi, F., 1990: Simulation of regional climate using a limited-area model nested in a general circulation model, *J. Climate*, 3: 941-963.

Giorgi, F., and Mearns, L.O., 1991: Approaches to the simulation of regional climate change. A review, *Rev. Geophys.*, 29: 191-216.

Giorgi, F., and Mearns, L.O., 1999: Regional climate modeling revised. An introduction to the special issue, *J. Geophys. Res.*, 97: 10, 011-10,028.

Giorgi, F., Hewitson, B., Christensen, J., Fu, C., Jones, R., Hulme, M., Mearns, L., Storch, H.V., and Whetton, P., 2001: *Regional climate information – evaluation and projections*. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.I., editors, *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 583 pp.

Goodess, C., and Palutikof, J., 1998: Development of daily rainfall scenarios for southeast Spain using a circulation-type approach to downscaling, *International Journal of Climatology*, 10: 1051-1083.

Gregory, D., and Allen, S., 1991: *The effect of convective downdraughts upon NWP and climate simulations*, In Ninth Conference on Numerical Weather Prediction, Am. Meteorol. Soc., Boston Mass., 122-123.

Gregory, D., and Rowntree, P.R., 1990: A mass – flux convection scheme with representation of cloud ensemble characteristics and stability dependent closure, *Mon. Weather Rev.*, 118: 1483-1506.

Haas, J.E., 1976: *Social impacts of climate modification*, In: Ferrar, T.A. (ed.), *The Urban Costs of Climate Modification*, 103-121.

Hadley Center, 2001: *The Hadley Center regional climate modelling system*, Precis, U.K., www.metoffice.com.

Heck, P., Lüthi, D., Wernli, H., and Sehär, C., 2001: Climate impacts of European – scale anthropogenic vegetation changes: A sensitivity study using a regional climate model, *J. Geophys. Res.*, 106: 7817-7835.

Hennessey, K.J., and Pittcock, A.B., 1995: Greenhouse warming and threshold temperature events in Victoria, Australia, *Int. J. Climatol.*, 15: 591-612.

Hess, P., and Brezowsky, I.I., 1952: *Katalog der Grosswetterlagen Europas*, Ber. Dt. Wetterdienstes in der U.S. – zone, Nr. 33: 39 pp.

Hewitson, B., and Crane, R.G., 1992: *Regional climate prediction from the GISS GCM*, Paleogeogr., Paleoclim., Paleocool. (Global and Plan. Sec.), 97: 249-267.

Heyen, H., Zorita, E., and v. Storch, H., 1995: *Statistical downscaling of winter monthly mean North Atlantic sea-level pressure to sea level variations in the Baltic Sea*, Technical Report 150, Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg, Germany, 31 pp.

Höppe, P., 1999: The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorology assessment of the thermal environment, *Inter. Journal of Biometeorology*, 43(2): 71-75.

Hostetler, S.W., 1994: Hydrologic and atmospheric models: The (continuing) problem of discordant scales, *Clim. Change*, 27: 345-350.

Houghton, J.T., 1991: *Scientific assessment of climate change; survey of the IPCC Working Group I Report*, Climate Change, Science, Impacts and Policy, W.M.O., 243-246.

Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Hoesung Lee, Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., and Maskell, K., 1995: *Climate Change 1994: Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, 339 pp.

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., Van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A., 2001: *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution to*

Working Group I to the third assessment report of IPCC, International Panel of Climate Change, www.ipcc.ch.

Huschke, R.E. (ed.), 1959: *Glossary of Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, Mass., 638 pp.

Huth, R., and Kysely, J., 1998: *A GCM simulation of heat waves in central Europe*, In: The Second International Climate and History Conference, University of East Anglia, Norwich, UK, 7-11 September 1998, 74-75.

Huth, R., Kysely, J., and Pokorná, L., 2000: A GCM simulation of heat waves, dry spells, and their relationships to circulation, *Climatic Change*, 46(1-2): 29-60, Jul.

Huynen, M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M., and Kunst, A., 2001: The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population, *Environmental Health Perspectives*, Vol. 109, No. 5, 463-470, May.

IPCC, 1994: *IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations*. Prepared by Working Group II, In: Carter, T.R., Parry, M.L., Harasawa, H., and Nishioka, S., WMO/UNEP.CGER-IO15-'94, University College London, U.K. and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan, 59 pp.

IPCC, Climate change 2000: *Technical summary*, In: Nakicenovic, N., and Swart, B., (Eds.), Special report on emissions scenarios, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

IPCC, Climate change 2001: *The scientific basis*, In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C.A. (eds.), Contribution of Working Group I to third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Jendritzky, G., Sonning, W., and Swantes, H.J., 1979: Ein objectives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt – und Landschaftsplanung, *APR Beitrage Nr. 28*.

Johns, T.C., Carnell, R.E., Crossley, J.F., Gregory, J.M., Mitchell, J.F.B., Senior, C.A., Tett, S.F.B., and Wood, R.A., 1997: The second Hadley Centre coupled ocean – atmosphere GCM: Model description, spinup and validation, *Climate Dyn.*, 13: 103-134.

Johns, T.C., Gregory, J.M., Ingram, W.J., Johnson, C.E., Jones, A., Lowe, J.A., Mitchell, J.F.B., Roberts, D.L., Sexton, D.M.H., Stevenson, D.S., Tett, S.F.B., and Woodage, M.J., 2001: *Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios*, HCTN 22, Hadley Centre.

Jones, R.G., Murphy, J.M., and Noguer, M., 1995: Simulation of climate change over Europe using a nested regional – climate model. I: Assessment of control climate,

including sensitivity to location of lateral boundaries, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 121: 1413-1449.

Jones, R.G., Murphy, J.M., Noquer, M., and Keen, A.B., 1997: Simulation of climate change over Europe using a nested regional – climate model. II: Comparison of driving and regional model responses to a doubling of carbon dioxide concentration, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 123: 265-292.

Jones, R.G., Murphy, J.M., Hassell, D., and Taylor, R., 2001: *Ensemble mean changes in a simulation of the European climate of 2071-2100 using the new Hadley Centre regional modelling system HadAM3H/HadRM3H*, Hadley Centre, Met. Office, Bracknell, UK, 19 pp.

Jones, P.D., and Reid, P.A., 2001: Assessing future changes in extreme precipitation over Britain using regional climate model integration, *Int. J. Climatol.*, 21: 1337-1356.

Kalkstein, L.S., 1982: The weather stress index, *NOAA Technical Procedures Bulletin*, 324: 1-16.

Kalkstein, L.S., 1983: The development of indices for climate/socio-economic assessment: The “weather stress index” as an example, *The Pennsylvania Geographer*, 21: 7-17.

Kalkstein, L.S., and Valimont, K.M., 1986: An evaluation of summer discomfort in the United – States using a Relative Climatological Index, *Bulletin of the American Meteorology Society*, 67(7): 842-848, Jul.

Kalkstein, L.S., and Smoyer, K.E., 1993: The impact of climate change on human health: Some international implications, *Experientia*, 49: 969-979.

Kalkstein, L.S., Jamason, P.F., Greene, J.S., Libby, J., and Robinson, L., 1996: The Philadelphia hot weather – health watch warning system: Development and application, summer 1995, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 44(7): 1519-1528, Jul.

Karacostas, T.S., and Flocas, A.A., 1993: *The identification and characterization of extreme weather years*, 41-66, In the effect of Climate Change on Agricultural and Horticultural Potential in Europe. Edited by: G. J. Kenny, P.A. Harrison and M.L. Parry, Environmental Change Unit, University of Oxford, 224 pp.

Karacostas, T.S., Pennas, P.J., and Mitas, C.M., 1996: *On the study of heat wave events in Thessaloniki, Greece, during the last 30 years*, Proc. 14th Inter. Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia, 72-79.

Karacostas, T.S., Pennas, P.J., and Mitas, C.M., 1996: *On the development of a regression model for the identification of heat wave events in Thessaloniki, Greece*, Proc. 14th Inter. Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia, 80-86.

Karacostas, T.S., and Downing, T.E., 1996: *Heat wave events in a changing climate*, in T.E. Downing, A.A. Olsthoorn and R.S.J. Tol, eds, Climate Change and Extreme Events:

Altered Risk, Socio-economic Impacts and Policy Responses, Oxford and Amsterdam: Environmental Change Unit, University of Oxford and Vrije Universiteit, Amsterdam, 309 pp.

Karl, T.R., 1980: A study of the spatial variability of ozone and other pollutants at St. Louis, Missouri, *Atm. Env.*, 14: 681-694.

Karl, T.R., Wang, W.C., Schlesinger, M.E., Knight, R.W., and Portman, D., 1990: A method of relating general circulation model simulated climate to the observed local climate. Part I: Seasonal statistics, *J. Climate*, 1: 1057-1064.

Karl, T.R., and Knight, R.W., 1997: The 1995 Chicago heat wave: How likely is a recurrence?, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6): 1107-1119.

Karl, T.R., Knight, R.W., Easterling, D.R., and Quayle, R.G., 1996: Indices of climate change for the United States, *Bull. Am. Met. Soc.*, 77: 279-292.

Karl, T.R., and Easterling, D.R., 1999: Climate extremes – selected review and future-research directions, *Climatic Change*, 42: 309-325.

Katsouyanni, K., Trichopoulos, D., Zavitsanos, X., and Touloumi, G., 1988: The 1987 Athens heatwave, *Lancet* 573: ii.

Katsouyanni, K., Panazopoulou, A., Touloumi, G., Tselepidaki, I., Moustiris, K., Asimakopoulos, D., Pouloupoulou, G., and Trichopoulos, D., 1993: Evidence of interaction between air pollution and high temperatures in the causation of excess mortality, *Archit. Environ. Health*, 48: 235-242.

Katz, R.W., and Brown, B.G., 1992: Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages, *Clim. Change*, 21: 289-302.

Kim, J.W., Chang, N.L., Baker, N.L., Wilks, D.S., and Gates, W.L., 1984: The statistical problem of climate inversion: Determination of the relationship between local and large scale climate, *Mon. Wea. Rev.*, 112: 2069-2077.

Kirschbaum, M.U.F., 1996: *Ecophysiological, ecological and soil processes in terrestrial ecosystems: A primer on general concepts and relationships*, In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., and Dokken, D.J. (eds), *Climate Change 1995: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific – technical analyses*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 57-74.

Kite, G.W., 1997: Simulating Columbia River flows with data from regional – scale climate models, *Water Resour. Res.*, 33: 1275-1285.

Klaus, D., and Stein, G., 1978: Temporal variations of the “European Grosswetterlagen” and possible causes, *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics*, 11: 89-100.

Krška, K., and Racko, S., 1993: The hot summer 1992 in the Czech and the Slovak Republic; its synoptic interpretation and climatological evaluation, *Meteorol. Zpr.*, 46: 33-41 (in Czech).

Krška, K., and Racko, S., 1996: Extra-ordinary hot summer 1994 in Czech and the Slovak Republic, *Meteorol. Zpr.*, 49: 12-21 (in Czech).

Kunkel, K.E., Changnon, S.A., Reinke, B.C., and Arritt, R.W., 1996: The July 1995 heat wave in the Midwest: A climatic perspective and critical weather factors, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(7): 1507-1518, Jul.

Kunkel, K.E., Pielke, R.A., and Changnon, S.A., 1999: Temporal fluctuations in weather and climate extremes that cause economic and human health impacts – a review, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80: 1077-1098.

Kunst, A.E., Looman, C.W.N., and Mackenbach, J.P., 1993: Outdoor air temperature and mortality in the Netherlands: A time – slice analysis, *Amer. J. Epidemiol.*, 137: 331-341.

Kysely, J., 1997: *Changes in secondary temperature characteristics*, Diploma thesis, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, 187 pp. (in Czech).

Kysely, J., and Kalvová, J., 1998: Heat waves in the south Moravian region in the period of 1961-1990, *Meteorol. Zpr.*, 51: 65-72 (in Czech).

Kysely, J., Kalvova, J., and Kveton, V., 2000: Heat waves in the south Moravian region during the period 1961-1995, *Studia geophysica et Geodaetica*, 44(1): 57-72.

Kysely, J., and Kalvova, J., 2000: *Heat waves in long-term temperature series at Prague-Klementinum, the Czech Republic*, Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Climatology (ECAC2000), Pisa, Italy.

Kysely, J., 2000: *Changes in the occurrence of extreme temperature events*, PhD thesis, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, 97 pp. (in Czech).

Kysely, J., 2002: Temporal fluctuations in heat waves at Prague – Klementinum, the Czech Republic, from 1901-97, and their relationships to atmospheric circulation, *International Journal of Climatology*, 22(1): 33-50, Jan.

Kysely, J., 2002: Probability estimates of extreme temperature events: stochastic modelling approach Vs. extreme value distributions, *Stud. Geophys. Geod.*, 46: 93-112.

Lally, B.E., and Watson, B.F., 1960: Humiture revisited, *Weatherwise*, 34: 120-124.

Livezey, R.E., and Tinker, R., 1996: Some meteorological, climatological and microclimatological considerations of the severe US heat wave of mid – July 1995, *Bulletin of American Meteorology Society*, Vol. 77, No. 9, Sep, 2043-2054.

Lowe, P.R., 1977: An approximating polynomial for the computation of saturation vapour pressure, *J. Appl. Meteorol.*, 16: 100-103.

Machenhauer, B., 1995: *Dynamic downscaling of climate simulation*, in Abstracts of the XXI General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, July 2-14, Boulder, CO., B279 pp.

Mariolopoulos, E., and Karapiperis, L., 1956: *On the annual march of air temperatures in Athens and their anomalies*, Publications of Athens University Laboratory, No 2, Athens.

Martens, W.J.M., ed., 1996: *Vulnerability of human population health to climate change: stage-of-knowledge and future research directions*, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Maastricht: University of Limburg.

Martens, W.J.M., 1997: *Health impacts of climate change and ozone depletion: An eco-epidemiological modelling approach*, Maastricht: Maastricht University.

Matyasovszky, I., and Weidinger, T., 1998: Characterizing air pollution potential over Budapest using macrocirculation types, *Időjárás*, 102: 219-237.

Matzarakis, A., and Mayer, H., 1991: The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point – of – view of human biometeorology, *Atmospheric Environment Part B – Urban Atmosphere*, 25(2): 203-211.

Matzarakis, A., and Mayer, H., 1996: Another kind of environmental stress: Thermal stress, WHO Collaborating centre for air quality management and air pollution control, *NEWSLETTERS*, 18: 7-10.

Matzarakis, A., Balafoutis, Ch., and Mayer, H., 1996: Synoptic and human biometeorological analysis of the heat waves in Greece, *Biometeorology*, 14, Part 2, Vol. 3, 483-490.

Matzarakis, A., and Mayer, H., 1997: Heat stress in Greece, *Int. J. Biometeorol.*, 41: 34-39.

Matzarakis, A., Balafoutis, C., and Mayer, H., 1997: *Synoptic and human biometeorological analysis of the heat wave in Greece*, 14th International Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia, Part 2, Vol. 3: 113-120.

May, W., Roeckner, E., 2001: A time – slice experiment with the ECHAM4 AGCM at high resolution: The impact of horizontal resolution on annual mean climate change, *Clim. Dyn.*, 17: 407-420.

McGregor, J.L., 1997: Regional climate modelling, *Atmos. Phys.*, 63: 105-117.

Mearns, L.O., Katz, R.W., and Schneider, S.H., 1984: Extreme high-temperature events: Changes in their probabilities with changes in mean temperature, *J. Clim. Appl. Meteor.*, 23: 1601-1613.

Mearns, L.O., Rosenzweig, C., and Goldberg, R., 1997: Mean and variance change in climate scenarios: Methods, Agricultural applications, and measures of uncertainty, *Clim. Change*, 35: 367-396.

Metaxas, D., 1970: Biometeorological indices and climatizations in Greece during the summer, *Techn. Note No. 6*, 321-332.

Metaxas, D., and Repapis, C.C., 1978: Large warm advection over Athens: A climatological and synoptical study, *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B*, 26: 51-61.

Metaxas, D., and Kallos, G., 1979: *Heat waves from a synoptic point of view*, Technical Rep. 14, Ioannina.

Metaxas, D., and Kallos, G., 1980: Heat waves from a synoptic point of view, *Riv. Di Meteor. Aeronaut., IL*, 2-3, 107-119.

Mohanty, U.C., Ravi, N., Madan, O.P., and Paliwal, R.K., 1997: Forecasting minimum temperature during winter and maximum temperature during summer at Delhi, *Meteorological Application*, Vol. 4, pp. 37-48.

Murphy, J.M., 1999: An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate, *J. Clim.*, 12: 2256-2284.

Murphy, J.M., 2000: Predictions of climate change over Europe using statistical and dynamical downscaling techniques, *J. Clim.*, 20: 489-501.

Ματζαράκης, Α., 1995: *Ανθρωποβιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος*, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Μπαλαφούτης, Χ., 1977α: *Συμβολή στη μελέτη του κλίματος της Μακεδονίας και της Δυτικής Θράκης*, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Μπαλαφούτης, Χ., 1977β: *Η ενθαλπία του αέρος εις την πόλιν της Θεσσαλονίκης*, Δελτίον Ε.ΜΤ.Ε., Τόμος 2^{ος}, Τεύχος 4^ο, 21-26.

Μπαλαφούτης, Χ., 1992: *Εκτίμηση της θερινής θερμικής δυσφορίας με την εφαρμογή ενός σχετικού βιομετεωρολογικού δείκτη*, Πρακτ. 1^{ου} Πανελλήνιου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, 181-188.

Μπαλαφούτης, Χ., Αρσένη-Παπαδημητρίου, Α., και Χαντσαρίδης, Π., 1995: *Κατανομή του δείκτη δυσφορίας κατά τον Ιούνιο στον ελληνικό χώρο*, Πρακτ. 4^ο Παν. Γεωγρ. Συνέδρ., Αθήνα, 440-452.

National Weather Service, Office of Climate, Water, and Weather Services, Natural Hazard Statistics. 2001.

Nelson, J.P., 1976: *Climate and energy demand: fossil fuels*, In: Ferrar, T.A. (ed.), *The Urban Costs of Climate Modification*, 123-137.

Noguer, M., Jones, R.G., and Murphy, J., 1998: Sources of systematic errors in the climatology of a nested Regional Climate Model (RCM) over Europe, *Climate Dynamics*, 14(10): 691-712.

Palecki, M.A., and Changnon, S.A., 1999: *The nature and impacts of the July 1999 heat wave in the Midwest*, August 23.

Palecki, M.A., Chagnon, S.A., and Kunkel, K.E., 2001: The nature and impacts of the July 1999 heat wave in the Midwestern United States: Learning from the lessons of 1995, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(7): 1353-1367.

Pan, Z., Takle, E., Segal, M., and Arritt, R., 1999: Simulation of potential impacts of man – made land use changes on U.S. summer climate under various synoptic regimes, *J. Geophys. Res.*, 104: 6515-6528.

Parmesan, C., Root, T.L., and Willing, M.R., 2000: Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81: 443-450.
Pennas, P.J., 1984: A study on the discomfort index on the islands of Mediterranean sea, *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B*, 34: 365-373.

Pepi, J.W., 1987: The new summer simmer index, *Weatherwise, summer edition*.

Perry, A.H., 2001: *More heat and drought – can Mediterranean tourism survive and prosper?*, In: Matzarakis A., de Freitas C.R. (eds), Proc. 1st International Workshop on Climate, Tourism and Recreation, Int. Soc. Biometeorol., Commission on Climate Tourism and Recreation, December 2001, Thessaloniki, Greece, WP3, 1-6.

Pielke, R.A., Walko, R.L., Steyaert, L.T., Vidale, P.L., Liston, G.E., Lyos, W.A., and Cjase, T.N., 1999: The influence of anthropogenic landscape changes on weather in South Florida, *Mon. Weather Rev.*, 127: 1663-1673.

Pöpe, V.D., Pamment, A., and Stratton, R.A., 1999: *Resolution sensitivity of the UKMO climate model. In WCRP CAS/JSC working group on numerical experimentation*, WCRP.

Pöpe, V.D., Gallani, M., Rowntree, P.R., and Stratton, R.A., 2000: The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model: HadAM3, *Clim. Dyn.*, 16(2-3): 123-146.

Prezerakos, N.G., 1989: A contribution to the study of the extreme heatwave over the South Balkans in July 1987, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 41(4): 261-271.

Πρεζεράκος, Ν.Γ., 1978: *Συμβολή στη μελέτη του εμποδισμού στον ελληνικό χώρο*, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 191 pp.

Quayle, R., and Doehring, F., 1981: Heat stress: A comparison of indices, *Weatherwise*, 34: 120-124.

Raisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Doscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, H.E.M., Samuelsson, P., and Willen, U., 2004: European climate in the late twenty – first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios, *Climate Dynamics*, 22(1): 13-31.

Robinson, P.J., 2001: On the definition of a heat-wave, *Journal of Applied Meteorology*, 40 (4): 762-775.

Rohli, R.V., and Keim, B.D., 1994: Spatial and temporal characteristics of extreme – high – summer – temperature events in the south – central United States, *Physical Geography*, 15(4): 310-324, Jul-Aug.

Rooney, C., McMichael, A.J., Kovats, R.S., and Coleman, M.P., 1998: Excess mortality in England and Wales, and in Greater London during the 1995 heatwave, *Journal of Epidemiology and Community Health*, 52: 482-486.

Ρεπαπής, Χ., 1975: *Επί των θερμών εισβολών εις την κατωτέρα τροπόσφαιρα εν Ελλάδι*, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 113 pp.

Sartor, F., Snacken, R., Demuth, C., and Walckiers, D., 1995: Temperature, ambient ozone levels, and mortality during summer 1994, in Belgium, *Environmental Research*, 70: 105-113.

Schär, C., Lüthi, D., Beyerle, U., and Heise, E., 1999: The soil – precipitation teed – back: A process study with a regional climate model, *J. Clim.*, 12: 722-741.

Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Haberli, C., Liniger, M.A., and Appenzeller, C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves, *Nature*, 427(6972): 332-336.

Schneider, S.H., 1996: *The future of climate: Potential for interaction and surprises*, in T.E. Downing, ed., *Climate Change and World Food Security*, Heidelberg: Springer-Verlag.

Schubert, S., 1994: A weather generator based on the European “Grosswetterlagen”, *Clim. Res.*, 4: 191-202.

Schubert, S., 1998: Downscaling local extreme temperature changes in south- eastern Australia from the CSIRO MARK2 GCM, *International Journal of Climatology*, 18: 1419-1438.

Segal, M., and Mahrer, Y., 1979: Heat load conditions in Israel – A numerical Mesoscale model study, *Int. J. Biometeor.* 23: 279-284.

Shaw, M.S., 1977: The exceptional heat-wave of 23 June to 8 July 1976, *Meteorological Magazine* 106, 1264: 329-346.

Siple, P.A., and Passel, C.F., 1945: Measurement of dry atmospheric cooling in sub-freezing temperatures, *Proc. Amer. Phil. Soc.*, 89: 117-179.

Smith, R.N.B., 1990: A scheme for predicting layer clouds and their water content in a general circulation model, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 116: 203-221.

Smoyer, K.E., Rainham, D.G.C., and Hewko, J.N., 2000: Heat-stress-related mortality in five cities in Southern Ontario: 1980-1996, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 44: 190-197.

Smoyer-Tomic, K. E., Kuhn, R., and Hudson, A., 2003: Heat wave hazards: An overview of heat wave impacts in Canada, *Natural Hazards*, 28(2-3): 463-485, Mar.

Steadman, R.G., 1971: Indices of windchill of clothed persons, *J. Appl. Meteor.*, 10: 674-683.

Steadman, R.G., 1979a: The assessment of sultriness. Part I: A Temperature – Humidity Index based on human physiology and clothing science, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 18, 861-873.

Steadman, R.G., 1979b: The assessment of sultriness. Part II: Effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 18, 874-885.

Steadman, R.G., 1984: A universal scale of apparent temperature, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 23, 1674-1687.

Stone, M.C., Hotchkiss, R.H., Hubbard, C.M., Fontaine, T.A., and Mearns, J.G., 2001: Impacts of climate change on Missouri River Basin water yield, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 37: 1119-1129.

Storch, H. v., Zorita, E., and Cubasch, U., 1993: Downscaling of global climate change estimates to regional scales: An application to Iberian rainfall in wintertime, *J. Climate*, 6: 1161-1171.

Storch, H. v., 1995b: Inconsistencies at the interface of climate impacts studies and global climate research, *Meteorologie Zeitschrift*, NF4: 72-80.

Stratton, R.A., 1999: A high resolution AMIP integration using the Hadley Centre model HadAM2b, *Clim. Dyn.*, 15: 9-28.

Σκριμιζέας, Π., 1994: *Μερικά χαρακτηριστικά του υποτροπικού αεροχειμάρου πάνω από τον ευρύτερο ελληνικό χώρο κατά τη διάρκεια του θέρους 1993*, Πρακτικά 2^{ου} Πανελ. Συνεδρ. Μετεωρ. – Κλιματ. και Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη, 669-681.

Σπύρου, Κ., 2000: *Συνοπτική και δυναμική μελέτη του φαινομένου του καύσωνα στον ευρύτερο ελληνικό χώρο*, Διδακτορική Διατριβή, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 285 pp.

Terjung, W.H., 1966: Physiologic Climates of the Conterminous United States: A bioclimatic classification based on man, *Annals of the Association of the American Geographers*, Vol. 56, 141-179.

Terjung, W.H., 1968: World patterns of the distribution of monthly comfort index, *International Journal of Biometeorology*, Vol. 12, Nr. 2, 119-151.

Thatcher, W.W., 1974: Effects of season, climate and temperature on reproduction and lactation, *J. Dairy, Sci.*, 57: 360-368.

Thom, E.C., 1959: The discomfort index, *Weatherwise*, 12: 57-60.

Tout, D.G., 1980: The Discomfort Index, mortality and the London summers of 1976 and 1978, *Int. J. Biometeorol.*, 24: 323-328.

Trenberth, K.E., 1999: The extreme weather events of 1997 and 1998, *Consequences*, Vol. 5, No. 1, 3-15.

Tromp, S.W., 1980: *Biometeorology: The impact of the weather and climate on humans and their environment (animals and plants)*, Heyden, 346 pp.

Τσελεπιδάκη, Η.Γ., 1990: Η κατανομή των ημερησίων μεγίστων θερμοκρασιών του αέρα το καλοκαίρι στο Ελληνικό και στον Άροζο, Αναμνηστικός Τόμος στη μνήμη του Λ. Καραπιτέρη, 386-396.

Varey, R.H., Ball, D.J., Crane, A.J., Laxen, D.P.H., and Sandalls, F.J., 1988: Ozone formation in the London Plume, *Atm. Env.*, 22: 1335-1346.

Wagner, D., 1996: Scenarios of extreme temperature events, *Climatic Change*, 33: 385-407.

Weiss, M.H., 1983: Quantifying summer discomfort, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 64: 654-655.

Wenzel, H.G., 1984: Beurteilung von Hitzebelastungen des Menschen durch Klimasummenmade, *Moderne Unfallverbütung* 28: 47-54.

Werner, P.C., Gerstengarbe, F.W., Fraedrich, K., and Oesterle, H., 2000: Recent climate change in the North Atlantic/European sector, *International Journal of Climatology*, 20: 463-471.

Wheeler, D.A., 1984: The July 1983 'heat – wave' in north – east England, *Weather*, 39: 178-181.

White, R., and Etkin, D., 1997: Climate change, extreme events and the Canadian Insurance Industry, *Natural Hazards* 16: 135-163.

Wigley, T.M.L., 1985: Impact of extreme events, *Nature*, 316: 106-107.

Wigley, T.M.L., Jones, P.D., Briffa, K.R., and Smith, G., 1990: Obtaining sub-grid-scale information from coarse resolution general circulation model output, *J. Geophys. Res.*, 95: 1943-1953.

Wilby, R.L., and Wigley, T.M.L., 1997: Downscaling General Circulation Model output: A review of methods and limitations, *Prog. Phys. Geogr.*, 21: 530-548.

Wilby, R.L., Wigley, T.M.L., Conway, D., Jones, P.D., Hewitson, B.C., Main, J., and Wilks, D.S., 1998: Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods, *Water Resources Research*, 34: 2995-3008.

Wilby, R.L., and Wigley, T.M.L., 2000: Precipitation predictors for downscaling: Observed and general circulation model relationships, *International Journal of Climatology*, 20: 641-661.

Wilks, D.S., 1989: Statistical specification of local surface weather elements from large scale information, *Theor. Appl. Climatol.*, 40: 119-134.

W.M.O., 1998: *The global climate system review*, December 1993 - May 1996, W.M.O., No. 856.

Wolfson, N., Atlas, R., and Sud, Y.C., 1987: Numerical experiments related to the summer 1980 U.S. heat wave, *Monthly Weather Review*, Vol. 115: 1345-1357.

Zorita, E., Storch, H. v., 1999: The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more complicated methods, *Journal of Climate*, 12: 2474-2489.

http://www.cru.uea.ac.uk/link/hadcm3_diag.html

<http://www.cru.uea.ac.uk>

<http://prudence.dmi.dk/>

<http://www.cru.uea.ac.uk/link/emissions/emissions.html>

<http://www.cru.uea.ac.uk/link/emissions/sres.html>

<http://www.idad.com>

<http://hpccsun.unl.edu/nebraska/heat-index.html>