



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
**ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ**

ΝΑΤΣΗ ΕΛΕΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΤΟΛΙΚΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2019

Ευχαριστώ την οικογένειά μου,
την Κα. Τολίκα Κωνσταντία για τη πολύτιμη βοήθειά της
και τον τομέα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας του Α.Π.Θ.

Περίληψη

Γίνεται μια προσπάθεια συλλογής πληροφοριών από πολλές μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν και αφορούν στην περίοδο 1950-2006, όσον αφορά στις ακραίες θερμοκρασίες στην Ελλάδα και την ανατολική Μεσόγειο. Με την ανασκόπηση αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την κατανομή και την εξέλιξη αυτών στο πέρας του χρόνου, παρέχοντας σημαντικές πληροφορίες, καθώς επηρεάζουν άμεσα την περιοχή και σχετίζονται με τη αποδεδειγμένη κλιματική αλλαγή.

Θα προσδιοριστεί πώς ορίζονται τα φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών, πώς συντελέστηκε η συλλογή δεδομένων, η επεξεργασία αυτών, θα αναλυθούν και θα σχολιασθούν τα αποτελέσματα των ερευνών, παρέχοντας ένα γενικό συμπέρασμα για την κατανομή των ακραίων θερμοκρασιών στον Ελλαδικό χώρο και στο χώρο της ανατολικής Μεσογείου.

Abstract

An attempt is made to collect information from numerous studies that have taken place in the past regarding the time period between 1950-2006, for extreme temperature phenomena in Greece and the Eastern Mediterranean. By reviewing these, a more complete picture of their distribution and evolution is possible, providing important information, as they are directly affecting these areas and are associated with the proven climate change that takes place.

In this study extreme temperatures, the way the data are collected and processed are defined, and there will be an analysis and commenting on the results of the surveys conducted, giving a general conclusion on the distribution of extreme temperatures in Greece and the Eastern Mediterranean area.

Πίνακας περιεχομένων

Εισαγωγή.....	6
1. Χρήσιμοι Ορισμοί.....	7
1.1 Ακραία καιρικά φαινόμενα.....	7
1.2 Καύσωνες.....	7
1.3 Κύματα ψύχους.....	8
2. Περιοχή μελέτης.....	10
3. Πρόβλεψη των ακραίων φαινομένων	13
4. Φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών στην Ελλάδα και τη Μεσόγειο.....	16
4.1 Flocas et al., 1978.....	16
4.2 Bartzokas et al., 2005.....	17
4.3 Kostopoulou et al., 2005.....	18
4.4 Baldi et al., 2006.....	21
4.5 Goubanova et al., 2006.....	22
4.6 Diffenbaugh et al., 2007.....	24
4.7 Kuglitsch et al., 2009.....	26
4.8 Varfi et al., 2009.....	28
4.9 Hertig et al., 2010.....	30
4.10 Kioutsioukis et al., 2010.....	32
4.11 Kuglitsch et al., 2010.....	34
4.12 Efthymiadis et al., 2011.....	36
4.13 Cardil et al., 2014.....	40
5. Η περιοχή της Αθήνας.....	44
6. Η περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου.....	47
7. Μελλοντικές εκτιμήσεις για τα φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών στην Ελλάδα και τη Μεσόγειο.....	50
7.1 Sánchez et al., 2004.....	50
7.2 Diffenbaugh et al., 2007.....	52
7.3 Alpert et al., 2008.....	52
7.4 Οι Dankers et al., 2008.....	54
7.5 Hertig et al., 2010.....	55
7.6 Ζερεφός κ. ά., 2011.....	58
7.7 Nastos et al., 2014.....	61
8. Συμπεράσματα.....	65
9. Βιβλιογραφία.....	68

Εισαγωγή

Η εκτίμηση των ακραίων γεγονότων και η προβλεψιμότητά τους αποτελούν μια μεγάλη επιστημονική πρόκληση όσον αφορά στη μελέτη των κλιματικών αλλαγών. Σήμερα, δίνεται πολύ μεγάλη έμφαση στη μελέτη των ακραίων καιρικών φαινομένων παγκοσμίως, καθώς οι επιπτώσεις και οι συνέπειές τους εμφανίζονται σε πολλούς κλάδους, ενσωματώνοντας την ατμόσφαιρα, τη βιόσφαιρα και την οικονομία. Τα ακραία γεγονότα είναι σπάνια. Η κλιματική αλλαγή που λαμβάνει χώρα γίνεται εμφανής μέσω των αλλαγών στη θερμοκρασία του αέρα και των επιδράσεων που οφείλονται στην ένταση, τη συχνότητα εμφάνισης, τη διάρκεια και τη σοβαρότητα των ακραίων θερμοκρασιακών γεγονότων. Η υπερθέρμανση του πλανήτη μέχρι σήμερα έχει ήδη αυξήσει σημαντικά τη συχνότητα των ακραίων γεγονότων σε μηνιαίες έως εποχιακές χρονικές κλίμακες, επιδεινώνοντας τις κοινωνικές επιπτώσεις. Αυτό εγείρει το ερώτημα πώς και πόσο γρήγορα αυτή η τάση είναι πιθανό να συνεχιστεί λόγω της μελλοντικής αύξησης της θερμοκρασίας, η οποία αναμένεται να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τους 0,5 °C που παρατηρήθηκαν μέχρι στιγμής (Counou et al. 2013).

Λόγω της μεγάλης μεταβλητότητας του κλίματος των υποτροπικών γεωγραφικών πλατών και της σύνθετης τοπογραφίας της περιοχής της Μεσογείου, η περιοχή αυτή επηρεάζεται τόσο από τις χαμηλές θερμοκρασίες (κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες) όσο και από τις ακραία θερμές συνθήκες (ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο), με αποτέλεσμα να είναι συνάμα ευάλωτη στις ακραίες αυτές συνθήκες χρίζοντας την εξειδικευμένη μελέτη αυτών (Hertig et al. 2010).

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η συλλογή πληροφοριών από μελέτες που έχουν γίνει όσον αφορά στα ακραία φαινόμενα θερμοκρασίας στην Ελλάδα και την ανατολική Μεσόγειο, έτσι ώστε με την ανασκόπηση αυτών να πραγματοποιηθεί μια ολοκληρωμένη εικόνα για την κατανομή και την εξέλιξη αυτών. Η περίοδος στην οποία αναφέρεται η εργασία είναι από το 1950 έως το 2008.

1. Χρήσιμοι Ορισμοί

1.1 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα χαρακτηρίζουν απροσδόκητες, ασυνήθιστες, απρόβλεπτες, σφοδρές καιρικές συνθήκες, οι οποίες ξεπερνούν με ακραίο τρόπο το εύρος των παρατηρούμενων καιρικών συνθηκών που έχουν καταγραφεί στο παρελθόν (IPCC, <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/088.htm>).

Η έννοια του «ακραίου» αναφέρεται σε τιμές μετεωρολογικών μεταβλητών που προσεγγίζουν ή ξεπερνούν κάποιες καθορισμένες οριακές τιμές/κατώφλια. Τα ακραία φαινόμενα γενικά είναι σπάνια. Παραδείγματα ακραίων φαινομένων μπορούν να είναι οι τροπικοί κυκλώνες, φαινόμενα πλημμυρών και ξηρασίας, καθώς και καύσωνες ή κύματα ψύχους (Diaz et al., 2008).

Σε μια κατανομή συχνότητας για μια συγκεκριμένη περίοδο, ένα ακραίο φαινόμενο αναμένεται να ξεπερνά τη μέση τιμή έχοντας μικρή συχνότητας επανεμφάνισης ανήκοντας στο 10ο ή το 90ο εκατοστημόριο της κατανομής (Rutger Dankers et al., 2008).

Μερικά από τα γνωρίσματα των ακραίων καιρικών φαινομένων είναι:

- Η πιθανότητα εμφάνισης τους ανά μονάδα χρόνου.
- Η έντασή τους.
- Η χρονική διάρκεια και η περίοδος που λαμβάνουν χώρα.
- Η χωρική τους κλίμακα.
- Η εξάρτησή τους από πολλούς παράγοντες (Diaz et al., 2008).

1.2 Καύσωνες

Ως καύσωνα ορίζεται μια παρατεταμένη περίοδος πολύ υψηλών τιμών θερμοκρασίας σε σχέση με τις μέσες αναμενόμενες τιμές της εκάστοτε περιοχής. Ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (WMO) ορίζει έναν καύσωνα ως πέντε ή περισσότερες διαδοχικές ημέρες κατά τις οποίες η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία υπερβαίνει τη μέση μέγιστη θερμοκρασία κατά 5 °C ή περισσότερο. Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των Η.Π.Α. ορίζει έναν καύσωνα ως μια σύντομη περίοδο «αφύσικα θερμού και υγρού καιρού» διάρκειας δύο ημερών ή περισσότερο (<https://www.britannica.com/science/heat-wave-meteorology>). Ακόμα, η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) θεωρεί ως καύσωνα μια περίοδο αφύσικα θερμού καιρού. Για να χαρακτηριστεί μια περίοδος ως ένας καύσωνας, πρέπει να διαρκεί τουλάχιστον τρεις συνεχόμενες

ημέρες. Ένας καύσωνας μελετάται με βάση τις διαφορές που παρουσιάζει σε σχέση με τις συνήθεις καιρικές συνθήκες μιας περιοχής και σε σχέση με τις κανονικές θερμοκρασίες για την εποχή (Meehl et al, 2004).

Στην Ελλάδα επεισόδια καύσωνα παρατηρούνται κατά βάση τη θερινή περίοδο, με την προϋπόθεση ότι θερμοκρασίες στις πεδινές περιοχές ξεπερνούν τους 37 °C, τη μέση ημερήσια θερμοκρασία να είναι τουλάχιστον 31 °C και τη θερμοκρασία κατά τη νύκτα να μην πέφτει κάτω από τους 25 °C (ΣΙΑΔΗΜΑ κ.ά., 2009). Στον Ελληνικό χώρο, οι υψηλότερες θερμοκρασίες που καταγράφηκαν λόγω εισβολής θερμών αέριων μαζών ήταν στη Λάρισα με 45,5 °C, στη Ν. Φιλαδέλφεια με 44,5 °C και το Άργος με 44 °C. Κατά τη δεκαετία του '90, ο αριθμός των καυσώνων στην Ελλάδα ήταν σχεδόν τριπλάσιος από την προηγούμενη τριακονταετία. (Κυριαννάκη, 2006). Τέλος, σύμφωνα με τους Kostopoulou et al. 2005 και Xoplaki et al. 2003, η συχνότητα των φαινομένων καύσωνα αυξάνεται και των ψυχρών νυκτών μειώνεται, λόγω αντικυκλωνικών συνθηκών και ανωμαλιών της κυκλοφορίας στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

Δείκτες φαινομένων καύσωνα είναι:

- Ο δείκτης διαρκείας καύσωνα (HWDI).
- Η συχνότητα του δείκτη διαρκείας καύσωνα (Rutger Dankers et al., 2008).

Συνέπειες των φαινομένων καύσωνα μπορούν να είναι:

- Αύξηση του κινδύνου θνησιμότητας στις ευπαθείς ηλικιακές ομάδες ατόμων.
- Διακοπή της λειτουργίας των μέσων μαζικής μεταφοράς και των δημοσίων έργων.
- Αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης και μείωση της παραγωγής ενέργειας.
- Αύξηση των ασθενειών των καλλιεργειών και των παρασίτων.
- Άμεση καταστροφή των καλλιεργειών (Rutger Dankers et al., 2008).

1.3 Κύματα ψύχους (Cold Spells)

Ένα κύμα ψύχους είναι ένα καιρικό φαινόμενο που γενικότερα χαρακτηρίζεται από μια απότομη ψύξη του αέρα με αποτέλεσμα απότομη αύξηση της πίεσης και ισχυρούς ανέμους, συσχετιζόμενη με κακοκαιρία που μπορεί να προκαλέσει παγετό και σχηματισμό παγοκαλύμματος. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO), ένα κύμα ψύχους είναι μια αξιοσημείωτη ψύξη του αέρα ή η είσοδος πολύ

ψυχρού αέρα πάνω από μία μεγάλης έκτασης περιοχή, από τη μετακίνηση αέριων μαζών από μεγάλα προς μικρότερα γεωγραφικά πλάτη. Επίσης, μπορεί να σχετίζεται με ψύξη του αέρα λόγω της συνεχούς εκπεμπόμενης ακτινοβολίας της Γης κατά τη διάρκεια ξάστερου ουρανού. Σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία των Η.Π.Α., ένα κύμα ψύχους είναι μια ταχεία πτώση της θερμοκρασίας εντός είκοσι τεσσάρων ωρών. Ο ορισμός ενός καιρικού φαινομένου ως ένα κύμα ψύχους βασίζεται στο ρυθμό με τον οποίο πέφτει η θερμοκρασία και το ελάχιστο στο οποίο πέφτει. Αυτή η ελάχιστη θερμοκρασία εξαρτάται από τη γεωγραφική περιοχή και την εποχή του έτους (AMS, http://glossary.ametsoc.org/wiki/Cold_wave). Τέλος, ως κύμα ψύχους χαρακτηρίζονται οι πολύ ψυχρές ημέρες και η διαδοχή ημερών παγετού (ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία < 0 °C) (Diaz et al., 2008).

Δείκτες κυμάτων ψύχους είναι:

- ID, αριθμός ημερών παγοποίησης.
Ο ετήσιος αριθμός ημερών όπου η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (TX) είναι μικρότερη των 0 °C.
- CSDI, δείκτης διαρκείας κύματος ψύχους.
Ο ετήσιος αριθμός ημερών, όπου για τουλάχιστον 6 διαδοχικές ημέρες η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία (TN) είναι μικρότερη του 10ου εκατοστημορίου της περιόδου αναφοράς (http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml).

2. Περιοχή μελέτης

Το κλίμα των περιοχών που διαβρέχονται από τη Μεσόγειο ονομάζεται Μεσογειακό και χαρακτηρίζεται από ήπιους, βροχερούς χειμώνες και θερμά, ξηρά καλοκαίρια.

Στην περιοχή της Ελλάδας το κλίμα είναι έντονα μεταβαλλόμενο και εξαρτάται από την μεγάλη ακτογραμμή της, την τοπογραφία της εκάστοτε περιοχής και τα κυρίαρχα τοπικά καιρικά συστήματα. Η θερμοκρασία του αέρα στην Ελλάδα μεταβάλλεται σύμφωνα με το τοπικό κλίμα, το ανάγλυφο της κάθε περιοχής και από το αν η περιοχή διαβρέχεται από θάλασσα ή όχι. Η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται περίπου 0,7 °C κάθε εκατό μέτρα. Οι μέσες ετήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας είναι μικρότερες στις ακτές του Ιονίου πελάγους και του ανατολικού Αιγαίου από ότι στην ανατολική Ελλάδα σε περιοχές που βρίσκονται στα ίδια γεωγραφικά πλάτη. Επίσης, οι θερμοκρασιακές διαφορές είναι μικρότερες κατά τη θερμή περίοδο καθώς η κατανομή ξηράς και θάλασσας είναι ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει τη θερμοκρασία του αέρα (Ζερεφός κ. ά., 2011).

Γενικότερα η θερμοκρασία στην Ελλάδα αρχίζει να αυξάνεται από την άνοιξη και γίνεται μέγιστη προς το τέλος του καλοκαιριού. Έτσι, οι υψηλές θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 32 °C και 36 °C με τις μέγιστες να ξεπερνούν τους 45 °C σε περιοχές της κεντρικής και νότιας Ελλάδας. Οι χαμηλές θερμοκρασίες παρατηρούνται κυρίως σε περιοχές της βόρειας Μακεδονίας και Θράκης, όπου μάλιστα καταγράφονται και ημέρες ολικού παγετού, όπως και σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου, φτάνοντας έως κάτω των -20 °C (Ζερεφός κ. ά., 2011).

Πληθώρα ερευνητών έχουν μελετήσει τις θερμοκρασιακές συνθήκες στην Ελληνική περιοχή. Οι Giles et al. 1984, μελέτησαν χρονοσειρές δεδομένων από μετεωρολογικούς σταθμούς της Αθήνας για την περίοδο 1859-1981, της Θεσσαλονίκης για την περίοδο 1892-1981 και της Λάρισας για την περίοδο 1900-1981. Θερμές τάσεις κυριαρχούσαν στις αρχές του 20ου αιώνα με τις μεγαλύτερες θερμοκρασίες να παρατηρήθηκαν κατά τη δεκαετία του 1890 στη Θεσσαλονίκη και τη Λάρισα και τη δεκαετία του '20 στην Αθήνα. Οι μελετώμενες περίοδοι χαρακτηρίστηκαν κυρίως από τάσεις ψύξης που μεγιστοποιήθηκαν κατά τη δεκαετία του '70. Κατά την περίοδο 1945-1981 παρατηρήθηκαν σημαντικές τάσεις μείωσης της θερμοκρασίας το καλοκαίρι σε όλους τους σταθμούς και το φθινόπωρο στη Θεσσαλονίκη και τη Λάρισα. Σε εποχιακή βάση, κατά την άνοιξη παρατηρήθηκαν οι σημαντικότερες τάσεις ψύξης για τη Θεσσαλονίκη και τη Λάρισα, ενώ όχι τόσο σημαντικές για την Αθήνα. Οι τάσεις αυτές άρχισαν να

εμφανίζονται από τη δεκαετία του '60 στην Αθήνα, του '50 στη Θεσσαλονίκη και του '20 στη Λάρισα.

Οι υψηλότερες ετήσιες θερμοκρασίες για τη Λάρισα καταγράφηκαν κατά την περίοδο 1915-1925 και για την Αθήνα κατά τις δεκαετίες του '20 και του '30. Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη δεκαετία του '20 ήταν αποτέλεσμα των θερμών περιόδων καλοκαιριού, άνοιξης και φθινοπώρου, ενώ η ψυχρή περίοδος που ακολούθησε κατά τη δεκαετία του '70 ήταν αποτέλεσμα των ψυχρών καλοκαιριών και φθινοπώρων που προηγήθηκαν.

Οι Proedrou et al. 1997, κατέληξαν σε παρόμοια αποτελέσματα μελετώντας την περίοδο 1961-1993 με τη χρήση δεδομένων από εικοσιπέντε μετεωρολογικούς σταθμούς της Ελλάδας και την περίοδο 1979-1991 με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων. Τάσεις μείωσης της θερμοκρασίας παρατηρήθηκαν κατά τη χειμερινή περίοδο για όλους τους σταθμούς, όπως και για τις μέσες ετήσιες και θερινές θερμοκρασίες. Αυτή η τάση μείωσης έγινε εμφανής στις τιμές των μέγιστων θερμοκρασιών από την αρχή της δεκαετίας του '70 και από τα μέσα της δεκαετίας του '80 για τις ελάχιστες και μέσες τιμές θερμοκρασιών. Κατά την περίοδο 1966-1976 η μείωση της θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε κατά τη χειμερινή περίοδο στις νότιες περιοχές της Ελλάδας ξεπερνούσε τον 1 °C. Ωστόσο, από τα μέσα της δεκαετίας του '70, η τάση ψύξης αντιστράφηκε προς συνθήκες αύξησης της θερμοκρασίας συμφωνώντας με τα ευρήματα της μελέτης των Bartzokas et al, 1995.

Σύμφωνα με τους Feidas 2004, από μελέτη βασισμένη σε δεδομένα από είκοσι σταθμούς της Ελλάδας για την περίοδο 1955-2001, έγινε φανερή μια τάση ψύξης κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Επίσης, παρατηρήθηκε μια τάση θέρμανσης κατά τη θερινή περίοδο ως αποτέλεσμα των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που καταγράφηκαν προς το τέλος της μελετώμενης περιόδου. Αυτή η τάση ψύξης άρχισε να γίνεται εμφανής στην αρχή της δεκαετίας του '60 για τη χειμερινή περίοδο και από τα τέλη της δεκαετίας του '50 για τη θερινή περίοδο και αντιστράφηκε στα τέλη της δεκαετίας του '90.

Από μελέτη δορυφορικών δεδομένων παρατηρήθηκε αύξηση των θερμοκρασιών τόσο για τη χειμερινή όσο και τη θερινή περίοδο. Οι ετήσιες τροποσφαιρικές θερμοκρασίες για την Ελληνική περιοχή παρουσίασαν τάση αύξησης μεγαλύτερη από αυτή των θερμοκρασιών της επιφάνειας του εδάφους.

Τα παραπάνω αποτελέσματα συμφωνούν με αυτά των Philandras et al. 2008, που μελέτησαν την περίοδο 1951-2000. Η περίοδος 1951-1970 χαρακτηρίστηκε από τάσεις ψύξης, με το έτος 1976 να αποδεικνύεται το ψυχρότερο για την Ελληνική περιοχή. Πιο

συγκεκριμένα, η τάση μείωσης της θερμοκρασίας κυμαινόταν από $-0,028\text{ }^{\circ}\text{C/έτος}$ για το Ηράκλειο έως $-0,122\text{ }^{\circ}\text{C/έτος}$ για τα Τρίκαλα. Κατά την περίοδο 1976-2000 οι τάσεις αντιστράφηκαν και η αύξηση της μέση ετήσιας θερμοκρασίας κυμαινόταν από $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ στο Ηράκλειο έως $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ στην Κοζάνη.

Το κλίμα τις Ελλάδας μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις τύπους:

- Ο θαλάσσιος Μεσογειακός τύπος, που περιλαμβάνει τα δυτικά παράλια και τα Ιόνια νησιά με χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος.
- Ο Χερσαίος Μεσογειακός τύπος, που περιλαμβάνει τη νοτιοανατολική Ελλάδα, μερικές περιοχές της Στερεάς Ελλάδας, τμήματα της ανατολικής Πελοποννήσου, τα νησιά του κεντρικού Αιγαίου την Κρήτη, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες.
- Ο Ηπειρωτικός Τύπος, που περιλαμβάνει το μεγαλύτερο τμήμα της Θράκης, της Μακεδονίας, της Ηπείρου και ένα τμήμα της Θεσσαλίας, με χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος.
- Ο Ορεινός Τύπος, που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους της Ελλάδας, στους οποίους υπάρχουν δασώδεις περιοχές με κλίμα δάσους, καθώς και μικρές περιοχές μεγάλου υψομέτρου, όπως ο Όλυμπος, με αλπικό κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Μαριολόπουλος, 1938, 1982).

Στην πιο απόμακρη από την Ελλάδα περιοχή της Μεσογείου, την Ιβηρική χερσόνησο, επικρατεί επίσης το Μεσογειακό κλίμα, επηρεάζεται όμως και από το Ωκεάνιο κλίμα του Ατλαντικού στις δυτικές ακτές. Ακόμα, σε ορισμένες περιοχές παρατηρούνται και άλλοι κλιματικοί τύποι, όπως ο Αλπικός και ο Ερημικός που ενισχύουν την άποψη ότι το κλίμα μιας περιοχής εξαρτάται σημαντικά από τους τοπικούς γεωμορφολογικούς παράγοντες. Στις Ισπανικές ακτές, οι θερμοκρασία κυμαίνεται στους $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι, ενώ στο εσωτερικό της χερσονήσου η μέση θερμοκρασία τον Ιούλιο αγγίζει τους $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Αντιθέτως, στην περιοχή της Γαλικίας και γενικότερα τις δυτικές ακτές οι μέγιστες θερμοκρασίες το καλοκαίρι φτάνουν μόλις τους $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (https://en.wikipedia.org/wiki/Iberian_Peninsula#Climate).

3. Πρόβλεψη των ακραίων φαινομένων

Πληθώρα επιστημόνων έχουν προτείνει πολλούς δείκτες ακραίων καιρικών φαινομένων που επιτρέπουν τη σύγκρισή τους σε παγκόσμια κλίμακα. Έτσι, είναι δυνατή η μελέτη των μεταβολών των ακραίων καιρικών φαινομένων παγκοσμίως. Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες δεικτών. Οι πρώτοι ορίζονται με τη χρήση ενός απόλυτου κατωφλιού και σχετίζονται με τον αριθμό των ημερών και ενός καθορισμένου μεγέθους που ξεπερνούν μια καθορισμένη απόλυτη τιμή. Οι δεύτεροι ορίζονται με τη χρήση εκατοστημορίων και σχετίζονται με τη συμπεριφορά της ουράς της στατιστικής κατανομής συχνοτήτων των δεδομένων. Πλεονέκτημα παρουσιάζει ο δεύτερος τύπος δεικτών, καθώς μπορούν να επεκταθούν σε παγκόσμια κλίμακα, σε περιοχές με διαφορετικό υψόμετρο και με διαφορετικά κλιματικά χαρακτηριστικά.

Για τη μελέτη των φαινομένων ακραίων θερμοκρασιών έχουν υπολογιστεί επτά δείκτες μέσω του Ευρωπαϊκού προγράμματος STARDEX, (Statistical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes, <https://crudata.uea.ac.uk/projects/stardex/>). Αυτοί είναι:

- ETR, εντός της περιόδου εύρος ακραίων θερμοκρασιών.
Ο δείκτης αυτός ορίζεται με βάση τη διαφορά μεταξύ της απόλυτα μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για την εποχιακή/ετήσια περίοδο αναφοράς από τη σχέση $ETR_j = \max(T_{xij}) - \min(T_{nij})$, όπου T_{xij} είναι η απόλυτα μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία και T_{nij} είναι η απόλυτα ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία για την ημέρα i της περιόδου j .
- F_d , συνολικός αριθμός ημερών παγετού ($T_n < 0^\circ\text{C}$).
Σε μια ημέρα παγετού η ελάχιστη θερμοκρασία είναι μικρότερη των 0°C . Έτσι, αν T_{nij} είναι η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας i για την περίοδο j , τότε ο δείκτης μετρά όλες τις ημέρες για τις οποίες ισχύει $T_{nij} < 0^\circ\text{C}$.
- T_n10 , ποσοστό ημερών με ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη από το 10ο εκατοστημόριο των ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς (ψυχρές νύκτες).
- T_x10 , ποσοστό ημερών με μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία μικρότερη από το 10ο εκατοστημόριο των ημερήσιων μέγιστων θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς (ψυχρές ημέρες).
- HWDI, δείκτης διαρκείας καύσωνα.

Χρονικά διαστήματα μεγαλύτερα από πέντε ημέρες, όπου η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη κατά τουλάχιστον 5 °C από τις φυσιολογικές τιμές της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για την περίοδο αναφοράς.

- Tn90, ποσοστό ημερών με ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη του 90ου εκατοστημορίου των ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς (θερμές νύκτες).
- Tx90, ποσοστό των ημερών με μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία μεγαλύτερη του 9ου εκατοστημορίου των ημερήσιων μέγιστων θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς (θερμές ημέρες) (Kostopoulou et al., 2005).

Από τους Efthymiadis et al 2011, υπολογίστηκαν επίσης οι παρακάτω δείκτες ακραίων θερμοκρασιών:

Δείκτης	Περιγραφή	Παράμετρος
Δείκτες που σχετίζονται με την ένταση του φαινομένου		
TN5p	Κατώφλι των εξαιρετικά ψυχρών ελάχιστων θερμοκρασιών	5ο εκατοστημόριο της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας
TN95p	Κατώφλι των εξαιρετικά θερμών ελάχιστων θερμοκρασιών	95ο εκατοστημόριο της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας
TX5p	Κατώφλι των εξαιρετικά ψυχρών μέγιστων θερμοκρασιών	5ο εκατοστημόριο της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας
TX95p	Κατώφλι των εξαιρετικά θερμών μέγιστων θερμοκρασιών	95ο εκατοστημόριο της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας
TG5p	Κατώφλι των εξαιρετικά ψυχρών μέσων θερμοκρασιών	5ο εκατοστημόριο της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας
TG95p	Κατώφλι των εξαιρετικά θερμών μέσων θερμοκρασιών	95ο εκατοστημόριο της ημερήσιας μέσης θερμοκρασίας
Δείκτες που σχετίζονται με τη συχνότητα του φαινομένου		
TN5n	Συχνότητα των πολύ	Αριθμός ημερών με

	ψυχρών νυκτών	ελάχιστη θερμοκρασία κάτω του TN5p
TN95n	Συχνότητα των πολύ θερμών νυκτών	Αριθμός ημερών με την ελάχιστη θερμοκρασία να υπερβαίνει το TN95p
TX5n	Συχνότητα των πολύ ψυχρών ημερών	Αριθμός ημερών με μέγιστη θερμοκρασία κάτω του TX5p
TX95n	Συχνότητα των πολύ θερμών ημερών	Αριθμός ημερών με τη μέγιστη θερμοκρασία να υπερβαίνει το TX95p
TG5n	Συχνότητα των πολύ ψυχρών ημερήσιων μέσων τιμών	Αριθμός ημερών με μέση θερμοκρασία κάτω του TG5p
TG95n	Συχνότητα των πολύ θερμών ημερήσιων μέσων τιμών	Αριθμός ημερών με τη μέση θερμοκρασία να υπερβαίνει το TG95p
Δείκτες που σχετίζονται με τη διάρκεια του φαινομένου		
CWDI	Δείκτης διάρκειας κύματος ψύχους	Αριθμός διαδοχικών ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία κάτω του TN5p

Τέλος, οι παρακάτω δείκτες υπολογίστηκαν από τους Kioutsioukis et al., 2010.

- T_{Nn}, μηνιαία ελάχιστη τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας.
- T_{Nx}, μηνιαία μέγιστη τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας.
- T_{Xn}, μηνιαία ελάχιστη τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας.
- T_{Xx}, μηνιαία μέγιστη τιμή της μέγιστης θερμοκρασίας.
- TR20, ετήσιος αριθμός ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 20 °C.
- SU25, ετήσιος αριθμός ημερών όπου η μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 25 °C.
- DTR, μηνιαία μέση διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας.

4. Φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών στην Ελλάδα και τη Μεσόγειο

Για την μελέτη των φαινομένων ακραίων θερμοκρασιών απαραίτητη είναι η ύπαρξη μεγάλου αριθμού δεδομένων. Δύσκολη υπήρξε η εύρεση χρονοσειρών δεδομένων οι οποίες να αναφέρονται σε πολύ προγενέστερες δεκαετίες, κάτι που δυσκολεύει τη σύγκριση μεταξύ των πρόσφατων εμφανίσεων ακραίων φαινομένων θερμοκρασιών με αυτών του παρελθόντος, με σκοπό την παρακολούθηση της εξέλιξής τους τόσο ως προς τη συχνότητά τους, την έντασή τους αλλά και τη μεταβλητότητά τους.

4.1 Στην εργασία των Flocas et al. 1978, δεδομένα αποτέλεσαν οι ακραίες τιμές (max, min) θερμοκρασίας του αέρα που καταγράφηκαν σε εξήντα έναν μετεωρολογικούς σταθμούς καλύπτοντας την Ελληνική περιοχή, κατά την περίοδο 1950-1973. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε για την ανάλυση των ακραίων τιμών θερμοκρασίας του αέρα στην Ελλάδα είναι αυτή που προτάθηκε από τον Jenkinson (1955) και εφαρμόστηκε από τον Laurence (1955). Ο Jenkinson έδωσε μια πιο γενική λύση στην εξίσωση των Fisher-Tippett. Το θεώρημα των Fisher-Tippett περιγράφει την ασυμπτωτική συμπεριφορά της κατανομής των μεγίστων τιμών ενός δείγματος (Fisher & Tippett, 1928). Έτσι, υπολογίσθηκαν οι ακραίες τιμές θερμοκρασίας για περιόδους επανάληψης δέκα, είκοσι πέντε, πενήντα και εκατό ετών, σύμφωνα με τον μαθηματικό τύπο που χρησιμοποίησε ο Lawrence $X_T = \bar{X} \pm R \cdot \sigma_1$.

Επιπλέον, με τη χρήση δεδομένων από χρονοσειρές, που κυμαίνονται από σαράντα πέντε έως εκατόν δεκατέσσερα έτη, από έντεκα μετεωρολογικούς σταθμούς που αντιπροσωπεύουν ικανοποιητικά τις Ελληνικές περιοχές, εκτιμήθηκαν οι ακραίες τιμές για μια περίοδο επιστροφής πενήντα ετών σύμφωνα με αυτές της περιόδου 1950-1973, με μικρή απόκλιση της τάξης των +0,02 °C για τα μέγιστα και -0,46 °C για τα ελάχιστα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Σύγκριση των μίας ανά πενήντα έτη εκτιμήσεων των θερμοκρασιών (°C) σε επιλεγμένους σταθμούς βασισμένοι στις διαθέσιμες καταγραφές μεγάλων περιόδων και την περίοδο 1950-1973 (Flocas et al., 1978).

	Μία ανά πενήντα έτη εκτίμηση των θερμοκρασιών (°C) από		
	A	B	B-A(°C)
	Μακρά	1950-1973	

		περίοδος					
Μετεωρολογικός σταθμός	(Max/Min)	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Αθήνα	114/113	42.5	-6.1	43.3	-4.5	0.8	1.6
Βόλος	51/49	43.5	-8.1	44.3	-10.4	0.8	-2.3
Ηράκλειο	50/52	44.2	-1.0	42.9	-0.4	-1.3	0.6
Θεσσαλονίκη	61	41.5	-11.1	41.8	-12.9	0.3	-1.8
Ιωάννινα	47/45	42.3	-12.5	41.5	-13.2	-0.8	-0.7
Κέρκυρα	69/68	40.0	-5.2	40.5	-5.2	0.5	0.0
Κύθηρα	55/60	40.8	-1.6	41.5	-1.4	0.7	0.2
Λάρισα	68/70	45.3	-17.6	46.0	-19.7	0.7	-2.1
Τρίκαλα	50/42	45.0	-18.9	45.6	-20.4	0.6	-1.5
Τρίπολη	62/61	41.2	-17.6	41.5	-18.7	0.3	-1.1
Χαλκίδα	59/58	44.3	-5.5	43.5	-3.5	-0.8	2.0
Μέσες διαφορές						+ 0.02	-0.46

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι καμία από τις καταγεγραμμένες τιμές δεν υπερβαίνει τις θεωρητικές ακραίες τιμές που υπολογίστηκαν για περιόδους επανάληψης πενήντα και εκατό ετών. Για περίοδο επανάληψης πενήντα ετών στο 95% των περιπτώσεων οι καταγεγραμμένες τιμές είναι μικρότερες από τις θεωρητικά υπολογιζόμενες, έτσι η πιθανότητα να συμβούν φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών που να ξεπερνούν τις θεωρητικές τιμές είναι της τάξης του 1-2%. Τέλος, τα αποτελέσματα συμφωνούν κατά τον ίδιο τρόπο για τα φαινόμενα ακραία ελάχιστων θερμοκρασιών.

4.2 Οι Bartzokas et al. 2005, συσχέτισαν τα ακραία φαινόμενα θερμοκρασίας με τα μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας φαινόμενα. Η μελέτη επικεντρώθηκε στη βορειοδυτική Ελλάδα και τα δεδομένα αποτέλεσαν καταγραφές ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών (DJF) και ημερήσιων μέγιστων θερμοκρασιών (JJA) για την ψυχρή και τη θερμή περίοδο του έτους, αντίστοιχα. Τα δεδομένα προήλθαν από το μετεωρολογικό σταθμό του Πανεπιστημίου των Ιωαννίνων, για τη χρονική περίοδο 1970-2002. Επίσης, καταγράφηκαν οι τιμές πίεσης της μέσης στάθμης της θάλασσας καλύπτοντας τις γεωγραφικές συντεταγμένες από 40° Δ έως 50° Α και 30° Β έως 70° Β.

Ως ημέρες με ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες ορίστηκαν οι ημέρες όπου η ημερήσια θερμοκρασία αντιστοιχεί στο ελάχιστο και μέγιστο 5% της κατανομής των

ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών για την ψυχρή και τη θερμή περίοδο, αντίστοιχα. Το κατώφλι των $-7,7^{\circ}\text{C}$ ορίσθηκε για τη χειμερινή περίοδο και των $35,8^{\circ}\text{C}$ για τη θερινή περίοδο. Από την επεξεργασία των τιμών πίεσης με την αντικειμενική στατιστική μέθοδο παραγοντικής ανάλυσης, FA, δημιουργήθηκαν ημερήσιοι χάρτες πίεσης καλύπτοντας τις περιοχές του ανατολικού Ατλαντικού, της Ευρώπης, της δυτικής Ασίας και της βόρειας Αφρικής. Σκοπός ήταν να διαχωριστούν αυτοί οι χάρτες σε περιοχές με διακριτά χαρακτηριστικά πίεσης και να αποκαλυφθούν τα μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μοτίβα που σχετίζονται με τα ακραία φαινόμενα θερμοκρασιών.

Αποδείχθηκε ότι η περίοδος 1989-1993 υπήρξε η περίοδος με τη μεγαλύτερη συχνότητα φαινομένων ακραία ελάχιστων θερμοκρασιών και κατά τη διάρκεια αυτής καταγράφηκαν 106 ημέρες με μέση ελάχιστη θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ $-8,1$ και $-8,8^{\circ}\text{C}$. Τα μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μοτίβα που ευθύνονται για αυτή την ψύξη είναι τέσσερα. Η κύρια αιτία είναι η θετική Βόρειο-Ατλαντική ταλάντωση που οδηγεί στην ενίσχυση του αντικυκλώνα των Αζόρων και του χαμηλού βαρομετρικού της Ισλανδίας. Έτσι, παρατηρούνται περισσότερες αίθριες νύκτες και κατά συνέπεια χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τέλος, κατά την ψυχρή περίοδο η αντικυκλωνική κυκλοφορία οδηγεί σε βορειοανατολική πνοή ψυχρών ανέμων από την ανατολική Ευρώπη προς την ελληνική περιοχή.

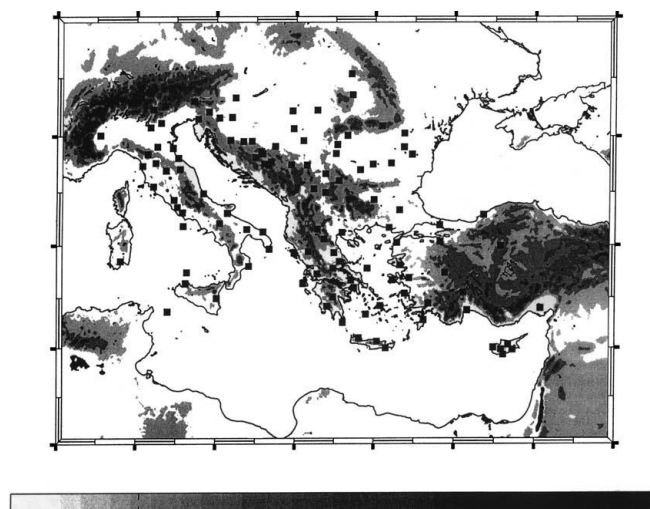
Η συχνότητα των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών αυξάνεται κατά την τελευταία δεκαετία σύμφωνα με τη γενικότερη θέρμανση που παρατηρείται στην ανατολική Μεσόγειο. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού πέντε είναι τα μοτίβα πίεσης που οδηγούν σε συνθήκες ακραία μέγιστων θερμοκρασιών. Συνολικά καταγράφηκαν 92 ημέρες με μέση μέγιστη θερμοκρασία να κυμαίνεται μεταξύ $37,1$ και $37,9^{\circ}\text{C}$. Κύρια αιτία είναι η μη επαρκής επέκταση του αντικυκλώνα των Αζόρων πάνω από την περιοχή της κεντρικής και ανατολικής Μεσογείου και η ρηχότητα του βαρομετρικού χαμηλού της νοτιοδυτικής Ασίας. Έτσι, η ένταση των Ετησιών ανέμων μειώνεται και υποβιβάζεται η «θερμική ανακούφιση» που προσφέρουν. Τέλος, κατά τη θερμή περίοδο θερμές αέριες μάζες μεταφέρονται από την έρημο Σαχάρα μέσω ενός βορειοδυτικού αντικυκλωνικού συστήματος.

4.3 Στην εργασία των Kostopoulou et al. 2005, η μελέτη επικεντρώνεται στην ανατολική Μεσόγειο, κυρίως μεταξύ των γεωγραφικών συντεταγμένων $5^{\circ} - 40^{\circ}$ A και $30^{\circ} - 50^{\circ}$ B. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή δεδομένων βρίσκονται σε περιοχές δέκα χωρών που καλύπτουν την Ευρωπαϊκή πλευρά της ανατολικής Μεσογείου (Σχήμα

1). Τα δεδομένα ημερήσιας θερμοκρασίας αφορούν στη χρονική περίοδο 1958-2000. Δημιουργήθηκαν τέσσερις σειρές ημερησίων κλιματικών δεδομένων: μέση ημερήσια θερμοκρασία (T_{mean}), μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}), ελάχιστη θερμοκρασία (T_{min}) και ημερήσιο εύρος θερμοκρασίας (DTR).

Τα διαθέσιμα δεδομένα από τους σταθμούς εξετάσθηκαν λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή μετακίνηση, το κλείσιμο ή την κακή λειτουργία των σταθμών. Εντοπίσθηκαν οι χρονοσειρές που παρουσίαζαν κενά, διορθώθηκαν λάθη (σε σχέση με τιμές από γειτονικούς σταθμούς) και τα διάσπαρτα ελλείποντα δεδομένα θερμοκρασίας συμπληρώθηκαν μέσω της διαδικασίας της γραμμικής παρεμβολής. Τέλος, βασικός έλεγχος ποιότητας δεδομένων διεξήχθη για όλους τους σταθμούς βάσει των βασικών προτύπων που συνιστά ο WMO (1986).

Εκτός από την αξιολόγηση των δεδομένων, εξετάσθηκε και η ομοιογένεια των σταθμών συγκρίνοντας τις σειρές των ετήσιων μέσων θερμοκρασιακών αποκλίσεων, με εκείνες των γειτονικών σταθμών για να επιβεβαιωθεί ότι οι τάσεις δεν οφειλόταν σε ανομοιογένειες. Σταθμοί με ημερήσια δεδομένα για χρονική περίοδο μικρότερη από τριάντα έτη ή που απέτυχαν στις δοκιμές απορρίφθηκαν. Οι δοκιμές ελέγχου ποιότητας μείωσαν τον αριθμό των συνολικών σταθμών σε ενενήντα τέσσερις με αξιόπιστες χρονοσειρές για τη T_{mean} και την T_{min} και ενενήντα δύο σταθμούς για τη T_{max} και το DTR. Όλοι οι σταθμοί δεν περιλαμβάνουν δεδομένα για όλα τα έτη της περιόδου μελέτης, αλλά οι τάσεις σχετίζονται με μια συνολική περίοδο σαράντα τριών ετών (1958-2000).



Σχήμα 1. Γεωγραφική κατανομή των σταθμών στην ανατολική Μεσόγειο που πέρασαν τις δοκιμές ελέγχου ποιότητας και χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση των ακραίων κλιματικών φαινομένων (Kostopoulou et al., 2005).

Επτά δείκτες υπολογίσθηκαν για την αξιολόγηση των τάσεων των ακραίων θερμοκρασιών στην περιοχή της Μεσογείου και η χρονική περίοδος 1961-1990 ορίστηκε ως περίοδος αναφοράς για τον προσδιορισμό της κατανομής κάθε δείκτη. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης για να υπολογισθούν οι τάσεις που παρουσιάζει ο κάθε δείκτης και να εκτιμηθεί η στατιστική σημαντικότητά τους συμφωνά με το στατιστικό τεστ Kendall-tau.

Μεικτά αποτελέσματα παρουσίασε ο δείκτης ETR για την ανατολική Μεσόγειο, με θετικές και αρνητικές τάσεις της τάξης των 0,4 έως 0,6 °C/δεκαετία. Το χειμώνα αρνητικές τάσεις παρατηρήθηκαν για την πλειοψηφία των σταθμών, ενώ την άνοιξη παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες αρνητικές τάσεις με τιμές που ξεπερνούν τους 0,6 °C στα κεντρικά Βαλκάνια, χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντικές. Κατά τη θερινή περίοδο παρατηρήθηκαν κυρίως θετικές τάσεις, όπως και το φθινόπωρο, όπου σχεδόν οι μισές από αυτές στατιστικά σημαντικές στη στάθμη σημαντικότητας 95%. Οι παράκτιοι και οι νησιωτικοί σταθμοί παρουσίασαν τάσεις μικρότερες των 0,6 °C, αλλά στατιστικά σημαντικές. Στην Ελλάδα και την Ιταλία τα αποτελέσματα είναι μεικτά, με θετικές κυρίως τάσεις για την Ελληνική περιοχή, ενώ στην Ιταλία θετικές τάσεις εμφανίσθηκαν στην ανατολική ακτή και αρνητικές στη δυτική.

Για το δείκτη Fd, οι μεγαλύτερες και σημαντικότερες τάσεις παρατηρήθηκαν σε ετήσια κλίμακα. Στην περιοχή της Σερβίας και του Μαυροβουνίου παρατηρήθηκε αύξηση έως 6 ημέρες/δεκαετία και κατά το φθινόπωρο αυξήσεις παρατηρήθηκαν στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου, χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντικές. Λίγες θετικές τάσεις παρατηρήθηκαν και στη δυτική και νότια Ελλάδα. Αντιθέτως, σημαντικές αρνητικές τάσεις παρατηρήθηκαν για την περιοχή της Ιταλίας.

Σύνθετα αποτελέσματα προέκυψαν για την ανατολική Μεσόγειο σε ετήσια βάση για το δείκτη Tn10, αν και αναφέρονται σε αλλαγές της τάξης των 2 - 4 ημερών/δεκαετία. Αρνητικές τάσεις κυριάρχησαν το καλοκαίρι με μειώσεις των ψυχρών νυκτών έως 6 ημέρες/δεκαετία, στις περιοχές της Ιταλίας, της κεντρικής Ελλάδας και της Τουρκίας.

Για το δείκτη Tx10, οι ετήσιες τάσεις είναι μικρές και ασήμαντες. Η Ελλάδα και η Τουρκία παρουσίασαν θετικές τάσεις κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, ενώ κατά τη θερμή περίοδο επικράτησαν οι αρνητικές τάσεις. Γενικά, οι μεγαλύτερες τάσεις παρατηρήθηκαν στους παράκτιους και νησιωτικούς σταθμούς.

Η ετήσια ανάλυση για το δείκτη Tn90 παρουσίασε σύνθετα αποτελέσματα με τις πιο σημαντικές τάσεις να παρατηρήθηκαν για τους παράκτιους σταθμούς. Κατά τη θερινή περίοδο μεγάλες και σημαντικές θετικές τάσεις κυριάρχησαν στην ανατολική Μεσόγειο.

Τα αποτελέσματα για το δείκτη Tx90 ήταν σύμφωνα με αυτά του Tn90 για την ανατολική Μεσόγειο, ενισχύοντας την άποψη της τάσης προς θερμότερες κλιματικές συνθήκες και υψηλότερες θερμοκρασίες το καλοκαίρι, που οδηγούν σε δυσάρεστα φαινόμενα καύσωνα.

Τέλος, ο δείκτης HWDI εμφάνισε θετικές τάσεις τόσο για τις ετήσιες, όσο και για τις εποχιακές αναλύσεις με τις σημαντικότερες να παρατηρήθηκαν στη βόρεια Ιταλία με αυξήσεις έως 3 ημέρες/δεκαετία.

4.4 Οι Baldi et al. 2006, συσχέτισαν τα φαινόμενα καύσωνα με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην στάθμη του αεροχειμάρρου. Ανέλυσαν τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες με τη χρήση δεδομένων θερμοκρασίας στο γεωδυναμικό ύψος 850Pha (T850) που εξήχθησαν από την ανάλυση ERA-40. Τα κατώφλια των εκατοστημορίων ορίστηκαν με βάση τις χρονοσειρές δεδομένων της χρονικής περιόδου 1961-1990 και σύμφωνα με τους Klein et al. 2003, οι μήνες ορίστηκαν ως θερμοί ή ψυχροί όταν η μέση θερμοκρασία όλου του μήνα ξεπερνά το 90ο εκατοστημόριο ή είναι μικρότερη του 10ου εκατοστημορίου αντίστοιχα. Επίσης, ορίστηκε το κατώφλι του 90ου εκατοστημορίου για να προσδιορισθεί ο αριθμός των ημερών όπου η θερμοκρασία ξεπερνά ή όχι αυτό το όριο.

Για τη μελέτη των φαινομένων καύσωνα και κυμάτων ψύχους στην περιοχή της κεντρικής Μεσογείου, για την θερμή περίοδο του έτους (JJAS), χρησιμοποιήθηκαν σειρές δεδομένων επιφανειακής θερμοκρασίας (Tmax, Tmin, Tmean), για τη χρονική περίοδο 1951-2003, από καταγραφές πενήντα σταθμών που είναι κατανεμημένοι στην Ιταλική χερσόνησο, τη Σικελία και τη Σαρδηνία. Οι σταθμοί που βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο καθώς και εκείνοι με πολλά κενά στις χρονοσειρές δεδομένων απορρίφθηκαν.

Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι τάσεις των φαινομένων καύσωνα, της περιόδου 1951-2003, και συσχετίστηκαν με τη θέση και τη διαμόρφωση των αεροχειμάρρων στην περιοχή της Μεσογείου. Ο Μεσογειακός αεροχειμάρρος δημιουργείται από τις θερμικές διαφορές μεταξύ του ζεστού αέρα της Αφρικής και του ψυχρού Ευρωπαϊκού αέρα και κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου κινείται προς τους πόλους αποκτώντας μια σχεδόν ζωνική μορφή (Bryson, 1994). Τα δυτικά όριά του είναι ο Ατλαντικός ωκεανός στα στενά του Γιβραλτάρ και τα ανατολικά οι νότιες περιοχές της Ρωσίας, ενώ το κέντρο του βρίσκεται στο νότιο τμήμα της Μεσογείου θάλασσας. Κατά τη διάρκεια των φαινομένων

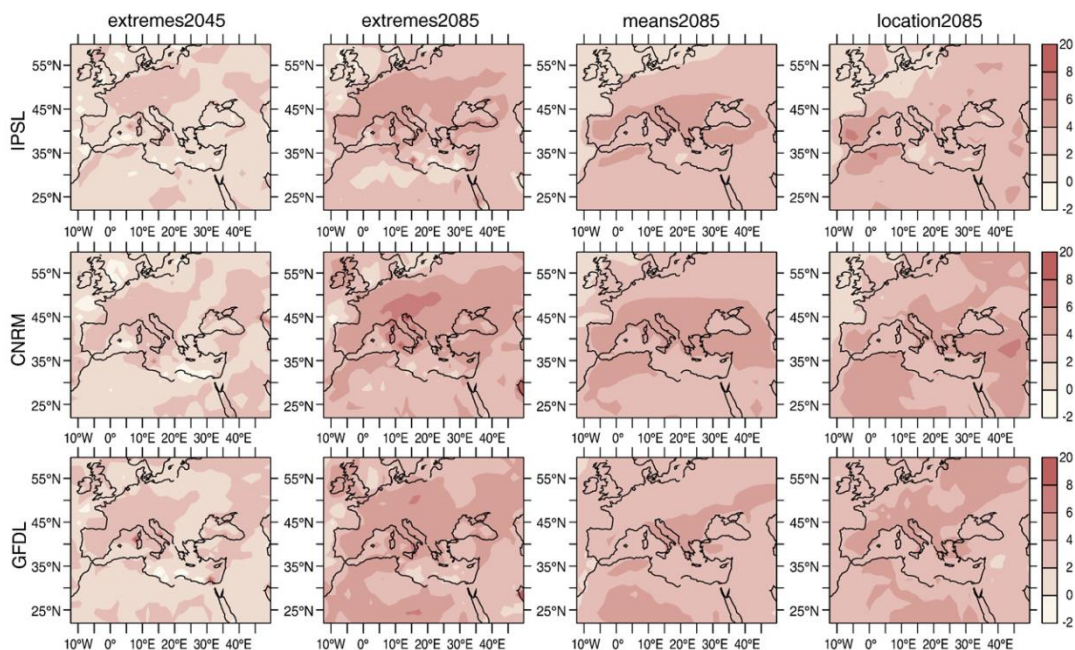
καύσωνα ο Μεσογειακός αεροχείμαρρος χωρίζεται σε δύο τμήματα, το κύριο νοτιοανατολικό τμήμα που ξεκινά από την ανατολική Μεσόγειο και εξασθενεί στην κεντρική Ασία και το δευτερεύον τμήμα που βρίσκεται στη βόρεια πλευρά των Άλπεων.

Συμπεράθηκε ότι φαινόμενα καύσωνα και κυμάτων ψύχους είναι πολύ συχνά στην περιοχή της Μεσογείου. Μισές από τις ημέρες καύσωνα έλαβαν χώρα κατά τον Ιούνιο και τον Αύγουστο με 152 και 187 ημέρες αντίστοιχα, αντιπροσωπεύοντας το 66% του συνόλου. Τον Ιούλιο και τον Σεπτέμβριο ο αριθμός τους μειώθηκε σε 107 και 67 ημέρες, αντίστοιχα. Η μηνιαία κατανομή των ημερών καύσωνα μεταβάλλεται ανά δεκαετία με τον Αύγουστο να γίνεται όλο και θερμότερος, κυρίως κατά την τελευταία δεκαετία. Κατά τη δεκαετία του '70 παρατηρήθηκε μια γενική ψύξη με τον αριθμό των κυμάτων ψύχους να φτάνουν στο μέγιστο αριθμό τους, ενώ κατά τον 20ο αιώνα μια σημαντική θέρμανση με 187 ημέρες καύσωνα που αντιστοιχούν στο 46% του συνόλου των ημερών καύσωνα στο τελευταίο μισό του 20ου αιώνα. Τα φαινόμενα καύσωνα ήταν σχεδόν ανύπαρκτα κατά τη δεκαετία του '70, ενώ από το τέλος της δεκαετίας αυτής μέχρι σήμερα ο αριθμός των κυμάτων ψύχους μειώθηκε, ειδικά την τελευταία δεκαετία. Οι τελευταίες δύο δεκαετίες (1981-1990, 1991-2000) χαρακτηρίστηκαν από αύξηση των επεισοδίων καύσωνα κυρίως κατά τον Ιούνιο και τον Αύγουστο για την τελευταία δεκαετία, όπου το 30% των ημερών χαρακτηρίστηκε ως ημέρες καύσωνα.

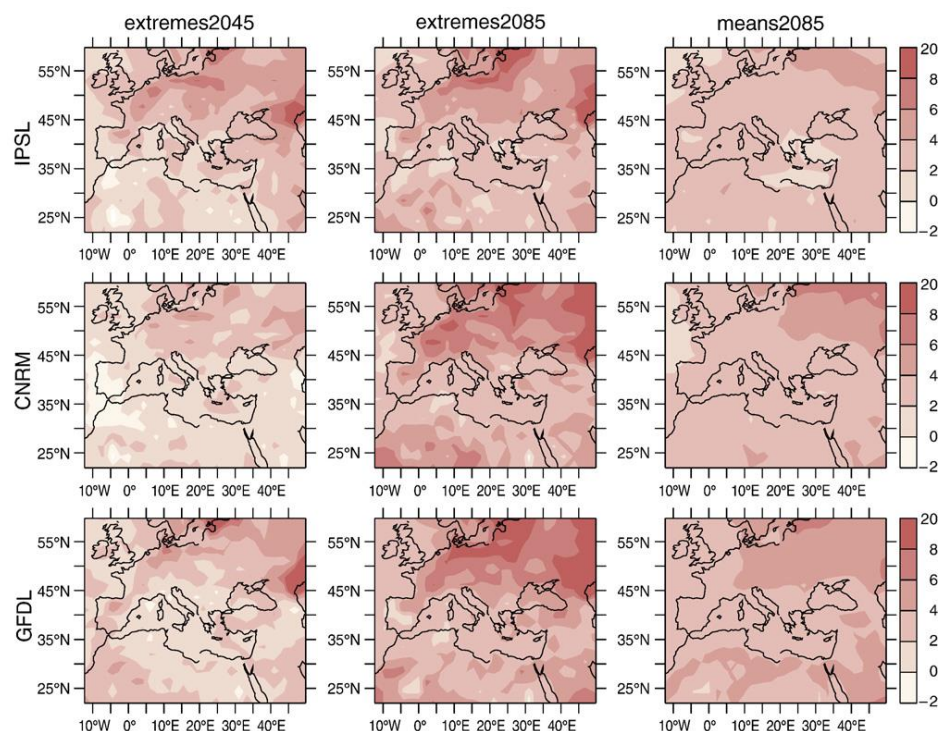
Σύμφωνα με τη στατιστική ανάλυση για τη χρονική περίοδο 1951-2003 τα περισσότερα φαινόμενα καύσωνα έλαβαν χώρα στην περιοχή της Ιταλίας κατά τον Ιούνιο και τον Αύγουστο. Από τη δεκαετία του '70 και έπειτα ο αριθμός τους αυξήθηκε και περίπου τα μισά γεγονότα καύσωνα του 20ου αιώνα συνέβησαν στην τελευταία δεκαετία αυτού, όπως και ο θερμότερος και μεγαλύτερης διάρκειας καύσωνας του 2003. Αντιθέτως, ο αριθμός των κυμάτων ψύχους μειώθηκε από τη δεκαετία του '70 και έπειτα. Έγινε φανερό ότι ο αεροχείμαρρος στη βόρεια πλευρά των Άλπεων συνδέεται με τα φαινόμενα καύσωνα καθώς και έναν αντικυκλωνικό στρόβιλο στην περιοχή της Μεσογείου που έχουν ως συνέπεια υποχώρηση και αδιαβατική θέρμανση της τροπόσφαιρας. Όταν ο Μεσογειακός αεροχείμαρρος καταλαμβάνει τις βόρειες ακτές της Αφρικής ο στροβιλισμός στην περιοχή της Μεσογείου είναι κυκλωνικός και η περιοχή ψύχεται.

4.5 Οι Goubanova et al. 2006, χρησιμοποίησαν το μοντέλο LMDZ-Mediterranean για να εξετάσουν τις κλιματικές μεταβολές στην περιοχή της Μεσογείου. Το μοντέλο αυτό αποτελεί μοντέλο γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας (GCM), με χωρική ανάλυση περίπου 150 x 150 χιλιόμετρα. Τα ακραία φαινόμενα εκφράστηκαν από τις τιμές

επιστροφής που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων μέσω της γενικευμένης κατανομής ακραίων τιμών (GEV) των ετήσιων ή εποχιακών ακραίων τιμών. Συνολικά τρία κλιματικά μοντέλα AOGCM (Atmosphere-Ocean General Circulation Model) εφαρμόστηκαν, τα IPSL, CNRM και GFDL. Οι αντίστοιχοι συνδυασμοί μοντέλου-σεναρίου ορίζονται ως LMDZ/ IPSL, LMDZ/ CNRM και LMDZ/ GFDL. Ως περίοδος μελέτης χρησιμοποιήθηκε το δεύτερο μισό του 21ου αιώνα, χωριζόμενη σε δύο υποπεριόδους, 2030-2059 και 2070-2099, για να εκπροσωπήσουν το μέσο και το τέλος του 21ου αιώνα αντίστοιχα. Για το συνδυασμό LMDZ/CTRL που ως σκοπό έχει να αναπαράγει τις ήδη υπάρχουσες κλιματικές συνθήκες, η περίοδος 1979-1999 ορίστηκε ως περίοδος αναφοράς. Όλες οι παραπάνω προσομοιώσεις μοντέλων εξάγουν μελλοντικές υποθέσεις σύμφωνα με το A2 σενάριο εκπομπών (IPCC, 2001) (Σχήμα 2, 3). Τέλος, πραγματοποιήθηκαν αλλαγές στις παραμέτρους της κατανομής GEV για την καλύτερη κατανόηση των μεταβολών των ακραίων τιμών.



Σχήμα 2. Μελλοντικές αλλαγές της ετήσιας μέγιστης θερμοκρασίας που προσομοιώθηκαν από το μοντέλο LMDZ βάση του σεναρίου εκπομπών A2 με τα τρία παγκόσμια κλιματικά σενάρια (IPSL, CNRM και GFDL αντιστοίχως από πάνω προς τα κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1970-1999. Παρουσιάζονται οι τριακονταετείς τιμές επιστροφής για τις περιόδους 2030-2059 και 2070-2099, οι μέσες τιμές για την περίοδο 2070-2099 και οι αλλαγές της παραμέτρου θέσης της κατανομής GEV για την περίοδο 2070-2099 αντίστοιχα από τα αριστερά προς τα δεξιά. Οι μονάδες εκφράζονται σε °C (Goubanova et al., 2006).



Σχήμα 3. Μελλοντικές μεταβολές της ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας που προσομοιώνεται από το μοντέλο LMDZ βάση του σεναρίου εκπομπών A2 με τα τρία παγκόσμια κλιματικά σενάρια (IPSL, CNRM και GFDL αντιστοίχως από πάνω προς τα κάτω) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1970-1999. Παρουσιάζονται οι τριακονταετείς τιμές επιστροφής για τις περιόδους 2030-2059 (αριστερά), 2070-2099 (κέντρο) και 2070-2099 (δεξιά). Οι μονάδες εκφράζονται σε °C (Goubanova et al., 2006).

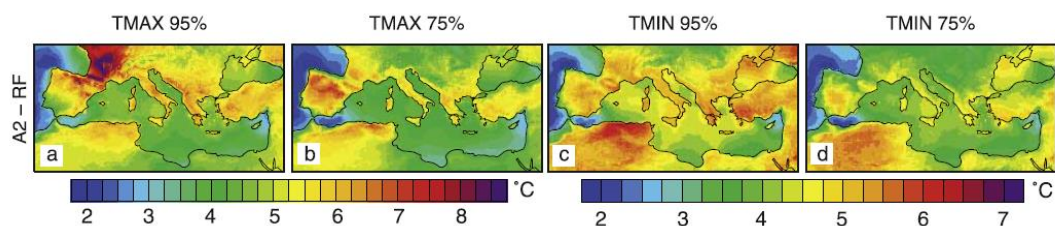
Όλα τα αποτελέσματα των σεναρίων έδειξαν αύξηση των ετήσιων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών. Οι ακραία μέγιστες θερμοκρασίες αυξάνονται ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου αντιθέτως με τις ακραία ελάχιστες. Συμπερασματικά προβλέπεται ότι η μέση ετήσια μέγιστη θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 1,5 °C και 3,2 °C, ενώ οι ακραίες τιμές παρουσιάζουν μεγαλύτερη αύξηση κατά 1,6 °C και 3,4 °C για τις περιόδους 2030-2059 και 2070-2099 αντίστοιχα. Η αύξηση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας είναι πιο μεγάλη από αυτή της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου.

4.6 Οι Diffenbaugh et al. 2007, μελέτησαν τη σχέση μεταξύ των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και των έντονων φαινομένων θέρμανσης που παρατηρούνται στην ευάλωτη στην κλιματική μεταβολή περιοχή της Μεσογείου. Για το σκοπό αυτό, μελετήθηκαν οι προσομοιώσεις που προέκυψαν από το κλιματικό μοντέλο RegCM3 (Pal et al., 2007). Το μοντέλο αυτό έχει χωρική ανάλυση 20 χιλιόμετρα και καλύπτει όλη την

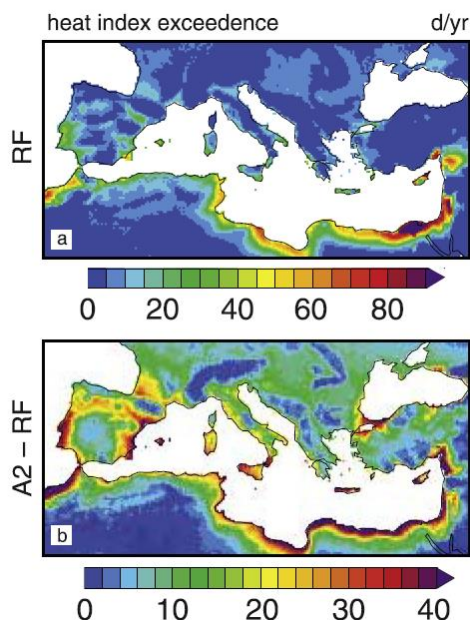
περιοχή της Μεσογείου. Επίσης, το ατμοσφαιρικό μοντέλο γενικής κυκλοφορίας HadAM3H χρησιμοποιήθηκε, με χωρική ανάλυση των 50 χιλιομέτρων (Giorgi et al., 2004a, 2004b). Σύμφωνα με το πρόγραμμα PRUDENCE μελετήθηκαν τρεις προσομοιώσεις: MED20RF, για τη χρονική περίοδο 1961-1989, MED20B2 και MED20A2 για την περίοδο 2071-2099, σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπών SRES B2 και A2 αντίστοιχα (IPCC, 2000). Τα δεδομένα θερμοκρασίας για την επιφάνεια της θάλασσας (SSTs) που χρησιμοποιήθηκαν στην MED20RF προσομοίωση προήλθαν από τη χρονοσειρά δεδομένων HadISST (Rayner et al., 2003) και για τις άλλες δύο προσομοιώσεις από το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας HadCM3 (Johns et al., 2003).

Για τον προσδιορισμό της θερμικής καταπόνησης στην περιοχή της Μεσογείου χρησιμοποιήθηκαν η ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία και ο θερμικός δείκτης (Heat Index). Η μελέτη επικεντρώθηκε σε δέκα πόλεις της Ευρώπης και περιοχές της Μεσογείου, συγκεκριμένα το Παρίσι, τη Πράγα, τη Ζυρίχη, το Βουκουρέστι, τη Ρώμη, τη Βαλένθια, την Αθήνα, την Ισπάρτα, το Τελ Αβίβ και το Αλγέρι. Αξιολογήθηκαν το 75ο και το 95ο εκατοστημόριο της κατανομής των ημερήσιων μέγιστων και ελάχιστων θερμοκρασιών σε απόσταση δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 4). Το 75ο εκατοστημόριο αντιπροσωπεύει τους τρεις θερμότερους μήνες του έτους και το 95ο εκατοστημόριο της 2,5 θερμότερες εβδομάδες του έτους.

Οι μεγαλύτερες αυξήσεις που παρατηρήθηκαν για το 95ο εκατοστημόριο σχετίζονται με έντονες μειώσεις της επιφανειακής εξατμισιοδιαπνοής και έντονες αυξήσεις της ροής της αισθητής θερμότητας. Αυτή η ξήρανση της επιφάνειας του εδάφους δικαιολογεί αυτή τη γενική θέρμανση που είναι εμφανέστερη στη Γαλλία, την Ιβηρική Χερσόνησο και τις παραθαλάσσιες περιοχές της βόρειας και νοτιοδυτικής Μεσογείου. Τα αποτελέσματα για τον δείκτη θερμότητας έδειξαν ότι επηρεάζεται άμεσα από την υγρασία της εκάστοτε περιοχής και μεταβάλλεται ευκολότερα σε περιοχές μικρών υψομέτρων. Ο δείκτης θερμότητας παρουσίασε ομοιόμορφη αύξηση σε όλες τις περιοχές και επηρεάζεται από αυξήσεις στις μέγιστες θερμοκρασίες, οι οποίες είναι πιο εμφανείς στις παραθαλάσσιες περιοχές της βόρειας και ανατολικής Μεσογείου, που χαρακτηρίζονται από πολλή υγρασία (Σχήμα 5).



Σχήμα 4. Μεταβολές (MED20A2 μείον MED20RF) στα μεγέθη του (α) 95ου εκατοστημορίου της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας τους αέρα (β) 75ου εκατοστημορίου της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας τους αέρα, (γ) 95ου εκατοστημορίου της ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα, και (δ) 75ου εκατοστημορίου της ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα (°C) (Diffenbaugh et al., 2007).

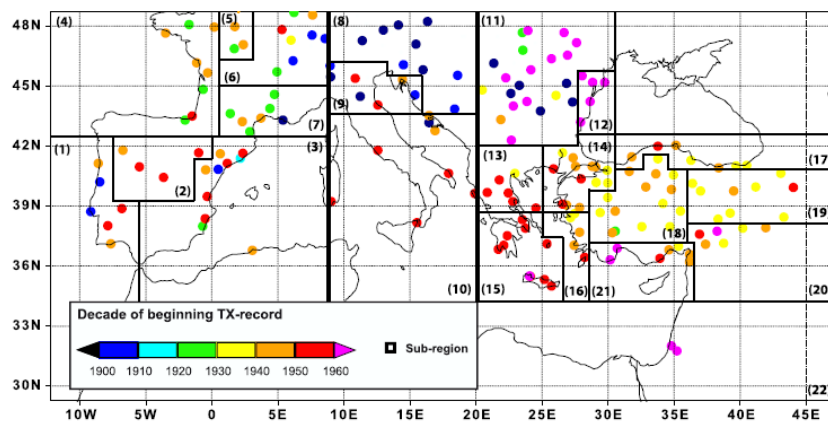


Σχήμα 5. (α) Αριθμός ημερών με επικίνδυνο ή εξαιρετικά επικίνδυνο δείκτη θερμότητας (MED20RF) (ημέρες ανά έτος). (β) Μεταβολή στον αριθμό ημερών με επικίνδυνο ή εξαιρετικά επικίνδυνο δείκτη θερμότητας με βάση το σενάριο εκπομπών A2 (MED20A2 μείον MED20RF) (ημέρες ανά έτος) (Diffenbaugh et al., 2007).

4.7 Στην εργασία των Kuglitsch et al. 2009, τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αποτέλεσαν χρονοσειρές (TX) μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών για το καλοκαίρι (JJAS) από εκατόν εβδομήντα τέσσερις σταθμούς κατανεμημένους σε δεκαέξι χώρες στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, έχοντας πλήρη στοιχεία για την περίοδο μελέτης (Σχήμα 6). Πιο αναλυτικά το 95% των σταθμών παρείχε δεδομένα για τη χρονική περίοδο 1961-2005, τριάντα σταθμοί παρείχαν δεδομένα για περισσότερα από εκατό

χρόνια και ογδόντα καλά κατανεμημένα αρχεία δεδομένων ήταν διαθέσιμα για την περίοδο 1930-2005. Το δίκτυο σταθμών ήταν ικανοποιητικά κατανεμημένο με εξαίρεση την περιοχή της βόρειας Αφρικής.

Για τη διόρθωση λαθών στις χρονοσειρές δεδομένων η αρχική περιοχή διαιρέθηκε σε είκοσι δύο μικρότερες περιοχές αποτελούμενες από συμπλέγματα σταθμών με δεδομένα μέγιστων θερμοκρασιών για το καλοκαίρι. Οι διορθώσεις έγιναν μεταξύ χρονοσειρών που βρισκόταν στην ίδια υπό-περιοχή, ενώ για διορθώσεις σχετιζόμενες με περιόδους διακοπής μετρήσεων λήφθηκαν υπόψη χρονοσειρές σταθμών εκτός της υπο-περιοχής.



Σχήμα 6. Η θέση των εκατόν εβδομήντα τεσσάρων σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν. Η περίοδος έναρξης της κάθε σειράς υποδεικνύεται από τα χρώματα. Οι υπο-περιοχές που διαχωρίζονται με μαύρα όρια υποδεικνύουν χρονοσειρές σταθμών που ομογενοποιήθηκαν και συσχετίστηκαν μεταξύ τους (Kuglitsch et al., 2009).

Για τον έλεγχο της ποιότητας των δεδομένων εφαρμόστηκαν τα παρακάτω κριτήρια:

- Ένας θερινός μήνας (JJAS) θεωρήθηκε πλήρης όταν τα ελλείποντα στοιχεία περιορίζονται στο εύρος των τριών ημερών.
- Μία θερινή περίοδος ορίστηκε ως διαθέσιμη όταν όλοι οι μήνες ικανοποιούν το πρώτο κριτήριο.
- Μια χρονοσειρά δεδομένων θεωρήθηκε πλήρης όταν δεν έλειπαν περισσότερες από τρεις θερινές περιόδους.

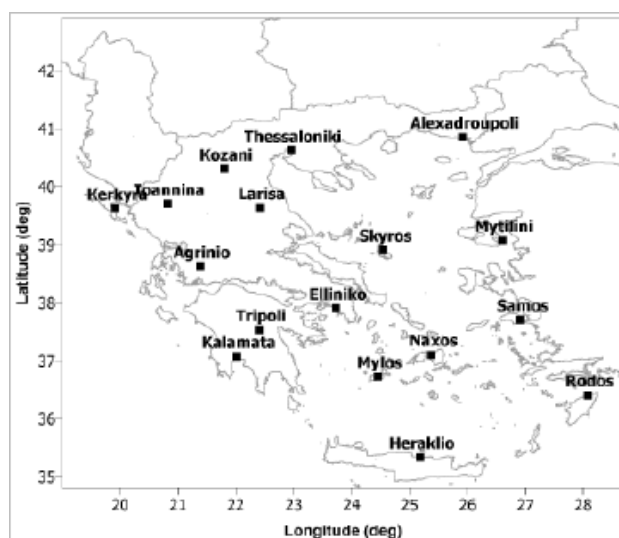
Επίσης, έγινε έλεγχος των χρονοσειρών, και οι τιμές που ξεπερνούσαν τους 50 °C, ± 4 τυπικές αποκλίσεις (σ) του συνόλου των χρονοσειρών και παρουσίασαν διαφορά 25 °C μεταξύ διαδοχικών παρατηρήσεων αντικαταστάθηκαν από ελλείπουσες τιμές. Τελικά,

μια περίοδος τριάντα ετών (1962-1991) με δεδομένα από εκατόν εβδομήντα τέσσερις σταθμούς επιλέχθηκε ως η πιο πλήρης.

Η μελέτη βασίστηκε στην ομογενοποίηση δεδομένων. Η μέση προσαρμογή για τα δεδομένα της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας ήταν $+0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ στη δυτική Μεσόγειο, $+0,16\text{ }^{\circ}\text{C}$ στην κεντρική Μεσόγειο και $+0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ στην ανατολική Μεσόγειο, υποδηλώνοντας μειωμένη αύξηση της μέσης μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας κατά τη θερινή περίοδο σε σχέση με τα ακατέργαστα δεδομένα. Επίσης, μέση προσαρμογή της τάξης των $+0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ έδειξε μειωμένη αύξηση των μέγιστων θερμοκρασιών στην κεντρική Μεσόγειο, σε σχέση με τα αρχικά δεδομένα.

Τέλος, για την εκτίμηση της μεταβλητότητας των μεγίστων θερμοκρασιών υπολογίστηκε η διαφορά μεταξύ των μέσων προσαρμογών που εφαρμόστηκαν στο υψηλότερο και το χαμηλότερο 10% της κατανομής των θερμοκρασιών. Τα αποτελέσματα έδειξαν αυξήσεις στην ημερήσια μέγιστη θερμοκρασιακή μεταβλητότητα στην περιοχή της Αδριατικής θάλασσας, των νοτίων Βαλκανίων, της βόρειας Ελλάδας και της Τουρκίας.

4.8 Στην εργασία των Varfi et al. 2009, τα δεδομένα αποτέλεσαν χρονοσειρές μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας του αέρα από δεκαεπτά συνοπτικούς μετεωρολογικούς σταθμούς που κάλυπταν ολόκληρη την Ελληνική περιοχή, για τη χρονική περίοδο 1961-2000 (Σχήμα 7). Τα δεδομένα προήλθαν από το δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY).



Σχήμα 7. Χάρτης της Ελλάδας, όπου παρουσιάζονται οι 17 σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη (Varfi et al., 2009).

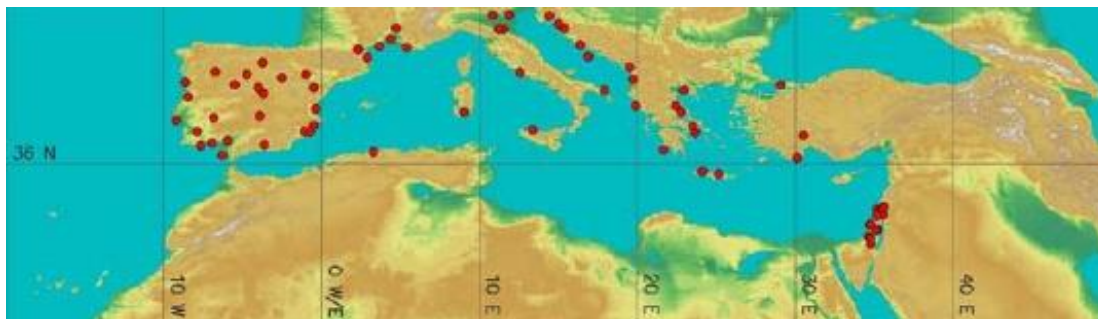
Από το σύνολο των δεδομένων συλλέχθηκαν για κάθε σταθμό τα δεδομένα των ακραία θερμών και ψυχρών ημερών. Η περίοδος αναφοράς χωρίστηκε για κάθε έτος σε δύο υποπεριόδους, τη θερμή, Απρίλιος-Σεπτέμβριος, και την ψυχρή, Οκτώβριος-Μάρτιος. Στη συνέχεια καθορίστηκαν τα κατάλληλα κατώφλια για την εκτίμηση του μεγέθους των ακραίων ημερήσιων τιμών θερμοκρασίας. Οι αποκλίσεις των θερμών και ψυχρών ημερών ονομάστηκαν θερμοκρασιακό πλεόνασμα και έλλειμμα αντίστοιχα και αθροίζοντάς τα για κάθε περίοδο υπολογίστηκαν οι ετήσιοι δείκτες συσσωρευτικού πλεονάσματος και ελλείμματος αντίστοιχα, για κάθε σταθμό. Ύστερα υπολογίστηκε το ετήσιο «συσσωρευτικό υπόλοιπο θερμοκρασίας» (cumulative temperature rest), για κάθε σταθμό, από τη διαφορά μεταξύ του συσσωρευτικού πλεονάσματος και ελλείμματος θερμοκρασίας. Τέλος, δύο ακόμα δείκτες, οι Surwar και Defcol, που μετρούν την ένταση των θερμών και των ψυχρών ημερών υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό. Συνολικά επτά δείκτες υπολογίστηκαν ανά δεκαετία για την περίοδο αναφοράς. Αυτοί είναι:

- Η συχνότητα των θερμών ημερών
- Η συχνότητα των ψυχρών ημερών
- Συσσωρευτικό πλεόνασμα θερμοκρασίας για τις θερμές ημέρες
- Συσσωρευτικό έλλειμμα θερμοκρασίας για τις ψυχρές ημέρες
- Συσσωρευτικό θερμοκρασιακό υπόλοιπο
- Surwar, δείκτης έκτασης θερμών ημερών
- Defcol, δείκτης έντασης ψυχρών ημερών

Τα συμπεράσματα έδειξαν ότι αν και οι ακραία ψυχρές ημέρες είναι περισσότερες από τις θερμές κατά τις δεκαετίες του '70 και '80, το αντίθετο ίσχυε για την έντασή τους. Χαρακτηριστικά μετά τη δεκαετία του '80 η συχνότητα και το θερμοκρασιακό πλεόνασμα των ακραία θερμών ημερών αυξήθηκε και η έντασή τους μειώθηκε, ενώ το αντίθετο παρατηρήθηκε για τις ακραία ψυχρές ημέρες. Η αύξηση που παρατηρήθηκε στη μέγιστη θερμοκρασία το καλοκαίρι σχετίζεται με αύξηση των αντικυκλωνικών ροών και τα λιγότερο συχνά πεδία χαμηλών πιέσεων που έχουν ως αποτέλεσμα τη αποδυνάμωση των Ετησιών ανέμων και έτσι συντελούν στην περεταίρω θέρμανση (Feidas et al., 2004, Maheras et al., 2000, 2006). Οι ακραία ψυχρές ημέρες ήταν περισσότερες κατά την περίοδο 1961–2000, ωστόσο από τις αρχές της δεκαετίας του '80 αυτό άρχισε να αλλάζει καθώς παρατηρήθηκε αύξηση της συχνότητας και της έντασης των ακραία θερμών ημερών και μείωση της συχνότητας και της έντασης των ακραία ψυχρών ημερών. Η

μείωση αυτή των τιμών της ελάχιστης θερμοκρασίας το χειμώνα σχετίζεται με αύξηση στη συχνότητα και τη διάρκεια αντικυκλωνικών καταστάσεων που επηρεάζουν την Ελληνική περιοχή (Maheras et al., 2000).

4.9 Στην εργασία των Hertig et al. 2010, τα ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας από σταθμούς που βρίσκονται στην περιοχή της Μεσογείου συλλέχθηκαν με τη βοήθεια των προγραμμάτων GLOWA Jordan River (Global Change and the Hydrological Cycle, Kunstmann et al., 2006), EMULATE (European and North Atlantic daily to MULtidecadal climATE variability, Moberg et al., 2006), European Climate Assessment & Dataset (Klein Tank et al., 2002), και από το ερευνητικό πρόγραμμα MedCLIVAR. Συνολικά, δεδομένα από εβδομήντα δύο σταθμούς για την ελάχιστη θερμοκρασία και εβδομήντα πέντε σταθμούς για τη μέγιστη θερμοκρασία μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τις αναλύσεις, αφού οι σταθμοί εξετάστηκαν για την ομοιογένεια και δοκιμάστηκαν για την πληρότητα των ημερήσιων δεδομένων που διέθεταν (Σχήμα 8). Η περιοχή μελέτης βρισκόταν μεταξύ των γεωγραφικών συντεταγμένων 20-70° B, 40° A και 50° Δ.

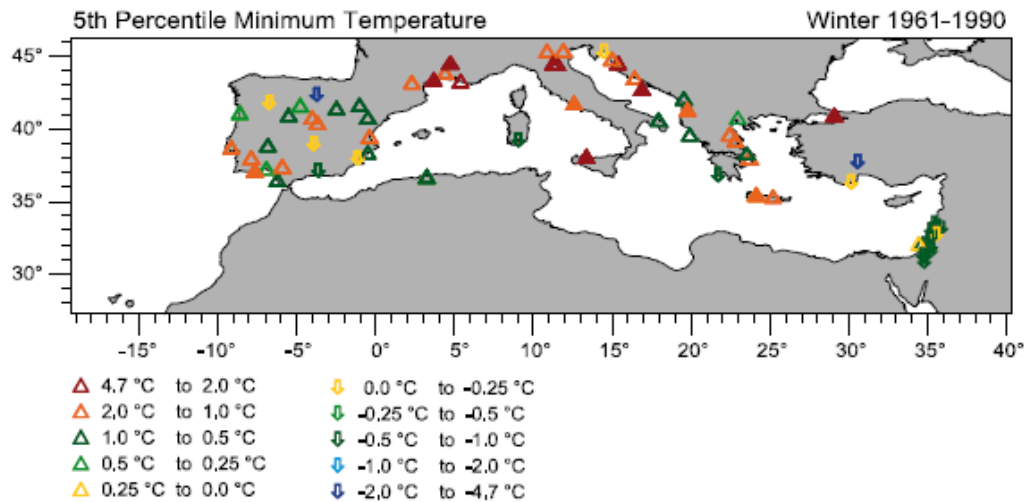


Σχήμα 8. Θέση σταθμών με δεδομένα ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου (Hertig et al., 2010).

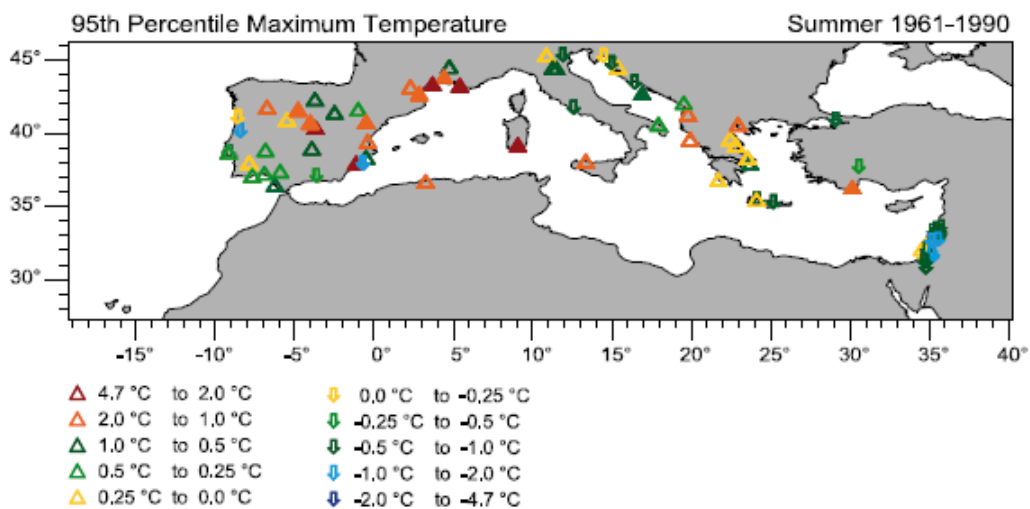
Η μελέτη βασίστηκε στην άποψη ότι τα ακραία καιρικά φαινόμενα σχετίζονται με τη μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία και έτσι καθορίστηκαν μια σειρά από μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικές μεταβλητές και δείκτες ακραίων τιμών βασιζόμενοι σε καταγραφές μετεωρολογικών σταθμών. Έτσι, στη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (SLP) και του γεωδυναμικού ύψους των 500hPa, για τη χρονική περίοδο 1950-2006. Επίσης, η θερμοκρασία του αέρα στο γεωδυναμικό ύψος 850hPa και η θερμοκρασία μεταξύ των γεωδυναμικών υψών 1000-500 hPa.

Τα μοντέλα γενικής κυκλοφορίας που επιλέχθηκαν για τη μελέτη ήταν τα CGCMs, ECHAM5/MPI-OM και UKMO-HadCM3 βασιζόμενα στα σενάρια εκπομπών SRES A1B και SRES B1. Για να αναπαρασταθούν οι ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες υπολογίσθηκαν το 5ο και το 95ο εκατοστημόριο των ημερήσιων ελάχιστων και μέγιστων θερμοκρασιών, το χειμώνα και το καλοκαίρι, αντίστοιχα. Τα εκατοστημόρια υπολογίσθηκαν για τις αλληλεπικαλυπτόμενες δίμηνες χρονικές περιόδους (Ιανουάριος/Φεβρουάριος, Φεβρουάριος/Μάρτιος, ...), καθώς και για τις εποχές του έτους (Μάρτιος-Μάιος, Ιούνιος-Αύγουστος, Σεπτέμβριος-Νοέμβριος και Δεκέμβριος-Φεβρουάριος). Οι γραμμικές τάσεις των δεικτών των ακραίων τιμών υπολογίσθηκαν για την περίοδο αναφοράς 1961-1990 για να μελετηθεί η συμπεριφορά τους στο παρελθόν και να συσχετιστεί με τις παρατηρούμενες μελλοντικές μεταβολές. Ανάλυση κυρίων συνιστωσών εφαρμόστηκε για να εξαλειφθούν γραμμικές εξαρτήσεις μεταξύ των μεταβλητών και για να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων. S-mode (Richman, 1986) και ορθογωνίως περιστρεφόμενες (Varimax περιστροφή) αναλύσεις κυρίων συνιστωσών εφαρμόστηκαν για όλη την περίοδο μελέτης. Τέλος, πολλαπλές βηματικές παλινδρομήσεις εφαρμόστηκαν με 1000 επαναλήψεις εκκίνησης για κάθε χρονοσειρά ακραίων θερμοκρασιών ως πρόβλεψη και κάθε προγνώστη, αντίστοιχα.

Για την περίοδο αναφοράς, 1961-1990, παρατηρήθηκαν αυξήσεις μεγαλύτερες των 2 °C για το 5ο εκατοστημόριο των ελάχιστων θερμοκρασιών κυρίως στις περιοχές της κεντρικής και βόρειας Μεσογείου (Σχήμα 9). Γενικά παρατηρήθηκαν αντίθετες τάσεις μεταξύ της δυτικής και της ανατολικής Μεσογείου και για τους δύο δείκτες εκατοστημορίων. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις έως και περισσότερο από 2 °C για το 95ο εκατοστημόριο παρατηρήθηκαν στην Ιβηρική χερσόνησο και τη νότια Γαλλία, ενώ μη σημαντικές τάσεις επικράτησαν στην κεντρική και βόρεια Μεσόγειο (Σχήμα 10).



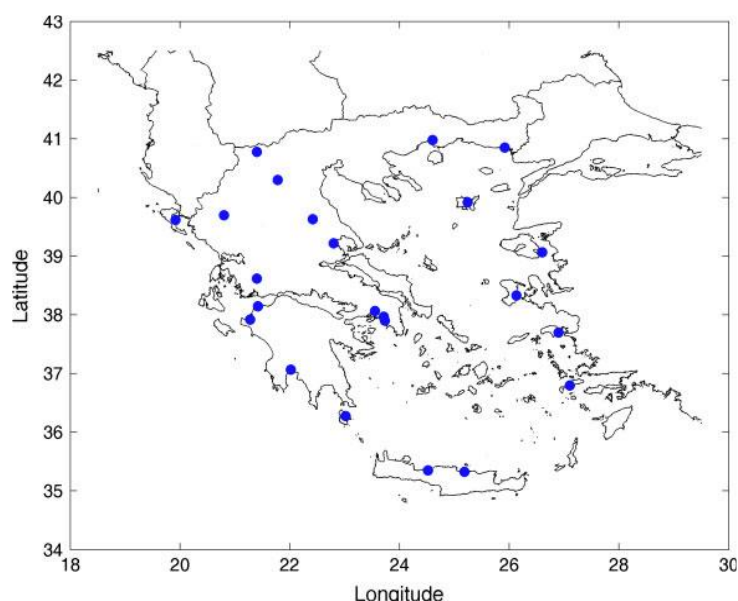
Σχήμα 9. Τάσεις του 5ου εκατοστημορίου της ελάχιστης θερμοκρασίας το χειμώνα (Δεκέμβριος - Φεβρουάριος) για την περίοδο 1961-1990. Τα σύμβολα γεμάτα με χρώμα υποδεικνύουν σημαντικές τάσεις επιπέδου σημαντικότητας της τάξης του 90% (Hertig et al., 2010).



Σχήμα 10. Τάσεις του 95ου εκατοστημορίου της μέγιστης θερμοκρασίας το καλοκαίρι (Ιούνιος- Αύγουστος) για την περίοδο 1961-1990. Τα σύμβολα με χρώματα δείχνουν σημαντικές τάσεις επίπεδου σημαντικότητας της τάξης του 90% (Hertig et al., 2010).

4.10 Στην εργασία των Kioutsioukis et al. 2010, δεδομένα συλλέχθηκαν για τη χρονική περίοδο 1955-2002, από μετεωρολογικούς σταθμούς που καλύπτουν όλη την Ελλάδα, οι οποίοι είχαν διαθέσιμα δεδομένα για μια περίοδο τουλάχιστον τριάντα ετών έκαστος (Σχήμα 11). Ο αριθμός των διαθέσιμων σταθμών ήταν είκοσι τρεις. Σε δεκαεννιά από αυτούς, δεν υπήρχαν κενά για τις ημερήσιες τιμές θερμοκρασίας κατά την εξεταζόμενη

περίοδο. Τα κενά στα δεδομένα για τους υπόλοιπους τέσσερις σταθμούς κυμαίνονταν μεταξύ 3 και 10%.



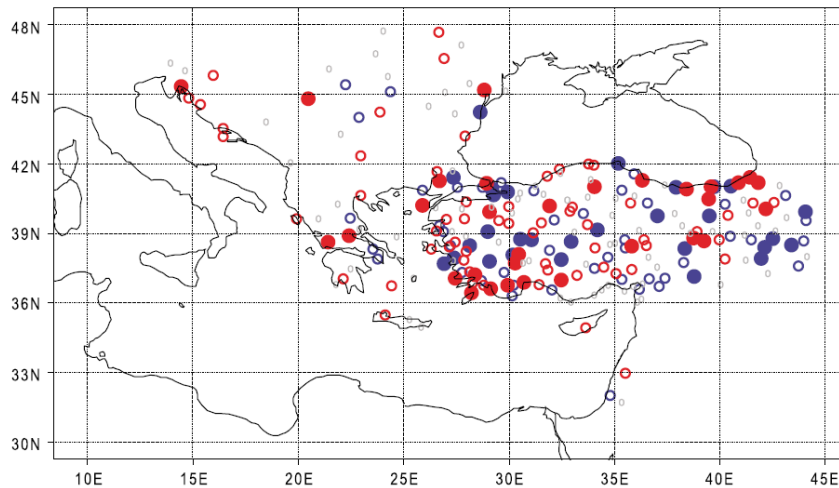
Σχήμα 11. Η θέση του δικτύου σταθμών μέτρησης (Kioutsioukis et al., 2010).

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με δύο τρόπους. Ο πρώτος περιελάμβανε την ανάλυση με δείκτες ακραίων τιμών ETCCDMI (TN5p, TN95p, TX5p, TX95p, TNn, TNx, TXn, TXx, TR20 και SU25). Ο δεύτερος ανάλυση μέσω της Θεωρίας Ακραίων Τιμών (EVT) της ουράς της κατανομής των ακραίων τιμών για κάθε σταθμό ξεχωριστά με τη χρήση της γενικευμένης κατανομής ακραίων τιμών (GEV) και της γενικευμένης Pareto κατανομής (GPD).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για την περίοδο 1955-2002 το 74% των σταθμών παρουσίασε αύξηση της ετήσιας εμφάνισης θερμών νυκτών ενώ οι κρύες νύκτες μειώθηκαν στο 26% των σταθμών. Επίσης, οι μέγιστες ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες παρουσίασαν αύξηση στο 56% των σταθμών και οι ελάχιστες ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες στο 39% αυτών. Οι δείκτες του ετήσιου αριθμού ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 20 °C (TR20) και η μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 25 °C (SU25) παρουσίασαν επίσης αυξητικές τάσεις στο 65% των σταθμών, με ρυθμό τριών ημερών ανά δεκαετία, και 35% των σταθμών αντίστοιχα. Η μηνιαία μέγιστη τιμή της ελάχιστης θερμοκρασίας αυξήθηκε 1,5 °C κατά την περίοδο 1955-2003, ενώ η μηνιαία μέση διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης θερμοκρασίας παρουσίασε μείωση της τάξης των 0,16 °C ανά δεκαετία. Τέλος, παρατηρήθηκε ότι οι δείκτες για τις ακραία ελάχιστες θερμοκρασίες παρουσίασαν

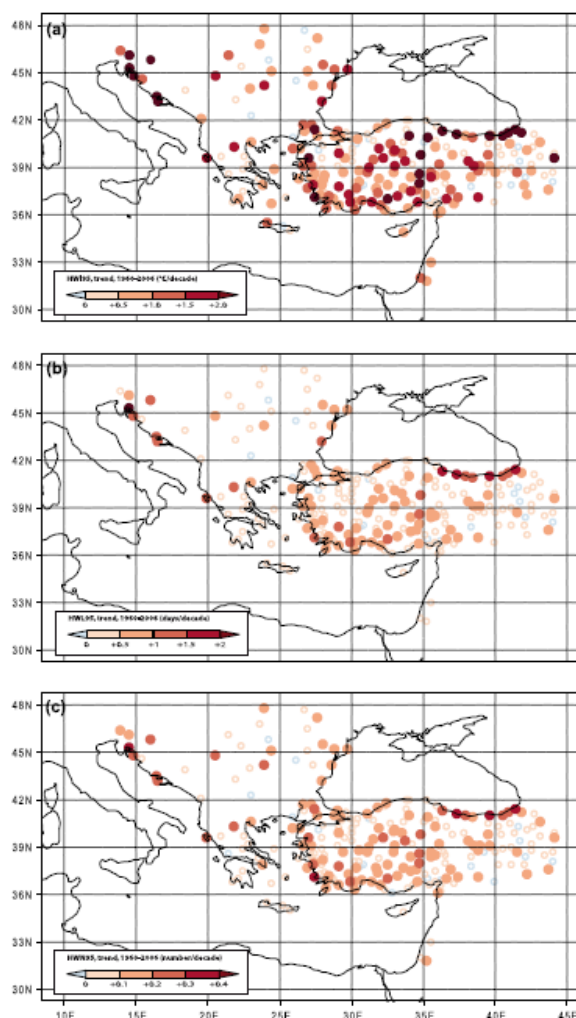
αύξηση με ταχύτερους ρυθμούς σε σχέση με τους δείκτες για τις ακραία μέγιστες θερμοκρασίες. Αυτή η γενική θέρμανση που παρατηρήθηκε κυρίως κατά τη θερινή περίοδο σχετίζεται με την εξασθένιση των Ετησίων ανέμων στην περιοχή της νοτιοανατολικής Μεσογείου (Feidas et al., 2004).

4.11 Οι Kuglitsch et al. 2010, συνέχισαν την έρευνά τους με παρόμοιο τρόπο με σκοπό την ομογενοποίηση χρονοσειρών δεδομένων ημερήσιων μέγιστων (TX) και ελάχιστων (TN) θερμοκρασιών του αέρα κατά τη θερινή περίοδο (JJAS). Τα δεδομένα προήλθαν από παρατηρήσεις διακοσίων σαράντα έξι σταθμών της ανατολικής Μεσογείου, για τη χρονική περίοδο 1960-2006. Πηγές δεδομένων ήταν το πρόγραμμα European Climate Assessment and Dataset (ECA&D, Klein Tank et al., 2002), η Τουρκική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Turkish State Meteorological Service) και η Ελληνική Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY). Η περίοδος 1969-1998, ορίσθηκε ως η περίοδος αναφοράς για την ομογενοποίηση των δεδομένων και τη μελέτη των φαινομένων καύσωνα. Σκοπός της μελέτης ήταν ο υπολογισμός του δείκτη έντασης του ισχυρότερου φαινομένου καύσωνα (HWMAXI95) για την πιο μακρά περίοδο καύσωνα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Επίσης, η εξέταση των μεταβολών στον ετήσιο αριθμό φαινομένων καύσωνα (HWN95), στη διάρκεια σε ημέρες όλων των φαινομένων καύσωνα (HWL95) και στη διάρκεια σε ημέρες των ισχυρότερων φαινομένων καύσωνα (HWMAXL95), κατά τη θερινή περίοδο. Οι γραμμικές τάσεις υπολογίσθηκαν για το 95ο εκατοστημόριο των μέγιστων (TX) και ελάχιστων (TN) θερμοκρασιών και για τους δείκτες αριθμού (HWN95) (Σχήμα 12), διάρκειας (HWL95) και έντασης (HWI95) των φαινομένων καύσωνα. Η σημαντικότητά τους εκτιμήθηκε από τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων (OLS) και τη συσχέτιση Mann-Kendall, για την περίοδο 1960-2006.



Σχήμα 12. Διαφορές στις γραμμικές τάσεις του δείκτη HWN95 για την περίοδο 1960-2006 χρησιμοποιώντας τη μέθοδο OLS. Οι κόκκινες και οι μπλε κουκίδες δείχνουν σημαντική αύξηση και μείωση αντίστοιχα της τάσης του δείκτη HWN95 σε επίπεδο σημαντικότητας 5% (συσχέτιση Mann-Kendall) μετά την ομογενοποίηση δεδομένων. Οι κενοί κύκλοι με κόκκινο και μπλε χρώμα χαρακτηρίζουν μη σημαντικές θετικές και αρνητικές τάσεις αντίστοιχα. Οι γκρι κενοί κύκλοι δείχνουν σταθμούς χωρίς μεταβολή στην τάση (Kuglitsch et al., 2010).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα από τη δεκαετία του '60 παρουσιάστηκε αύξηση της θερμοκρασίας των θερμών ημερών και νυκτών το καλοκαίρι, όπως και ο αριθμός, η διάρκεια και η ένταση των φαινομένων καύσωνα. Αύξηση παρατηρήθηκε από τη δεκαετία του '60 και έπειτα στην ημερήσια και νυκτερινή θερμοκρασία κατά $0,38 \pm 0,04$ °C και $0,3 \pm 0,02$ °C αντίστοιχα, ανά δεκαετία. Οι περιοχές των δυτικών Βαλκανίων και της δυτικής Τουρκίας παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές όσον αφορά στα φαινόμενα καύσωνα. Οι τάσεις στις περιοχές αυτές για τους δείκτες έντασης (HWI95), αριθμού (HWN95) και διάρκειας (HWL95) φαινομένων καύσωνα ξεπερνούσαν τους +2 °C, +0,4 °C, +2 ημέρες αντίστοιχα, ανά δεκαετία (Σχήμα 13). Στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου παρατηρήθηκαν επίσης αυξήσεις των παραπάνω δεικτών κατά $7,6 \pm 1,3$, $6,2 \pm 1,1$ και $7,5 \pm 1,6$, αντίστοιχα. Οι σταθμοί που δεν παρουσίασαν σημαντικές μεταβολές βρίσκονται στις ηπειρωτικές περιοχές μεγαλύτερων υψομέτρων της Ελλάδας και της δυτικής Τουρκίας.

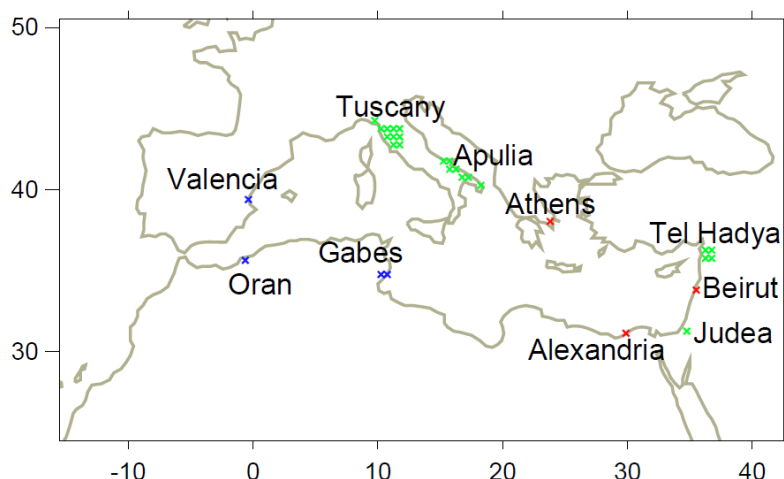


Σχήμα 13. Γραμμικές τάσεις των δεικτών (α) HWI95, (β) HWL95 και (γ) HWN95 για την περίοδο 1960-2006 με τη χρήση της μεθόδου OLS. Οι κόκκινες και οι μπλε κουκίδες δείχνουν σημαντικές θετικές και αρνητικές αντίστοιχα γραμμικές τάσεις στο 5% επίπεδο σημαντικότητας (συσχέτιση Mann-Kendall). Οι κενοί κύκλοι χαρακτηρίζουν μη σημαντικές τάσεις (Kuglitsch et al., 2010).

Οι δείκτες HWMAXI95 και HWMAL95 αυξήθηκαν κατά ένα συντελεστή της τάξης του $5,6 \pm 1,1$ °C και $5,4 \pm 1$, ημερών, αντίστοιχα, αποδεικνύοντας ότι η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου βιώνει, από το 2000 και έπειτα, φαινόμενα καύσωνα μικρής διάρκειας (<6 ημέρες), αλλά μεγαλύτερης έντασης συγκριτικά με τις προηγούμενες δεκαετίες.

4.12 Οι Efthymiadis et al. 2011, μελέτησαν τις τάσεις που παρουσίασαν τα ακραία φαινόμενα θερμοκρασιών από τα μέσα του 20ου αιώνα και έπειτα, εστιάζοντας στα

αποτελέσματα που προκύπτουν για τους δείκτες του 5ου και 95ου εκατοστημορίου της κατανομής των ημερήσιων δεδομένων για την περιοχή της Μεσογείου. Ακόμα, εξετάστηκε η πιθανή σχέση τους με τα μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας φαινόμενα. Η μελέτη επικεντρώθηκε, σε δέκα περιοχές κατανεμημένες στη λεκάνη της Μεσογείου οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερη ευαισθησία στην κλιματική μεταβολή και τα ακραία καιρικά φαινόμενα (Σχήμα 14).

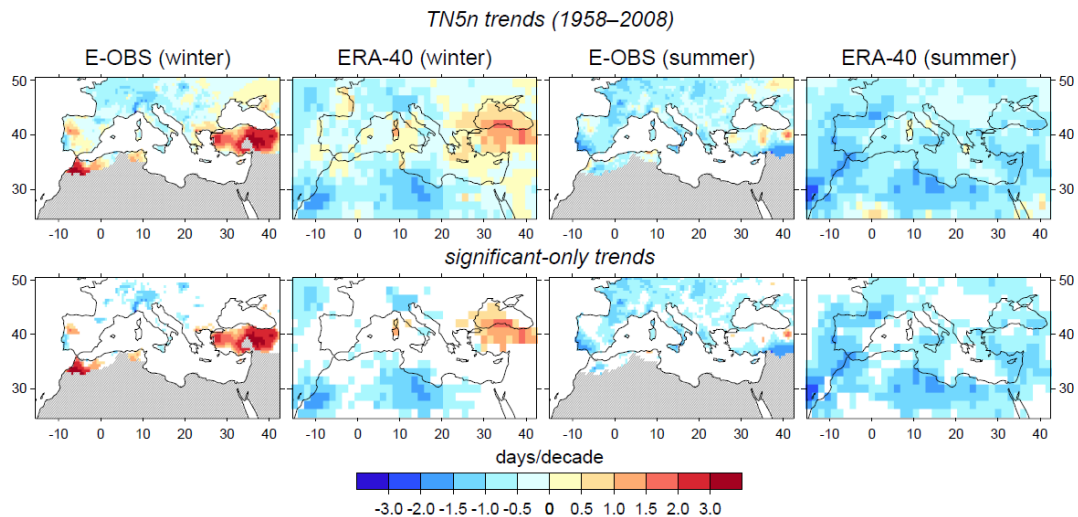


Σχήμα 14. Γεωγραφικές θέσεις των δέκα περιοχών μελέτης (Efthymiadis et al., 2011).

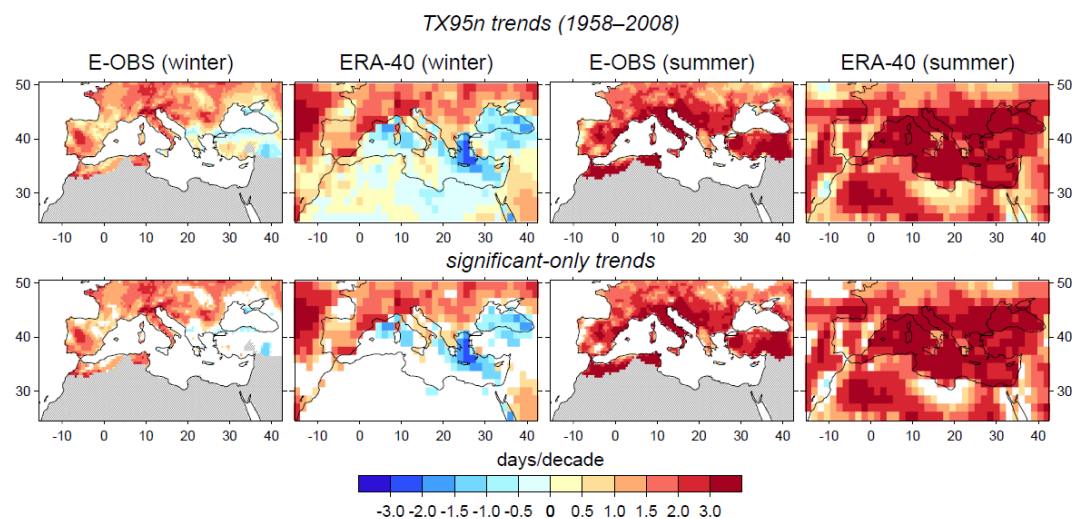
Τα ημερήσια δεδομένα μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας του αέρα (TN, TX, TG) για τις δέκα περιοχές που περιβάλουν τη Μεσόγειο, προήλθαν από τη χρονοσειρά δεδομένων E-OBS για την περίοδο 1950-2009. Στις περιοχές της ανατολικής και νότιας Μεσογείου τα δεδομένα ήταν περιορισμένα. Δεκαπέντε δείκτες ακραίων φαινομένων θερμοκρασίας υπολογίστηκαν για να μελετηθεί η ένταση, η συχνότητα και η διάρκειά τους σε εποχιακή βάση από τις χρονοσειρές δεδομένων E-OBS και ERA-40. Η χρονική περίοδος 1961-1990 χρησιμοποιήθηκε ως περίοδος αναφοράς για τον καθορισμό των κατωφλίων. Επίσης, γραμμικές τάσεις υπολογίστηκαν μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για όλη την περίοδο μελέτης, 1958-2008, αλλά και τις δύο τελευταίες δεκαετίες, 1989-2008. Τα μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας φαινόμενα που επηρεάζουν την περιοχή της Μεσογείου τόσο σε ετήσια κλίμακα όσο και σε εποχιακή είναι η Ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού (NOA), η Μεσογειακή Ταλάντωση (MO), το μοτίβο του ανατολικού Ατλαντικού ωκεανού (EA) και το Σκανδιναβικό μοτίβο (SCAND). Έτσι, οι δείκτες της Μεσογειακής Ταλάντωσης (MO), της Αρκτικής Ταλάντωσης (AO), δύο δείκτες για την Ταλάντωση του Βόρειου

Ατλαντικού (NOA) και πέντε ακόμα δείκτες μέσης ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (SCAND, EA, EA/WR, NPC και EMP) υπολογίσθηκαν για τη μελέτη. Ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης και συσχέτισης χρησιμοποιήθηκαν για να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των δεικτών των ακραίων τιμών και των μεγάλης κλίμακας φαινομένων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν για τις τάσεις των δεικτών των ακραίων φαινομένων θερμοκρασίας που υπολογίσθηκαν από τα δεδομένα E-OBS και ERA-40. Οι τάσεις για την ψυχρή περίοδο ήταν διαφορετικές για την εκάστοτε περιοχή και παρουσιάστηκε μείωση των ακραία ελάχιστων θερμοκρασιακών φαινομένων στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο, ενώ αυξήσεις παρουσιάστηκαν στην ανατολική Μεσόγειο, για την περίοδο 1958-2008. Τα φαινόμενα των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών αυξήθηκαν σε όλη τη Μεσόγειο, εκτός από τις ανατολικές περιοχές κατά την περίοδο 1958-2008, ενώ κατά την περίοδο 1989-2008 οι τάσεις αυτές φαίνεται να αντιστράφηκαν, ειδικά στην ανατολική Μεσόγειο. Οι τάσεις των ακραία ελάχιστων θερμοκρασιών δεν ήταν στατιστικά σημαντικές για την περίοδο 1989-2008. Στατιστικά σημαντικές τάσεις αύξησης των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών προέκυψαν για την περιοχή της βόρειας Μεσογείου, κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά τη θερινή περίοδο οι τάσεις παρουσίασαν ομοιομορφία, με μείωση των ακραία ψυχρών και αύξηση των ακραία θερμών φαινομένων σχεδόν σε όλες τις περιοχές. Η μείωση της συχνότητας και της διάρκειας των ακραία ψυχρών φαινομένων ήταν περισσότερο εμφανής στη νοτιοανατολική Μεσόγειο και η αύξηση της συχνότητας των ακραία θερμών φαινομένων εντοπίστηκε κυρίως κατά τη διάρκεια της νύκτας (Σχήμα 15, 16). Η αύξηση της διάρκειας των φαινομένων καύσωνα ήταν εμφανέστερη στις περιοχές της ενδοχώρας και εντονότερη κατά την περίοδο 1989-2008 (Σχήμα 17).

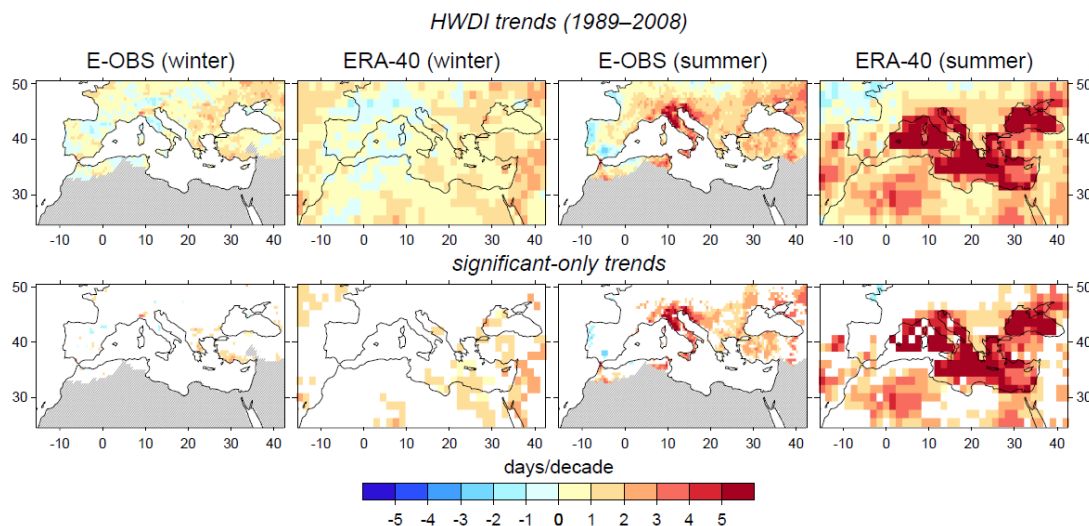


Σχήμα 15. Τάσεις το χειμώνα (αριστερά) και το καλοκαίρι (δεξιά) της συχνότητας των ακραία ψυχρών νυκτών (TN5n, ημέρες ανά δεκαετία), κατά την περίοδο 1958-2008, από τα δεδομένα των E-OBS και ERA-40. Ο κάτω πίνακας αναπαριστά μόνο τις στατιστικά σημαντικές τάσεις. Οι γκρι περιοχές στους χάρτες τάσεων E-OBS αντιστοιχούν σε περιοχές με ελλείποντα δεδομένα κατά την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (Efthymiadis et al., 2011).



Σχήμα 16. Τάσεις το χειμώνα (αριστερά) και το καλοκαίρι (δεξιά) της συχνότητας των πολύ θερμών ημερών (TX95n, ημέρες ανά δεκαετία), κατά την περίοδο 1958-2008, από τα δεδομένα των E-OBS και ERA-40. Ο κάτω πίνακας αναπαριστά μόνο τις στατιστικά σημαντικές τάσεις. Οι γκρι περιοχές στους χάρτες τάσεων E-OBS αντιστοιχούν σε περιοχές με ελλείποντα δεδομένα κατά την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (Efthymiadis et al., 2011).

Επιπλέον, φάνηκε ότι η επίδραση των μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας ήταν ισχυρότερη κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου και ότι η επίδραση αυτή εξαρτάται από την περιοχή, την εποχή και το είδος των ακραίων φαινομένων. Για τη χειμερινή περίοδο μεταβολές παρατηρήθηκαν στους δείκτες EA/WR και SCAND, που σχετίζονται με φαινόμενα ακραία ελάχιστων θερμοκρασιών, όπου σύμφωνα με τον πρώτο παρουσιάστηκε μείωσή τους, ενώ σύμφωνα με τον δεύτερο παρουσιάστηκε αύξηση αυτών, στις αντίστοιχες περιοχές δράσης των συστημάτων αυτών. Τα φαινόμενα των ακραία ελάχιστων θερμοκρασιών μειώθηκαν σε όλη τη Μεσόγειο εκτός από τη βορειανατολική περιοχή της και τα φαινόμενα ακραία μέγιστων θερμοκρασιών αυξήθηκαν στην κεντρική και ανατολική Μεσόγειο εκτός από τις ανατολικές περιοχές της.



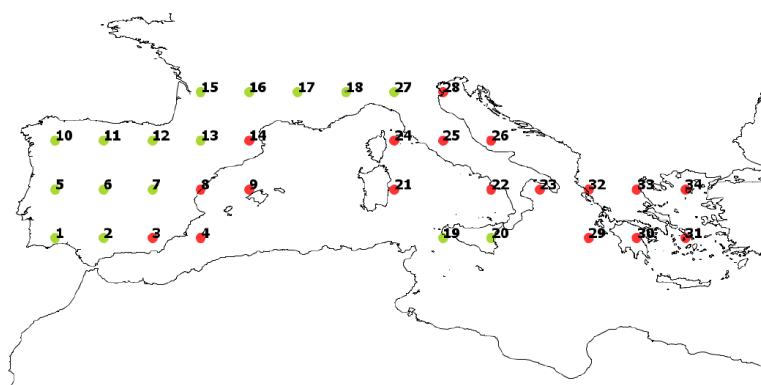
Σχήμα 17. Τάσεις το χειμώνα (αριστερά) και το καλοκαίρι (δεξιά) του δείκτη διάρκειας των φαινομένων καύσωνα (HWDI, ημέρες ανά δεκαετία), κατά την περίοδο 1989-2008, από τα δεδομένα των E-OBS και ERA-40. Ο κάτω πίνακας αναπαριστά μόνο τις στατιστικά σημαντικές τάσεις. Οι γκρι περιοχές στους χάρτες τάσεων E-OBS αντιστοιχούν σε περιοχές με ελλείποντα δεδομένα κατά την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (Efthymiadis et al., 2011).

4.13 Οι Cardil et al. 2014, εστίασαν τη μελέτη τους στις περιοχές της νότιας Ευρώπης, καθώς αναμένεται να παρουσιάσουν τη μεγαλύτερη αύξηση στα ακραία φαινόμενα θερμοκρασιών. Συνολικά δεδομένα από τριάντα τέσσερις περιοχές χρησιμοποιήθηκαν, συμπεριλαμβανομένου της Πορτογαλίας, της Ισπανίας, της νότια Γαλλίας, της Ιταλίας και της Ελλάδας. Τα δεδομένα που αναλύθηκαν προήλθαν από τα Εθνικά Κέντρα

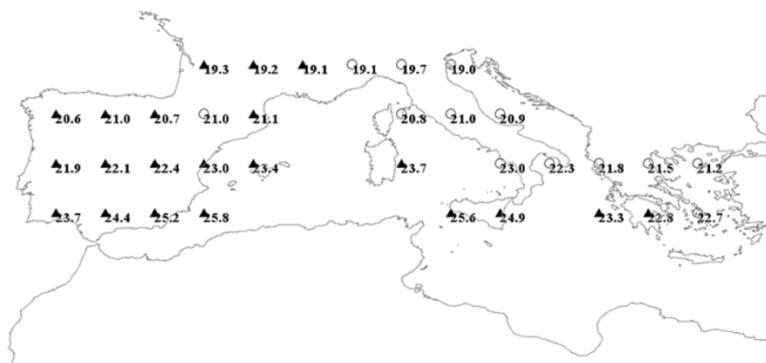
Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης (NCEP) και το Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας (NCAR). Για τη μελέτη των ημερών με υψηλή θερμοκρασία (HTDs), ημερήσια δεδομένα από το γεωδυναμικό ύψος των 850hPa συλλέχθηκαν για τη χρονική περίοδο 1978-2012. Ορίσθηκαν επίσης, τα παρακάτω κατώφλια:

- HTD20, όπου η ημερήσια θερμοκρασία του αέρα ξεπερνά τους 20 °C.
- HTD22,5, όπου η ημερήσια θερμοκρασία του αέρα ξεπερνά τους 22,5 °C.
- HTD25, όπου η ημερήσια θερμοκρασία του αέρα ξεπερνά τους 25 °C.
- HTD95, που αναπαριστά το 95ο εκατοστημόριο της θερμοκρασίας του αέρα για τους μήνες Ιούνιος-Σεπτέμβριος, της χρονικής περιόδου 1978-2012.

Τα αποτελέσματα για τις ετήσιες HTDs ήταν διαφορετικά ανάλογα με την περιοχή. Οι περιοχές των Ισπανικών Μεσογειακών ακτών, της νότιας Πορτογαλίας και της Ιταλίας να παρουσίασαν τον μεγαλύτερο ετήσιο αριθμό ημερών που αντιπροσωπεύονται από τους δείκτες HTD20, HTD22,5 και HTD25. Η Ελληνική περιοχή παρουσίασε σημαντικά μικρότερο αριθμό ημερών. Η Σαρδηνία και οι Βαlearίδες Νήσοι παρουσίασαν τον μεγαλύτερο αριθμό ημερών με ακραίες θερμοκρασίες σε σχέση με περιοχές του ίδιου γεωγραφικού πλάτους (Σχήμα 18). Για τη Γαλλία, την Ισπανική ενδοχώρα και τη βορειοδυτική Ιβηρική χερσόνησο δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές τάσεις αύξησης. Τα αποτελέσματα για το δείκτη του 95ου εκατοστημορίου ήταν σύμφωνα με τα παραπάνω (Σχήμα 19).

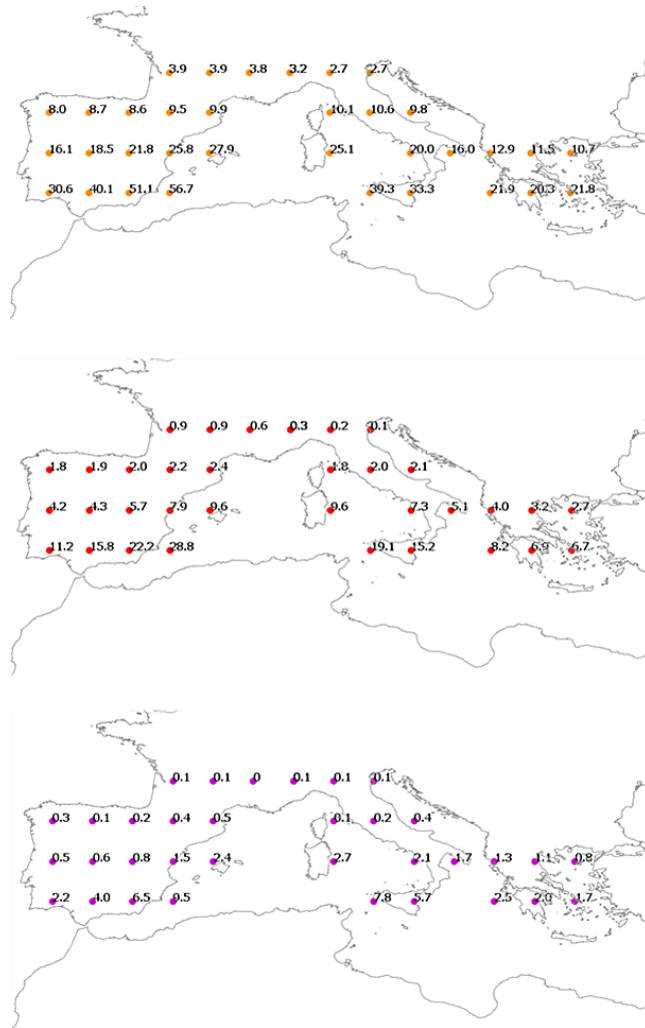


Σχήμα 18. Περιοχές μελέτης του Εθνικού Κέντρου Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης. Τα κόκκινα σημεία εκφράζουν σημαντική αύξηση του ετήσιου αριθμού των HTD20, κατά την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου, 1978-2012. Τα πράσινα σημεία εκφράζουν μη σημαντικές αλλαγές όσον αφορά τον ετήσιο αριθμό των HTD20 (Cardil et al., 2014).



Σχήμα 19. 95ο εκατοστημόριο της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα, κατά την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου, 1978-2012. Οι κύκλοι εκφράζουν σημαντική αύξηση του ετήσιου αριθμού ημερών με θερμοκρασία του αέρα μεγαλύτερη από το 95ο εκατοστημόριο. Τα τρίγωνα εκφράζουν μη σημαντικές αλλαγές (Cardil et al., 2014).

Μια τάση αύξησης της συχνότητας των HTDs κατά τους μήνες Ιούνιος-Σεπτέμβριος ήταν εμφανής για τις νότιες ακτές της Μεσογείου (Σχήμα 20). Οι μέσες, μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες παρουσίασαν επίσης αύξηση στην περιοχή της νότιας Ευρώπης που σχετίζεται με τις θερμές και ξηρές αέριες μάζες που κινούνται προς την Ευρώπη από τις βόρειες ακτές της Αφρικής. Ωστόσο, αυτές οι τάσεις δεν παρατηρήθηκαν για την Ιβηρική χερσόνησο, η οποία επηρεάζεται και από τα ρεύματα του Ατλαντικού. Τέλος, σε περιοχές όπου παρατηρήθηκαν αυξήσεις των ημερών με ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες παρατηρήθηκαν και αυξήσεις του δείκτη του 95ου εκατοστημορίου, ειδικά στις περιοχές μεγαλύτερων υψομέτρων.



Σχήμα 20. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών με θερμοκρασία του αέρα υψηλότερη από 20 °C (πορτοκαλί κουκίδες), 22,5 °C (κόκκινες κουκίδες) και 25 °C (μοβ κουκίδες) κατά την περίοδο Ιουνίου-Σεπτεμβρίου, 1978-2012 (Cardil et al., 2014).

5. Η περιοχή της Αθήνας

Για την περιοχή της Αθήνας, συλλέχθηκαν χρονοσειρές μετεωρολογικών δεδομένων από το σταθμό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) για να μελετηθούν οι έντονες μεταβολές του κλίματος των τελευταίων δεκαετιών. Από τις αρχές του 20ού αιώνα παρουσιάστηκε εναλλαγή θερμών και ψυχρών περιόδων σε συμφωνία με τις γενικές συνθήκες που επικρατούν στο Β. ημισφαίριο, με όμως τάση αύξησης της μέσης ετήσιας και της μέσης μέγιστης ετήσιας θερμοκρασίας από τα μέσα της δεκαετίας του '70. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κάθε δεκαετία την περίοδο του καλοκαιριού ήταν περίπου 1 °C, της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας 3,3 °C (1984-2008) και της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας 3,2 °C (1976-2008) (Ζερεφός κ. ά., 2011). Κατά την περίοδο 1997-2008 καταγράφηκαν οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες έως τώρα για το καλοκαίρι στην Αθήνα και το 2010 χαρακτηρίστηκε ως το θερμότερο έτος με μέση θερμοκρασία 19,6 °C (Founda et al., 2009).

Χαρακτηριστική ήταν η τάση εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων-ακραία υψηλών θερμοκρασιών στην περιοχή της Αθήνας, με τη θερμοκρασία το 2007 να φτάνει τους 44,8 °C, μεγαλύτερη από κάθε άλλη φορά τα τελευταία 150 χρόνια, που θεωρήθηκε ως ένα δείγμα μελλοντικών συνθηκών. Μελλοντικά η περιοχή της Αθήνας, καθώς και όλης της Μεσογείου αναμένεται να βιώσει εκτεταμένες περιόδους καύσωνα σε συνδυασμό με θερμότερες κλιματικές συνθήκες. Συγκεκριμένα για την Αθήνα, προβλέπεται αύξηση της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας το καλοκαίρι κατά 2 °C και 4 °C για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 αντίστοιχα (Founda et al., 2009).

Στην εργασία των Founda et al. 2015, ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Αθήνα, περιβαλλόμενη από βουνά, υψομέτρου έως πάνω από 1500 μέτρα, και τον Σαρωνικό κόλπο στα νότια (Σχήμα 21). Η Αθήνα αποτελεί την πιο πυκνοκατοικημένη πόλη της Ελλάδας με συνολική έκταση της ευρύτερης αστικής περιοχής 433 χιλιομέτρων που συνεχώς επεκτείνεται. Αυτή η οικιστική επέκταση, που συνήθως λαμβάνει χώρα χωρίς κάποιο νόμιμο προσχεδιασμό, αντικαθιστά φυσικές περιοχές βλάστησης και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας, λόγω της αποθήκευσης και απελευθέρωσης θερμότητας από την επιφάνεια των οικοδομικών κατασκευασμάτων. Ο πληθυσμός της Αθήνας, περίπου τέσσερα εκ. κάτοικοι, που είναι συνεχώς αυξανόμενος μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, όπως και το βιοτικό επίπεδο, έχουν σαν αποτέλεσμα αυξημένες ανθρωπογενείς εκπομπές.



Σχήμα 21. Χάρτης της περιοχής μελέτης. Απεικονίζονται οι θέσεις των ιστορικών σταθμών HEL, NOA (αστικοί), ELEF, TAT (προαστιακοί), και TAN, ALI (επαρχιακοί) και των πρόσφατα αυτοματοποιημένων σταθμών SPT, KNZ και EKA. Η κόκκινη γραμμή αποτελεί το όριο της ευρύτερης αστικής περιοχής, συμπεριλαμβανομένων των δήμων της Αθήνας (Founda et al., 2015).

Προσπάθειες έγιναν για να εκτιμηθούν τα αποτελέσματα της αστικής θερμνησίδας στην περιοχή της Αθήνας και η πιθανή σύνδεσή της με τα φαινόμενα καύσωνα. Η Αθήνα βιώνει φαινόμενα αστικής θερμνησίδας κατά τη διάρκεια της ημέρας αλλά και της νύκτας, ενισχυμένα κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η αστική θερμνησίδα προκύπτει όταν οι αστικές περιοχές μιας πόλης είναι θερμότερες από τις περιφερειακές και προκαλείται κυρίως από μεταβολές στις θερμικές ιδιότητες των επιφανειακών υλικών, φαινόμενα μειωμένης εξατμισοδιαπνοής και την παρεμπόδιση διαφυγής της θερμότητας λόγω των κτηρίων (Shunlin Liang et al., 2012). Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από συνεχείς μετρήσεις σταθμών που δεν είχαν μετακινηθεί και βρισκόταν σε περιοχές που δεν είχαν υποστεί σημαντικές αλλαγές. Τέτοιοι σταθμοί ήταν το Εθνικό Μετεωροσκοπείο Αθηνών (NOA), ο σταθμός του Ελληνικού (HEL), του Τατόι (TAT), της Τανάγρας (TAN), της Ελευσίνας (ELEF) και του Αλιάρτου (ALI). Από τα δεδομένα των παραπάνω σταθμών χρησιμοποιήθηκαν η ημερήσια μέγιστη (T_{max}), η ελάχιστη (T_{min}) και η μέση θερμοκρασία του αέρα (T_{mean}) για την περίοδο 1970-2004. Υπολογίστηκαν οι μηνιαίες μέσες τιμές του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους (DTR) και οι μηνιαίες και εποχιακές μέσες τιμές από ημερήσια δεδομένα. Επίσης, τρεις ακόμα

συμπληρωματικοί σταθμοί χρησιμοποιήθηκαν, της Εκάλης (ΕΚΑ), του Κάντζα (ΚΝΖ) και των Σπάτων (SPT), λόγω της τοποθεσίας τους, του εύρους των διαθέσιμων δεδομένων (τουλάχιστον 3 χρόνια) και της θέσης των μετεωρολογικών οργάνων. Οι ημέρες με ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία που ξεπερνά τους 35 °C ορίσθηκαν ως «θερμές ημέρες» και οι καύσωνες ορίσθηκαν ως τρεις ή περισσότερες διαδοχικές ημέρες με ημερήσια θερμοκρασία που ξεπερνά τους 37 °C.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι το φαινόμενο της αστικής θερμοβαθμίδας ενισχύεται καθώς αυξάνεται η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, ιδιαίτερα κατά τη νύκτα, και σταθεροποιείται όταν ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο κατώφλι που σχετίζεται με φαινόμενα καύσωνα. Έτσι, κατά τη διάρκεια ακραίων φαινομένων καύσωνα το φαινόμενο της αστικής θερμοβαθμίδας υποβαθμίζεται ή διατηρεί την έντασή του κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω της ακρότητας του ίδιου του καύσωνα. Αντιθέτως, παρατηρείται ότι η αστική θερμοβαθμίδα ενισχύεται τη νύκτα κατά της διάρκεια ενός καύσωνα. Τέλος, το μέσο ετήσιο εύρος της αστικής θερμοβαθμίδας στην Αθήνα παρουσίασε αύξηση 0,2 °C/δεκαετία και ο ρυθμός αύξησης της ημερήσιας αστικής θερμοβαθμίδας το καλοκαίρι υπολογίσθηκε σε 0,8 °C/δεκαετία, σύμφωνα με το ρυθμό αύξησης των θερμών ημερών κάτι που πιθανόν εντείνει τη συχνότητα εμφάνισης και την ένταση των φαινομένων καύσωνα.

6. Η περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου

Οι Κωστοπούλου κ.ά. 2015, μελέτησαν τα φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών στην περιοχή του βορειοανατολικού Αιγαίου (Λέσβος, Λήμνος, Άγιος Ευστράτιος, Χίος, Ψαρά, Οινούσσες, Σάμος, Ικαρία, Φούρνοι).

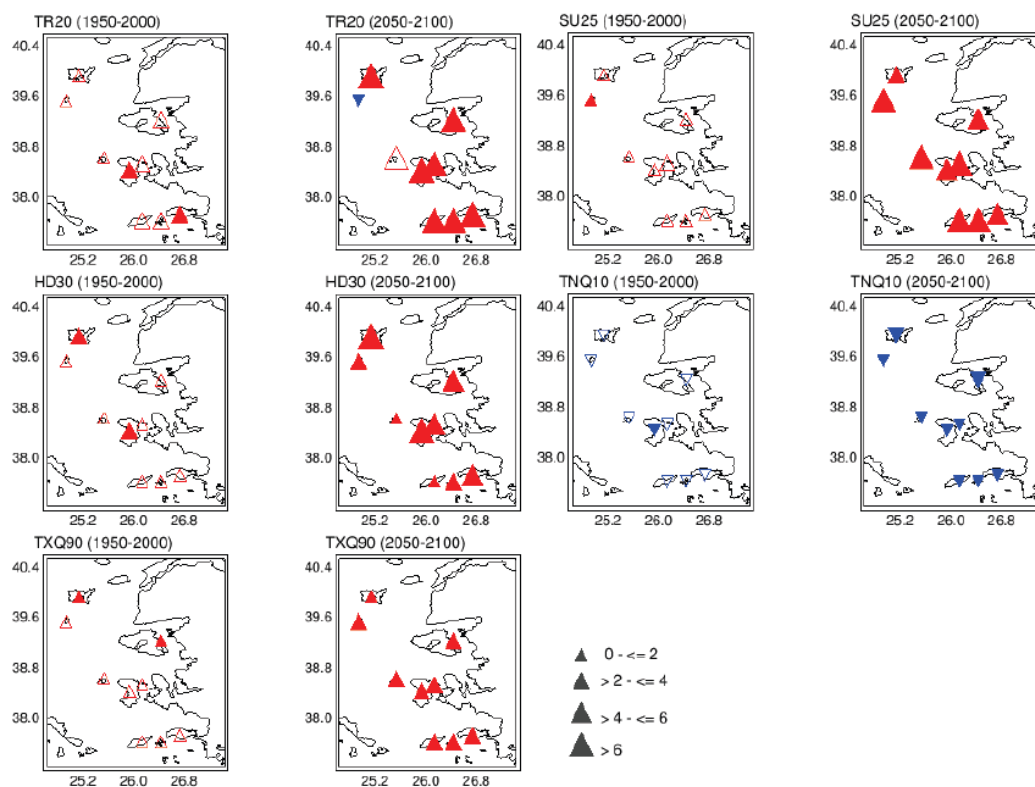
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αποτέλεσαν χρονοσειρές ημερήσιων δεδομένων θερμοκρασίας, αφορούν στη χρονική περίοδο 1950-2100 και προήλθαν από το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο RACMO2, με χωρική ανάλυση 0.25 μοιρών. Η ανάλυση των δεδομένων βασίστηκε στο σενάριο εκπομπών A1B την Διακυβερνητικής Επιτροπής του ΟΗΕ. Ως θέση μελέτης ορίστηκε η γεωγραφική θέση της πρωτεύουσας κάθε νησιού και πραγματοποιήθηκε επεξεργασία δεδομένων που προήλθαν από τον πλησιέστερο στη θέση μελέτης κόμβο, ύστερα από βασικό έλεγχο αξιοπιστίας των δεδομένων. Έξι κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας (Πίνακας 2) υπολογίσθηκαν σε ετήσια βάση για να εξετασθούν οι τάσεις των φαινομένων ακραίων θερμοκρασιών τόσο στην περίοδο αναφοράς (1950-2000), όσο και στο μέλλον (2050-2100) (Σχήμα 22). Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε με τον υπολογισμό της γραμμικής τάσης κάθε δείκτη για κάθε μία από τις δύο περιόδους. Για τον υπολογισμό της γραμμικής τάσης εφαρμόστηκε η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε έλεγχος για την στατιστική σημαντικότητα της τάσης του κάθε δείκτη, ορίζοντας ως στατιστικά σημαντική κάθε τάση όπου εμφανίζει τιμή $\alpha \leq$ του 0.1.

Πίνακας 2. Οι υπολογιζόμενοι κλιματικοί δείκτες.

Σύμβολο δείκτη	Όνομα δείκτη	Ορισμός δείκτη	Μονάδες
FD0	Ημέρες παγετού	Ημέρες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία (TN) είναι $\leq 0^{\circ}\text{C}$	Ημέρες
TR20	Τροπικές νύχτες	Ημέρες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία (TN) είναι $\geq 20^{\circ}\text{C}$	Ημέρες
HD30	Πολύ θερμές ημέρες	Ημέρες όπου η μέγιστη θερμοκρασία (TX) είναι $\geq$ των 30°C	Ημέρες
SU25	Θερινές ημέρες	Ημέρες όπου η μέγιστη θερμοκρασία (TX) είναι $\geq$ των 25°C	Ημέρες
TNQ10	Ψυχρές	Ημέρες όπου η ελάχιστη	Ημέρες

	νύκτες	θερμοκρασία (TN) είναι $\leq$ του 10ου εκατοστημορίου	
TXQ90	Θερμές ημέρες	Ημέρες όπου η μέγιστη θερμοκρασία (TX) είναι $\geq$ του 90ου εκατοστημορίου	Ημέρες

Η τάση του δείκτη FD0 ήταν αρνητική και για τις δύο περιόδους υποδηλώνοντας ελάττωση στον αριθμό ημερών παγετού. Θετικές τάσεις για το δείκτη TR20 παρατηρήθηκαν σε όλα τα νησιά (εκτός από τον Άγιο Ευστράτιο) με ρυθμό αύξησης από 1 έως 2,4 ημέρες/δεκαετία για την περίοδο 1950-2000, με το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης για τα νησιά Χίος και Σάμος. Μεγαλύτερος ήταν ο ρυθμός αύξησης για την περίοδο 2050-2100, όπου κυμαινόταν από 6 έως 9,4 περισσότερες ημέρες/δεκαετία. Επίσης, θετικές τάσεις παρατηρήθηκαν και για το δείκτη HD30, με ρυθμό αύξησης 2,5 και 2,3 ημέρες/δεκαετία για τη Χίο και τη Λήμνο αντίστοιχα. Μελλοντικά, για όλα τα νησιά υπολογίστηκε ρυθμός αύξησης από 0,9 έως 6,2 ημέρες/δεκαετία. Θετική τάση παρατηρήθηκε και για το δείκτη SU25 για τον Άγιο Ευστράτιο της τάξης των 2 ημερών/δεκαετία για την περίοδο 1950-2000, ενώ για τη μελλοντική περίοδο ο ρυθμός αύξησης των ημερών/δεκαετία κυμαινόταν από 3,9 έως 8,7 σε όλα τα νησιά. Για τον δείκτη TNQ10 παρατηρήθηκαν τάσεις μείωσης με ρυθμό 1 έως 2 ημέρες/δεκαετία για τη Χίο κατά την περίοδο 1950-2000, ενώ για την περίοδο 2050-2100, ο ρυθμός μείωσης κυμαίνεται από 1,7 έως 2 ημέρες /δεκαετία. Τέλος, θετική ήταν η τάση του δείκτη TXQ90 στη Λέσβο και τη Λήμνο στο παρόν με ρυθμό αύξησης 1,4 ημέρες/δεκαετία, ενώ για το μέλλον σε όλες τις μελετώμενες θέσεις εκτιμήθηκε ότι ο ρυθμός αύξησης κυμαίνεται από 2,3 έως 3,3 ημέρες/δεκαετία.



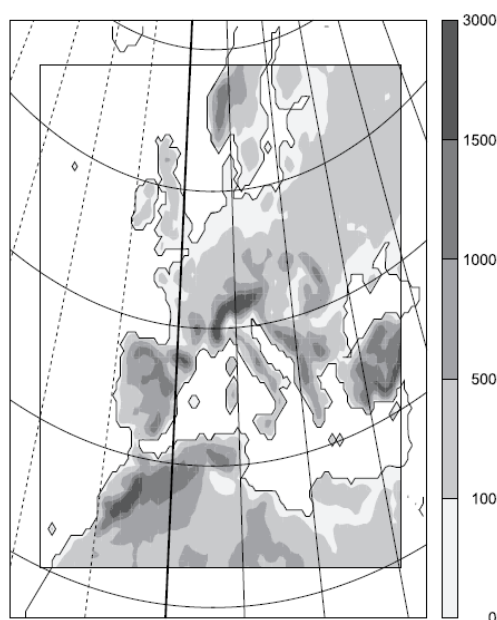
Σχήμα 22. Οι τάσεις των κλιματικών δεικτών για τις δύο μελετώμενες περιόδους. Τα τρίγωνα με φορά προς τα επάνω, κόκκινου χρώματος δείχνουν θετικές τάσεις, ενώ τα τρίγωνα με φορά προς τα κάτω, μπλε χρώματος δείχνουν αρνητικές τάσεις. Το μέγεθος του τριγώνου αντιστοιχεί στο ρυθμό μεταβολής της τάσης σε αριθμό ημερών/δεκαετία. Τα γεμάτα χρώμα τρίγωνα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντικές τάσεις σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.1$.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, αναμένεται μελλοντική αύξηση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών τόσο στις μεγάλες όσο και στις ελάχιστες τιμές. Συγκεκριμένα στη Σάμο η αύξηση αυτή θα ξεπεράσει τους 5 °C μετά το 2070. Τέλος, αναμένεται αύξηση των θερινών ημερών, των τροπικών και θερμών νυκτών και μείωση των ψυχρών ημερών και των δροσερών νυκτών.

7. Μελλοντικές εκτιμήσεις για τα φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών στην Ελλάδα και τη Μεσόγειο

Οι εκτιμώμενες κλιματικές αλλαγές ποικίλλουν ανάλογα με την περιοχή και την εποχή (Dankers et al., 2008).

7.1 Οι Sánchez et al. 2004, μελέτησαν τις μελλοντικές κλιματικές μεταβολές βασισμένοι στο πρόγραμμα PRUDENCE και στην ανάλυση προσομοιώσεων του περιφερειακού κλιματικού μοντέλου PROMES-RCM, διακριτικής ικανότητας 50 τετραγωνικών χιλιομέτρων, για τη μελλοντική περίοδο τριάντα ετών, 2070-2100. Ως περίοδος αναφοράς ορίστηκε η περίοδος 1961-1990 και οι προσομοιώσεις δημιουργήθηκαν σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών A2-SRES του IPCC. Η περιοχή μελέτης κάλυπτε όλη την Ευρώπη, τη λεκάνη της Μεσογείου και τη βόρεια Αφρική (Σχήμα 23). Τα δεδομένα θερμοκρασίας για την επιφάνεια της θάλασσας προήλθαν από καταγραφές παρατηρήσεων, ενώ για το σενάριο εκπομπών A2 από το μοντέλο γενικής κυκλοφορίας HadCM3. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι κλιματικοί δείκτες του 90ου εκατοστημορίου της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (T90max) και του 10ου εκατοστημορίου της ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας (T10min) σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα STARDEX.



Σχήμα 23. Περιοχή μελέτης για την περίοδο αναφοράς, 1961-1990 και την μελλοντική περίοδο, 2070-2100 (Sánchez et al., 2004).

Έγινε φανερό ότι η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας (T_{max}) θα αυξηθεί κατά $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι στις περισσότερες περιοχές της Μεσογείου. Αυτή η θέρμανση είναι ιδιαίτερα έντονη για τις ηπειρωτικές περιοχές της Ιβηρικής χερσονήσου, της νότιας Γαλλίας και της βορειοδυτικής Αφρικής. Για το χειμώνα παρατηρήθηκαν αυξήσεις της μέγιστης θερμοκρασίας, της τάξης των $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ στη νοτιοδυτική Μεσόγειο. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις για το δείκτη $T90_{max}$ παρατηρήθηκαν για το καλοκαίρι και είναι της ίδιας τάξης ή μεγαλύτερες από αυτές τους δείκτη T_{max} σχεδόν για όλες τις περιοχές της Μεσογείου. Πιο συγκεκριμένα, οι αυξήσεις του δείκτη $T90_{max}$ θα είναι μεγαλύτερες των $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ για την περιοχή της Μεσογείου, τη βορειοδυτική Αφρική, τη νοτιοανατολική Ευρώπη, την Ιβηρική χερσόνησο και το βόρειο Μαρόκο. Ο αριθμός των καυσώνων εκτιμήθηκε ότι θα μειωθεί καθώς το κλίμα γίνεται θερμότερο. Για το καλοκαίρι αποδείχθηκε ότι τα φαινόμενα καύσωνα στην περιοχή της Ιβηρικής χερσονήσου θα μειωθούν, ενώ θα αυξηθούν στην περιοχή της Γαλλίας, της ανατολικής Μεσογείου και στις κεντρικές Μεσογειακές περιοχές της Αφρικής. Το χειμώνα τα φαινόμενα καύσωνα θα μειωθούν στη νοτιοανατολική Ευρώπη. Ωστόσο, για την άνοιξη και το φθινόπωρο υπολογίσθηκε αύξηση των φαινομένων καύσωνα σχεδόν σε όλες τις περιοχές της Μεσογείου.

Εκτιμήθηκαν αυξήσεις της ελάχιστης θερμοκρασίας (T_{min}), που θα φτάνουν τους $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι στο εσωτερικό της Ιβηρικής χερσονήσου, την Αλγερία και μερικές Μεσογειακές περιοχές της ανατολικής Ευρώπης. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις της T_{min} το χειμώνα υπολογίσθηκαν για τη νοτιοδυτική Μεσόγειο φτάνοντας τους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ και τους $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ στη βορειοδυτική Μεσόγειο. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις του δείκτη $T10_{min}$ το καλοκαίρι εκτιμήθηκαν για την Ιβηρική χερσόνησο και την βορειοδυτική Αφρική. Για την υπόλοιπη Μεσόγειο οι αυξήσεις που υπολογίσθηκαν είναι της τάξης των $1-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Τα φαινόμενα κυμάτων ψύχους εκτιμήθηκε ότι θα μειωθούν κατά τη διάρκεια του χειμώνα στις περισσότερες Μεσογειακές περιοχές της Ευρώπης, ενώ θα αυξηθούν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Κατά τη διάρκεια την άνοιξης, υπολογίσθηκαν μειώσεις των φαινομένων αυτών στην Ευρώπη, εκτός από τις περιοχές της Ιβηρικής χερσονήσου, και αυξήσεις στις Μεσογειακές περιοχές της Αφρικής. Τέλος, το φθινόπωρο αυξήσεις εκτιμήθηκαν για μερικές περιοχές της Ιβηρικής χερσονήσου, της λεκάνης του Δούναβη και της Μαύρης Θάλασσας, ενώ μειώσεις προβλέφθηκαν για τη Γαλλία, την Ιταλία και τα Βαλκάνια.

Γενικά οι εκτιμώμενες αυξήσεις του δείκτη T_{max} ήταν μεγαλύτερες από του δείκτη T_{min} σε όλη τη Μεσόγειο. Οι αυξήσεις του δείκτη $T90_{max}$ ήταν μεγαλύτερες του δείκτη T_{max} , ενώ οι αυξήσεις του δείκτη $T10_{min}$ ήταν μικρότερες του T_{min} . Τέλος,

προβλέφθηκε ότι το εύρος της ημερήσιας θερμοκρασίας και η αντίθεση μεταξύ των ψυχρών και θερμών ημερών θα αυξηθούν στο μέλλον.

7.2 Οι Diffenbaugh et al. 2007, προσπάθησαν να προβλέψουν την επίδραση των παγκόσμιων εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα στην περιοχή της Μεσογείου, συγκεκριμένα για την περίοδο 2071-2099. Σύμφωνα με το πρόγραμμα PRUDENCE μελετήθηκαν οι προσομοιώσεις MED20B2 και MED20A2 για την χρονική περίοδο 2071-2099, σύμφωνα με τα σενάρια εκπομπών SRES B2 και A2 αντίστοιχα (IPCC, 2000). Ως προσομοίωση αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η προσομοίωση MED20A2 μείον MED20RF.

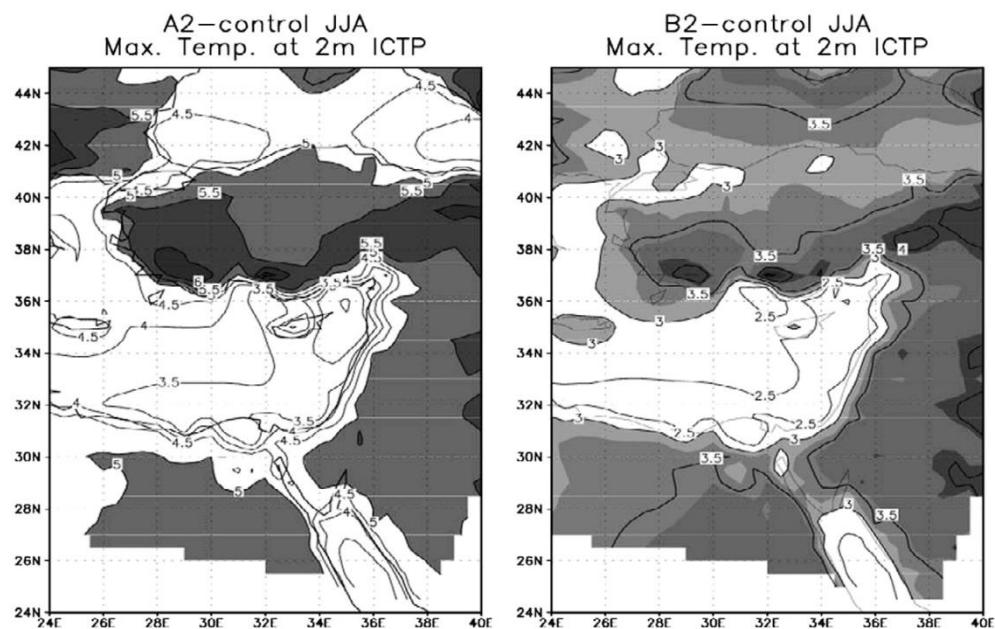
Με βάση το σενάριο εκπομπών A2 υπολογίσθηκαν αυξήσεις μεγαλύτερες των 8,5 °C και των 7,5 °C για το 95ο και το 75ο εκατοστημόριο αντίστοιχα, των ημερήσιων μέγιστων θερμοκρασιών. Αυξήσεις εκτιμήθηκαν επίσης της τάξης των 7 °C και 6 °C για το 95ο και το 75ο εκατοστημόριο αντίστοιχα, των ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών. Η επιφανειακή εξατμισιοδιαπνοή προβλέφθηκε ότι θα μειωθεί σχεδόν σε όλες τις περιοχές κυρίως όμως στην Ιβηρική χερσόνησο σε μέγεθος 2 mm/day και η ροή της αισθητής θερμότητας θα αυξηθεί περισσότερο από 55 W/m². Στην προσομοίωση αναφοράς οι ημέρες που ξεπερνούσαν τις τιμές του επικίνδυνου ή εξαιρετικά επικίνδυνου δείκτη θερμότητας βρισκόταν κυρίως στη νότια και ανατολική Μεσόγειο και μελλοντικά σύμφωνα με το σενάριο εκπομπών A2 ο αριθμός τους θα ξεπερνά τις εξήντα πέντε ημέρες ανά έτος. Τα αποτελέσματα του σεναρίου εκπομπών B2 συμφωνούσαν με αυτά του A2. Γενικότερα οι παραθαλάσσιες περιοχές παρουσιαζόταν ως πιο ευάλωτες σε οποιαδήποτε μεταβολή.

Οι αυξήσεις που υπολογίσθηκαν για το 95ο εκατοστημόριο υποδηλώνουν ότι τα καταστροφικά αποτελέσματα της θερμικής καταπόνησης είναι πιθανό να γίνουν πιο έντονα κατά τις επόμενες δεκαετίες, εάν οι παγκόσμιες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου συνεχίσουν να αυξάνονται. Μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων σύμφωνα με το B2 σενάριο εκπομπών μπορεί να συντελέσει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, αύξηση της θερμικής καταπόνησης είναι εμφανής και στο B2 σενάριο εκπομπών δηλώνοντας ότι τα αποτελέσματα είναι έως ένα βαθμό αναπόφευκτα.

7.3 Οι Alpert et al. 2008, μελέτησαν τις μελλοντικές κλιματικές μεταβολές στην ανατολική Μεσόγειο όσον αφορά τα φαινόμενα ακραίων θερμοκρασιών. Η μελέτη

αποτελέσει μέρος του διεθνούς προγράμματος GLOWA Jordan River και βασίστηκε σε προσομοιώσεις περιφερειακών κλιματικών μοντέλων (RCM), σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα PRUDENCE και τα σενάρια εκπομπών A2 και B2 του IPCC. Τα δεδομένα των προσομοιώσεων προήλθαν από το Διεθνές Κέντρο Θεωρητικής Φυσικής (ICTP). Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων αναλύθηκαν για την ανατολική Μεσόγειο, τη λεκάνη του ποταμού της Ιορδανίας, για τη μελλοντική περίοδο 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, για το σενάριο εκπομπών A2 η θερμοκρασία του αέρα σε απόσταση δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους το καλοκαίρι (JJA), θα αυξηθεί κατά 3-5 °C και για το σενάριο εκπομπών B2 θα αυξηθεί κατά 2,5-3,5 °C (Σχήμα 24).



Σχήμα 24. Προβλεπόμενες μεταβολές στη μέση μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία το καλοκαίρι (JJA), στα 2 m από την επιφάνεια του εδάφους. Απεικονίζονται τα αποτελέσματα των σεναρίων εκπομπών A2 και B2 (2071-2100) σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς (1961-1990) για την ανατολική Μεσόγειο βασισμένα σε προσομοιώσεις RCM-ICTP (Alpert et al., 2008).

Όσον αφορά τις ακραίες θερμοκρασίες, η μελέτη επικεντρώθηκε στις περιοχές του βόρειου Ισραήλ, του Jordan River (JR) και του Upper Catchment (UCJR). Δύο μετεωρολογικοί σταθμοί χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη, ένας σε θέση μεγάλου υψομέτρου (Har Knaan) και ένας σε θέση μικρού υψομέτρου (Khar Blum). Η πιο ακραία τιμή θερμοκρασίας που είχε καταγραφεί στο σταθμό Khar Blum κατά την περίοδο

αναφοράς είναι οι 42 °C, ενώ με βάση το σενάριο εκπομπών A2, η εκτιμώμενη τιμή θα φτάσει τους 48 °C. Μια αύξηση της τάξης των 6 °C και 4 °C εκτιμήθηκε υπό τα σενάρια εκπομπών A2 και B2 αντίστοιχα, και για τους δύο σταθμούς μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα. Μελλοντικές προβλέψεις μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για την περιοχή της Μεσογείου έδειξαν αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3-5 °C για την περίοδο 2071-2100. Οι προβλέψεις αυτές συμφωνούσαν με τα αποτελέσματα της φανερώνοντας μια πιθανότητα ακόμα μεγαλύτερης θέρμανσης και ακραίου κλίματος. Οι μελλοντικές τάσεις αύξησης της θερμοκρασίας στη νοτιοανατολική Μεσόγειο μεγιστοποιούνται στις ηπειρωτικές περιοχές.

7.4 Οι Dankers et al. 2008, μελέτησαν τις αλλαγές στη θερμοκρασιακή μεταβλητότητα και τα ακραία φαινόμενα θερμοκρασιών όσον αφορά τα τέλη του 21ου αιώνα στην Ευρώπη, βασισμένοι στις υψηλής ανάλυσης προσομοιώσεις του περιφερειακού κλιματικού μοντέλου HIRAM. Οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν από το Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Δανίας (DMI). Για το χαρακτηρισμό ενός συμβάντος ως ακραίου, βασίστηκαν στις παραμέτρους των κατωφλίων, της συχνότητας και της έντασης του συμβάντος. Η μελέτη βασίστηκε σε δύο προσομοιώσεις τριάντα ετών έκαστη, για την περίοδο αναφοράς 1961-1990 και την μελλοντική περίοδο 2071-2100. Η πρώτη προσομοίωση βασίστηκε στο σενάριο ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου και η δεύτερη στο A2 σενάριο εκπομπών σύμφωνα με τον IPCC. Τα δεδομένα αφορούν ημερήσιες καταγραφές θερμοκρασίας σε απόσταση δύο μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους.

Η ετήσια μέση θερμοκρασία υπολογίστηκε ότι θα αυξηθεί έως 5 °C κατά τη θερινή περίοδο στην Ελλάδα, 4,7 °C στην Κύπρο, 5,3 °C στην Ισπανία 4,6 °C στην Ιταλία και 4,1 °C στην Κροατία. Ο αριθμός των ημερών με μέση θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25 °C θα αυξηθεί κατά δεκαοκτώ με είκοσι ημέρες τον Αύγουστο στην Ισπανία, τη νοτιοδυτική Γαλλία, την Ιταλία και γενικότερα στην περιοχή της Μεσογείου. Η πιθανότητα της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας να ξεπερνά τους 25 °C θα αυξηθεί για το Μιλάνο από 10 σε 60% και στις περιοχές της Ισπανίας, της Ιταλίας και της Ελλάδας περίπου το 80% των ημερών το καλοκαίρι η μέση θερμοκρασία θα ξεπερνά τους 25 °C. Οι κεντρικές περιοχές της Ιβηρικής χερσονήσου, οι νοτιοδυτικές και Μεσογειακές περιοχές της Γαλλίας και οι χαμηλού υψομέτρου περιοχές της Ιταλίας παρουσιάστηκαν γενικά πιο ευαίσθητες στις κλιματικές μεταβολές. Ο αριθμός των ημερών με μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη των 25 °C υπολογίστηκε ότι θα αυξηθεί κατά τον Αύγουστο στη βόρεια Πορτογαλία και

Ισπανία, τη νότια Γαλλία και στις περιοχές της Ιταλίας των Βαλκανίων και της Τουρκίας. Τέλος, ο αριθμός των ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20 °C, στις περιοχές που βρίσκονται στα παράλια της Μεσογείου, αναμένεται να είναι περισσότερες από τις μισές ημέρες της θερινής περιόδου.

Αυξήσεις στον αριθμό ημερών με μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία άνω των 35 °C εκτιμήθηκαν για όλη τη Μεσόγειο κυρίως κατά τον Αύγουστο και τον Ιούλιο. Η κεντρική Ισπανία, η δυτική και νότια Ιταλία, η Κύπρος, η Ελλάδα και η Τουρκία παρουσίασαν αυξήσεις έως και δεκαπέντε ημέρες. Επίσης, η Μεσόγειος θα επηρεασθεί από την αύξηση των ημερών όπου η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη των 25 °C, κυρίως κατά τον Αύγουστο. Γενικά για τις περισσότερες περιοχές, ο αριθμός των ημερών με μέγιστη θερμοκρασία μεγαλύτερη των 35 °C θα αυξηθεί περισσότερο σε σχέση με τον αριθμό ημερών όπου η ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 25 °C. Υπολογισμοί για το κατώφλι του 95ου εκατοστημορίου έδειξαν το 5% των υψηλότερων ημερήσιων τιμών θερμοκρασίας στην κατανομή της θερμής περιόδου του έτους. Η μέση τιμή της κατανομής του 95ου εκατοστημορίου παρουσίασε αύξηση της τάξης των 5 έως 7 °C το καλοκαίρι για τη Γαλλία, την Ιταλία και την Ισπανία. Η μέση τιμή της κατανομής του 99ου εκατοστημορίου αυξήθηκε επίσης, κυρίως στη Γαλλία και την Ιταλία, με τις πιο μεγάλες αυξήσεις να φτάνουν τους 8 °C. Το κατώφλι του 99ου εκατοστημορίου επιλέχθηκε για τη μελέτη της ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας.

Συμπερασματικά προβλέφθηκε για τη μελλοντική περίοδο 2071-2100 μια αύξηση της ετήσιας μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας τουλάχιστον κατά 5 °C στις περιοχές της Μεσογείου, τα Πυρηναία όρη και τις Άλπεις. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία εκτιμήθηκε ότι θα αυξηθεί κυρίως στη νότια Ευρώπη και ειδικά στη βόρεια Ισπανία και τη νοτιοδυτική Γαλλία τον Ιούλιο. Ο Ιούλιος αναδείχθηκε ως ο θερμότερος μήνας, όμως οι εκτιμώμενες μεταβολές στη θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερες κατά τον Αύγουστο, όπου παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες αυξήσεις των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών και αυξήσεις στη συχνότητα των φαινομένων καύσωνα. Η συχνότητα των φαινομένων καύσωνα αναμένεται να αυξηθεί, όπως και η διάρκειά τους σε 6-7 ημέρες.

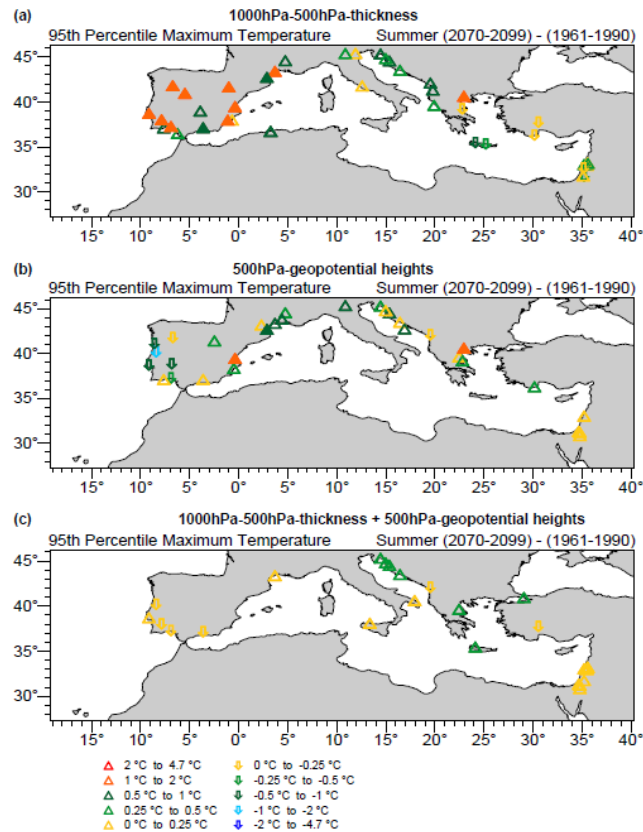
7.5 Οι Hertig et al. 2010, έκαναν μελλοντικές εκτιμήσεις για τον 21ο αιώνα, με βάση τη μεταβολή των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τη χρήση διαφορετικών ειδών προγνωστών. Συγκεκριμένα, η μελέτη έγινε με βάση τρία είδη προγνωστών, το πάχος μεταξύ των γεωδυναμικών υψών 1000-500Pha, το γεωδυναμικό ύψος των 500Pha και του συνδυασμού αυτών των δύο. Η μελέτη του δείκτη του 95ου εκατοστημορίου των

μέγιστων θερμοκρασιών της θερμής περιόδου (Σχήμα 25), 2070-2099, βασίστηκαν στην περίοδο αναφοράς 1961-1990. Η στατιστική συρρίκνωση επιτεύχθηκε με βάση το μοντέλο ECHAM5/MPI-OM σύμφωνα με το SRES A1B σενάριο εκπομπών. Γενικά οι προγνώστες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας θεωρούνται αποτελεσματικοί κατά την εφαρμογή της στατιστικής συρρίκνωσης, καθώς οι κλιματικές μεταβλητές σχετίζονται με τη μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του προγνώστη πάχους μεταξύ των γεωδυναμικών υψών 1000-500Pha, αναμένονται μελλοντικές αυξήσεις του 95ου εκατοστημορίου των μέγιστων θερμοκρασιών σχεδόν σε όλες τις περιοχές της Μεσογείου. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρήθηκαν στην Ιβηρική χερσόνησο έως και πάνω από 2 °C, ενώ μικρές και ασήμαντες μειώσεις παρατηρήθηκαν στην Κύπρο. Αυξήσεις παρατηρήθηκαν επίσης για τις ακραία μέγιστες τιμές θερμοκρασίας, το καλοκαίρι στη Λισαβόνα, από 32 °C στις αρχές του 21ου αιώνα έως και περισσότερο από 35 °C εκατό χρόνια έπειτα. Αντιθέτως, ασήμαντες μειώσεις παρατηρήθηκαν στην περιοχή της Ιερουσαλήμ. Ο προγνώστης αυτός έχει την καλύτερη απόδοση για το 95ο εκατοστημόριο των μέγιστων θερμοκρασιών κατά τη θερινή περίοδο.

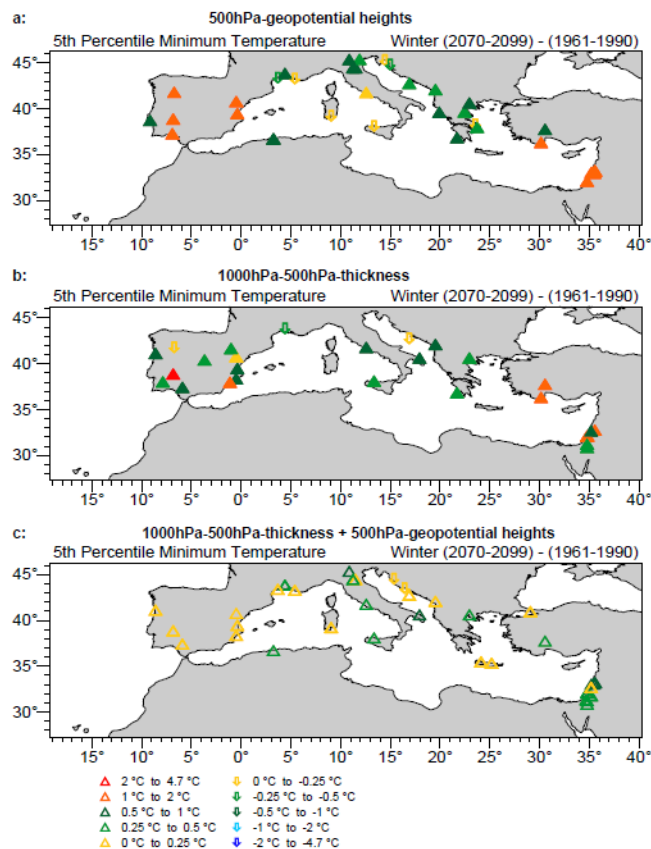
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη χρήση του γεωδυναμικού ύψους των 500Pha ως προγνώστη, ήταν σύμφωνα με αυτά του προηγούμενου προγνώστη, όμως το μέγεθος των αυξήσεων ήταν διαφορετικό, με μειώσεις στα δυτικά της Ιβηρικής χερσονήσου για τις ακραία μέγιστες θερμοκρασίες. Επίσης, ισχυρές μειώσεις της τάξης των 2 °C παρατηρήθηκαν στη Λισαβόνα για το 95ο εκατοστημόριο και μικρές αυξήσεις για το Sed'e.

Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω προγνωστών έγινε για την καλύτερη εκτίμηση των μεταβολών των ακραίων φαινομένων στο μέλλον. Έτσι, ο συνδυασμός κλιματικών και δυναμικών προγνωστών έδειξε μικρές αλλαγές στην τάξη των 0,5 °C στην περιοχή της Μεσογείου. Αντιθέτως, μεγάλες αυξήσεις μεταξύ 2-5 °C προβλέφθηκαν για τις μέσες θερμοκρασίες στην περιοχή της Μεσογείου κυρίως κατά τη θερινή περίοδο (Christensen et al., 2007).



Σχήμα 25. Αλλαγές του 95ου εκατοστημορίου της μέγιστης θερμοκρασίας το καλοκαίρι (Ιούνιος-Αύγουστος) σύμφωνα με στατιστικές αξιολογήσεις συρρίκνωσης χρησιμοποιώντας ECHAM5/MPI-OM προγνωστικούς δείκτες σύμφωνα με τις υποθέσεις του σεναρίου SRESA1B. Διαφορές των εποχιακών δεικτών των ακραίων γεγονότων μεταξύ των περιόδων 2070-2099 και 1961-1990 σε °C. Μέθοδος στατιστικής συρρίκνωσης: Ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης. (a) Προγνωστικός δείκτης: Στρώμα πάχους 1000 hPa-500 hPa. (b) Προγνωστικός δείκτης: Επίπεδο 500 hPa γεωδυναμικού ύψους. (c) Προγνωστικοί δείκτες: Στρώμα πάχους 1000 hPa-500 hPa και επίπεδο 500 hPa γεωδυναμικού ύψους (Hertig et al., 2010).

Οι μελλοντικές εκτιμήσεις για το 5ο εκατοστημόριο των ακραία ελάχιστων θερμοκρασιών κατά την ψυχρή περίοδο (Σχήμα 26) παρουσίασαν αυξήσεις 1-2 °C για την περίοδο 2070-2099, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς, τόσο στην ανατολική όσο και τη δυτική Μεσόγειο. Στην κεντρική Μεσόγειο οι αυξήσεις ήταν ασθενείς, της τάξης των 0,25-1 °C. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις παρατηρήθηκαν στην ανατολική Μεσόγειο. Ο προγνώστης του γεωδυναμικού ύψους των 500hPa έχει την καλύτερη απόδοση πρόβλεψης για το 5ο εκατοστημόριο των ελάχιστων θερμοκρασιών κατά την ψυχρή περίοδο.



Σχήμα 26. Αλλαγές στο 5ο εκατοστημόριο των ελάχιστων θερμοκρασιών το χειμώνα (Δεκέμβριος - Φεβρουάριος) σύμφωνα με στατιστικές αξιολογήσεις συρρίκνωσης χρησιμοποιώντας τους προγνωστικούς δείκτες ECHAM5 / MPI-OM σύμφωνα με τις υποθέσεις του σεναρίου SRES A1B. Διαφορές των εποχιακών δεικτών των ακραίων φαινομένων μεταξύ των περιόδων 2070-2099 και 1961-1990 σε °C. Μέθοδος στατιστικής συρρίκνωσης: Ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης. (α) Προγνωστικός δείκτης: Επίπεδο 500 hPa γεωδυναμικού ύψους. (β) Προγνωστικός δείκτης: Στρώμα πάχους 1000 hPa-500 hPa. (γ) Προγνωστικοί δείκτες: Στρώμα πάχους 1000 hPa-500 hPa και επίπεδο 500 hPa γεωδυναμικού ύψους (Hertig et al., 2010).

Όλα τα αποτελέσματα και των τριών τύπων προγνωστών φανέρωσαν αυξήσεις των ακραία ελάχιστων θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα.

7.6 Οι Ζερεφός κ. ά. 2011, εκτίμησαν με τη βοήθεια βάσεων δεδομένων και προσομοιώσεων προτύπων του Κέντρου Ερεύνης της Φυσικής της Ατμόσφαιρας και

Κλιματολογίας (ΚΕΦΑΚ) της Ακαδημίας Αθηνών της μελλοντικές κλιματικές μεταβολές στην Ελλάδα. Η εκτίμηση αυτή βασίστηκε στα σενάρια εκπομπών A2, A1B, B2, B1 τα οποία αναπτύχθηκαν από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC). Η Ελλάδα χωρίστηκε σε δεκατρείς επιμέρους περιοχές και έγινε μελέτη των μελλοντικών μεταβολών των μέσων εποχικών και ετήσιων τιμών έξι κλιματικών παραμέτρων για τις χρονικές περιόδους 2021-2050 και 2071-2100. Ως περίοδος αναφοράς ορίστηκε η περίοδος 1961-1990. Για τη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κλιματικών προσομοιώσεων RCM που βασίστηκαν στο πρόγραμμα PRUDEDNCE και ENSEMBLES με διακριτική ικανότητα 50 και 25 τετραγωνικά χιλιόμετρα, αντίστοιχα. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της στατιστικής υποκλιμάκωσης του μέσου όρου δέκα προσομοιώσεων με βάση το γενικό μοντέλο ατμοσφαιρικής και ωκεάνιας κυκλοφορίας (AOGCM).

Αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στην Ελλάδα έγινε φανερή και από τα τέσσερα σενάρια εκπομπών στο μέλλον, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς. Το σενάριο A2 κατέδειξε τις μεγαλύτερες και το σενάριο B1 τις μικρότερες μεταβολές. Επίσης, η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας προβλέφθηκε μεγαλύτερη κατά την περίοδο του καλοκαιριού και του φθινοπώρου και μικρότερη κατά το χειμώνα και την άνοιξη, με τις ηπειρωτικές περιοχές να επηρεάζονται περισσότερο από τις νησιωτικές.

Τα παρακάτω αποτελέσματα εξήχθησαν για την μελλοντική δεκαετία 2091-2100. Για το σενάριο εκπομπών A2 προβλέφθηκε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα κατά 5,4 °C το καλοκαίρι, 4,7 °C το φθινόπωρο, 3,9 °C το χειμώνα και την άνοιξη και 4,5 °C για το σύνολο του έτους. Για το σενάριο εκπομπών A1B προβλέφθηκε ότι η μέση θερμοκρασία θα αυξηθεί κατά 4,2 °C το καλοκαίρι, 3,2 °C το χειμώνα και 3,5 °C την άνοιξη, το φθινόπωρο και συνολικά για το έτος. Για το σενάριο εκπομπών B2 η προβλεπόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ήταν εμφανώς μικρότερη των δύο προηγούμενων σεναρίων και υπολογίστηκε περίπου 1,3 °C μικρότερη για όλες τις περιόδους σε σχέση με τα αποτελέσματα του σεναρίου A2. Τέλος, για το σενάριο εκπομπών B1, η μέση θερμοκρασία υπολογίστηκε ότι θα αυξηθεί κατά 3 °C το καλοκαίρι, 2 °C το χειμώνα, 2,2 °C την άνοιξη και 2,4 °C το φθινόπωρο και κατά το σύνολο του έτους. Έγινε φανερό ότι οι τάσεις της μέσης θερμοκρασίας των όλων σεναρίων εκπομπών για τον 21ο αιώνα είναι ανοδικές. Συγκεκριμένα, για την περίοδο 2071-2100 υπολογίσθηκαν ως 0,5 °C/δεκαετία για το σενάριο A2, 0,4 °C/δεκαετία για το σενάριο A1B, 0,25 °C/δεκαετία για το σενάριο B2 και 0,1 °C/ δεκαετία για το σενάριο B1.

Για την εκτίμηση των μελλοντικών μεταβολών στα χαρακτηριστικά των ακραίων καιρικών φαινομένων, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του περιοχικού κλιματικού προτύπου RACMO2 του Βασιλικού Μετεωρολογικού Ινστιτούτου της Ολλανδίας (KNMI), με διακριτική ικανότητα 25 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Τα δεδομένα δημιουργήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος ENSEMBLES, με τη συμμετοχή του Εθνικού Μετεωροσκοπείου Αθηνών. Και εδώ, η περίοδος 1961-1990 ορίστηκε ως η περίοδος αναφοράς, η μελλοντική περίοδος χωρίστηκε στις δύο επιμέρους περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 και η Ελληνική περιοχή σε δεκατρείς επιμέρους περιοχές.

Οι ελάχιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα εκτιμήθηκε ότι θα αυξηθούν κατά 1,5 °C και 3,5 °C για τις αντίστοιχες μελλοντικές περιόδους 2021-2050 και 2071-2100. Γενικότερα, η αύξηση των ελάχιστων θερμοκρασιών θα είναι εντονότερη στις πιο ορεινές περιοχές, όπως η οροσειρά της Πίνδου και της βόρειας Ελλάδας, όπου υπολογίστηκε στους 2 °C για την περίοδο 2021-2050 και στους 4 °C για την περίοδο 2071-2100.

Οι μέγιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού θα αυξηθούν περισσότερο από 1,5 °C, φθάνοντας σε μερικές περιπτώσεις τους 2,5 °C για την περίοδο 2021-2050. Για την περίοδο 2071-2100 η αντίστοιχη αύξηση θα φτάσει ακόμα και τους 5 °C. Οι περιοχές που θα επηρεασθούν περισσότερο είναι οι ηπειρωτικές, στο εσωτερικό της χώρας, που δεν επηρεάζονται από τη θάλασσα. Αντίθετα, οι περιοχές που επηρεάζονται από τη θαλάσσια αύρα εκτιμήθηκε ότι θα παρουσιάσουν σημαντικά μικρότερες μεταβολές των αντίστοιχων θερμοκρασιών.

Αύξηση θα παρατηρηθεί στον αριθμό των ημερών, σε ετήσια βάση, όπου ημερήσια θερμοκρασία ξεπερνά τους 35 °C, κυρίως στις πεδινές ηπειρωτικές περιοχές της Στερεάς Ελλάδος, της Θεσσαλίας, της νότιας Πελοποννήσου και της κεντρικής Μακεδονίας. Εκεί, ο αριθμός των ημερών αυτών υπολογίστηκε ότι θα αυξηθεί κατά είκοσι ημέρες για την περίοδο 2021-2050 και κατά σαράντα ημέρες για την περίοδο 2071-2100. Στην Κρήτη και την Αττική, ο αριθμός των ημερών αυτών δε θα υπερβαίνει τις δεκαπέντε επιπλέον ημέρες για την περίοδο 2021-2050 και τις τριάντα επιπλέον ημέρες για την περίοδο 2071-2100. Τέλος, στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου πελάγους η αύξηση υπολογίστηκε στις δέκα περισσότερες ημέρες για την περίοδο 2021-2050 και δεκαπέντε για την περίοδο 2071-2100.

Ο αριθμός των θερμών νυκτών επίσης θα αυξηθεί σε ετήσια βάση. Ως θερμές νύκτες, ορίστηκαν εκείνες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια την νύκτας ξεπερνά τους 20 °C. Οι παράκτιες και νησιωτικές περιοχές θα επηρεασθούν περισσότερο από την

αύξηση αυτή σε σχέση με τις ηπειρωτικές. Στην Κρήτη, τις παράκτιες περιοχές της ανατολικής Ελλάδος και τα νησιά του Αιγαίου η αύξηση υπολογίστηκε στις σαράντα επιπλέον ημέρες για την περίοδο 2021-2050 και τις ογδόντα επιπλέον ημέρες για την περίοδο 2071-2100. Για δυτική Μακεδονία, εκτιμήθηκαν οι μικρότερες αυξήσεις, έως δεκαπέντε ημέρες για την περίοδο 2021-2050 και έως τριάντα ημέρες για την περίοδο 2071-2100.

Τέλος, ο αριθμός των νυκτών με παγετό θα μειωθεί σε ετήσια βάση. Μείωση της τάξης των δεκαπέντε ημερών για την περίοδο 2021-2050 και των σαράντα ημερών για την περίοδο 2071-2100 υπολογίστηκε για τη Μακεδονία και τη Θράκη. Στις ηπειρωτικές περιοχές της Θεσσαλίας και της Πελοποννήσου οι μειώσεις εκτιμήθηκαν στις δέκα έως δεκαπέντε ημέρες για την περίοδο 2021-2050 και στις εικοσιπέντε ημέρες για την περίοδο 2071-2100. Για υπόλοιπες περιοχές του Ελλαδικού χώρου, εκτιμήθηκαν μικρότερες μειώσεις.

7.7 Οι Nastos et al. 2014, μελέτησαν τις προσομοιώσεις καυσώνων βασισμένοι στο σενάριο εκπομπών SRES A1B για διερευνήσουν αν τα ακραία αυτά καιρικά φαινόμενα θα είναι πιο συχνά στο μέλλον για την Ελλάδα. Η μελέτη βασίστηκε στην ανάλυση αποτελεσμάτων έξι προσομοιώσεων RCM, με διακριτική ικανότητα 25 τετραγωνικά χιλιόμετρα, που βασίστηκαν στο Ευρωπαϊκό πρόγραμμα ENSEMBLES.

Οι κλιματικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη χωρίστηκαν σε τρεις κατηγορίες, του απόλυτους δείκτες, τους δείκτες εκατοστημορίων και τους δείκτες διάρκειας, όπως ορίστηκαν από την ομάδα εμπειρογνομόνων CCI/CLIVAR/JCOMM για την Ανίχνευση της Κλιματικής Αλλαγής και Δείκτες (CCDI). Οι απόλυτοι δείκτες σχετίζονται με τον αριθμό των ημερών όπου η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 25 °C (SU25) και τους 30 °C (SU30) και η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 20 °C (TR20). Επίσης, με την μέγιστη τιμή της ημερήσιας μέγιστης (TXx) και ελάχιστης (TNx) θερμοκρασίας. Οι δείκτες εκατοστημορίων αφορούν τον αριθμό ημερών όπου η μέγιστη (TX90p) και ελάχιστη (TN90p) θερμοκρασία ξεπερνούν το 90ο εκατοστημόριο της κατανομής θερμοκρασιών της περιόδου αναφοράς. Τέλος, ο δείκτης διάρκειας σχετίζεται με τη διάρκεια των φαινομένων καύσωνα (WSDI). Ως χρονική περίοδος αναφοράς ορίστηκε η περίοδος 1961-1990 και η μελλοντική περίοδος χωρίστηκε στις περιόδους 2031-2050 και 2071-2100.

Αυξήσεις προβλέφθηκαν για το δείκτη SU25 της τάξης των 18-27 ημερών για την περίοδο 2031-2050 και των 32-48 ημερών για την περίοδο 2071-2100 στις ορεινές

ηπειρωτικές περιοχές και την Κρήτη. Για τις παράκτιες περιοχές του νοτίου Αιγαίου ο δείκτης SU25 εκτιμήθηκε ότι θα αυξηθεί από 35 έως 53 ημέρες για την περίοδο 2031-2050 και από 52 έως 72 ημέρες για την περίοδο 2071-2100.

Οι αυξήσεις του δείκτη SU30 για την περίοδο 2031-2050 συνοψίσθηκαν στις 22-30 ημέρες στις ηπειρωτικές περιοχές και τις 5 ημέρες στις παράκτιες περιοχές, και για την περίοδο 2071-2100 στις 50 και 20-35 ημέρες, αντίστοιχα. Μια εποχική μεταβλητότητα έγινε εμφανής για το δείκτη SU30. Έτσι, για το καλοκαίρι της περιόδου 2031-2050 εκτιμήθηκαν αυξήσεις της τάξης των 14-24 ημερών και των 24-38 ημερών για την περίοδο 2071-2100 στις ηπειρωτικές περιοχές την Ελλάδα, τα νησιά του ανατολικού Αιγαίου και τις παράκτιες περιοχές της Τουρκίας. Το φθινόπωρο αύξηση της τάξης των 6 και 14 ημερών παρατηρήθηκε στην ηπειρωτική Ελλάδα και τις δυτικές παράκτιες περιοχές για τις περιόδους 2031-2050 και 2071-2100, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης δεν παρατηρήθηκαν ημέρες που να ικανοποιούν τα κριτήρια του δείκτη SU30.

Οι μελλοντικές αυξήσεις των τιμών της μέγιστης ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας, TXx, υπολογίσθηκαν στους 2,4-3 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και τους 2-2,2 °C στις θαλάσσιες περιοχές για την περίοδο 2031-2050. Για την περίοδο 2071-2100 αυτή η αύξηση υπολογίσθηκε στους 4,4-5,4 °C και τους 3,4-4,2 °C για τις ηπειρωτικές και θαλάσσιες περιοχές, αντίστοιχα. Αυξήσεις παρατηρήθηκαν επίσης στον αριθμό των ημερών που ικανοποιούν τα κριτήρια του δείκτη TXx σύμφωνα με την περίοδο αναφοράς. Έτσι, κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι αυξήσεις αυτές υπολογίσθηκαν στις 4 και 10 ημέρες για τις ηπειρωτικές περιοχές και τις 10 και 21-30 ημέρες για τις θαλάσσιες περιοχές, για τις περιόδους 2031-2050 και 2071-2100, αντίστοιχα. Την άνοιξη οι ημέρες αυτές εκτιμήθηκε ότι θα αυξηθούν κατά 5 και 9 ημέρες στις ηπειρωτικές περιοχές, και 7-12 και 15-21 ημέρες στις θαλάσσιες περιοχές για τις περιόδους 2031-2050 και 2071-2100, αντίστοιχα. Το καλοκαίρι η αύξηση υπολογίσθηκε στις 5-12 ημέρες στις ηπειρωτικές και 17-35 ημέρες στις θαλάσσιες περιοχές για την περίοδο 2031-2050, και 12-30 και 36-54 ημέρες για τις αντίστοιχες περιοχές για την περίοδο 2071-2100. Τέλος, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου η αύξηση αυτή για την περίοδο 2031-2050 προβλέφθηκε ότι θα είναι της τάξης των 1-5 ημερών στις ηπειρωτικές περιοχές και των 10-21 ημερών στις θαλάσσιες περιοχές, και για την περίοδο 2071-2100 της τάξης των 9-15 και 18-36 ημερών, αντίστοιχα.

Στο κοντινό μέλλον, 2031-2050, ο αριθμός των ημερών που ικανοποιούν το κριτήριο του δείκτη TR20 θα αυξηθεί κατά 9 και 39 ημέρες για τις ηπειρωτικές και

νοτιοανατολικές περιοχές του Αιγαίου, αντίστοιχα. Για την περίοδο 2071-2100 οι αυξήσεις υπολογίζονται σε 28 και 60 ημέρες για τις αντίστοιχες προαναφερθείσες περιοχές. Από τις εκτιμήσεις για την εποχιακή μεταβλητότητα οι αυξήσεις που προέκυψαν για το καλοκαίρι είναι της τάξης των 12-30 ημερών στις ηπειρωτικές και των 7-15 ημερών στις θαλάσσιες περιοχές για την περίοδο 2031-2050, και της τάξης των 30-43 και 10-20 ημερών για τις αντίστοιχες περιοχές κατά την περίοδο 2071-2100. Το φθινόπωρο η αύξηση αυτή θα φτάσει τις 20 και 30 ημέρες για τις αντίστοιχες μελλοντικές περιόδους στις θαλάσσιες περιοχές, ενώ κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης δεν παρατηρήθηκαν αυξήσεις.

Οι μελλοντικές αυξήσεις των τιμών της μέγιστης ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας, TN_x , υπολογίσθηκαν στους 2,6-2,8 °C στις ηπειρωτικές περιοχές και τους 2-2,4 °C στις θαλάσσιες περιοχές για την περίοδο 2031-2050. Για την περίοδο 2071-2100 η εκτιμώμενη αύξηση ήταν της τάξης των 4,6-5,4 °C για την ηπειρωτική Ελλάδα και των 3,6-4,4 °C για τις θαλάσσιες περιοχές. Αυξήσεις παρατηρήθηκαν και για τον αριθμό των ημερών που ικανοποιούν τα κριτήρια του δείκτη TN_x σύμφωνα με την περίοδο αναφοράς. Έτσι, κατά τη διάρκεια του χειμώνα οι αυξήσεις αυτές υπολογίσθηκαν στις 5 και 6-12 ημέρες στις ηπειρωτικές περιοχές, και τις 10 και 15-21 ημέρες στις θαλάσσιες περιοχές για τις περιόδους 2031-2050 και 2071-2100 αντίστοιχα. Την άνοιξη ο αριθμός των ημερών στις ηπειρωτικές περιοχές θα αυξηθεί κατά 3-8 και 9-15 ημέρες για τις περιόδους 2031-2050 και 2071-2100, αντίστοιχα. Στις θαλάσσιες περιοχές θα αυξηθεί κατά 10-12 και 18-24 ημέρες, αντίστοιχα. Το καλοκαίρι ο αριθμός των ημερών θα αυξηθεί κατά 12-16 και 21-39 ημέρες στις ηπειρωτικές περιοχές, και 21-35 και 40-57 ημέρες στις θαλάσσιες περιοχές για τις αντίστοιχες περιόδους 2031-2050 και 2071-2100. Τέλος, κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου για την περίοδο 2031-2050 ο αριθμός των ημερών θα αυξηθεί κατά 5-9 και 12-21 ημέρες στις ηπειρωτικές και θαλάσσιες περιοχές, αντίστοιχα. Για την περίοδο 2071-2100 θα αυξηθούν κατά 12-20 και 20-36 ημέρες για τις αντίστοιχες περιοχές.

Οι «θερμές ημέρες» που αντιπροσωπεύουν το δείκτη $TX90p$, υπολογίσθηκε ότι θα αυξηθούν από 53 έως 101 ημέρες στις ηπειρωτικές περιοχές και από 125 έως 181 ημέρες στις θαλάσσιες περιοχές για την περίοδο 2031-2050. Για την περίοδο 2071-2100 η αύξηση αυτή είναι της τάξης των 105 έως 205 ημερών και των 215 έως 285 ημερών για τις αντίστοιχες περιοχές.

Οι θερμές νύκτες, $TN90p$, θα αυξηθούν από 77 έως 101 ημέρες στις ηπειρωτικές περιοχές και από 117 έως 181 ημέρες στις θαλάσσιες περιοχές στο κοντινό μέλλον, 2031-

2050. Για την περίοδο 2071-2100 η αύξηση αυτή υπολογίσθηκε στις 133-181 ημέρες για τις ηπειρωτικές και τις 197-253 ημέρες για τις θαλάσσιες περιοχές. Οι αυξήσεις αυτές εκτιμήθηκε ότι θα πλήξουν ιδιαίτερα την περιοχή τους νότιου και νοτιοανατολικού Αιγαίου και του Ιονίου πελάγους.

Ο δείκτης διαρκείας καύσωνα, WSDI, παρουσίασε αυξήσεις της τάξης των 26-66 ημερών στις ηπειρωτικές περιοχές και των 90-154 ημερών στην περιοχή του νοτίου Αιγαίου για την περίοδο 2031-2050. Για την περίοδο 2071-2100, οι αυξήσεις υπολογίσθηκαν στις 56-121 ημέρες για την ηπειρωτική Ελλάδα και τις 160-290 ημέρες για την περιοχή του νοτιοανατολικού Ιονίου πελάγους.

8. Συμπεράσματα

Όσον αφορά τα ακραία φαινόμενα μέγιστων θερμοκρασιών είναι σίγουρο ότι σύμφωνα με μελλοντικές εκτιμήσεις η Ελλάδα, θα βιώσει πιο ακραία θερμές ημέρες, όπως και η Μεσόγειος. Αυτή η αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών θα επιφέρει μια μεταβολή του κλίματος προς πιο ξηρές συνθήκες (Kostopoulou et al., 2005). Αύξηση παρατηρείται επίσης στον ετήσιο αριθμό θερμών νυκτών.

Η συχνότητα των ακραία θερμών φαινομένων κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους θα αυξηθεί σημαντικά υπό την αναμενόμενη μελλοντική υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυξήσεις παρατηρήθηκαν στον αριθμό των πολύ θερμών νυκτών και ημερών, οι οποίες είναι ιδιαίτερα έντονες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Kostopoulou et al., 2005).

Μελλοντικά, όσον αφορά τον Ελληνικό χώρο, αναμένεται ότι οι υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας πιθανόν να παρατηρηθούν σε περιοχές των κλειστών πεδιάδων (λεκάνες) και ιδιαίτερα της πεδιάδας της Θεσσαλίας. Συγκεκριμένα, υπάρχει μια μικρή πιθανότητα της τάξης του 1% για θερμοκρασίες έως 47 °C να καταγραφούν στην πεδιάδα της Θεσσαλίας (Flocas et al., 1978).

Όσον αφορά τα ακραία φαινόμενα ελάχιστων θερμοκρασιών η περιοχή της ανατολικής Μεσογείου παρουσιάζει κάποιες αντίθετες τάσεις σε σύγκριση με τις παγκόσμιες εκτιμώμενες. Σε πολλές περιοχές του κόσμου ο αριθμός των ημερών παγετού έχει μειωθεί, αλλά πολλές περιοχές της ανατολικής Μεσογείου παρουσίασαν αυξανόμενες τάσεις του δείκτη ημερών παγετού σε ετήσια κλίμακα (Kostopoulou et al., 2005). Παρά το γεγονός ότι οι ψυχρές ημέρες μειώνονται, η έντασή τους πιθανόν να αυξάνεται. Τα ανατολικά τμήματα της Μεσογείου επηρεάζονται από τις τάσεις ψύξης παρά τη γενική τάση υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αυτό υποδεικνύει ότι οι άμεσες επιδράσεις της ακτινοβολίας μπορούν να τροποποιηθούν ουσιαστικά από άλλους παράγοντες, ιδίως την ατμοσφαιρική κυκλοφορία (Hertig et al., 2010).

Στην Ελλάδα, οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας έχουν παρατηρηθεί στα οροπέδια της βορειοδυτικής Μακεδονίας, στις κλειστές πεδιάδες της ανατολικής Μακεδονίας και στην πεδιάδα της Θεσσαλίας. Τέτοιες εξαιρετικά χαμηλές θερμοκρασίες στην περιοχή της βόρειας Ελλάδας οφείλονται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια των χειμερινών νυκτών, μάζες ψυχρού αέρα ρέουν από τα γύρω βουνά, προς τα κατόντη, στη λεκάνη αυτών των πεδιάδων. Επιπλέον, η έντονη νυκτερινή ακτινοβολία, μαζί με το χιονοκαλυμμένο έδαφος έχει ως αποτέλεσμα μια ακόμα ισχυρότερη μείωση της

θερμοκρασίας του αέρα. Η χαμηλότερη ελάχιστη θερμοκρασία που έχει καταγραφεί είναι -28°C (Πτολεμαΐδα) και υπάρχει μια μικρή πιθανότητα να εμφανιστούν ακόμη χαμηλότερες θερμοκρασίες, τόσο χαμηλές όσο -33°C (πεδιάδα των Φιλίππων) (Flocas et al., 1978).

Μετά τα μέσα της δεκαετίας του '80 η συχνότητα των θερμών ημερών αυξήθηκε και η συχνότητα των ψυχρών ημερών μειώθηκε, ακολουθούμενη από μείωση της έντασης των ψυχρών ημερών και μικρή αύξηση της έντασης των θερμών ημερών. Οι εκτιμώμενες αυξήσεις για τις ακραία ελάχιστες θερμοκρασίες το χειμώνα παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνοχή μεταξύ των διαφόρων στατιστικών μοντέλων σε σύγκριση με τις αλλαγές για τις ακραίες μέγιστες θερμοκρασίες το καλοκαίρι. Η αύξηση των τιμών των ελαχίστων θερμοκρασιών είναι ταχύτερη από αυτή των μέγιστων θερμοκρασιών (Hertig et al., 2010).

Η στατιστική μελέτη των ακραία ελαχίστων θερμοκρασιών το χειμώνα και των ακραία μέγιστων θερμοκρασιών το καλοκαίρι, υποδηλώνει ότι το ετήσιο εύρος των ακραίων θερμοκρασιών θα μειωθεί σε μεγάλα τμήματα της Μεσογείου κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, υπό συνθήκες ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σαφές για την περιοχή της ανατολικής Μεσογείου (Hertig et al., 2010).

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν τόσο για τις ακραία μέγιστες, όσο και για τις ακραία ελάχιστες θερμοκρασίες συνδέονται άμεσα με τα μεγάλης κλίμακας φαινόμενα ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Η αύξηση της αντικυκλωνικής κυκλοφορίας το καλοκαίρι, συνδέεται με μια δυτική και νοτιοδυτική ροή που μεταφέρει μάζες θερμού αέρα από τη βόρεια Αφρική στην Ελλάδα. Επιπλέον, αντικυκλωνική κυκλοφορία στην ανατολική και νοτιοανατολική Μεσόγειο έχουν ως αποτέλεσμα λιγότερο συχνούς Ετησίες ανέμους και κατά συνέπεια υψηλότερες θερμοκρασίες (Μαχαίρας et al., 2006). Όσον αφορά τις ελάχιστες θερμοκρασίες, οι αυξήσεις των τιμών τους που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του χειμώνα συνδέονται με μια ροή από τη βόρεια Ευρασία προς την Ελλάδα και την αύξηση της συχνότητας αντικυκλωνικών καταστάσεων (Φείδας et al., 2004). Ωστόσο, η πιθανότητα να σημειωθούν ακραίες τιμές μεγαλύτερες των εκτιμώμενων είναι της τάξεως του 1-2% (Flocas et al., 1978).

Κλιματικοί και δυναμικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τις ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη με ένα συνδυασμένο τρόπο. Η συμπερίληψη των προγνωστικών δεικτών μπορεί να επεκταθεί περαιτέρω καθώς επηρεάζουν τα ακραία θερμοκρασιακά γεγονότα, για παράδειγμα, εξετάζοντας επίσης

την υγρασία του εδάφους, την έκταση της κάλυψης του χιονιού, τη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας και τις συνθήκες ανέμου.

Για την αντιμετώπιση όλων των αρνητικών επιπτώσεων που επιφέρει η κλιματική αλλαγή, ιδιαίτερα των ακραίων φαινομένων θερμοκρασίας, είναι σημαντικό οι κλιματικές μελέτες να είναι διαθέσιμες στην επιστημονική κοινότητα και τις πολιτικές αρχές. Έτσι, θα είναι δυνατό να προβλεφθούν οι επιπτώσεις αυτές, να σχεδιασθούν και να εφαρμοσθούν κατάλληλα μέτρα για την αποτροπή και ελαχιστοποίησή τους, τόσο για τους ανθρώπους όσο και για το περιβάλλον.

9. Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

Ζερεφός Χ. (Συντονιστής της ΕΜΕΚΑ και της παρούσας έκδοσης) (2011). «Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής», Τράπεζα της Ελλάδος, σσ.30, 31, 35, 59, 64-67, 78, 85-89, 91, 92.

Κυριαννάκη Ι. (2006). «ΦΥΣΙΚΑ & ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ». Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Παράρτημα Χανίων, Τμήμα Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων. Πτυχιακή Εργασία. Χανιά, σσ.12, 13, 51, 52, 67.

Κωστοπούλου Ε., Μπερτσουκλή Μ. και Κίζος Α. (2015). «Εκτίμηση μελλοντικών κλιματικών αλλαγών με υπολογισμό κλιματικών δεικτών στα νησιά του βορειοανατολικού Αιγαίου». Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Λόφος Πανεπιστημίου, Μυτιλήνη 81100, Ελλάδα.

Μαριολόπουλος Η. Γ. (1938). «Το Κλίμα της Ελλάδος». Ακαδημία Αθηνών Κέντρον Ερεύνης Φυσικής της Ατμόσφαιρας και Κλιματολογίας. Δημοσίευμα , αρ. 7.

Μαριολόπουλος Η. Γ. (1982). «Επιτομή του Κλίματος της Ελλάδος». ΚΕΦΑΚ Ακαδημίας Αθηνών.

ΣΙΑΔΗΜΑ Μ., ΤΡΟΥΠΑΚΗΣ Α. (2009). «Η ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ (ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ, ΣΕΙΣΜΟΣ, ΘΥΕΛΛΕΣ, ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ, ΚΤΛ) ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ 3 ΑΣΦΑΛΙΣΤΙΚΩΝ ΕΤΑΙΡΙΩΝ». ΤΕΙ Καλαμάτας, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τμήμα Χρηματοοικονομικής και Ελεγκτικής. Πτυχιακή Εργασία. Καλαμάτα, σσ.93.

Ξενόγλωσση

Alpert P., Krichak S.O., Shafir H., Haim D., Osetinsky I. (2008). «Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the E. Mediterranean». *Global and Planetary Change* 63 (2008) 163–170, pp. 163-166, 170.

BALDI M., DALU G., MARACCHI G., PASQUI M., CESARONE F. (2006) «HEAT WAVES IN THE MEDITERRANEAN: A LOCAL FEATURE OR A LARGER-SCALE EFFECT?» *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, *Int. J. Climatol.* 26: 1477–1487 (2006), DOI: 10.1002/joc.1389. *Institute of Biometeorology, IBIMET – CNR, Via dei Taurini, 19-00185 Rome, Italy*, pp. 1478-1483, 1485.

Bartzokas A., Houssos E. E. (2005). «EXTREME TEMPERATURE EVENTS IN NW GREECE». *Proceedings of the 10th Int. Conf. on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modeling for Regulatory Purposes*. Laboratory of Meteorology, Department of Physics, University of Ioannina, Greece.

Cardil A., Molina D. M., Kobziar L. N. (2014). «Extreme temperature days and their potential impacts on southern Europe». *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 3005–3014, 2014, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/14/3005/2014/, doi:10.5194/nhess-14-3005-2014, pp.3006-3010, 3012.

Coumou D, Robinson A. (2013). «Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes». *ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS*, *Environ. Res. Lett.* 8 (2013) 034018 (6pp), doi:10.1088/1748-9326/8/3/034018.

Dankers R., Hiederer R. (2008). «Extreme Temperatures and Precipitation in Europe: Analysis of a High-Resolution Climate Change Scenario». *JCR Scientific and Technical Reports*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, pp.1, 5, 7, 20-22, 24, 25, 31-35, 39, 40, 57, 61.

Diaz H. F., Murnane R. J. (2008). «Climate extremes and society». Published by Cambridge University Press. Cambridge University Press 2008. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535840>.

Diffenbaugh N. S., Pal J. S., Giorgi F., Gao X. (2007). «Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot». *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 34, L11706, doi:10.1029/2007GL030000, 2007.

Efthymiadis D., Goodess C. M., Jones P. D. (2011). «Trends in Mediterranean gridded temperature extremes and large-scale circulation influences». *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 11, 2199–2214, 2011, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/2199/2011/, doi:10.5194/nhess-11-2199-2011.

Feidas H., Makrogiannis T., Bora-Senta E., (2004). «Trend analysis of air temperature time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955–2001». *Theor. Appl. Climatol.* 79, 185–208 (2004), DOI 10.1007/s00704-004-0064-5.

Fisher R., Tippett L. (1928). «Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample». *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, Vol 24, 180-190.

Flocas A. A., Angouridakis V. E. (1978). «Extreme Values Analysis of Air Temperature Over Greece». *Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B*, 27, 47-57 (1979). Institute of Meteorology and Climatology, University of Thessaloniki, Greece.

Founda D., Giannakopoulos C. (2009). «The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece — A typical summer in the future climate?». *Global and Planetary Change* 67 (2009) 227–236. National Observatory of Athens, Institute for Environmental Research and Sustainable Development. I. Metaxa & V. Pavlou Str., Penteli, GR-15236, Athens, Greece.

GILES B. D., FLOCAS A. A. (1984). «AIR TEMPERATURE VARIATIONS IN GREECE. PART 1. PERSISTENCE, TREND, AND FLUCTUATIONS». *International Journal of Climatology*, <https://doi.org/10.1002/joc.3370040508>.

Giorgi F., Lionello P. (2008). «Climate change projections for the Mediterranean region». *Global and Planetary Change*, Volume 63, Issues 2–3, September 2008, Pages 90-104, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2007.09.005>.

Goubanova K., Li L. (2006). «Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations». *Global and Planetary Change* 57 (2007) 27–42. *Laboratoire de Météorologie Dynamique*, LMD/IPSL/CNRS/UPMC, Paris, France.

Hertig E., Seubert S., Jacobeit J. (2010). «Temperature extremes in the Mediterranean area: trends in the past and assessments for the future». *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 2039–2050, 2010, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/2039/2010/, doi:10.5194/nhess-10-2039-2010. Institute for Geography, University of Augsburg, Germany.

Kioutsoukios I., Melas D., Zerefos C. (2010). «Statistical assessment of changes in climate extremes over Greece (1955–2002)». *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY, Int. J. Climatol.* 30: 1723–1737 (2010), DOI: 10.1002/joc.2030.

Kostopoulou E., Jones P. D. (2005). «Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean». *Meteorol. Atmos. Phys.* 89, 69–85 (2005), DOI 10.1007/s00703-005-0122-2. Climatic Research Unit, University of East Anglia, UK.

Kuglitsch F. G., Toreti A., Xoplaki E., Della-Marta P. M., Luterbacher J., Wanner H. (2009). «Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean». *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 114, D15108, doi:10.1029/2008JD011606, 2009.

Kuglitsch F. G., Toreti A., Xoplaki E., Della-Marta P. M., Zerefos C. S., Türkeş M., Luterbacher J. (2010). «Heat wave changes in the eastern Mediterranean since 1960». *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 37, L04802, doi:10.1029/2009GL041841, 2010.

Maheras, P., Flokas, H., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Vafiadis M. (2006). «Circulation types and extreme temperature changes in Greece». CLIMATE RESEARCH, Clim Res, Vol. 30: 161-174, 2006, DOI: 10.3354/cr030161.

Maheras, P., Patrikas, I., Karacostas, T., Anagnostopoulou, C. (2000). «Automatic classification of circulation types in Greece: methodology, description, frequency, variability and trend analysis». Theoretical and Applied Climatology December 2000, Volume 67, Issue 3–4, pp. 205–223 DOI: <https://doi.org/10.1007/s007040070010>.

Gerald M., Tebaldi C. (2004). «More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century». Vol. 305, Issue 5686, pp. 994-997 DOI: 10.1126/science.1098704.

Nastos P.T., Kapsomenakis J. (2014). «Regional climate model simulations of extreme air temperature in Greece. Abnormal or common records in the future climate?». Atmospheric Research 152 (2015) 43–60, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.02.005>.

PHILANDRAS C.M., NASTOS P.T., REPAPIS C.C. (2008). «AIR TEMPERATURE VARIABILITY AND TRENDS OVER GREECE». Global NEST Journal, Vol 10, No 2, pp 273-285, 2008.

Proedrou M., Theoharatos G., Cartalis C. (1997). «Variations and Trends in Annual and Seasonal Air Temperatures in Greece Determined from Ground and Satellite Measurements». Theor. Appl. Climatol. 57, 65-78 (1997), DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00867977>. Department of Applied Physics, University of Athens, Athens, Greece.

Robinson P. J. (2001). «On the Definition of a Heat Wave». *Department of Geography, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, North Carolina*. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0762:OTDOAH>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0762:OTDOAH>2.0.CO;2).

Sánchez E., Gallardo C., Gaertner M. A., Arribas A. , Castro M. (2004). «Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first

approach». Global and Planetary Change 44 (2004) 163–180, <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2004.06.010>. Facultad de Ciencias del Medio Ambiente, Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), Toledo, Spain.

Liang S., Li X., Wang J. (2012). «Urban Heat Island Effects». Advanced Remote Sensing, 24.2.3.

Varfi M. S., Karacostas T. S., Makrogiannis T. J., Flocas A. A. (2009). «Characteristics of the extreme warm and cold days over Greece». Adv. Geosci., 20, 45–50, 2009, www.adv-geosci.net/20/45/2009, <https://doi.org/10.5194/adgeo-20-45-2009>. Department of Meteorology and Climatology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece.

Xoplaki E., González-Rouco J. F., Luterbacher J., Wanner H. (2003). «Mediterranean summer air temperature variability and its connection to the large-scale atmospheric circulation and SSTs». Climate Dynamics, Volume 20, Issue 7-8, pp. 723-739 (2003). DOI: 10.1007/s00382-003-0304-x.

Ηλεκτρονικές πηγές

<https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/088.htm>

<https://www.britannica.com/science/heat-wave-meteorology>

https://en.wikipedia.org/wiki/Iberian_Peninsula#Climate