



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ
ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΕΡΡΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
& ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**



**ΔΙ-ΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»**

**ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΡΟΠΙΚΩΝ ΝΥΧΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΥΝΟΠΤΙΚΩΝ
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΣΙΝΙΑΡΗ Μ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

A.M 22012

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δρ. Νάστος Παναγιώτης, Αν. Καθηγητής Ε.Κ.Π.Α. (Επιβλέπων)

Δρ. Τσίρος Ιωάννης, Αν. Καθηγητής Γ.Π.Α.

Δρ. Παλιατσός Αθανάσιος, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Πειραιά

ΑΘΗΝΑ 2014

Αφιερώνεται,
όπως και κάθε τι άλλο στη ζωή μου,
στην οικογένειά μου: το σύζυγό μου Χάρη
και τα παιδιά μου Λεόντιο, Κατερίνα και Αιμιλία

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών MBA, «Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών», του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, υπό την επίβλεψη του αναπληρωτή καθηγητή κ. Παναγιώτη Νάστου. Θα ήθελα λοιπόν να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Νάστο Παναγιώτη, αναπληρωτή καθηγητή Γεωγραφίας και Κλιματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο που ανταποκρίνεται απολύτως στα επιστημονικά μου ενδιαφέροντα καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή του καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης.

Τις ευχαριστίες μου εκφράζω επίσης στον κ. Τσίρο Ιωάννη, αναπληρωτή καθηγητή του Γ.Π.Α. και τον κ. Παλιατσό Αθανάσιο, καθηγητή του Τ.Ε.Ι. Πειραιά, για την τιμή που μου έκαναν και δέχτηκαν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της μεταπτυχιακής εργασίας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τη συνάδελφό και φίλη μου Φραγκούλη Βιβιάννα Μ.Υ. της Ε.Μ.Υ. που πίστεψε σε μένα και με ενθάρρυνε σε όλο το στάδιο των σπουδών μου. Η βοήθεια που μου προσέφερε με τις γνώσεις της και τις συμβουλές της, υπήρξε καθοριστικής σημασίας. Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στη συμφοιτήτριά μου και τώρα 'μικρή' μου φίλη Καλύβα Δάφνη η οποία σε κάθε δύσκολη στιγμή ήταν δίπλα μου και με τη θετική σκέψη και το χαμόγελό της, μου παρείχε ανυπολόγιστη ηθική υποστήριξη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω, αν και μόνο αυτό δεν είναι αρκετό, την οικογένειά μου: το σύζυγό μου Χάρη και τα παιδιά μου Λεόντιο, Κατερίνα και Αιμιλία που όλο αυτό τον καιρό έκαναν υπομονή, συμμερίστηκαν τα άγχη και τις ανησυχίες μου και προσέφεραν ηθική και ψυχολογική συμπαράσταση. Χωρίς την παρουσία τους και τη στήριξή τους, τίποτε δε θα ήταν εφικτό. Γνωρίζω ότι το λιγότερο που τους οφείλω είναι χρόνος.

Χωροχρονική κατανομή των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα. Επίδραση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των συνοπτικών μετεωρολογικών ανωμαλιών

Σημαντικοί όροι: Τροπικές νύχτες, τάσεις, αποκλίσεις γεωδυναμικού ύψους, ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Περίληψη

Ως τροπικές νύχτες (TN) ορίζονται εκείνες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία αέρα ξεπερνά τους 20°C. Αυτές οι νύχτες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον, λόγω της επίδρασής τους στην θερμική άνεση των ανθρώπων κατά την διάρκεια της νύχτας, ρυθμίζοντας την ποιότητα και την διάρκεια του ύπνου. Η μελέτη αυτή παρουσιάζει την χωροχρονική διακύμανση και τις τάσεις των τροπικών νυχτών στην Ελληνική χερσόνησο κατά την περίοδο 1951-2004. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές των ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών από 22 σταθμούς του δικτύου της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (EMY), που καλύπτουν ομοιόμορφα την ελληνική περιφέρεια, καθώς και δεδομένα επανάλυσης από το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικής Πρόγνωσης/Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικών Ερευνών (NCEP/NCAR). Υπολογίστηκε ο ετήσιος αριθμός τροπικών νυχτών (EATN) για καθέναν από τους σταθμούς και αναλύεται η χωρική και χρονική κατανομή τους, ενώ ταυτόχρονα εξετάζεται και η διασύνδεσή τους με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας.

Για να εξετάσουμε την σχέση ανάμεσα στις τροπικές νύχτες στην Ελλάδα και την μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία, κατασκευάστηκαν χάρτες με τη μέση ατμοσφαιρική κυκλοφορία στα 300, 500 και 850hPa και τις αποκλίσεις τους από τη μέση τιμή 1981-2010 που συνδέονται με το 95° ποσοστημόριο των τροπικών νυχτών. Επίσης διερευνήθηκε αν και κατά πόσο οι τηλεσυνδέσεις σχετίζονται με τη μεταβολή των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα.

Από τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της μελέτης που διεξήχθη προκύπτει μία σημαντική τάση αύξησης των τροπικών νυχτών στην ελληνική επικράτεια στο μέλλον, η οποία είναι πιθανό να οφείλεται στην υπερθέρμανση του πλανήτη και το φαινόμενο της θερμικής νησίδας. Η αρχή αυτής της τάσης στους περισσότερους από τους εξεταζόμενους σταθμούς συνέβη στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Μεγαλύτερος ρυθμός αύξησης, ωστόσο, παρουσιάζεται στη νότια και ανατολική χώρα.

Οι αποκλίσεις της μεγάλης κλίμακας κυκλοφορίας που σχετίζονται με 95° ποσοστημόριο των τροπικών νυχτών φανερώνουν την επικράτηση υψηλότερων από τις κανονικές τιμές γεωδυναμικών υψών σε όλο το βάθος της τροπόσφαιρας πάνω από την Ελλάδα, ενώ το καλοκαίρι η αρνητική φάση του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI) και του δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού (NAOI) βρέθηκε να επηρεάζει αντίστροφα τις ελάχιστες θερμοκρασίες και τον αριθμό των τροπικών νυχτών.

Spatio-temporal variability of tropical nights over Greece. The impact of large scale atmospheric circulation patterns and meteorological anomalies on tropical nights

Key words: Tropical nights, trends, geopotential height anomaly pattern, atmospheric circulation

Abstract

Tropical nights (TNs) are defined as the days with a minimum air temperature higher than 20°C. These days are of great significance due to their impact on humans' thermal comfort at nights, modulating the quality and quantity of sleep. This study presents the spatio-temporal variability and trends of TNs over the Hellenic Peninsula during the period 1951–2004. The daily minimum temperature time series from 22 stations of the Hellenic National Meteorological Service (HNMS) network, uniformly covering the Greek region, and National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis datasets were used in the analysis. The Annual Number of Tropical Nights (ANTN) recorded in each of the stations, was analyzed along with their linkage to the atmospheric circulation indices within the wider Greek area.

In order to examine the relationship between tropical nights and large scale circulation, the 95th percentile of TNs was employed, in order to estimate the composite mean and anomalies of the geopotential heights (m) at 300, 500 and 850hPa level associated with these cases, with respect to 30 years climatology (1981-2010). It was also investigated if and how the variability of a particular teleconnection pattern is associated with tropical nights in Greece.

The findings of our analysis shows a significant positive trend pattern over the domain of study, which is likely due to global warming and the heat island phenomenon. The beginning of this trend occurred in the late 1970s across most of the examined sites. Higher trends, however, are detected in the South and East of Greece.

The large-scale circulation anomalies associated with the TN₉₅ cases reveals the prevalence of higher than normal geopotential height values throughout the whole depth of the troposphere over Greece. It was also found that the summer North Caspian Pattern Index (NCPI) and North Atlantic Oscillation Index (NAOI) negative phase, inversely affects the minimum temperatures and tropical nights.

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Abstract.....	5
Περιεχόμενα.....	6
Κατάλογος Σχημάτων	9
Κατάλογος Γραφημάτων.....	15
Κατάλογος Πινάκων	17
Εισαγωγή	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	20
Κλιματική Αλλαγή και οι Επιπτώσεις σε Παγκόσμιο Επίπεδο	20
1.1 Εισαγωγή	20
1.2 Κλίμα και παράγοντες που το διαμορφώνουν	21
1.3 Φαινόμενο θερμοκηπίου και θερμοκηπιακά αέρια	24
1.4 Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής	28
1.4.1 Κλιματική αλλαγή – Κλιματική μεταβλητότητα.....	28
1.4.2 Κλιματικά μοντέλα και σενάρια εκπομπών	35
1.5 Οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της σε παγκόσμιο επίπεδο.....	39
1.5.1 Οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή	40
1.5.2 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής	43
1.6 Ανακεφαλαίωση	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	49
Τροπικές νύχτες και κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα.....	49
2.1 Εισαγωγή	49
2.2 Το κλίμα της Ελλάδας.....	50
2.3 Η κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο και την Ελλάδα	51

2.4 Τροπικές νύχτες και κλιματική αλλαγή	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	68
Ατμοσφαιρικές τηλεσυνδέσεις και Δείκτες	68
3.1 Εισαγωγή	68
3.2 Τηλεσυνδέσεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας	68
3.3 Βασικές Τηλεσυνδέσεις - Δείκτες κυκλοφορίας	70
3.3.1 Ελ Νίνιο-Νότια Ταλάντωση (El Niño-Southern Oscillation ENSO).....	70
3.3.2 Βορειοατλαντική Ταλάντωση (North Atlantic Oscillation NAO)	74
3.3.3 Ταλάντωση Βόρειας θάλασσας-Κασπίας (North Sea-Caspian Pattern NCP)	75
3.3.4 Μεσογειακή Ταλάντωση (Mediterranean Oscillation MO).....	77
3.3.5 Αρκτική Ταλάντωση (Arctic Oscillation AO).....	78
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	82
Χωροχρονική μεταβλητότητα των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα	82
4.1 Εισαγωγή	82
4.2 Δεδομένα και μεθοδολογία	83
4.3 Χρονική διακύμανση των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα.....	85
4.3.1 Τάσεις τροπικών νυχτών.....	91
4.4 Τροπικές νύχτες και φαινόμενο αστικής θερμικής νησίδας.....	99
4.5 Χωρική διακύμανση των τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	108
Τροπικές νύχτες και συνοπτική κατάσταση.....	108
5.1 Εισαγωγή	108
5.2 Δεδομένα και μεθοδολογία	108
5.3 Τροπικές νύχτες και συνοπτική κατάσταση ανά σταθμό	109
5.4 Τροπικές νύχτες και συνοπτική κατάσταση ανά περιοχή.....	119

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	126
Τροπικές νύχτες και ατμοσφαιρική κυκλοφορία.....	126
6.1 Εισαγωγή	126
6.2 Δεδομένα και μεθοδολογία	126
6.3 Δείκτες κυκλοφορίας και ετήσιος αριθμός τροπικών νυχτών	128
6.4 Τροπικές νύχτες και ακραίες τιμές των δεικτών κυκλοφορίας	135
Συμπεράσματα-Προβληματισμοί.....	137
Μέτρα - Προτάσεις	139
Βιβλιογραφία	141
Ξένη Βιβλιογραφία.....	141
Ελληνική Βιβλιογραφία	146
Σελίδες στο Διαδίκτυο	147

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1 : Σχηματικό διάγραμμα του ενεργειακού ισοζυγίου της Γης (Trenbeth et al., 2009). ...	22
Σχήμα 2: Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας (Barbara Summey, NASA Goddard Visualization Analysis Lab. http://www.nasa.gov/).....	24
Σχήμα 3: Σχηματική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου όπως εφαρμόζεται στην ατμόσφαιρα (IPCC, 1996).....	26
Σχήμα 4: Ο κύκλος του νερού (http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreekhi.html).	26
Σχήμα 5: Ο κύκλος του άνθρακα (http://users.sch.gr).	27
Σχήμα 6: Οι κύκλοι του Milankovitch (IPCC, 2007).	30
Σχήμα 7: Συσχέτιση της ηλιακής δραστηριότητας με τη θερμοκρασία της Γης τα τελευταία 400 χρόνια (http://i34.tinypic.com/f28qjt.jpg).	30
Σχήμα 8: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εδάφους 11-χρόνων για το Βόρειο ημισφαίριο (T) και μήκος ηλιακού κύκλου (L) (Friis- Christensen and Svensmark, 1997).....	31
Σχήμα 9: Σχηματικό διάγραμμα των ηφαιστειακών προϊόντων που εισάγονται στην ατμόσφαιρα και τα αποτελέσματά τους (Simarski, 1992).	32
Σχήμα 10: Τα πέντε σημαντικότερα προβλήματα για το περιβάλλον στην ΕΕ-27 για τα έτη 2004 και 2007 (Υφαντόπουλος και Μητράκος, 2011).	34
Σχήμα 11: (α) Ετήσιες παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από το 1970 έως το 2004, (b) εκπομπές των διάφορων θερμοκηπικών αερίων το 2004 εκφρασμένες σε ισοδύναμο διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂ -eq) (c) τομείς που συνέβαλαν στις εκπομπές των διάφορων θερμοκηπικών αερίων το 2004 εκφρασμένες σε CO ₂ -eq (IPCC, 2007).	34
Σχήμα 12: Διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (http://people.uvawise.edu/pww8y/Reviews/ES/ESRevs/10GrnHsEfflImages.html).	36
Σχήμα 13: Γραφική απεικόνιση της μεταβολής της συγκέντρωσης του CO ₂ το μήνα Ιανουάριο από το σταθμό Mauna Loa για την περίοδο 1959-2014 (www.co2now.org).	37
Σχήμα 14: Σχηματική απεικόνιση των σεναρίων εκπομπών βάσει των κινητήριων δυνάμεων (IPCC, 2001).	38

Σχήμα 15: Παρατηρούμενες τάσεις (ημέρες ανά δεκαετία) της περιόδου 1951 - 2003 στη συχνότητα των ακραίων θερμοκρασιών με περίοδο αναφοράς το 1961–1990. Στους χάρτες για (α) τις κρύες νύχτες και (β) τις κρύες μέρες παριστάνεται το ποσοστό των ημερών που ήταν κάτω από το 10 ^ο εκατοστημόριο ενώ για (γ) τις θερμές νύχτες και (δ) τις ζεστές μέρες αυτό που ήταν πάνω από το 90 ^ο εκατοστημόριο. Οι μαύρες γραμμές περικλείουν τις περιοχές όπου οι τάσεις είναι σημαντικές στο επίπεδο του 95%. Κάτω από κάθε χάρτη είναι η παγκόσμια ετήσια χρονοσειρά των ανωμαλιών (σε σχέση με το 1961 έως το 1990). Η κόκκινη γραμμή δείχνει τις δεκαετείς διακυμάνσεις. (IPCC, 2007).	41
Σχήμα 16: Τάσεις των ετήσιων βροχοπτώσεων για την περίοδο 1901 έως 2005 (% ανά αιώνα) με περίοδο αναφοράς 1961-1990. Στις γκρι περιοχές δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα ώστε να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. (IPCC, 2007).	42
Σχήμα 17: Περίληψη των 10 φαινομένων που παρατηρούνται κατά την κλιματική αλλαγή (http://www.noaa.gov/stories2010/images/warmingindicators.jpg).	42
Σχήμα 18: Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (σε ισοδύναμους γιγατόνους διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος -GtCO ₂ -eq-) χωρίς τη λήψη πρόσθετων μέτρων για το κλίμα. Οι εκπομπές περιλαμβάνουν το CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O και φθοριούχα αέρια. (IPCC, 2007).	43
Σχήμα 19: Προσομοίωση της μεταβολής της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στην περιοχή της Ευρώπης – Μεσογείου για το A1B σενάριο και για διάφορα χρονικά διαστήματα του έτους (IPCC, 2007).	53
Σχήμα 20: Μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).	55
Σχήμα 21: Μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας το καλοκαίρι για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).	55
Σχήμα 22 Μεταβολή της στον αριθμό των εξαιρετικά θερμών ημερών για την περίοδο 2021 - 2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).	56
Σχήμα 23: Μεταβολή της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).	56
Σχήμα 24: Μεταβολή στον ολικό υετό το χειμώνα για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).	57
Σχήμα 25: Μεταβολή (επί τοις εκατό) στις περιόδους ξηρασίας για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).	57

Σχήμα 26: Ερημοποίηση στην Ανατολική Μεσόγειο (GRID Arendal, UNEP, 2009 τροποποιημένο).	58
Σχήμα 27: Παρατηρούμενες τάσεις ανά δεκαετία (%) στον αριθμό των τροπικών νυχτών που ξεπερνούν το 90% για την περίοδο 1951-2003 (Alexander et al., 2006).	59
Σχήμα 28: Μέσος αριθμός ημερών με $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$ και $T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$ από έξι περιοχικά κλιματικά μοντέλα για το σενάριο εκπομπών A1B για την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2021-2050 (μεσαία εικόνα) και 2071-2100 (δεξιά εικόνα) (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας, 2011).	60
Σχήμα 29: Αριθμός ημερών όπου η φαινόμενη θερμοκρασία ξεπερνά τους $40,6^{\circ}\text{C}$ την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2021-2050 (μεσαία εικόνα) και 2071-2100 (δεξιά εικόνα) (Fischer and Schär, 2010).	61
Σχήμα 30: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών την περίοδο 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο 1980-1999 κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Orlowsky and Senevirante, 2012).	61
Σχήμα 31: Μέσος αριθμός τροπικών νυχτών που εμφανίζονται τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο για την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2071-2100 (μεσαία εικόνα) και μεταβολή τους ανάμεσα στις δύο προηγούμενες περιόδους (δεξιά εικόνα) (http://www.eea.europa.eu).	62
Σχήμα 32: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών κατά το διπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO_2 (σταθερή συγκέντρωση 710ppm από 305ppm) (Fischer et al., 2011).	62
Σχήμα 33: Αλλαγές στον αριθμό τροπικών νυχτών μεταξύ 2021-2050 και 1961-1990 για επιλεγμένες αστικές περιοχές στην Ελλάδα (WWF Ελλάς, 2009).	63
Σχήμα 34: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών μεταξύ 2021-2050 και 1961-1990 για επιλεγμένες τουριστικές περιοχές στην Ελλάδα (WWF Ελλάς, 2009).	64
Σχήμα 35: Μέσος αριθμός τροπικών νυχτών ανά έτος για την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (αριστερή εικόνα) και μεταβολή του κατά την περίοδο 2070-2099 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (δεξιά εικόνα) (Kostopoulou et al., 2012).	65
Σχήμα 36: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών κατά την περίοδο (α) 2021-2050 και (β) 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας, 2011).	66
Σχήμα 37: Αριθμός τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο για την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2021-2050 (μεσαία εικόνα) και 2071-2100 (δεξιά εικόνα) (www.oikoskopio.gr/map/).	66

Σχήμα 38: Αριθμός τροπικών νυχτών για τη δυτική Ελλάδα (αριστερή εικόνα), την Κρήτη (μεσαία εικόνα) και το νότιο Αιγαίο (δεξιά εικόνα) (www.oikoskopio.gr/map/).	67
Σχήμα 39: Μεταβολή στον αριθμό των τροπικών νυχτών για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).	67
Σχήμα 40: Κανονικές συνθήκες στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό (http://www.pmel.noaa.gov). ..	71
Σχήμα 41: Συνθήκες El Niño στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό (http://www.pmel.noaa.gov).	72
Σχήμα 42: Συνθήκες La Niña στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό (http://www.pmel.noaa.gov).	73
Σχήμα 43: Βορειοατλαντική Κύμανση κατά τη θετική φάση (αριστερά) και κατά την αρνητική (δεξιά) (www.windows2universe.org/earth/climate/nao.html).	75
Σχήμα 44: Απεικόνιση των επιπτώσεων της θετικής φάσης (πάνω) και της αρνητικής φάσης (κάτω) στον καιρό του βορείου ημισφαιρίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα (www.ncdc.noaa.gov/paleo/ctl/clisci100.html).	76
Σχήμα 45: Το δίπολο Βόρειας Θάλασσας-Κασπίας Θάλασσας (Kutiel and Benaroch, 2002).	76
Σχήμα 46: Σχηματική αναπαράσταση των ανωμαλιών της κυκλοφορίας κατά τη θετική (α) και την αρνητική φάση (β) του NCP (Kutiel and Benaroch, 2002).	77
Σχήμα 47: Μεταβολή γεωδυναμικού ύψους (m) στην επιφάνεια των 500hPa στο Κάιρο και την Αλγερία (Conte et al., 1989).	78
Σχήμα 48: Οι θέσεις των αντιπροσωπευτικών σταθμών για τον ορισμό του δείκτη MO: (τρίγωνο για το δίπολο Αλγέρι-Κάιρο, τετράγωνο για το Γιβραλτάρ-Ισραήλ, κύκλος για τη Γαλλία-Λεβαντίνη και ρόμβος για Μασσαλία-Ιερουσαλήμ) (Criado-Aldeanueva and Sotto-Navarro, 2013).	79
Σχήμα 49: Επιπτώσεις της Αρκτικής ταλάντωσης στο βόρειο ημισφαίριο κατά τη θετική(αριστερά) και την αρνητική φάση (δεξιά) (nsidc.org/icelights/2012/02/02/the-arctic-oscillation-winter-storms-and-sea-ice/).	80
Σχήμα 50: Τιμές για τους δείκτες της Αρκτικής και Βορειοατλαντικής ταλάντωσης για την περίοδο 1951-2011 (www.conservationminnesota.org/weather/welcome-to-march-uary-near-record-territory-50-tomorrow/).	81
Σχήμα 51: Χάρτης της Ελλάδας με τις θέσεις των 22 μετεωρολογικών σταθμών	83
Σχήμα 52: Χωρική κατανομή του μέσου ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών.	87

Σχήμα 53: Χωρική κατανομή των τάσεων του EATN στην Ελλάδα για την περίοδο 1951-1976 (αριστερή εικόνα) και για την περίοδο 1977-2004 (δεξιά εικόνα) (οι κόκκινοι και μπλε αναλογικοί κύκλοι δείχνουν θετικές και αρνητικές τάσεις, αντίστοιχα).	98
Σχήμα 54: Χωρική κατανομή των τάσεων του EATN στην Ελλάδα για την περίοδο 1951-2004. 99	
Σχήμα 55: Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (EPA, 2008).	100
Σχήμα 56: Οι θέσεις των σταθμών της Νέας Φιλαδέλφειας (επάνω εικόνα) και του Τατοΐου (κάτω εικόνα) όπου διακρίνεται ο αστικός και περιαστικός/αγροτικός τους χαρακτήρας αντίστοιχα (Google Earth).	102
Σχήμα 57: Η διαίρεση του Ελλαδικού χώρου σε πέντε περιοχές και οι μετεωρολογικοί σταθμοί που περιλαμβάνουν.	104
Σχήμα 58: Οι τάσεις του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για την περίοδο 1960-2004 για τις πέντε περιοχές αριθμητικά (αριστερά) και γραφικά (δεξιά) (με γκρι σκίαση οι στατιστικά σημαντικές τάσεις στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).	107
Σχήμα 59: Περιοχές χαμηλών και υψηλών πιέσεων τον Ιανουάριο (αριστερή εικόνα) και τον Ιούλιο (δεξιά εικόνα) (apollo.lsc.vsc.edu).	109
Σχήμα 60: Μέσο γεωδυναμικό ύψος σε m στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.	112
Σχήμα 61: Μέσο γεωδυναμικό ύψος σε m στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.	114
Σχήμα 62: Μέση θερμοκρασία σε °K στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.	116
Σχήμα 63: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.	117
Σχήμα 64: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 850hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.	119
Σχήμα 65: Μέση ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας σε mb που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες σε επιλεγμένους σταθμούς μελέτης.	120
Σχήμα 66: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 300hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.	121

Σχήμα 67: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.	122
Σχήμα 68: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 850hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.	123
Σχήμα 69: Αποκλίσεις της θερμοκρασίας του αέρα στα 1000 hPa για την ώρα 00Z (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.	124
Σχήμα 70: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) στα 300hPa (αριστερή εικόνα), στα 500hPa (μεσαία εικόνα) και στα 850hPa (δεξιά εικόνα) που συνδέονται με τις ακραίες αρνητικές καλοκαιρινές τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI).	136
Σχήμα 71: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) στα 300hPa (αριστερή εικόνα), στα 500hPa (μεσαία εικόνα) και στα 850hPa (δεξιά εικόνα) που συνδέονται με τις ακραίες αρνητικές καλοκαιρινές τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI).	136
Σχήμα 72: Ο «καταρράχτης» της αβεβαιότητας (IPCC, 2001).	139

Κατάλογος Γραφημάτων

Γράφημα 1: Συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών ανά σταθμό για την περίοδο 1951-2004.	86
Γράφημα 2: Συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια του έτους.	87
Γράφημα 3: Συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών ανά μήνα στους 22 σταθμούς.	90
Γράφημα 4: Πορεία μέσου ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών στην Ελλάδα για την περίοδο 1960-2004.	94
Γράφημα 5: Πορεία του EATN για τους Μ.Σ. (Η κόκκινη γραμμή είναι η γραμμή παλινδρόμησης για την περίοδο 1951-2004, η μπλε για την 1950-1976 και η μπορντώ για την 1977-2004).	98
Γράφημα 6: Πορεία του EATN για τη Ν. Φιλαδέλφεια και το Τατόι (η κόκκινη γραμμή είναι η ευθεία παλινδρόμησης για την περίοδο 1951-2004, η μπλε για την 1950-1976 και η μπορντώ για την 1977-2004).	103
Γράφημα 7: Μέσος ετήσιος αριθμός τροπικών νυχτών ανά περιοχή.	105
Γράφημα 8: Κατανομή του EATN των πέντε περιοχών σε τεταρτημόρια.	106
Γράφημα 9: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του NCP και τον EATN.	129
Γράφημα 10: Χρονοσειρές του EATN (αριστερά) και του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας το καλοκαίρι (δεξιά).	130
Γράφημα 11: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).	130
Γράφημα 12: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του NAO και τον EATN.	131
Γράφημα 13: Χρονοσειρές του EATN (αριστερά) και του δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού το καλοκαίρι (δεξιά).	131
Γράφημα 14: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).	132
Γράφημα 15: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του MO και τον EATN.	132

Γράφημα 16: Χρονοσειρές του EATN (αριστερά) και του δείκτη Μεσογειακής ταλάντωσης το καλοκαίρι (δεξιά).	133
Γράφημα 17: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη Μεσογειακής ταλάντωσης το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).....	133
Γράφημα 18: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του ΑΟ και τον EATN.	134
Γράφημα 19: Χρονοσειρές του EATN (αριστερά) και του δείκτη Αρκτικής ταλάντωσης το καλοκαίρι (δεξιά).	134
Γράφημα 20: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη Αρκτικής ταλάντωσης το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).	135

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Προβλεπόμενη αύξηση της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας και άνοδος της στάθμης της θάλασσας μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα (για τα διάφορα σενάρια εκπομπών καθώς και για σταθερές εκπομπές με αυτές του έτους 2000) (IPCC, 2007).....	43
Πίνακας 2: Συντεταγμένες και υψόμετρο μετεωρολογικών σταθμών καθώς και περίοδος διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων.....	84
Πίνακας 3: Μέση ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο 1951-2004 στους επιλεγμένους Μ.Σ.	86
Πίνακας 4: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για τη συνολική περίοδο και τις δύο υποπεριόδους.	93
Πίνακας 5: Οι τάσεις του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για τις τρεις χρονικές περιόδους για κάθε Μ.Σ. (με γκρι σκίαση οι στατιστικά σημαντικές τάσεις στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).....	95
Πίνακας 6: Οι τάσεις του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για τις τρεις χρονικές περιόδους για τη Ν. Φιλαδέλφεια και το Τατόι.	102
Πίνακας 7: Η διαίρεση των Μ.Σ. σε γεωγραφικές περιοχές.....	104
Πίνακας 8: Περιγραφή των δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.	127
Πίνακας 9: Συσχέτιση ανάμεσα στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών και σε επιλεγμένους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας δείκτες (με γκρι σκίαση οι στατιστικά σημαντικές τάσεις στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).....	128
Πίνακας 10: Συσχέτιση του EATN με τους δείκτες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (όπου + μέτρια θετική συσχέτιση, - μέτρια αρνητική ενώ οι αντίστοιχες μικρές έχουν γραφτεί μέσα σε παρένθεση).	135

Εισαγωγή

Η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει επιφέρει σοβαρές και πιθανώς μόνιμες αλλαγές σε γεωλογικά, βιολογικά και οικολογικά συστήματα του πλανήτη μας. Σύμφωνα με τις προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων, ακραία κλιματικά φαινόμενα (καύσωνες, κύματα ψύχους, ξηρασίες, καταιγίδες και πλημμύρες) θα γίνουν ολοένα και πιο συχνά και πιο έντονα μέχρι το τέλος του αιώνα. Η αλλαγή του κλίματος συμβαίνει, τα αποτελέσματά της είναι ήδη ορατά και πρόκειται να επηρεάσουν το σύνολο του πλανήτη. Στις προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή η περιοχή της Μεσογείου έχει αναγνωριστεί ως ένα από τα «καυτά σημεία» για την αλλαγή του κλίματος όσον αφορά στην αύξηση της θερμοκρασίας, την έλλειψη βροχόπτωσης και τον αυξημένο κίνδυνο ξηρασίας (Giorgi, 2006). Οι χώρες δε, που βρίσκονται στην Ανατολική Μεσόγειο, συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας, είναι από τις πιο ευάλωτες περιοχές στην κλιματική αλλαγή (Giorgi and Lionello, 2008).

Η εμφάνιση τροπικών νυχτών (που ορίζονται ως τις ημέρες με ελάχιστη θερμοκρασία αέρα μεγαλύτερη από 20°C) εκτιμάται ότι είναι συχνότερη σε ένα θερμότερο κλίμα στην περιοχή της Μεσογείου (Nastos and Kapsomenakis, 2014). Ο αριθμός των τροπικών νυχτών υπολογίζεται να αυξηθεί από 1 έως 3 μήνες στο εγγύς μέλλον (Giorgi and Lionello, 2008; Giannakopoulos et al., 2011).

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη χωροχρονική διακύμανση των τροπικών νυχτών, οι οποίες έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία. Η παράμετρος αυτή μπορεί να οδηγήσει σε θερμοπληξία και υψηλότερα ποσοστά νοσηρότητας και θνησιμότητας καθώς τη νύχτα δεν επιτυγχάνεται η ανάκτηση των δυνάμεων του ανθρώπινου σώματος από την προσλαμβανόμενη θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας επιδεινώνοντας τις επιπτώσεις, η στέρηση ύπνου (Nastos and Mazarakis, 2008).

Για το σκοπό αυτό, έγινε προσπάθεια να παρουσιαστούν η χωροχρονική διακύμανση καθώς και οι τάσεις των τροπικών νυχτών στην Ελληνική χερσόνησο κατά την περίοδο 1951-2004 τόσο σε τοπικό όσο και σε εθνικό επίπεδο χρησιμοποιώντας τις χρονοσειρές της ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας για 22 σταθμούς σε όλη την Ελλάδα. Για τις μεγάλες αστικές περιοχές διερευνάται και η επίδραση του φαινομένου της θερμικής νησίδας στη συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών.

Επιπλέον είναι γνωστό το γεγονός ότι οι αλλαγές στο παγκόσμιο και το κλίμα μιας περιοχής καθορίζονται κυρίως από τη μεγάλη κλίμακα κυκλοφορία (Hurrell, 1995). Οι τηλεσυνδέσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο και είναι ορατές σε κλιματικές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία. Στην παρούσα εργασία η ατμοσφαιρική κυκλοφορία αντιπροσωπεύεται με τέσσερις δείκτες: το δείκτη ταλάντωσης μεταξύ Βόρειας θάλασσας και Κασπίας (NCPI), το

δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού (ΝΑΟΙ), το δείκτη Μεσογειακής ταλάντωσης (ΜΟΙ) και το δείκτη Αρκτικής ταλάντωσης (ΑΟΙ). Η συσχέτιση μεταξύ του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών που καταγράφηκαν σε κάθε ένα από τους σταθμούς και των δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας αναλύθηκαν έτσι ώστε να βρεθεί αν και πως το ένα επηρεάζει το άλλο.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο μέρος (Κεφάλαια 1 έως 3) παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά στις μέχρι τώρα καταγεγραμμένες μελέτες στο αντικείμενο ενδιαφέροντος. Το δεύτερο μέρος (Κεφάλαια 4 έως 6) περιλαμβάνει την ανάπτυξη της μεθοδολογίας, την εφαρμογή της μεθοδολογίας, την ερμηνεία των αποτελεσμάτων καθώς και τα τελικά συμπεράσματα.

Αναλυτικά:

Το 1^ο Κεφάλαιο έχει ως βασικό αντικείμενο τη θεωρητική και πρακτική προσέγγιση της κλιματικής αλλαγής και σ' αυτό το πλαίσιο παρατίθενται τα έως σήμερα κυριότερα επιστημονικά στοιχεία και προβλέψεις για την εξέλιξη του φαινομένου και τις επιπτώσεις του.

Στο 2^ο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η θεωρητική και πρακτική προσέγγιση της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα και η συμβολή αυτής της κλιματικής αλλαγής στη μεταβολή των τροπικών νυχτών.

Στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται η θεωρητική παρουσίαση των δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία καθώς είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης μεταβλητότητας του κλίματος.

Στο 4^ο Κεφάλαιο μελετάται η χωροχρονική διακύμανση και οι τάσεις των τροπικών νυχτών στην Ελληνική χερσόνησο για την περίοδο 1951-2004 αλλά και για δύο υποπεριόδους (1951-1976 και 1976-2004) ενώ εξετάζεται και η επίδραση του φαινομένου της θερμικής νησίδας.

Στο 5^ο Κεφάλαιο εξετάζεται η μέση συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όταν εμφανίζονται τροπικές νύχτες αλλά και οι αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους σε όλο το βάθος της τροπόσφαιρας που συνδέονται με τις ακραίες περιπτώσεις των τροπικών νυχτών.

Στο 6^ο Κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των δεικτών κυκλοφορίας στην εμφάνιση τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο έτσι ώστε να ερμηνευτεί η διακύμανση τους με βάση τη διακύμανση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Κλιματική Αλλαγή και οι Επιπτώσεις σε Παγκόσμιο Επίπεδο

1.1 Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή και η καταστροφή του περιβάλλοντος θεωρούνται από τα σημαντικότερα προβλήματα του σύγχρονου πολιτισμού σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι έντονες βροχοπτώσεις, οι καύσωνες, οι ξηρασίες, οι τυφώνες παρουσιάζουν έξαρση τα τελευταία χρόνια. Τις αιτίες των περιβαλλοντικών προβλημάτων πρέπει να τις αναζητήσει κανείς στις σχέσεις του ανθρώπου με τη φύση. Οι Revelle and Suess (1957) εξέφρασαν την άποψη: *“Το ανθρώπινο γένος εκτελεί σήμερα ένα γεωφυσικό πείραμα μεγάλης κλίμακας, που όμοιό του δεν μπορούσε να υπάρξει στο παρελθόν και ούτε μπορεί να επαναληφθεί στο μέλλον. Μέσα σε διάστημα λίγων αιώνων έχουμε απελευθερώσει στην ατμόσφαιρα και στον ωκεανό τον συμπυκνωμένο οργανικό άνθρακα που ήταν αποθηκευμένος σε ιζηματογενή πετρώματα για εκατοντάδες εκατομμύρια χρόνια”*. Ο έλεγχος της κλιματικής αλλαγής παραμένει, χωρίς αμφιβολία, μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που καλείται να αντιμετωπίσει σήμερα η ανθρωπότητα.

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως βασικό αντικείμενο τη θεωρητική και πρακτική προσέγγιση της κλιματικής αλλαγής και σ’ αυτό το πλαίσιο παρατίθενται τα έως σήμερα κυριότερα επιστημονικά στοιχεία και προβλέψεις για την εξέλιξη του φαινομένου και τις επιπτώσεις του.

Πιο συγκεκριμένα το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από τέσσερα μέρη. Στο πρώτο μέρος, αναγνωρίζοντας το σπουδαίο ρόλο που διαδραματίζει το κλίμα σε ολόκληρο το ζωικό και φυτικό βασίλειο, γίνεται εκτενής αναφορά σε αυτό καθώς και στους παράγοντες που το καθορίζουν τόσο σε παγκόσμιο όσο και τοπικό επίπεδο. Το δεύτερο μέρος παρουσιάζει το θεωρητικό πλαίσιο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αναλύει τα σημαντικότερα αέρια που το προκαλούν.

Στο τρίτο μέρος του παρόντος κεφαλαίου γίνεται αναφορά στη φύση και την προέλευση της κλιματικής αλλαγής καθώς και στα κλιματικά πρότυπα προσομοίωσης και τα σενάρια που αυτά ακολουθούν. Τέλος, στο τέταρτο μέρος παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές επιστημονικές προβλέψεις για κλιματικά χαρακτηριστικά, όπως η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις και η στάθμη της θάλασσας καθώς επίσης αναλύονται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμιο επίπεδο.

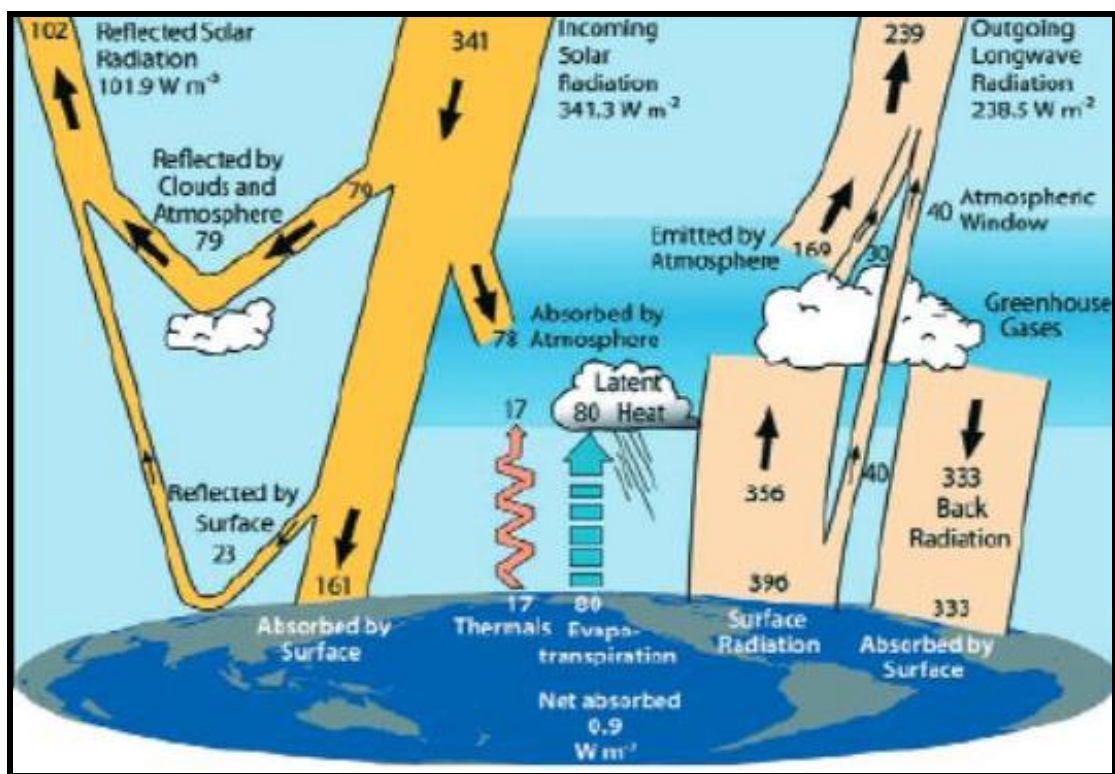
1.2 Κλίμα και παράγοντες που το διαμορφώνουν

Κλίμα ονομάζεται η μέση καιρική κατάσταση ή καλύτερα ο μέσος καιρός μιας περιοχής, που προκύπτει από τις παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα, τουλάχιστον 30 χρόνια (Meteorological Office). Τα διάφορα μετεωρολογικά στοιχεία είναι η θερμοκρασία του αέρα, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα (βροχή, χιόνι κ.λ.π.), ο άνεμος, η υγρασία του αέρα, η νέφωση, η ηλιοφάνεια κι άλλα.

Η λέξη κλίμα καθιερώθηκε στην αρχαιότητα από το ρήμα κλίνω, δηλ. την κλίση των ηλιακών ακτίνων προς την επιφάνεια της Γης. Τη σημασία της κλίσης αυτής στη θερμοκρασία του αέρα παρατήρησε πρώτος, ο Ερατοσθένης.

Η κατανόηση του τρόπου δημιουργίας του κλίματος είναι πολύ σημαντική διότι το κλίμα είναι η κορυφαία ανεξάρτητη μεταβλητή του περιβάλλοντος. Το ποσοστό στο οποίο η ενέργεια λαμβάνεται από τον ήλιο και το ποσοστό στο οποίο χάνεται στο διάστημα καθορίζουν το θερμοκρασιακό ισοζύγιο και το κλίμα της Γης. Το πώς επηρεάζουν, επιδρούν και τελικά διαμορφώνουν το κλίμα της Γης διάφοροι παράγοντες, όπως η σύσταση της ατμόσφαιρας, τα νέφη και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της Γης φαίνεται ξεκάθαρα από τη ροή και την ανακατανομή της ενέργειας στο σύστημα Γης-ατμόσφαιρας (Σχήμα 1).

Το ενεργειακό ισοζύγιο στην κορυφή της ατμόσφαιρας ρυθμίζει το ενεργειακό περιεχόμενο του συστήματος και αποτελείται από την εισερχόμενη και την ανακλώμενη ηλιακή ηλεκτρομαγνητική (ΗΜ) ακτινοβολία καθώς και τη γήινη ΗΜ ακτινοβολία που διαφεύγει στο διάστημα (Σχήμα 1). Η μέση ημερήσια ηλιακή ροή ακτινοβολίας που φτάνει στην κορυφή της ατμόσφαιρας είναι 341W/m^2 . Από αυτή το 30% ανακλάται πίσω στο διάστημα από την ατμόσφαιρα, τα νέφη και την επιφάνεια του εδάφους. Από την υπόλοιπη, περίπου το $1/3$ απορροφάται από την ατμόσφαιρα (78W/m^2) και τα $2/3$ φτάνουν στην επιφάνεια της Γης την οποία και θερμαίνουν (Trenbeth et al., 2009). Λόγω της θερμοκρασίας της, η επιφάνεια της Γης επιστρέφει ένα μεγάλο μέρος αυτής της θερμότητας στην ατμόσφαιρα με τη μορφή μεγάλου μήκους ΗΜ ακτινοβολίας (σε αντίθεση με την αντίστοιχη ηλιακή, που είναι μικρού μήκους ΗΜ ακτινοβολία). Από τα 396W/m^2 που εκπέμπει η επιφάνεια της Γης μόνο το 60% (239W/m^2) διαφεύγει στο διάστημα. Η υπόλοιπη ενέργεια απορροφάται στην ατμόσφαιρα από τα νέφη και τα αέρια του θερμοκηπίου (υδρατμοί, διοξείδιο του άνθρακα, όζον, μεθάνιο και οξείδια του αζώτου) καθώς αυτά διαθέτουν μεγάλη αδιαφάνεια στη μεγάλου μήκους γήινη ακτινοβολία. Η ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται σα μία δεύτερη πηγή θερμότητας (μετά τον ήλιο) και με τη σειρά της επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους προς την επιφάνεια της Γης, μέρος της οποίας απορροφάται από αυτή και τη θερμαίνει περαιτέρω. Αυτή η παγίδευση της θερμότητας στην ατμόσφαιρα, η οποία χωρίς την ύπαρξη της θα διέφευγε προς το διάστημα, δημιουργεί αυτό που ονομάζεται φυσικό φαινόμενο θερμοκηπίου (βλ. παρ. 1.2.2).



Σχήμα 1 : Σχηματικό διάγραμμα του ενεργειακού ισοζυγίου της Γης (Trenbeth et al., 2009).

Εκτός από τα αέρια του θερμοκηπίου σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο παίζουν τα νέφη, που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα και παρεμβάλλονται τόσο στη ροή της ηλιακής όσο και της γήινης ΗΜ ακτινοβολίας. Κατά πρώτο λόγο ανακλούν μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και κατά δεύτερο λόγο απορροφούν ακτινοβολία που λαμβάνουν από την επιφάνεια της Γης και επανεκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία παγιδεύοντας ενέργεια στο σύστημα Γης-ατμόσφαιρας. Ποιο από τα δύο φαινόμενα υπερισχύει εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως από το μέγεθος και τη συγκέντρωση των σταγονιδίων που σχηματίζουν το νέφος, από τη σύσταση-φάση του νέφους (αν αποτελείται από υγρά σταγονίδια ή παγοκρυστάλλους), από τη θερμοκρασία του και συνεπώς το ύψος στο οποίο βρίσκεται και το πάχος του.

Μία τρίτη συνιστώσα που επηρεάζει σημαντικά το ισοζύγιο ενέργειας του πλανήτη είναι τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας της Γης. Διαφορετικές περιοχές της Γης ανακλούν με διαφορετικό τρόπο την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια. Για παράδειγμα η επιφάνεια του ωκεανού ή η επιφάνεια της Γης που καλύπτεται από δάση έχει μικρή ανακλαστικότητα το οποίο σημαίνει ότι ανακλά ένα μικρό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει σε αυτήν ενώ απορροφά το μεγαλύτερο μέρος και θερμαίνεται. Αντίθετα οι έρημοι και οι επιφάνειες που καλύπτονται από πάγο ή χιόνι έχουν μεγάλη ανακλαστικότητα και στέλνουν πίσω στο διάστημα το μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που φτάνει σε αυτές.

Γενικά, η διαμόρφωση του κλίματος μιας περιοχής καθορίζεται από:

- Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Την απόκλιση του ήλιου.
- Την κατανομή ξηράς θάλασσας.
- Το γήινο ανάγλυφο.
- Τη φύση και την κατάσταση του εδάφους.
- Τα θαλάσσια ρεύματα.
- Τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου είναι ο σπουδαιότερος από τους παράγοντες γιατί αυτός σε συνδυασμό με την **απόκλιση του ήλιου** ρυθμίζει το ποσό της ηλιακής ενέργειας που δέχεται ο τόπος. Ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου η γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στη γήινη επιφάνεια αλλάζει. Έτσι στις περιοχές του ισημερινού οι ηλιακές ακτίνες πέφτουν κατακόρυφα στην εξωτερική επιφάνεια της ατμόσφαιρας, την οποία διαπερνούν κατακόρυφα διανύοντας μικρότερη απόσταση και φτάνουν στη Γη με το μεγαλύτερο μέρος της θερμικής τους ενέργειας. Όσο προχωρούμε προς τους πόλους, τόσο η γωνία πρόσπτωσης γίνεται μικρότερη της ορθής, με αποτέλεσμα οι ηλιακές ακτίνες να διανύουν μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα, ώσπου να φτάσουν στη Γη, κι αν λάβουμε υπόψη και το φαινόμενο της "σκεδάσεως", χάνουν αρκετά μεγάλο μέρος της θερμικής τους ενέργειας. Το ποσό της θερμότητας που δέχεται τελικά ο τόπος ρυθμίζει τη θερμοκρασία του εδάφους και του αέρα και αποτελεί το σπουδαιότερο κλιματικό στοιχείο. Οι θερμοκρασιακές διαφορές που παρατηρούνται στις περιοχές έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία των ανέμων.

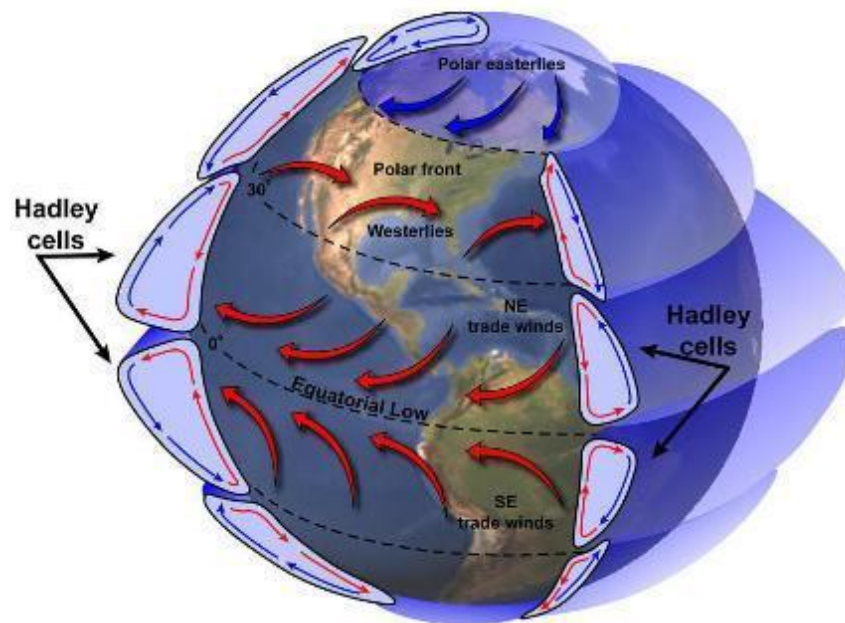
Η κατανομή ξηράς θάλασσας έχει μεγάλη επίδραση στη διαμόρφωση των κλιματικών συνθηκών εξαιτίας της διαφορετικής συμπεριφοράς των δύο αυτών στοιχείων. Αναφέρουμε συνοπτικά ότι η θερμοκρασία στη θάλασσα παρουσιάζει πιο ομοιόμορφη κατανομή (εξαιτίας της συνεχούς κίνησης των νερών και της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητας) από ότι στην ξηρά που το ανάγλυφο και η φύση του εδάφους δημιουργεί μεγάλες αντιθέσεις μεταξύ των διαφόρων τόπων. Το ποσό των υδρατμών πάνω από θαλάσσιες περιοχές είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι πάνω σε ηπειρωτικές περιοχές με αποτέλεσμα οι βροχές να είναι αφθονότερες. Επίσης οι άνεμοι πάνω από τις θάλασσες είναι ισχυρότεροι και σταθερότεροι γιατί δεν συναντούν μεγάλη τριβή.

Το γήινο ανάγλυφο ασκεί μεγάλη επίδραση στις κλιματικές συνθήκες. Για παράδειγμα η θερμοκρασία, η απόλυτη υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση ελαττώνονται με το ύψος. Το ανάγλυφο επίσης τροποποιεί τη ροή των ανέμων και επιδρά στη διανομή της βροχής.

Τα θαλάσσια ρεύματα επιδρούν τόσο στην κατανομή της θερμοκρασίας των θαλασσών, όσο και στις κλιματικές συνθήκες της ξηράς. Η πορεία και εξέλιξη των θαλάσσιων ρευμάτων

επηρεάζονται από την περιστροφή της Γης και τη δύναμη Coriolis που αναπτύσσεται εξαιτίας της. Αλλαγές στην κίνηση των θαλάσσιων ρευμάτων οδήγησαν σε κλιματικές αλλαγές στο παρελθόν.

Ο όρος **γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας** χρησιμοποιείται συνήθως όταν αναφερόμαστε στο πολυσύνθετο σύστημα των πλανητικών ανέμων και ιδιαίτερα στις κινήσεις αυτών μέσα στην τροπόσφαιρα και την κατώτατη στρατόσφαιρα. Η δύναμη που απαιτείται για την μετακίνηση των γιγάντιων πράγματι ατμοσφαιρικών μαζών παρέχεται από τις μεγάλες ενεργειακές αντιθέσεις μεταξύ των τροπικών και πολικών περιοχών. Αυτά τα γιγάντια κύματα αέρα που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα εξισορροπούν το κλίμα, φέρνοντας θερμό αέρα από τις τροπικές περιοχές στα βόρεια και ψυχρό αέρα από την Αρκτική στα νότια. Για την εξήγηση της μορφής της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας, πολλοί συμμετέχουν για την ανάπτυξη ιδεών (Lewis, 1998) κι έχουν προταθεί κατά καιρούς διάφορα μοντέλα. Το επικρατέστερο σήμερα είναι του E. Palmén (Newton, 1986) που φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2: Γενική Κυκλοφορία της Ατμόσφαιρας (Barbara Summey, NASA Goddard Visualization Analysis Lab. <http://www.nasa.gov/>).

1.3 Φαινόμενο θερμοκηπίου και θερμοκηπιακά αέρια

Ένα απλό αλλά χαρακτηριστικό φαινόμενο που οφείλεται στις απορροφητικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας στην περιοχή του γήινου φάσματος (4μm μέχρι μερικές δεκάδες μm στην περιοχή του μακρινού υπέρυθρου) είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αρχή που διέπει το φαινόμενο του θερμοκηπίου μας είναι γνωστή και μια πρώτη αναφορά σ' αυτό κάνει ο Γάλλος

μαθηματικός και φυσικός Ζοζέφ Φουριέ το 1822, ενώ έναν αιώνα αργότερα ο Σουηδός επιστήμονας Σβάντε Αρρένιους μας δίνει μία μάλλον πλήρη περιγραφή του (IPCC, 2007).

Το φαινόμενο πήρε το όνομά του επειδή η ατμόσφαιρα λειτουργεί όπως τα τοιχώματα ενός θερμοκηπίου: ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας, γνωστά και ως θερμοκηπιακά αέρια, επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη Γη, ενώ αντίθετα απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Η αδιαφάνεια που παρουσιάζει η ατμόσφαιρα στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπει η επιφάνεια του εδάφους έχει σαν αποτέλεσμα την παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (Σχήμα 3).

Η σπουδαιότητα του φαινομένου ξεπερνά την απλή εφαρμογή στα γεωργικά θερμοκήπια και εφαρμόζεται στη γενική επίδραση της παρουσίας της ατμόσφαιρας στη θερμοκρασία της Γης. Χωρίς αυτό το φαινόμενο η μέση θερμοκρασία του πλανήτη θα ήταν κατά 30°C πολύ χαμηλότερη: -18°C αντί +15°C που είναι σήμερα και η ύπαρξη ζωής, με τη μορφή που τη γνωρίζουμε, θα ήταν αδύνατη.

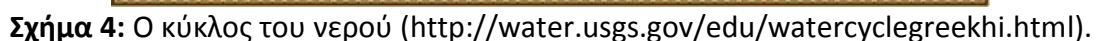
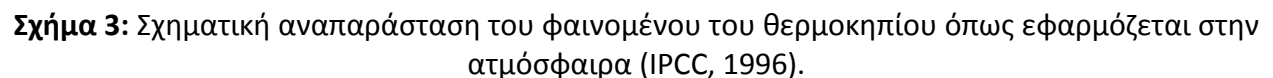
Τα αέρια του θερμοκηπίου είναι περίπου 20 και έχουν όγκο μικρότερο από 1% του συνολικού όγκου της ατμόσφαιρας. Τα σημαντικότερα είναι οι υδρατμοί (H₂O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) και το τροποσφαιρικό όζον (O₃).

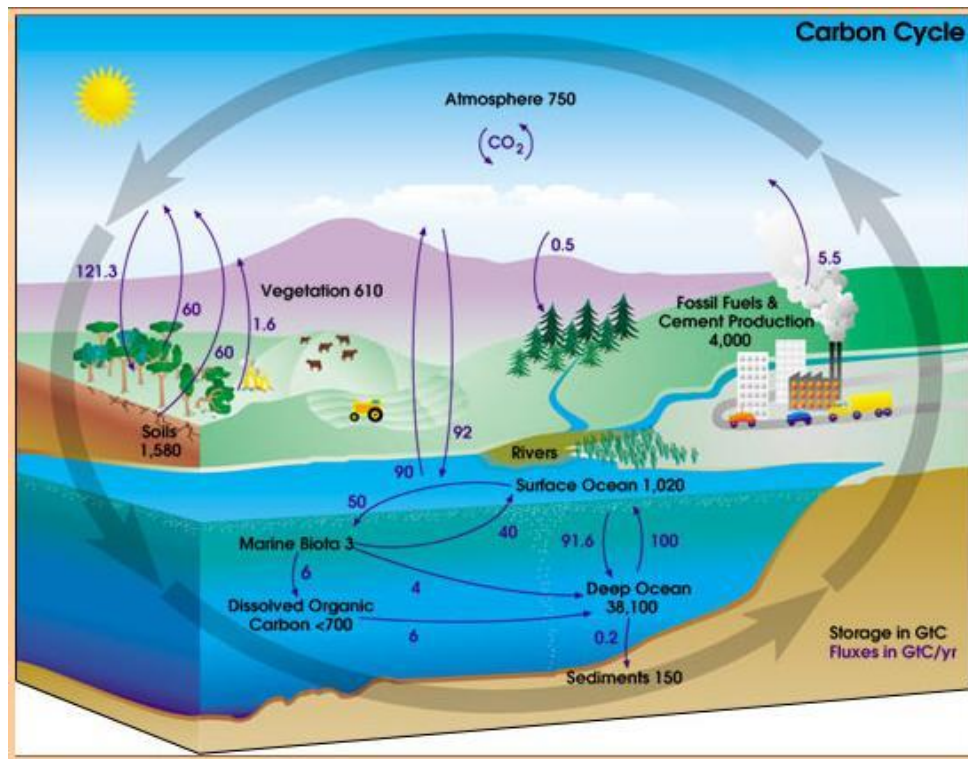
Οι υδρατμοί (H₂O) είναι το κυριότερο από τα θερμοκηπιακά αέρια και ευθύνονται για περίπου τα δύο τρίτα του φαινομένου. Οι υδρατμοί της ατμόσφαιρας αποτελούν τμήμα του «υδρολογικού κύκλου» (Σχήμα 4), ενός κλειστού συστήματος κυκλοφορίας του νερού από τους ωκεανούς και το έδαφος στην ατμόσφαιρα και από εκεί πίσω στο έδαφος μέσω της εξάτμισης και της διαπνοής, της συμπύκνωσης και της κατακρήμνισης.

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν αυξάνουν τους υδρατμούς στην ατμόσφαιρα.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) συμμετέχει κατά 60% στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις βιομηχανικές χώρες το διοξείδιο του άνθρακα αποτελεί το 80% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Στη Γη υπάρχουν πεπερασμένες ποσότητες άνθρακα οι οποίες, όπως και το νερό, ανακυκλώνονται με τον «κύκλο του άνθρακα» (Σχήμα 5). Πρόκειται για ένα ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα στο οποίο ο άνθρακας κινείται ανάμεσα σε τέσσερις μεγάλες δεξαμενές του πλανήτη, τη βιόσφαιρα, τη λιθόσφαιρα, την υδρόσφαιρα και την ατμόσφαιρα. Οι τέσσερις δεξαμενές επικοινωνούν μέσα από μονοπάτια ανταλλαγής και η κυκλοφορία του άνθρακα ανάμεσα τους συντελείται μέσα από ποικίλες χημικές, φυσικές, γεωλογικές και βιολογικές διεργασίες. Επίσης, μία από τις κύριες πηγές του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι η καύση ορυκτών καυσίμων.

Το μεθάνιο (CH₄) συμμετέχει κατά 20% στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, παραμένει στην ατμόσφαιρα από 15-20 χρόνια και είναι κατά 23 φορές πιο αποτελεσματικό στη δέσμευση της θερμότητας από ότι το CO₂.





Σχήμα 5: Ο κύκλος του άνθρακα (<http://users.sch.gr>).

Το μεθάνιο συντίθεται, κατά κύριο λόγο, από βακτήρια που ενισχύονται με οργανικές ύλες ελλείψει οξυγόνου. Συνεπώς εκπέμπεται από διάφορες φυσικές πηγές αλλά και από πηγές που επηρεάζονται από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) συμμετέχει κατά 4%-6% στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου και είναι κατά 310 φορές πιο αποτελεσματικό στη δέσμευση της θερμότητας από ότι το CO_2 . Το υποξείδιο του αζώτου απελευθερώνεται με φυσικό τρόπο από τους ωκεανούς και τα παρθένα δάση καθώς και από τα βακτήρια του εδάφους.

Οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs) είναι τα γνωστότερα από τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και είναι τα μόνα που δεν έχουν συντεθεί με φυσικό τρόπο, αλλά έχουν δημιουργηθεί από τον άνθρωπο για βιομηχανικούς σκοπούς. Είναι εξαιρετικά ισχυρά, αφού μπορούν να δεσμεύουν θερμότητα κατά 22.000 φορές πιο αποτελεσματικά από το CO_2 , παραμένουν στην ατμόσφαιρα για χιλιάδες χρόνια και συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 15-25%.

Το τροποσφαιρικό όζον (O_3) μαζί με άλλα αέρια συμμετέχουν κατά 11% στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το τροποσφαιρικό όζον που βρίσκεται στα υψηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας, εκτός από τον κεντρικό ρόλο που έχει στην χημεία της τροπόσφαιρας καθώς αποτελεί την βασική πηγή του πιο σημαντικού οξειδωτικού μέσου σε

αυτή, της ρίζας του υδροξυλίου (OH), είναι ένα θερμοκηπικό αέριο που δρα και αυτό επικουρικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.4 Το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής

Η παρούσα ενότητα αποτελεί τη θεωρητική βάση για την κατανόηση του φαινομένου της κλιματικής αλλαγής.

1.4.1 Κλιματική αλλαγή – Κλιματική μεταβλητότητα

Στα τεσσεράμισι δισεκατομμύρια χρόνια της ιστορίας του πλανήτη μας, οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν το κλίμα της Γης έχουν υποστεί σημαντικές διακυμάνσεις. Όταν η σύσταση της ατμόσφαιρας του πλανήτη άρχισε να πλησιάζει προς τα σημερινά χαρακτηριστικά της, πράγμα που συνέβη πριν από περίπου τρία δισεκατομμύρια χρόνια, άρχισαν να εμφανίζονται οι θερμές και οι ψυχρές παγετώδεις και μεσοπαγετώδεις κλιματικές περιόδους της Γης. Επίσης, το κλίμα της Γης πριν από 55 εκατομμύρια έτη (αρχή της εποχής του Ηωκαίνου) υπήρξε θερμότερο από σήμερα.

Το κλίμα παρουσίαζε και θα παρουσιάζει αποκλίσεις που οφείλονται σε φυσικά αίτια. Το κλίμα αλλάζει αποκρινόμενο σε μεταβολές της παγκόσμιας ενεργειακής ισορροπίας. Η λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την εξερχόμενη ακτινοβολία είναι αυτή που προσδιορίζει το παγκόσμιο κλίμα και οποιαδήποτε αλλαγή στους παράγοντες που επιδρούν τόσο στην εισερχόμενη όσο και στην εξερχόμενη ακτινοβολία ή στο μηχανισμό αναδιανομής της ενέργειας οδηγούν σε αλλαγή του κλίματος.

Οι παράγοντες που μπορούν να σχηματίσουν το κλίμα ονομάζονται «κλιματικοί ενισχυτές» ή «μηχανισμοί ενίσχυσης». Συνοπτικά, το κλίμα διαμορφώνεται από εξωτερικούς και εσωτερικούς παράγοντες (Bradley, 1999; Alverson et al., 2003).

Στους εξωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται οι διακυμάνσεις Milankovitch, η μεταβολή στην ηλιακή δραστηριότητα καθώς και οι συγκρούσεις κομητών με τη Γη και προσκρούσεις πολύ μεγάλων μετεωριτών:

Διακυμάνσεις Milankovitch: Η αστρονομική θεωρία των κλιματικών αλλαγών αποτελεί προσπάθεια να συσχετιστούν οι κλιματικές μεταβολές με τις μεταβαλλόμενες παραμέτρους της γήινης τροχιάς γύρω από τον ήλιο. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή υπάρχουν τρεις διαφορετικοί τρόποι με τους οποίους η τροχιά της Γης γύρω από τον ήλιο μπορεί να επηρεάσει τη λαμβανόμενη ακτινοβολία και κατά συνέπεια και το ίδιο το κλίμα. Αυτοί είναι: α) μεταβολές στην εκκεντρότητα (eccentricity), β) μεταβολές στην κλίση του άξονα περιστροφής της Γης (obliquity) και γ) η μετάπτωση των ισημεριών (precession). Η σημασία των μεταβολών των τροχιακών παραμέτρων της Γης για τις μακροχρόνιες κλιματικές μεταβολές αναπτύχθηκε αρχικά από τους Adhemar (1842), Croll (1875) και Milankovitch (1941) και έκτοτε πλήθος

εργασιών πιστοποίησε την αποτύπωση των τριών τροχιακών παραμέτρων, που απαντούν σε περιοδικότητες των 400 και 100, 41 και 19-21 χιλιάδων ετών (ka), σε ποικίλους παλαιοκλιματικούς δείκτες. Η θεωρία αυτή ονομάζεται «Θεωρία Milankovitch» ή «κύκλοι Milankovitch» (Σχήμα 6).

Οι κύκλοι Milankovitch εξηγούν το πώς και πότε έχουν εμφανιστεί οι αλλαγές κλίματος τα τελευταία 2,5 δισεκατομμύρια χρόνια. Το συνδυασμένο αποτέλεσμα των περιοδικών μεταβολών κατά την κίνηση της Γης συνεπάγεται περιοδικές μεταβολές στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένας τόπος, άρα και περιοδική μεταβολή του κλίματος. Όταν οι καμπύλες των κύκλων του Milankovitch συμβάλουν προς την ίδια κατεύθυνση (προς τα «ελάχιστα», ή τα «μέγιστα»), το κλίμα στη Γη εξωθείται προς τις ακραίες οριακές συνθήκες: είτε σε παγετώδεις (ψυχρές), είτε σε μεσοπαγετώδεις (θερμές).

Ηλιακή δραστηριότητα: Αλλαγές στο κλίμα κατά το παρελθόν έχουν συνδεθεί με τον ενδεκαετή κύκλο των ηλιακών κηλίδων. Κάθε 11 χρόνια (ως και 22 !!) η ηλιακή δραστηριότητα και οι ηλιακές κηλίδες φθάνουν σε ένα μέγιστο. Ο αριθμός των κηλίδων συσχετίζεται με την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στη Γη και κατ' επέκταση με τη θερμοκρασία της (Σχήμα 7 και 8). Ως εκ τούτου, θεωρητικά, θα μπορούσαν οι κηλίδες να επηρεάσουν το κλίμα της Γης. Η παρουσία των κηλίδων εκτιμάται από τους Kondratyev and Nikolsky (1970) ότι μεταβάλλει την τιμή της ηλιακής σταθεράς σε ποσοστό μικρότερο του 1%.

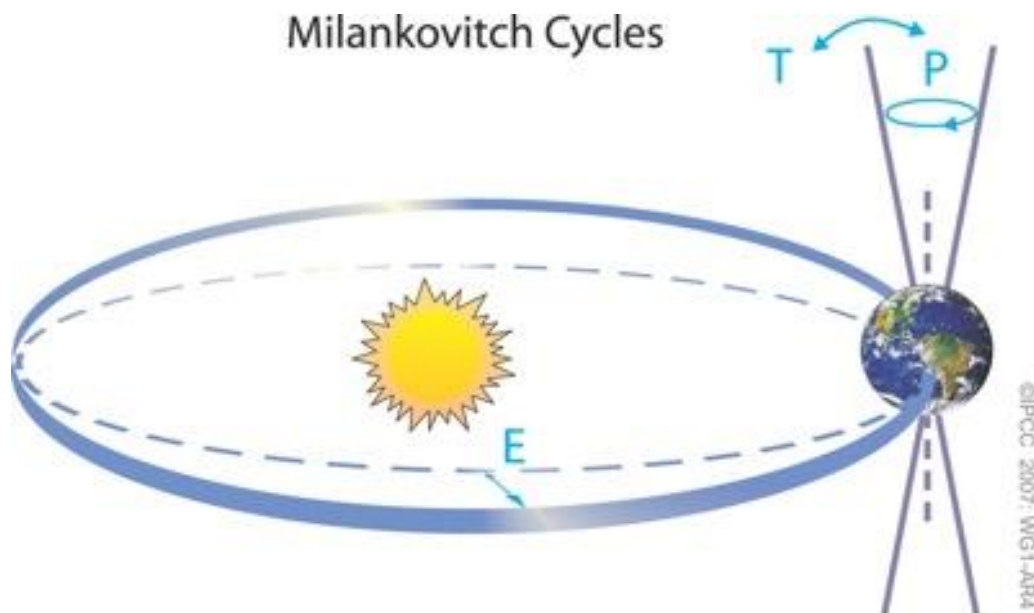
Οι Scafetta and West (2006) υπολόγισαν ότι το 75% της παγκόσμιας θέρμανσης της περιόδου 1900-1980 είχε προέλευση την ηλιακή δραστηριότητα, ενώ το ποσοστό μειώνεται στο 30% για την περίοδο 1980-2000. Κάποιοι άλλοι, όπως οι Wanner et al. (2008), είναι πιο επιφυλακτικοί τόσο ως προς τη φυσική ερμηνεία με βάση την οποία η ηλιακή δραστηριότητα επηρεάζει το κλίμα όσο και ως προς την αισθητή επίδραση που μπορεί να έχουν οι μεταβολές της ηλιακής δραστηριότητας τόσο στις κλιματικές αλλαγές του Τεταρτογενούς όσο και στη σημερινή παγκόσμια θέρμανση (Bard and Frank, 2006).

Θεωρούν ότι ενδεχομένως η ηλιακή δραστηριότητα ασκεί απλώς δευτερεύουσα επίδραση. Είναι δηλαδή πιθανό η ηλιακή επίδραση να συμβάλλει σε μικρές διακυμάνσεις του κλίματος διάρκειας μερικών αιώνων.

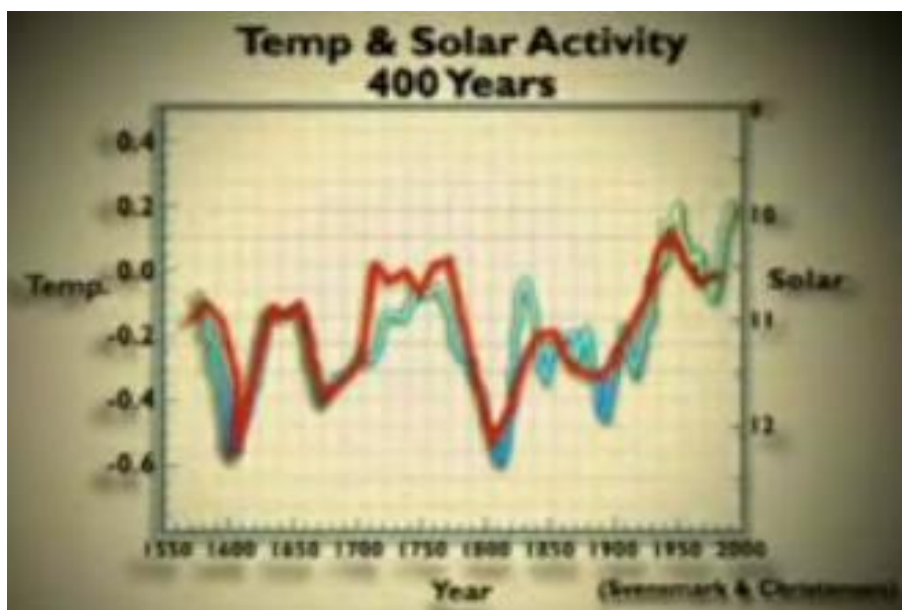
Συγκρούσεις κομητών με τη Γη και προσκρούσεις πολύ μεγάλων μετεωριτών: Συγκρούσεις κομητών με τη Γη καθώς και προσκρούσεις πολύ μεγάλων μετεωριτών έχουν χαρακτηριστεί ως αίτια κλιματικών διακυμάνσεων. Βέβαια τέτοιου είδους φαινόμενα δεν λαμβάνουν χώρα τακτικά, συνήθως συμβαίνουν κάθε 20 με 30 εκατομμύρια χρόνια ή και παραπάνω.

Οι εσωτερικοί μηχανισμοί ενίσχυσης αποτελούν φυσικές διαδικασίες μέσα στο ίδιο το κλιματικό σύστημα. Στους εσωτερικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι διεργασίες ανάδρασης του συστήματος υδρόσφαιρα – ατμόσφαιρα –

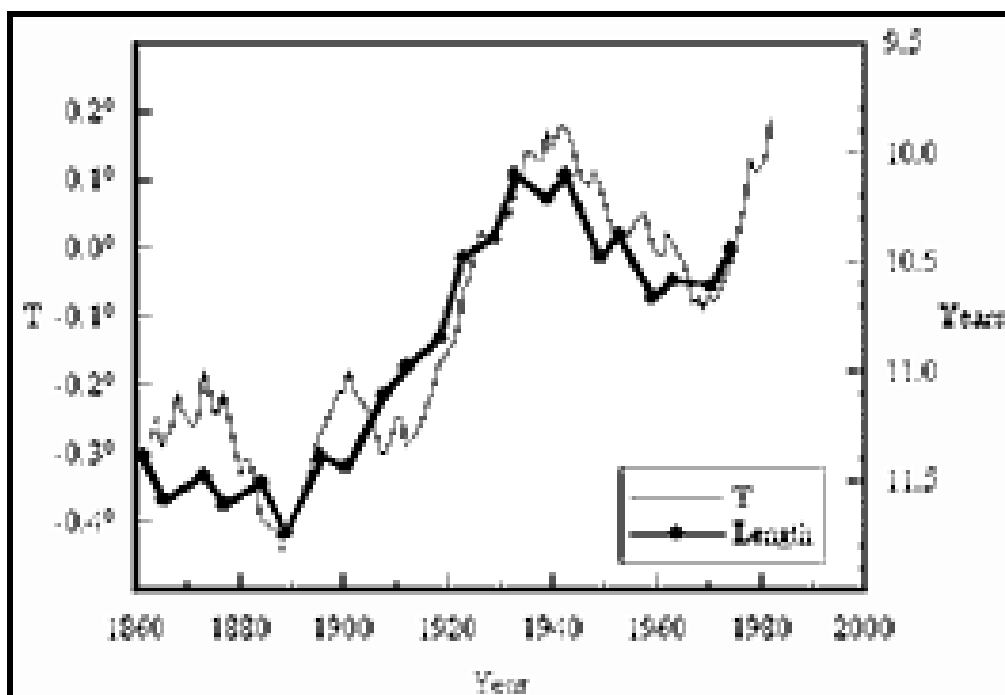
λιθόσφαιρα – βιόσφαιρα – κρυόσφαιρα (π.χ.albedo, νεφοκάλυψη κ.λπ.), οι διακυμάνσεις του όγκου των παγετώνων, οι μεταβολές της ταχύτητας και του τρόπου κυκλοφορίας των θαλάσσιων ρευμάτων, οι μεταβολές των αερίων του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας (π.χ.CO₂, CH₄), ο σχηματισμός των βουνών, καθώς και οι διάφορες ανθρωπογενείς επιδράσεις.



Σχήμα 6: Οι κύκλοι του Milankovitch (IPCC, 2007).



Σχήμα 7: Συσχέτιση της ηλιακής δραστηριότητας με τη θερμοκρασία της Γης τα τελευταία 400 χρόνια (<http://i34.tinypic.com/f28qjt.jpg>).

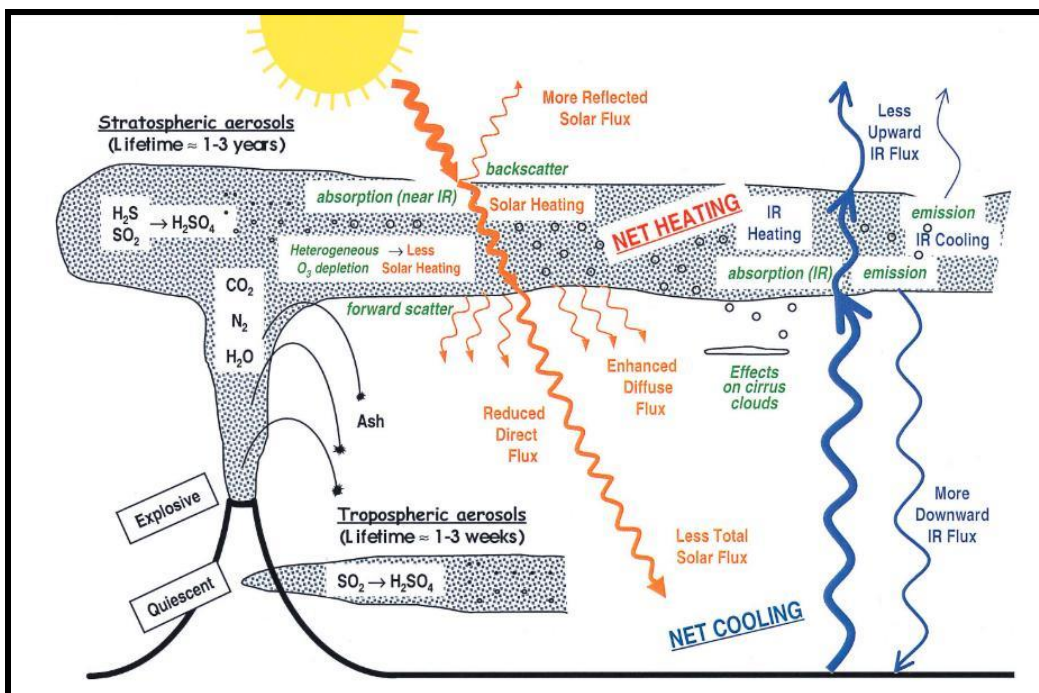


Σχήμα 8: Μέσες τιμές θερμοκρασίας εδάφους 11-χρόνων για το Βόρειο ημισφαίριο (T) και μήκος ηλιακού κύκλου (L) (Friis- Christensen and Svensmark, 1997).

Ηφαιστειακή δραστηριότητα: Οι τεράστιες ηφαιστειακές εκρήξεις μπορούν να αλλάξουν το κλίμα σε όλο τον πλανήτη. Κατά τις εκρήξεις απελευθερώνονται τεράστιες ποσότητες αερίων στην ατμόσφαιρα, όπως διοξείδιο του άνθρακα και υδρατμοί που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Σχήμα 9). Από την άλλη οι στήλες από μεγάλες εκρήξεις εκτοξεύουν σωματίδια στάχτης στην τροπόσφαιρα και τη στρατόσφαιρα και τα σύννεφα αυτά στάχτης μπορούν να περικυκλώσουν τη Γη, μπλοκάροντας έτσι την ηλιακή ακτινοβολία και προκαλώντας πτώση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης για μερικά χρόνια. Η ηφαιστειακή σκόνη επίσης, μπορεί να παίζει κάποιο ρόλο στη δημιουργία παγετώνων. Η εμφάνιση παγετώνων συμβαίνει σε περιόδους με αυξημένη ηφαιστειακή δραστηριότητα. Γενικά, οι ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν σημαντική επίδραση στο κλίμα, αλλά για μικρές χρονικές περιόδους.

Ανθρωπογενείς επιδράσεις: Ο άνθρωπος με τις διάφορες δραστηριότητες του συμβάλλει και αυτός στη μεταβολή του κλίματος:

Θερμοκηπικά αέρια: Η αύξηση της συγκέντρωσης των υδρατμών στην ατμόσφαιρα και του διοξειδίου του άνθρακα κυρίως λόγω της συνεχόμενης εκπομπής καυσαερίων στην ατμόσφαιρα, διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.



Σχήμα 9: Σχηματικό διάγραμμα των ηφαιστειακών προϊόντων που εισάγονται στην ατμόσφαιρα και τα αποτελέσματά τους (Simarski, 1992).

Τροποσφαιρικά αιωρήματα: Τα τροποσφαιρικά αιωρήματα που σχετίζονται με τη βιομηχανική μόλυνση, την καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο) και βιομάζας, ανάλογα με τη φύση τους και την κατανομή τους στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν στη ψύξη ή θέρμανση του πλανήτη. Ακόμη μπορεί να ενεργούν ως επιπρόσθετοι πυρήνες συμπύκνωσης των νεφών προκαλώντας το σχηματισμό περισσότερων και μικρότερων σταγονιδίων και αυξάνοντας έτσι την ανακλαστικότητα των νεφών, ψύχοντας ταυτόχρονα τον πλανήτη.

Τροποσφαιρικό όζον: Το στρατοσφαιρικό ή ατμοσφαιρικό όζον, όπως είναι γνωστό, προστατεύει τη Γη από την επικίνδυνη υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία και για αυτό αποκαλείται το «καλό» όζον. Το τροποσφαιρικό ή επιφανειακό όζον από την άλλη, σε αντίθεση με το «στρατοσφαιρικό» όζον, αποτελεί φωτοχημικό ρύπο και δημιουργεί ένταση του φαινομένου του *θερμοκηπίου* συμβάλλοντας έτσι στη θέρμανση του πλανήτη.

Μεταβολές στην επιφάνεια της Γης: Οι άνθρωποι με τις επεμβάσεις τους πάνω στον πλανήτη συμβάλλουν σε τοπικές κλίμακας αλλαγές της μορφής της επιφάνειας της Γης. Σύνθετος συνδυασμός παραγόντων οδηγούν στην ερημοποίηση μεγάλου ποσοστού Γης, όπως είναι για παράδειγμα η αποψίλωση των δασών, οι μεταβολές στη χρήση της Γης και η πολεοδομική ανάπτυξη. Κάτι τέτοιο έχει ως συνέπεια να διαταράσσονται οι ισορροπίες στη φύση επηρεάζοντας το παγκόσμιο ή τοπικό κλίμα.

Με τον όρο λοιπόν **κλιματική μεταβλητότητα** αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα και οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες. Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών.

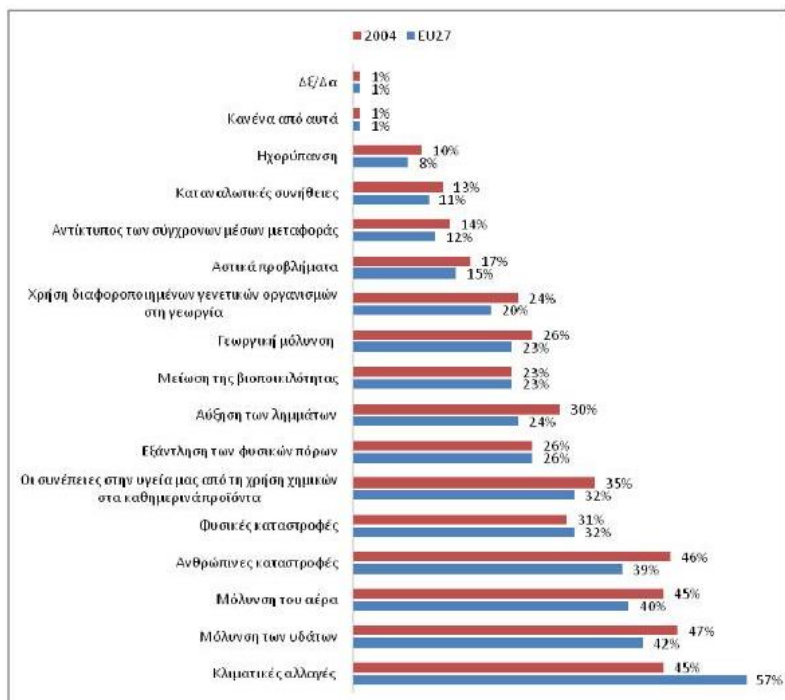
*Στη Σύμβαση – Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCC), η **κλιματική αλλαγή** ορίζεται ειδικότερα ως η μεταβολή στο κλίμα που οφείλεται άμεσα ή έμμεσα σε ανθρώπινες δραστηριότητες, διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που έχει φυσικά αίτια.*

Από τη δεκαετία του 1980 και μάλιστα προς τα τέλη της δεκαετίας αυτής, η ιδέα της υπερθέρμανσης του πλανήτη και της κλιματικής αλλαγής απέκτησε αρκετούς υποστηρικτές και το 1989 ιδρύθηκε η Διακυβερνητική Ομάδα για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel for Climate Change-IPCC) ένας οργανισμός του ΟΗΕ. Στα χρόνια που ακολούθησαν, το θέμα της κλιματικής αλλαγής ατόνησε, αλλά προς τα τέλη της δεκαετίας του 1990 οι παρατηρήσεις άρχισαν να ενισχύουν την άποψη ότι κάτι περίεργο συμβαίνει με το κλίμα της Γης οπότε από εκείνη τη στιγμή έως σήμερα, η κλιματική αλλαγή έχει αναδειχθεί ως ένα από τα κεντρικά ζητήματα της εποχής μας σε διεθνές επίπεδο, κυρίως λόγω των ολοένα αναμφισβήτητων πορισμάτων των εκθέσεων της IPCC (Davoudi et al., 2009).

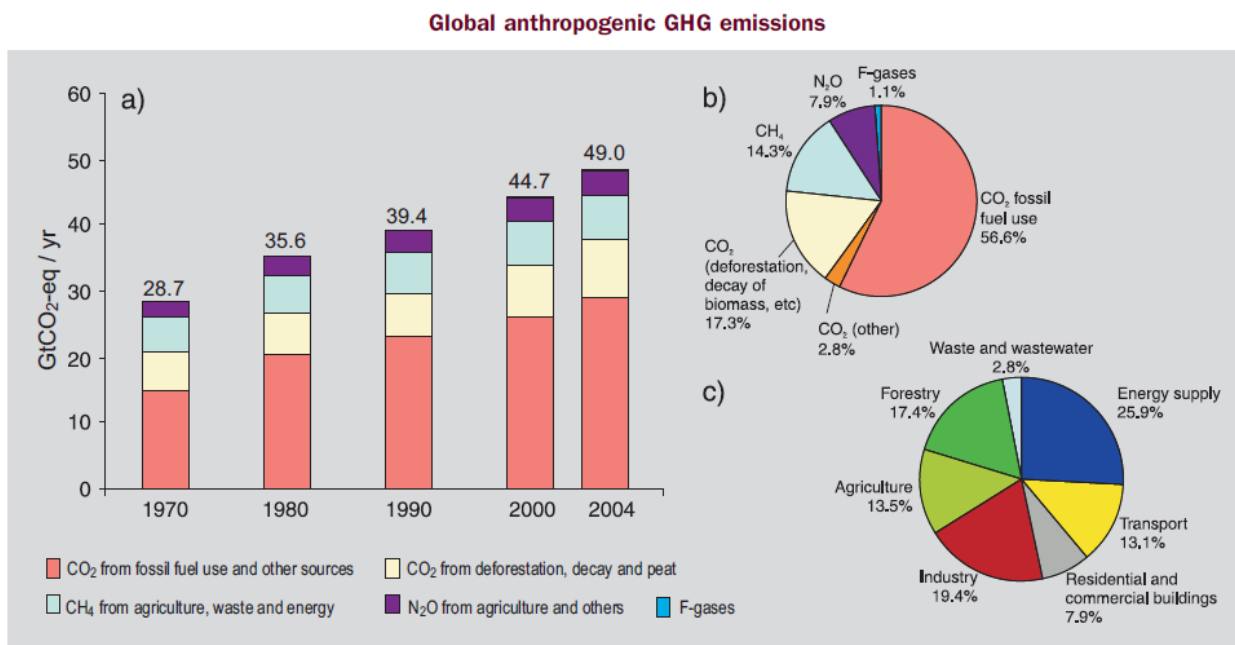
Στην Ευρώπη πιο συγκεκριμένα, το 2007 η κλιματική αλλαγή καταγράφεται ως το σημαντικότερο πρόβλημα του περιβάλλοντος με το 57% των Ευρωπαίων να δηλώνουν τις ανησυχίες τους για τα προβλήματα του περιβάλλοντος με ιδιαίτερη έμφαση στην κλιματική αλλαγή (Σχήμα 10). Η αύξηση της Ευρωπαϊκής κοινωνικής ευαισθησίας για τις κλιματικές αλλαγές είναι προφανής.

Με βάση τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή οι μεταβολές του κλίματος προέρχονται από διαταραχές του ενεργειακού ισοζυγίου του συστήματος ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας-λιθόσφαιρας και οφείλονται πρωτογενώς στην αύξηση της συγκέντρωσης των θερμοκηπιακών αερίων (GHG) (Σχήμα 11) και κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα (Σχήματα 11, 12 και 13).

Στο σχήμα 12 παρουσιάζεται η διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης του CO₂. Είναι εμφανής η αλματώδης αύξηση στη συγκέντρωση του CO₂ τα τελευταία χρόνια. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι λόγω των ανθρωπογενών εκπομπών του CO₂ στην ατμόσφαιρα, οι συγκεντρώσεις του αερίου αυτού στην ατμόσφαιρα είναι σήμερα κατά 30% υψηλότερες από αυτές που αντιστοιχούσαν στην περίοδο πριν τη βιομηχανική επανάσταση (Sarmiento and Gruber, 2002).



Σχήμα 10: Τα πέντε σημαντικότερα προβλήματα για το περιβάλλον στην ΕΕ-27 για τα έτη 2004 και 2007 (Υφαντόπουλος και Μητράκος, 2011).



Σχήμα 11: (a) Ετήσιες παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων θερμοκηπίου από το 1970 έως το 2004, (b) εκπομπές των διάφορων θερμοκηπικών αερίων το 2004 εκφρασμένες σε ισοδύναμο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂-eq) (c) τομείς που συνέβαλαν στις εκπομπές των διάφορων θερμοκηπικών αερίων το 2004 εκφρασμένες σε CO₂-eq (IPCC, 2007).

Στο σχήμα 13 παρουσιάζεται η συγκέντρωση του CO₂ για το μήνα Ιανουάριο (σε ppm) όπως καταγράφεται στο Αστεροσκοπείο Mauna Loa στην Χαβάη των Η.Π.Α, κατά τη χρονική περίοδο 1958-2014 από δεδομένα της NOAA Climate Monitoring & Diagnostics Laboratory. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός της έντονης αυξητικής τάσης της μετρούμενης συγκέντρωσης του CO₂ με ρυθμό περίπου 0.35% το χρόνο, που είναι άμεσο αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας. Εκτιμάται ότι τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, ενώ το υπόλοιπο μέρος προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποδάσωσης (WWF Hellas, 2008) πράγμα που φαίνεται και στο σχήμα 11.

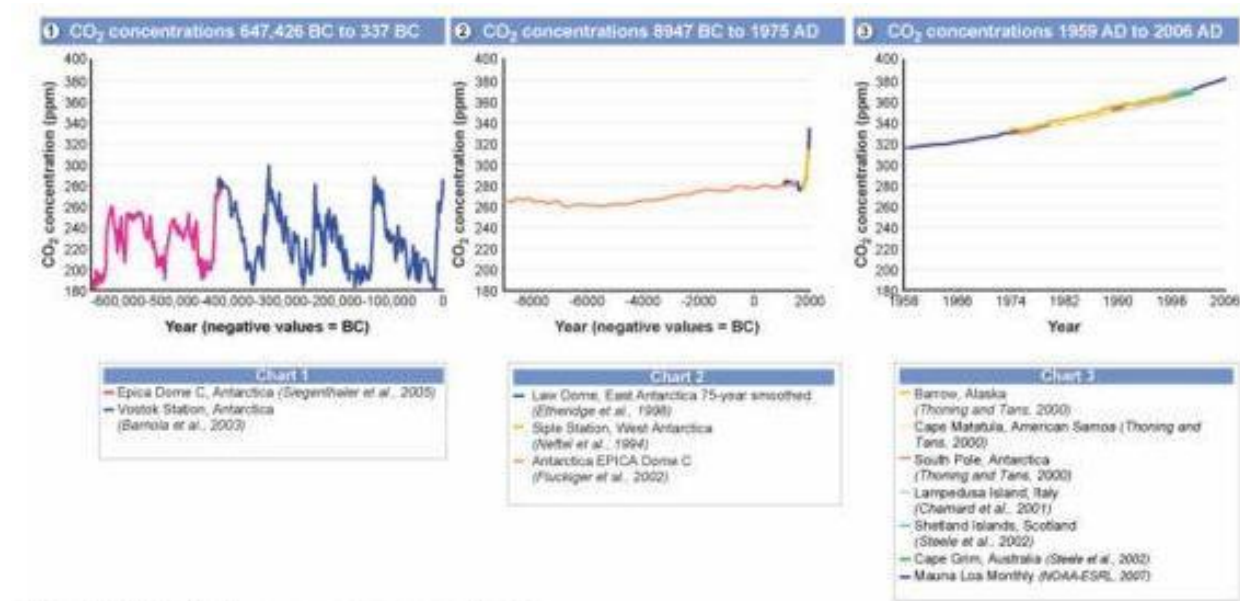
Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Όπως προαναφέρθηκε, το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι φυσικό και τόσο παλιό όσο και ο πλανήτης μας. Στις φυσικές του διαστάσεις δεν είναι επιβλαβές, αντίθετα, είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών του πλανήτη. Το φυσικό επακόλουθο όμως της αύξησης των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων και πιο συγκεκριμένα του CO₂ από τον άνθρωπο είναι η ενίσχυση του φαινομένου και συνεπώς η θέρμανση του πλανήτη. Ο κίνδυνος για τον πλανήτη δεν προκύπτει λοιπόν, από το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθ' εαυτό, αλλά από την πιθανή ενίσχυσή του.

1.4.2 Κλιματικά μοντέλα και σενάρια εκπομπών

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα για την προσομοίωση της κλιματικής αλλαγής είναι τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Coupled Atmospheric-Ocean General Circulation Models, AOGCMs). Πρόκειται για μοντέλα που βασίζονται στις βασικές φυσικές αρχές του γήινου συστήματος όπως είναι οι βασικές εξισώσεις της μηχανικής των ρευστών και της διάδοσης της ακτινοβολίας. Τα AOGCMs χωρίζονται σε Ατμοσφαιρικά (AGCMs) και Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (OGCMs) ενώ μπορεί να είναι και συζευγμένα μεταξύ τους (AOGCMs) καθώς και με άλλα μοντέλα όπως τα μοντέλα προσομοίωσης της παγοκάλυψης στη ξηρά και τη θάλασσα, της βιόσφαιρας και άλλα.

Τα κλιματικά μοντέλα που είναι μαθηματικές απεικονίσεις του κλιματικού συστήματος, δέχονται διάφορα δεδομένα ως είσοδο, όπως διοξείδιο του άνθρακα, ηλιακή ακτινοβολία, και πολλά άλλα και δίνουν ως αποτέλεσμα τη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στον πλανήτη. Τονίζεται όμως ότι η γνώση ορισμένων φυσικών διεργασιών είναι ακόμα περιορισμένη. Για το λόγο αυτό στις κλιματικές προσομοιώσεις χρησιμοποιούνται παραμετροποιήσεις και απλουστεύσεις ορισμένων φαινομένων. Η χωρική ανάλυση των AOGCMs στις μέρες μας, εξαιτίας των περιορισμένων υπολογιστικών δυνατοτήτων, είναι της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων. Σε αυτή τη χωρική ανάλυση είναι δυνατόν να αναπαραχθούν ικανοποιητικά η γενική κυκλοφορία σε ολόκληρο τον πλανήτη καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων σε συνοπτική κλίμακα (Noguer et al., 1998). Ωστόσο δεν

είναι δυνατόν να προσομοιωθούν με ακρίβεια φαινόμενα που σχετίζονται με την επίδραση της τοπογραφίας σε τοπική και περιοχική κλίμακα.

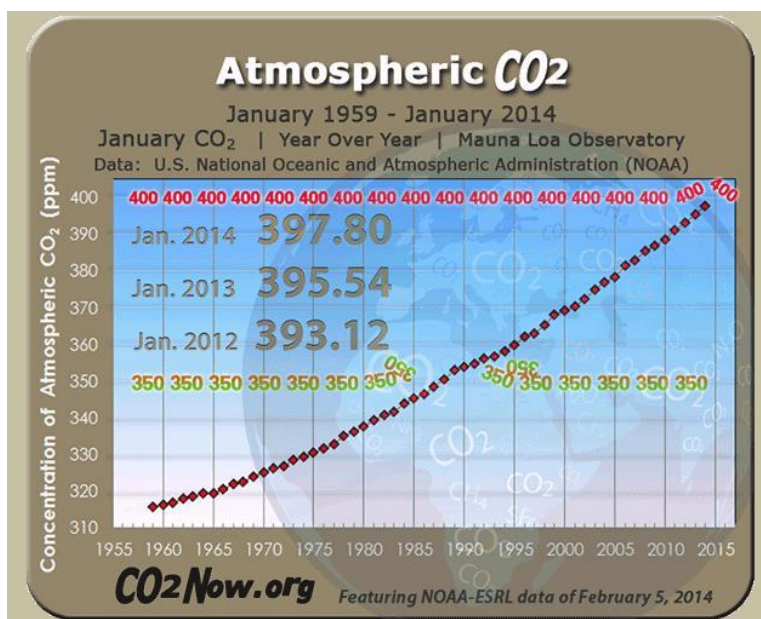


Σχήμα 12: Διαχρονική μεταβολή της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (<http://people.unawise.edu/pww8y/Reviews/ES/ESRevs/10GrnHsEffImages.html>).

Οι τεχνικές με τις οποίες εισάγεται η περιοχική πληροφορία στις κλιματικές προσομοιώσεις ονομάζονται τεχνικές υποβιβασμού κλίμακας (υποκλιμάκωσης) και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: 1) Τα υψηλής ή μεταβλητής ανάλυσης παγκόσμια ατμοσφαιρικά μοντέλα γενικής κυκλοφορίας, 2) τις στατιστικές ή εμπειρικές μεθόδους υποκλιμάκωσης (Statistical/Empirical Downscaling) και 3) τη δυναμική υποκλιμάκωση (Jones et al., 1995). Η δυναμική υποκλιμάκωση βασίζεται στη χρήση των περιοχικών κλιματικών μοντέλων (Regional Climate Models, RCMs). Πρόκειται για μοντέλα περιορισμένου πεδίου και υψηλής ανάλυσης (Καψωμενάκης κ.ά, 2011). Στην τελευταία περίπτωση το τοπικό μοντέλο κλίματος (RCM) επεξεργάζεται τα στοιχεία του λιγότερο λεπτομερούς μοντέλου (GCM).

Τα κλιματικά μοντέλα προσομοιώνουν τον καιρό σε διάφορα μέρη του κόσμου, χρησιμοποιώντας δεδομένα παρατηρήσεων από τη δεκαετία του 1960 έως τη δεκαετία του 2000 (συγκεκριμένη χρονική περίοδος κάθε φορά η οποία θεωρείται ως περίοδος αναφοράς) και καλύπτουν μεγάλο εύρος χωρικών (τοπική, περιοχική, πλανητική) και χρονικών (εποχική, δεκαετίας, μεγαλύτερη από δεκαετία) κλιμάκων. Η εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος γίνεται υπό διάφορα σενάρια κλιματικής αλλαγής.

Τα σενάρια αλλαγής κλίματος στηρίζονται σε υποθέσεις για μελλοντικές αλλαγές των εκπομπών και της επακόλουθης ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου.



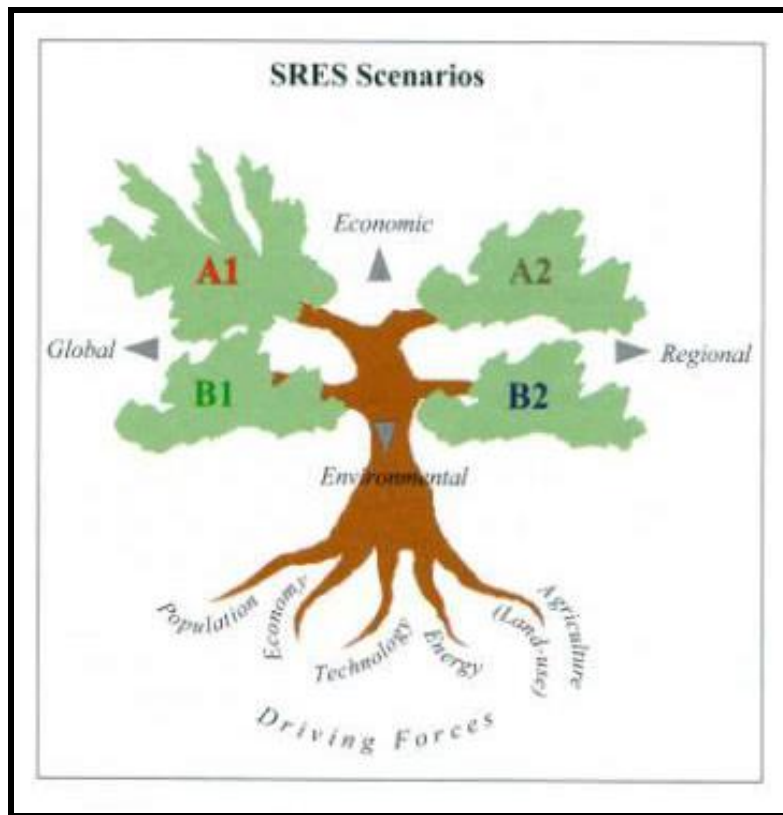
Σχήμα 13: Γραφική απεικόνιση της μεταβολής της συγκέντρωσης του CO₂ το μήνα Ιανουάριο από το σταθμό Mauna Loa για την περίοδο 1959-2014 (www.co2now.org).

Με σκοπό την αξιολόγηση των κινδύνων και του ρίσκου που επέρχεται με την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος η *Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή*, ένας οργανισμός που αποτελεί σημείο συνάντησης εκατοντάδων ειδικών επί του κλίματος από ολόκληρο τον κόσμο, κατέληξε στην κατασκευή διαφορετικών σεναρίων για τις πιθανές μελλοντικές προβλέψεις που περιγράφονται στην ειδική έκθεση της IPCC για τα Σενάρια Εκπομπών (SRES) (Nakicenovic et al., 2000).

Τα σενάρια αυτά κατατάσσονται σε τέσσερις ομάδες (A1, A2, B1 και B2) που εξερευνούν διαφορετικούς δρόμους ανάπτυξης καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα δημογραφικών, οικονομικών και τεχνολογικών παραμέτρων και τις συνακόλουθες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Τα σενάρια αυτά δεν περιλαμβάνουν πρόσθετες πολιτικές για το κλίμα πέρα από τις υπάρχουσες. Στο Σχήμα 14 φαίνεται ότι τα σενάρια αυτά βασίζονται σε βασικές κινητήριες δυνάμεις των θερμοκηπικών αερίων. Κάθε σενάριο βασίζεται σε κοινές προδιαγραφές των κινητήριων δυνάμεων. Και τα τέσσερα σενάρια περιγράφουν μελλοντικούς κόσμους που είναι γενικά πιο εύποροι σε σύγκριση με τη σημερινή κατάσταση. Αυτοί χαρακτηρίζονται από μία πολύ γρήγορη οικονομική ανάπτυξη και τεχνολογική εξέλιξη με υψηλά επίπεδα προστασίας του περιβάλλοντος, από έναν παγκόσμιο πληθυσμό με διαφορετικό μέγεθος (από χαμηλό μέχρι και αυξημένο), καθώς και από χαμηλές μέχρι υψηλές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Το πιο σημαντικό είναι ότι τα σενάρια περιγράφουν δυναμικές αλλαγές και σε γενικές γραμμές τις μεταβάσεις προς διαφορετικές κατευθύνσεις. Καθώς ο χρόνος εξελίσσεται τα σενάρια

αποκλίνουν μεταξύ τους σε πολλά από τα χαρακτηριστικά τους. Με τον τρόπο αυτό καλύπτουν ένα σχετικό φάσμα εκπομπών θερμοκηπικών αερίων και διάφορους συνδυασμούς από τις κύριες πηγές τους.



Σχήμα 14: Σχηματική απεικόνιση των σεναρίων εκπομπών βάσει των κινητήριων δυνάμεων (IPCC, 2001).

Παρακάτω περιγράφονται με συνοπτικό τρόπο τα τέσσερα σεσνάρια:

Σενάριο A1

Περιγράφει ένα μελλοντικό κόσμο πολύ γρήγορης οικονομικής ανάπτυξης, ανθρώπινο πληθυσμό στο σύνολο της Γης που φτάνει το μέγιστο του στα μέσα του 21^{ου} αιώνα και ύστερα μειώνεται και γρήγορη εισαγωγή νέων και πιο αποτελεσματικών τεχνολογιών. Κύριες υποθέσεις είναι ότι θα υπάρξει σύγκλιση μεταξύ των περιοχών της Γης, θα αναπτυχθεί η παραγωγική ικανότητα και θα αυξηθούν οι πολιτισμικές και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις και ότι θα μειωθούν ουσιαστικά οι περιφερειακές διαφορές στο κατά κεφαλή εισόδημα. Το σενάριο περιλαμβάνει τρεις εκδοχές όσον αφορά τις εναλλακτικές κατευθύνσεις των τεχνολογικών αλλαγών στο ενεργειακό σύστημα: εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων (σενάριο

A1FI), μη χρήση ορυκτών καυσίμων στο ενεργειακό σύστημα (σενάριο A1T) ή εξισορροπημένη χρήση όλων των ενεργειακών πηγών (σενάριο A1B).

Σενάριο A2

Περιγράφει έναν πολύ ετερογενή μελλοντικό κόσμο. Κύρια υπόθεση είναι η αυτοδυναμία και η διατήρηση της τοπικής ταυτότητας. Ο ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού στις διάφορες περιοχές θα συγκλίνει με πολύ αργό ρυθμό, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της αύξησης του πληθυσμού. Η οικονομική ανάπτυξη θα έχει κυρίως περιφερειακό προσανατολισμό και η κατά κεφαλή οικονομική ανάπτυξη καθώς και η τεχνολογική αλλαγή θα είναι πιο αποσπασματική και αργή από όσο σε άλλα σενάρια.

Σενάριο B1

Περιγράφει ένα συγκλίνοντα μελλοντικό κόσμο, με συνολικό πληθυσμό ίδιο με τον τωρινό, που φτάνει στο μέγιστό του στα μέσα του 21^{ου} αιώνα και ύστερα μειώνεται (όπως στο σενάριο A1), αλλά με πιο γρήγορη αλλαγή στις οικονομικές δομές προς μία οικονομία υπηρεσιών και πληροφοριών, με μείωση στην παραγωγή υλικών και με εισαγωγή καθαρών τεχνολογιών που κάνουν αποτελεσματική χρήση των πόρων. Η έμφαση δίνεται σε παγκόσμιες λύσεις για την οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, περιλαμβανομένης της κοινωνικής δικαιοσύνης. Δεν προβλέπονται πρόσθετες πρωτοβουλίες για το κλίμα.

Σενάριο B2

Περιγράφει έναν κόσμο όπου η έμφαση δίνεται σε τοπικές λύσεις στα προβλήματα οικονομικής, κοινωνικής και περιβαλλοντικής βιωσιμότητας. Είναι ένας κόσμος όπου ο πληθυσμός της Γης αυξάνεται συνεχώς με ρυθμό μικρότερο από ότι στο σενάριο A2, με ενδιάμεσα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης και με πιο αργή και πιο διαφοροποιημένη τεχνολογική αλλαγή από ότι στα σενάρια B1 και A1. Ενώ κι αυτό το σενάριο προσανατολίζεται προς την περιβαλλοντική προστασία και την κοινωνική δικαιοσύνη δίνεται έμφαση σε τοπικά και περιφερειακά επίπεδα.

1.5 Οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις της σε παγκόσμιο επίπεδο

Υπάρχουν αρκετά στοιχεία που τεκμηριώνουν την αλλαγή του κλίματος κατά τον 20^ο αιώνα. Με βάση την 4^η έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή έχει παρατηρηθεί αύξηση στη μέση θερμοκρασία του πλανήτη η οποία έλαβε χώρα σε δύο φάσεις, 0,35°C από τη δεκαετία του 1910 μέχρι αυτή του 1940 και 0,55°C από το 1970 μέχρι και σήμερα. Μάλιστα τα τελευταία 25 χρόνια ο ρυθμός αύξησης μεγαλώνει τόσο, ώστε τα 11 από τα 12 χρόνια της περιόδου 1995-2006 να είναι μεταξύ των 12 πιο θερμών ετών που έχουν ποτέ

καταγραφεί (από το 1850 όπου άρχισε η ενόργανη καταγραφή της θερμοκρασίας). Μεταβολές παρατηρούνται επίσης και στις ακραίες τιμές της θερμοκρασίας οι οποίες με τη θέρμανση του πλανήτη γίνονται ολοένα και πιο συχνές (Σχήμα 15).

Όσον αφορά τη βροχόπτωση έχουμε μεταβολές στην ποσότητα, την ένταση, τη συχνότητα και τον τύπο της. Αν και η βροχόπτωση παρουσιάζει μεγάλη φυσική μεταβλητότητα, μακρόχρονες παρατηρήσεις (1900-2005) μας δείχνουν ότι πολλές περιοχές έχουν την τάση να γίνονται πιο υγρές (ανατολική Βόρεια και Νότια Αμερική, Βόρεια Ευρώπη και Βόρεια και Κεντρική Ασία) σε αντίθεση με κάποιες άλλες που γίνονται ξηρότερες (Νότια Αφρική, Μεσόγειος και Νότια Ασία) (Σχήμα 16). Στις βορειότερες περιοχές έχουμε περισσότερα κατακρημνίσματα ως βροχή παρά χιόνι ενώ έχουν αυξηθεί ευρέως τα φαινόμενα έντονων βροχοπτώσεων, ακόμη και σε περιοχές όπου τα συνολικά ποσά των βροχοπτώσεων έχουν μειωθεί. Οι αλλαγές αυτές συνδέονται με την αύξηση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα που οφείλονται στην αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών, ειδικά σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Παρατηρείται επίσης σε ορισμένες περιοχές αύξηση στις ξηρασίες και τις πλημμύρες.

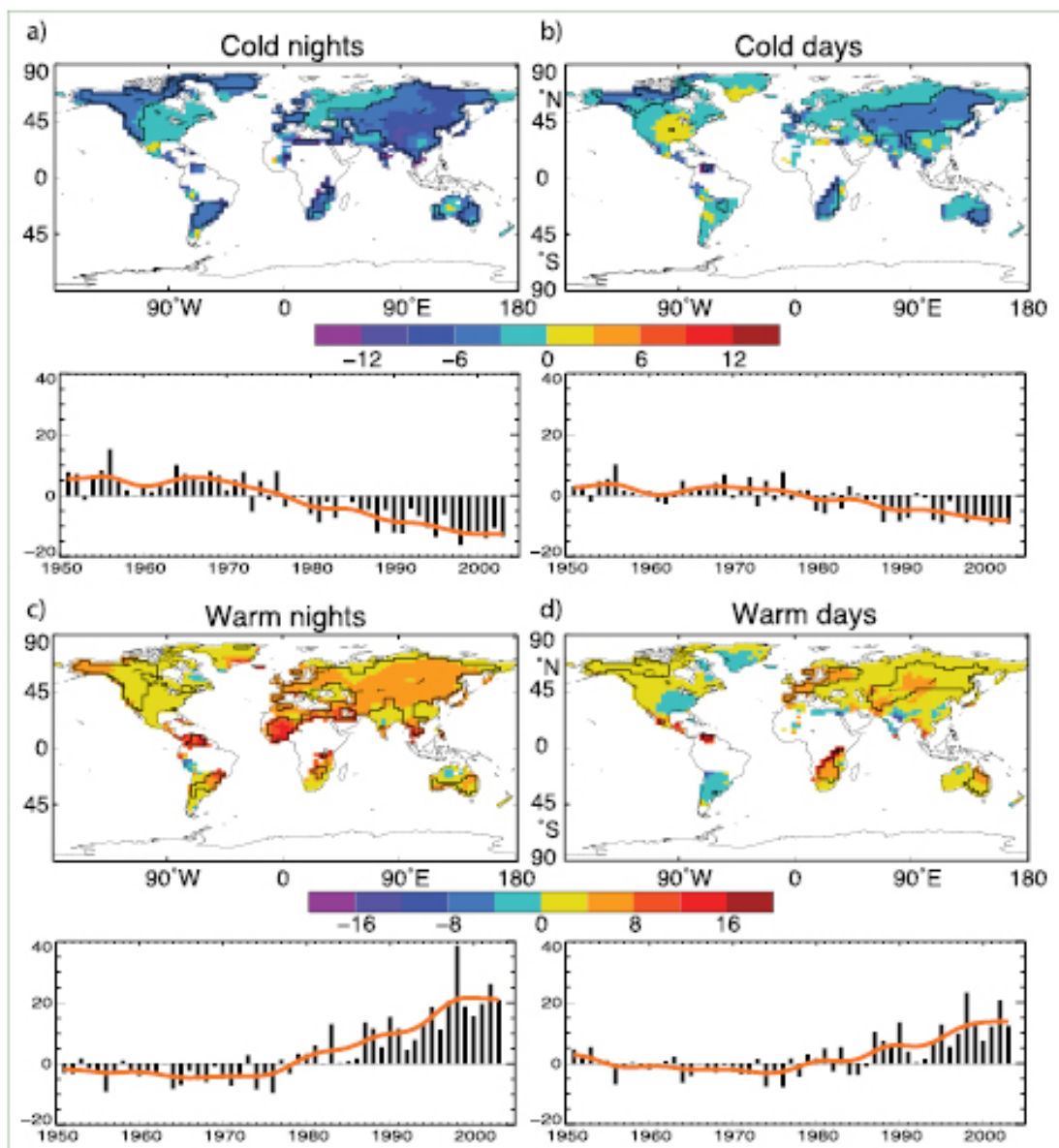
Κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας έχει αυξηθεί κατά 17 cm εν μέρει λόγω της τήξης του χιονιού και των πάγων. Τέλος έχουν παρατηρηθεί μεταβολές στην αλατότητα των ωκεανών, στη θερμοκρασία της Αρκτικής, της συχνότητας των κυμάτων καύσωνα και της έντασης των τροπικών κυκλώνων.

1.5.1 Οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή

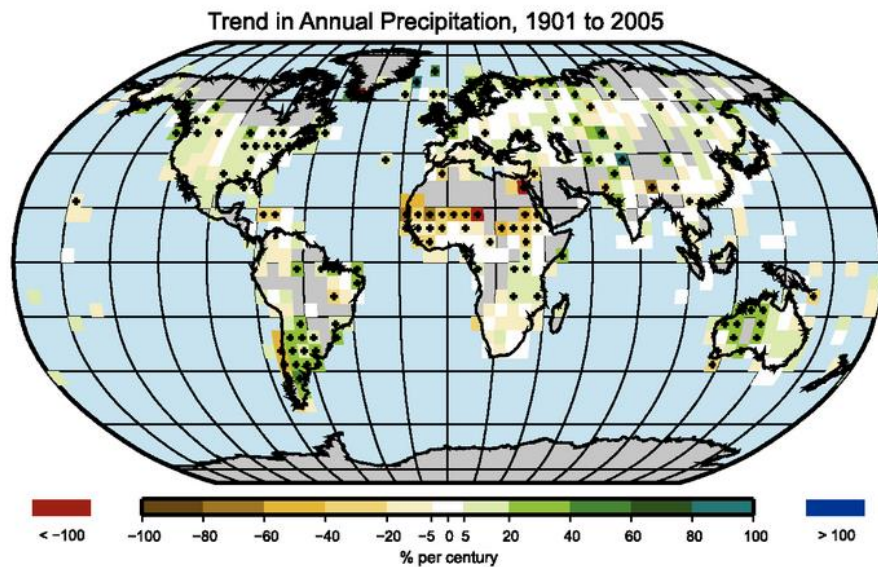
Η συνεχιζόμενη εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδα ίσα ή πάνω από τα σημερινά, θα προκαλέσει περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας και θα επιφέρει πολλές αλλαγές στο παγκόσμιο κλιματικό σύστημα κατά τον 21^ο αιώνα οι οποίες θα είναι μεγαλύτερες από αυτές που παρατηρήθηκαν τον προηγούμενο αιώνα (Σχήμα 17).

Η ανάπτυξη των κλιματικών μοντέλων έχει σαν αποτέλεσμα να έχουμε τώρα ακριβέστερες εκτιμήσεις όσον αφορά την κλιματική αλλαγή τον 21^ο αιώνα. Τα περισσότερα μοντέλα προβλέπουν αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα και σύμφωνα με την 4η έκθεση της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) και τα τέσσερα σενάρια εκπομπών που περιγράφηκαν παραπάνω, προβλέπεται αύξηση στις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (Σχήμα 18) η οποία οδηγεί σε μία αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,8⁰C έως 4⁰C (Πίνακας 1) (IPCC, 2007).

Σύμφωνα με την ίδια έρευνα, η μέση στάθμη της θάλασσας μέχρι το 2100 αναμένεται να αυξηθεί 0,18-0,88m πάνω από το επίπεδο του 1990 (Πίνακας 1). Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στην θερμική διαστολή των ωκεανών σε συνδυασμό με το λιώσιμο των παγετώνων και των πάγων.



Σχήμα 15: Παρατηρούμενες τάσεις (ημέρες ανά δεκαετία) της περιόδου 1951 - 2003 στη συχνότητα των ακραίων θερμοκρασιών με περίοδο αναφοράς το 1961–1990. Στους χάρτες για (α) τις κρύες νύχτες και (β) τις κρύες μέρες παριστάνεται το ποσοστό των ημερών που ήταν κάτω από το 10° εκατοστημόριο ενώ για (γ) τις θερμές νύχτες και (δ) τις ζεστές μέρες αυτό που ήταν πάνω από το 90° εκατοστημόριο. Οι μαύρες γραμμές περικλείουν τις περιοχές όπου οι τάσεις είναι σημαντικές στο επίπεδο του 95%. Κάτω από κάθε χάρτη είναι η παγκόσμια ετήσια χρονοσειρά των ανωμαλιών (σε σχέση με το 1961 έως το 1990). Η κόκκινη γραμμή δείχνει τις δεκαετείς διακυμάνσεις. (IPCC, 2007).

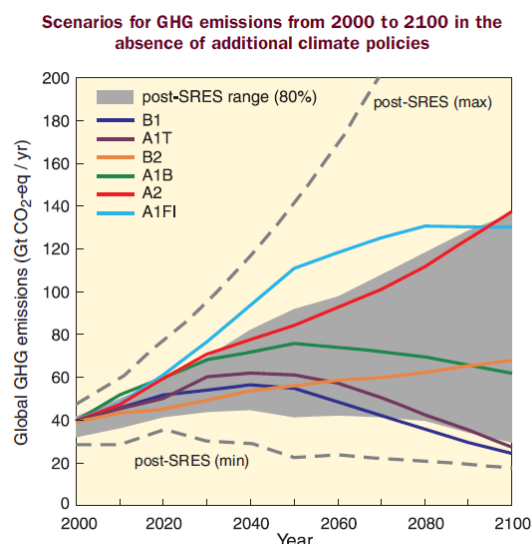


Σχήμα 16: Τάσεις των ετήσιων βροχοπτώσεων για την περίοδο 1901 έως 2005 (% ανά αιώνα) με περίοδο αναφοράς 1961-1990. Στις γκρι περιοχές δεν υπάρχουν αρκετά δεδομένα ώστε να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα. (IPCC, 2007).



Σχήμα 17: Περίληψη των 10 φαινομένων που παρατηρούνται κατά την κλιματική αλλαγή (<http://www.noaanews.noaa.gov/stories2010/images/warmingindicators.jpg>).

Προβλέπεται συρρίκνωση της περιοχής χιονοκάλυψης και μείωση της έκτασης του θαλάσσιου πάγου, τόσο στην Αρκτική όσο και στην Ανταρκτική. Ειδικά σε ορισμένα σενάρια, ο καλοκαιρινός πάγος της Αρκτικής θάλασσας εξαφανίζεται εντελώς μέχρι τα τέλη του 21^{ου} αιώνα.



Σχήμα 18: Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (σε ισοδύναμους γιγατόνους διοξειδίου του άνθρακα ανά έτος -GtCO₂-eq-) χωρίς τη λήψη πρόσθετων μέτρων για το κλίμα. Οι εκπομπές περιλαμβάνουν το CO₂, CH₄, N₂O και φθοριούχα αέρια. (IPCC, 2007).

Πίνακας 1: Προβλεπόμενη αύξηση της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας και άνοδος της στάθμης της θάλασσας μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα (για τα διάφορα σενάρια εκπομπών καθώς και για σταθερές εκπομπές με αυτές του έτους 2000) (IPCC, 2007).

Case	Temperature change (°C at 2090-2099 relative to 1980-1999) ^{a, d}		Sea level rise (m at 2090-2099 relative to 1980-1999)
	Best estimate	Likely range	Model-based range excluding future rapid dynamical changes in ice flow
Constant year 2000 concentrations ^b	0.6	0.3 – 0.9	Not available
B1 scenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2 scenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B scenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2 scenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI scenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

1.5.2 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής τόσο στη φύση όσο και στον άνθρωπο έχουν αρχίσει να είναι εμφανείς και είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα επιδεινωθούν στο μέλλον. Έρευνες του WWF έχουν δείξει ότι το 33% των οικοσυστημάτων του πλανήτη βρίσκονται σε κίνδυνο, ενώ πολλά είδη χλωρίδας και πανίδας απειλούνται με εξαφάνιση (<http://politics.wwf.gr>). Ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως ξηρασίες, πλημμύρες, καταιγίδες γίνονται όλο και πιο έντονα, την ίδια στιγμή που η θερμοκρασία ανεβαίνει προκαλώντας λιώσιμο των πάγων, κύματα καύσωνα και πυρκαγιές τεράστιας έκτασης.

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής δεν θα είναι δραματικές μόνο για το φυσικό περιβάλλον αλλά και για τον άνθρωπο καθώς 3 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν θα έχουν ικανοποιητική πρόσβαση σε νερό, ενώ και η γεωργία θα αντιμετωπίσει μεγάλο πρόβλημα φέρνοντας στα πρόθυρα της λιμοκτονίας έως και 120 εκατομμύρια ανθρώπους (Stern, 2007). Οι σημαντικότερες συνέπειες, ως επί το πλείστον αρνητικές, αναφέρονται παρακάτω:

Κλίμα

Η άνοδος της θερμοκρασίας στη Γη μπορεί να συμβάλλει στην αλλαγή του κλίματος μετακινώντας τις ζώνες βροχόπτωσης από τον ισημερινό προς το βορρά και ερημοποιώντας το νότιο τμήμα της εύκρατης ζώνης. Αυτό συνεπάγεται αλλαγές στους διάφορους τύπους βλάστησης, τόσο στις γεωργικές όσο και στις δασικές εκτάσεις, αλλά και τη συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων όπως καύσωνες και ξηρασίες ή έντονες βροχοπτώσεις ανάλογα με την περιοχή και την εποχή (Giannakopoulos et al., 2005).

Άνοδος της στάθμης της θάλασσας

Η αύξηση της θερμοκρασίας της Γης επιφέρει την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την τήξη των πάγων που και αυτή με τη σειρά της συνεισφέρει περισσότερο στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η άνοδος αυτή της στάθμης της θάλασσας απειλεί ολόκληρα νησιωτικά έθνη που βρίσκονται σε χαμηλό επίπεδο σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας στον Ειρηνικό και τον Ινδικό Ωκεανό. Πέρα από τα νησιά, παραθαλάσσιες αστικές και αγροτικές περιοχές ενδέχεται να βυθιστούν. Αξίζει να σημειωθεί ότι από τις 15 μεγαλύτερες πόλεις στον κόσμο, οι 13 βρίσκονται σε πεδινές περιοχές κοντά σε ακτές. Επίσης, θα επηρεαστεί η γεωργία στις παραθαλάσσιες περιοχές αφού τα υπόγεια νερά θα καταστούν υφάλμυρα. Θα τεθεί σε άμεσο κίνδυνο η ανθρώπινη υγεία αφού η υφαλμύρηση του υδροφόρου ορίζοντα θα επηρεάσει και το πόσιμο νερό. Οι κάτοικοι των περιοχών που θα επηρεαστούν θα αναζητήσουν νέο τόπο διαβίωσης με επιπτώσεις και στην οικονομία των χωρών.

Παγετώνες

Το συνεχές και γενικευμένο λιώσιμο των παγετώνων κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα θα οδηγήσει σε πλημμύρες, σε ελλείψεις νερού για εκατομμύρια ανθρώπους και, λόγω της ανόδου της στάθμης των θαλασσών, σε υποβάθμιση πολλών παράκτιων κοινοτήτων και ενδαιτημάτων (EEA, 2009)

Ακραία καιρικά φαινόμενα

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) αλλά και ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός (World Meteorological Organization-WMO) προβλέπουν ότι η άνοδος της θερμοκρασίας της Γης είναι πιθανό να εντείνει τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Καιρικά φαινόμενα, όπως η ξηρασία, οι καταιγίδες, οι πλημμύρες, ο καύσωνας αναμένεται ότι θα είναι συχνότερα αλλά και εντονότερα.

Οι καταιγίδες και οι πλημμύρες θα προκαλέσουν καταστροφή των καλλιεργειών και διάβρωση του εδάφους, με αντίκτυπο στη γεωργία. Ενδέχεται, επίσης, να δημιουργηθούν προβλήματα στην ποιότητα του νερού, λόγω μόλυνσης των πηγών, γεγονός το οποίο θα έχει άμεσες επιπτώσεις και στην ανθρώπινη υγεία, αφού αυξάνεται ο κίνδυνος μολύνσεων, αναπνευστικών προβλημάτων και θανάτων.

Παρεμφερής επίπτωση αποτελεί και η διεύρυνση των περιοχών που επηρεάζονται από την αύξηση της ξηρασίας, τη μείωση των βροχοπτώσεων και τη μείωση της ποσότητας πόσιμου νερού. Το γεγονός αυτό θα δημιουργήσει προβλήματα στη γεωργία (μείωση παραγωγής, καταστροφή σοδειών, θάνατος ζώων, αυξημένος κίνδυνος για πυρκαγιές). Η αναζήτηση νερού και τροφής καθώς και οι ασθένειες θα οδηγήσουν στη μετακίνηση πληθυσμών με σκοπό την εξεύρεση καλύτερων συνθηκών διαβίωσης αλλά ταυτόχρονα ο μεγάλος αριθμός περιβαλλοντικών προσφύγων που θα αναγκαστεί να εγκαταλείψει τις εστίες του θα οδηγήσει σε περιφερειακές συγκρούσεις (Stern, 2007).

Υδάτινοι πόροι

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα εκτιμάται ότι θα απειλήσουν τους πόρους τροφής και νερού σε διάφορες περιοχές του πλανήτη (Krol et al., 2006).

Οικοσυστήματα-Βιοποικιλότητα

Τα ζώα και τα φυτά βρίσκονται κάτω από ολοένα και αυξανόμενο κίνδυνο λόγω της αλλαγής του κλίματος (ΕΑΑ, 2004). Η πιο σημαντική απειλή από την αλλαγή του κλίματος στους ανθρώπους, τα ζώα και τα φυτά προέρχεται από την ολική εξαφάνιση των ενδιατημάτων τους. Ιδιαίτερα αξίζει να αναφερθεί ότι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας επηρεάζει τα παράκτια οικοσυστήματα, συμπεριλαμβανομένων των κοραλλιογενών υφάλων.

Οι κοραλλιογενείς ύφαλοι είναι εξαιρετικά σημαντικοί όχι μόνο για τη βιοποικιλότητα, αφού αποτελούν ενδιαίτηματα για πάνω από 25% του συνόλου των θαλάσσιων οργανισμών, αλλά και για τους ανθρώπους. Παρέχουν καταφύγιο σε πολλά είδη ψαριών, προστατεύουν τις παράκτιες περιοχές από τα κύματα των καταιγίδων, ενώ είναι σημαντικοί και για τον τομέα του τουρισμού.

Πολλά είδη σ' ολόκληρο τον πλανήτη, αναμένεται να εξαφανιστούν από τις περιοχές οι οποίες θα επηρεαστούν άμεσα από την αλλαγή του κλίματος. Ακόμα όμως και τα οικοσυστήματα που δε θα εξαφανιστούν ολοκληρωτικά μπορεί να υποστούν σοβαρές και ανεπανόρθωτες αλλαγές. Για παράδειγμα, πολλά ζώα και φυτά θα αναγκαστούν να μεταναστεύσουν σε διαφορετικές περιοχές από αυτές στις οποίες ζούσαν μέχρι σήμερα ενώ τα τροπικά και άλλα δάση στις νότιες περιοχές θα οδηγηθούν σε αφανισμό.

Παράλληλα, η επέκταση της περιόδου ξηρασίας έχει σαν αποτέλεσμα να αυξηθεί ο κίνδυνος πυρκαγιών.

Υγεία

Τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν τις θεμελιώδεις απαιτήσεις για την υγεία που είναι ο καθαρός αέρας, το ασφαλές πόσιμο νερό, η επάρκεια τροφής και το ασφαλές καταφύγιο. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, οι κίνδυνοι που εγκυμονούν οι κλιματικές αλλαγές για την υγεία, θα είναι σημαντικοί και θα ποικίλλουν ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή.

Οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες του αέρα συμβάλουν ευθέως στους θανάτους από τα νοσήματα του καρδιαγγειακού και του αναπνευστικού συστήματος, ιδιαίτέρως μεταξύ των ηλικιωμένων (Lye and Kamal, 1977; Fish et al., 1985).

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και τα ολοένα και πιο ακραία καιρικά φαινόμενα, εκτός από τους ευθέως θανάτους, θα καταστρέψουν κατοικίες, ιατρικές εγκαταστάσεις και άλλες βασικές υπηρεσίες.

Η αύξηση στη συχνότητα και την ένταση των πλημμύρων που μολύνουν το φρέσκο νερό, αυξάνουν τον κίνδυνο από τις ασθένειες που μεταδίδονται από το νερό και δημιουργούν λόγους αναπαραγωγής για τις ασθένειες που μεταφέρουν τα έντομα, όπως τα κουνούπια. Προκαλούν επίσης πνιγμούς και σωματικές βλάβες, καταστρέφουν κατοικίες και μπορούν να διαταράξουν τον εφοδιασμό της Ιατρικής και των Υπηρεσιών Υγείας.

Η άνοδος της θερμοκρασίας και η μεταβολή των βροχοπτώσεων είναι πιθανό να μειώσουν την παραγωγή σε βασικά είδη διατροφής σε πολλές από τις πιο φτωχές περιοχές. Αυτό θα οδηγήσει σε αύξηση του υποσιτισμού και της κακής θρέψης, που κοστίζει εκατομμύρια ζωές ανθρώπων κάθε χρόνο.

Μία άλλη παράμετρος της παγκόσμιας θέρμανσης αφορά στην ενδεχόμενη εξάπλωση και άνθιση επιδημιών του παρελθόντος, καθώς οι υψηλές θερμοκρασίες και η υγρασία αποτελούν υπόβαθρο για την ανάπτυξη μικροβίων (Stern, 2007).

Οι κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν έντονα τις ασθένειες που μεταδίδονται με διαβιβαστές. Η διάδοση ασθενειών όπως ο δάγκειος πυρετός, η μαλάρια, η εγκεφαλίτιδα, η ελονοσία ή ο κίτρινος πυρετός θα είναι, κατά συνέπεια, πιο εύκολη.

Θετικές συνέπειες

Θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθεί ότι η παγκόσμια θέρμανση μπορεί να συνοδευτεί και από ορισμένες θετικές επιδράσεις (ΕΕΑ, 2008):

- ✚ Η γεωργία στα μέσα γεωγραφικά πλάτη θα μπορούσε ενδεχομένως να ωφεληθεί από μία μέτρια άνοδο της θερμοκρασίας
- ✚ Η άνοδος της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αύξηση του αριθμού των ημερών που θεωρούνται ιδανικές για την ανάπτυξη των φυτών
- ✚ Σε κάποιες περιοχές θα παρατηρηθεί μείωση των απαιτήσεων σε θέρμανση κατά τη χειμερινή περίοδο, που δεν αντισταθμίζεται με τις απαιτήσεις ψύξης κατά τη θερινή περίοδο.
- ✚ Θα μειωθούν οι θάνατοι λόγω ψύχους κατά τη χειμερινή περίοδο.

1.6 Ανακεφαλαίωση

Κλίμα είναι το σύνολο των καιρικών και μετεωρολογικών φαινομένων και συνθηκών που επικρατούν και μεταβάλλονται σε μια περιοχή για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την εξερχόμενη ακτινοβολία είναι αυτή που προσδιορίζει το παγκόσμιο κλίμα. Σημαντικό ρόλο στο ενεργειακό ισοζύγιο και τη διαμόρφωση του κλίματος μιας περιοχής παίζουν και τα αέρια του θερμοκηπίου.

Η ύπαρξη ζωής με τη μορφή που τη γνωρίζουμε σήμερα θα ήταν αδύνατη χωρίς την ύπαρξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Ο μηχανισμός κατά τον οποίο διάφορα ίχνη αερίων απορροφούν υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια, την ατμόσφαιρα και τα σύννεφα και στην συνέχεια την εκπέμπουν προς όλες τις διευθύνσεις διαμορφώνει τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη στους $+15^{\circ}\text{C}$ αντί -18°C που θα ήταν χωρίς την ύπαρξη του φαινομένου.

Η αυξανόμενη όμως συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου, λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων κυρίως, ενισχύει την απορρόφηση και εκπομπή της υπέρυθρης ακτινοβολίας με το μεγαλύτερο μέρος να παγιδεύεται μέσα στην ατμόσφαιρα και να συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της Γης. Η επίδραση αυτή καλείται ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου και είναι ο βασικότερος λόγος που στις μέρες μας γίνεται λόγος για κλιματική αλλαγή διακρίνοντας τον όρο από την κλιματική μεταβλητότητα που οφείλεται σε φυσικά αίτια.

Γεγονός αποτελεί ότι η αλλαγή του κλίματος έχει ήδη εμφανή αποτελέσματα, που εκτείνονται από την αύξηση της θερμοκρασίας έως την άνοδο της στάθμης της θάλασσας καθώς και τη συχνότερη εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, οι συνέπειες της αλλαγής του κλίματος θα είναι κατά κύριο λόγο αρνητικές όχι μόνο για το φυσικό περιβάλλον αλλά και για τον άνθρωπο. Η άνοδος της

στάθμης των θαλασσών θα θέσει σε κίνδυνο τις ζωές εκατομμυρίων κατοίκων παράκτιων περιοχών, ενώ η αλλαγή του κλίματος θ' αυξήσει τόσο τη συχνότητα όσο και την ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες, τα κύματα καύσωνα και οι θύελλες.

Θα υπάρξει αυξημένη λειψυδρία σε πολλές περιοχές, όπου το νερό είναι ήδη λιγοστό, καθώς και ελλείψεις σε τρόφιμα ή εξάπλωση λοιμωδών ασθενειών σε ορισμένες περιοχές. Αυτό με τη σειρά του μπορεί να προκαλέσει συγκρούσεις για τους υπό εξαφάνιση πόρους, καθώς και να οδηγήσει σε μεταναστεύσεις πληθυσμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Τροπικές νύχτες και κλιματική αλλαγή στην Ελλάδα

2.1 Εισαγωγή

Σύμφωνα με την Greenpeace, δεν είναι υπερβολή ότι οι κλιματικές αλλαγές είναι η μεγαλύτερη περιβαλλοντική, οικονομική και κοινωνική κρίση στην ιστορία της ανθρωπότητας. Ήδη οι πρώτες επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών πλήττουν εκατομμύρια συνανθρώπους μας σε κάθε γωνία του πλανήτη, ενώ ορισμένες μελλοντικές επιπτώσεις είναι αναπόφευκτες.

Η λεκάνη της Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής αναμένεται να πληγεί σε μεγαλύτερο βαθμό από την κλιματική αλλαγή σε σχέση με άλλες περιοχές του πλανήτη. Η Ελλάδα ανήκει στα κράτη που ήδη πλήττονται από τις κλιματικές αλλαγές και κινδυνεύει άμεσα από αυτές. Η αύξηση της μέσης πλανητικής θερμοκρασίας του πλανήτη, έχει ήδη γίνει αισθητή στην Ελλάδα, όπως και σε ολόκληρη τη Μεσόγειο. Η χώρα, ξηρή και θερμή, είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στις κλιματικές αλλαγές και οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών αναμένεται να επηρεάσουν το περιβάλλον, την υγεία και την οικονομία.

Μία από τις κλιματικές παραμέτρους που θα επηρεαστεί από την κλιματική αλλαγή στη χώρα μας είναι και ο αριθμός τροπικών νυχτών, δηλαδή των νυχτών που η θερμοκρασία ξεπερνά τους 20°C. Οι τροπικές νύχτες επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία καθώς τροποποιούν την ποιότητα και τη διάρκεια του νυχτερινού ύπνου που είναι πολύ σημαντικός για την ανάκαμψη από την κόυραση της ημέρας.

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως βασικό αντικείμενο τη θεωρητική και πρακτική προσέγγιση της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα και τη συμβολή αυτής της κλιματικής αλλαγής στη μεταβολή των τροπικών νυχτών. Πιο αναλυτικά, το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος, αναγνωρίζοντας ότι η δυνητική επίδραση της προηγούμενης και της τρέχουσας μεταβλητότητας του κλίματος στην Ελλάδα καθώς επίσης και των μελλοντικών αλλαγών παίζει σπουδαίο ρόλο, γίνεται αναφορά στο κλίμα της Ελλάδας. Στο δεύτερο μέρος παρατίθενται τα έως σήμερα κυριότερα επιστημονικά στοιχεία και προβλέψεις για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο και την Ελλάδα ειδικότερα. Τέλος, το τρίτο μέρος παρουσιάζει το θεωρητικό πλαίσιο των τροπικών νυχτών καθώς και τις πιο σημαντικές επιστημονικές προβλέψεις που αφορούν τη μεταβολή των τροπικών νυχτών τόσο σε παγκόσμιο όσο και τοπικό επίπεδο.

2.2 Το κλίμα της Ελλάδας

Η Ελλάδα ανήκει στη βόρεια εύκρατη ζώνη, σε βόρειο γεωγραφικό πλάτος από 34°48' ως 41°45' και έχει γενικά εύκρατο κλίμα. Επειδή όμως βρίσκεται στη λεκάνη της Μεσογείου παρουσιάζει, όπως όλες οι παραμεσόγειες περιοχές, ορισμένες ιδιομορφίες και γι' αυτό το κλίμα της χαρακτηρίζεται μεσογειακό, δηλαδή ήπιους και βροχερούς χειμώνες, σχετικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και μεγάλη ηλιοφάνεια όλο σχεδόν το χρόνο.

Λεπτομερέστερα, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας παρουσιάζεται μια μεγάλη ποικιλία κλιματικών τύπων. Αυτό οφείλεται στην αλληλεπίδραση μεταξύ αφενός των καιρικών συστημάτων και αφετέρου της πολύπλοκης τοπογραφίας (υπάρχουν μεγάλες οροσειρές κατά μήκος της κεντρικής χώρας και άλλοι ορεινοί όγκοι) και της εκατοστιαίας κατανομής ξηράς και θάλασσας από τη δύση προς την ανατολή και από το βορρά προς το νότο. Ο συνδυασμός των παραπάνω διαχωρίζει τον κορμό της Ελλάδας στη δυτική ομβροπλευρά και στην ανατολική ομβροσκιά. Έτσι από το ξηρό κλίμα της Αττικής και γενικά της Ανατολικής Ελλάδας μεταπίπτουμε στο υγρό της Βόρειας και Δυτικής Ελλάδας. Οι κλιματικές αντιθέσεις συναντώνται ακόμη και σε τόπους που βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε σε μικρές αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων, το κλίμα να μεταβάλλεται από μεσογειακό μέχρι και αλπικό πράγμα που παρουσιάζεται σε λίγες μόνο χώρες σε όλο τον κόσμο.

Σε γενικές γραμμές στον ελληνικό χώρο διαμορφώνονται τέσσερις κλιματικοί τύποι (Μαριολόπουλος, 1938, 1982):

- α) ο Θαλάσσιος Μεσογειακός Τύπος, με ευχάριστα χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος, στα δυτικά παράλια της Ελλάδος και στα Ιόνια Νησιά,
- β) ο Χερσαίος Μεσογειακός Τύπος, που περιλαμβάνει τη ΝΑ Ελλάδα, μέρος της Στερεάς, τμήματα της Ανατολικής Πελοποννήσου, τα νησιά και τα παράλια του Κεντρικού Αιγαίου και της Κρήτης, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες από τα αντίστοιχα γεωγραφικά πλάτη του Ιονίου,
- γ) ο Ηπειρωτικός Τύπος, στο μεγαλύτερο τμήμα της Θράκης, της Μακεδονίας και της Ηπείρου και σε μέρος της Θεσσαλίας, ο οποίος παρουσιάζει χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος των βορειότερων βαλκανικών περιοχών, και
- δ) ο Ορεινός Τύπος, που περιλαμβάνει τους ορεινούς όγκους που διασχίζουν την Ελλάδα. Στους ορεινούς αυτούς όγκους υπάρχουν δασώδεις περιοχές με κλίμα δάσους, καθώς και μικρές περιοχές μεγάλου υψομέτρου με αλπικό κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

Από κλιματολογικής πλευράς το έτος μπορεί να χωριστεί κυρίως σε δύο εποχές: Την ψυχρή και βροχερή χειμερινή περίοδο που διαρκεί από τα μέσα του Οκτωβρίου και μέχρι το τέλος Μαρτίου και τη θερμή και άνομβρη εποχή που διαρκεί από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Κατά την πρώτη περίοδο οι ψυχρότεροι μήνες είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος, όπου κατά μέσον όρο η μέση ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 5-10°C στις παραθαλάσσιες

περιοχές, από 0-5°C στις ηπειρωτικές περιοχές και με χαμηλότερες τιμές κάτω από το μηδέν στις βόρειες περιοχές.

Οι βροχές στη χώρα μας ακόμη και τη χειμερινή περίοδο δεν διαρκούν για πολλές ημέρες και ο ουρανός της Ελλάδας δεν μένει συνεφιασμένος για αρκετές συνεχόμενες ημέρες, όπως συμβαίνει σε άλλες περιοχές της Γης. Οι χειμερινές κακοκαιρίες διακόπτονται συχνά κατά τον Ιανουάριο και το πρώτο δεκαπενθήμερο του Φεβρουαρίου από ηλιόλουστες ημέρες, τις γνωστές από την αρχαιότητα «Αλκυονίδες ημέρες». Η χειμερινή εποχή είναι γλυκύτερη στα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου από ότι στη Βόρεια και Ανατολική Ελλάδα.

Κατά τη θερμή και άνομβρη εποχή ο καιρός είναι σταθερός, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, ο ήλιος λαμπερός και δεν βρέχει εκτός από σπάνια διαλείμματα με ραγδαίες βροχές ή καταιγίδες μικρής όμως διάρκειας. Η θερμότερη περίοδος είναι το τελευταίο δεκάημερο του Ιουλίου και το πρώτο του Αυγούστου οπότε η μέση μέγιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 29°C μέχρι 35°C. Κατά τη θερμή εποχή οι υψηλές θερμοκρασίες μετριάζονται από τη δροσερή θαλάσσια αύρα στις παράκτιες περιοχές της χώρας και από τους βόρειους ανέμους (ετησίες) που φυσούν κυρίως στο Αιγαίο.

Η άνοιξη έχει μικρή διάρκεια, διότι ο μεν χειμώνας είναι όψιμος, το δε καλοκαίρι αρχίζει πρώιμα. Το φθινόπωρο είναι μακρύ και θερμό και πολλές φορές παρατείνεται στη Νότια Ελλάδα μέχρι και τα μέσα του Δεκεμβρίου (www.hnms.gr).

2.3 Η κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο και την Ελλάδα

Η Μεσόγειος αποτελεί κατά γενική ομολογία «θερμό σημείο» όσον αφορά στις κλιματικές επιπτώσεις (Giorgi, 2006). Αξίζει να σημειωθεί ότι, ενώ τα αποτελέσματα των κλιματικών προτύπων που έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς από διάφορα ερευνητικά ιδρύματα παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους, οι αποκλίσεις αυτές ελαχιστοποιούνται στην περιοχή της Μεσογείου, γεγονός που αυξάνει σημαντικά τις πιθανότητες επαλήθευσής τους. Μελετητές που ασχολήθηκαν με την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα ακραία κλιματικά φαινόμενα κατέληξαν στο ότι η λεκάνη της Μεσογείου θα περάσει σε σημαντικά θερμότερο κλίμα με παρατεταμένα κύματα καύσωνα, λιγότερη βροχόπτωση αλλά εντονότερα ακραία επεισόδια βροχής (Diffenbough et al., 2007; Goubanova and Li, 2007).

Πιο αναλυτικά, οι ετήσιες θερμοκρασίες προβλέπεται να αυξηθούν στη Νότια Ευρώπη και τη Μεσόγειο (NEM) περισσότερο από τον παγκόσμιο μέσο όρο (για το A1B σενάριο και την περίοδο 2080-2099, η υπολογισμένη παγκόσμια θέρμανση είναι 2,8°C ενώ για τη NEM είναι 3,5°C). Η θέρμανση θα είναι μεγαλύτερη στα νότια και ηπειρωτικά από ότι στις παράκτιες περιοχές και θα έχει την υψηλότερη τιμή της το καλοκαίρι (4,1°C, για το ίδιο σενάριο και την ίδια περίοδο) (Σχήμα 19).

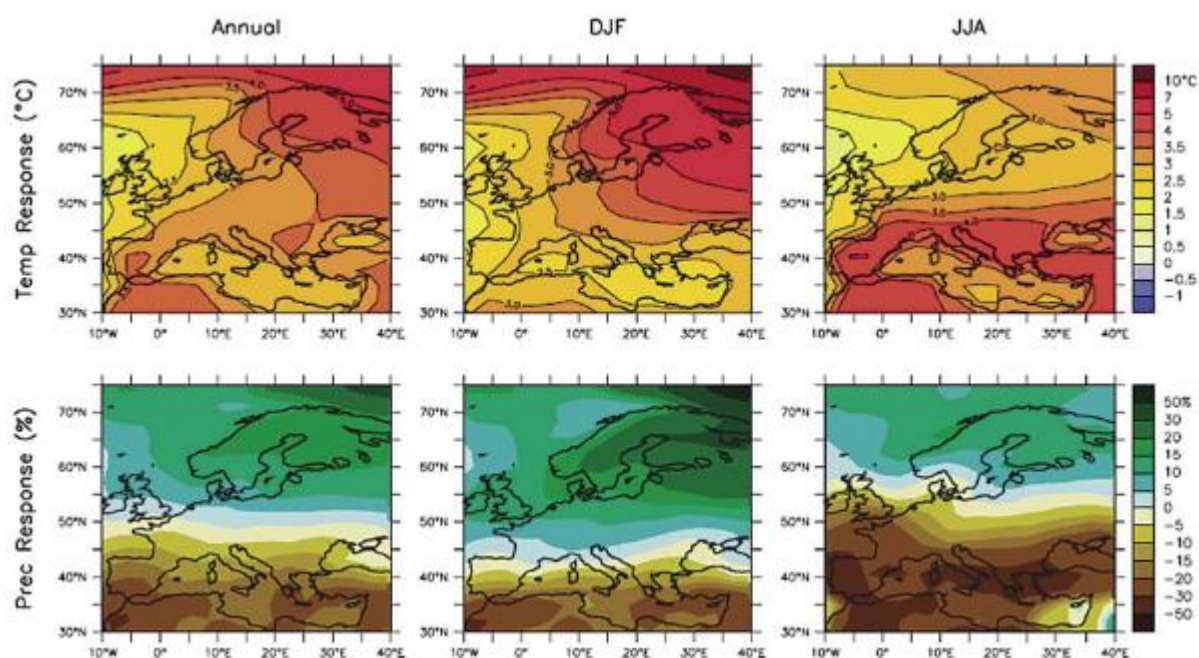
Τα ετήσια κατακρημνίσματα είναι πολύ πιθανό να μειωθούν στο μεγαλύτερο μέρος της ΝΕΜ, όπως επίσης και ο αριθμός των ημερών με βροχή. Οι αλλαγές στα κατακρημνίσματα δε θα είναι ομοιογενώς κατανεμημένες μεταξύ των εποχών, με τα καλοκαιρινά κατακρημνίσματα να τείνουν να υποστούν τις μεγαλύτερες μειώσεις (24% μείωση το καλοκαίρι έναντι 12% μείωσης στο ετήσιο σύνολο για την ίδια περίοδο και το ίδιο σενάριο όπως παραπάνω). Οι αλλαγές στα κατακρημνίσματα θα ποικίλουν σε όλη την περιοχή και οι μεγαλύτερες μειώσεις είναι πιθανόν να συμβούν περισσότερο προς το νότο (Σχήμα 19). Άλλες αλλαγές στη ΝΕΜ περιλαμβάνουν μειώσεις της σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας και της νεφοκάλυψης, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Δεν αναμένονται σημαντικές αλλαγές στη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στα 10m, εκτός από μια μικρή αύξηση το καλοκαίρι. Η μεταβλητότητα της θερμοκρασίας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα προβλέπεται να αυξηθούν, με τους καύσωνες να αυξηθούν σε ένταση, διάρκεια και συχνότητα λόγω της αλλαγής στη συνοπτική κατάσταση του καιρού. Ο αριθμός των ξηρών περιόδων και των ξηρασιών υπολογίζεται να αυξηθεί.

Η Ελλάδα ανήκει στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, η οποία θεωρείται από τις πλέον ευάλωτες περιοχές στην ανθρωπογενή συνιστώσα της κλιματικής αλλαγής (Giorgi and Lionello, 2008). Σύμφωνα με τις προβλέψεις η παραπάνω αύξηση στη θερμοκρασία μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα, θα καταστήσει την Ανατολική Μεσόγειο και την Μέση Ανατολή μεταξύ των θερμότερων περιοχών του πλανήτη.

Με βάση τα υποδείγματα υπολογισμού της ανθρωπογενούς παρέμβασης στο κλίμα υπό τα δύο ακραία σενάρια κλιματικής μεταβολής (B₂ και A₂) που αναλύονται στα συναφή τμήματα της μελέτης, αναμένεται ότι κατά το τέλος του 21ου αιώνα, λόγω της ανθρωπογενούς παρέμβασης, η βροχή θα μειωθεί μεταξύ 5% και περίπου 19%, αντίστοιχα, σε επίπεδο επικράτειας. Επίσης, προκύπτει ότι κατά το τέλος του 21ου αιώνα η θερμοκρασία του αέρα θα αυξηθεί μεταξύ περίπου 3,0°C και 4,5°C, αντίστοιχα. Γενικά, οι προσομοιώσεις προβλέπουν σημαντικές μεταβολές πολλών κλιματικών παραμέτρων, όπως η υγρασία, η νεφοκάλυψη κ.ά. Ενδιαφέρον, όσον αφορά τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), παρουσιάζουν η αναμενόμενη αύξηση της μέσης προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (μεταξύ 2,3W/m² και 4,5W/m²) στο σύνολο της επικράτειας, καθώς και η αύξηση της έντασης των Ετησίων ανέμων κατά 10% προς το τέλος του 21^{ου} αιώνα (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας, 2011).

Ακόμη και στην περίπτωση του ενδιάμεσου σεναρίου A1B, αναμένεται ότι στα ηπειρωτικά ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη θερμοκρασία θα υπερβαίνει τους 35°C θα είναι μεγαλύτερος κατά 35-40 ημέρες την περίοδο 2071-2100 σε σύγκριση με το παρόν. Ακόμη μεγαλύτερη αύξηση (περίπου 50 ημέρες στην επικράτεια) θα σημειωθεί ως προς τον αριθμό των ημερών με ελάχιστη θερμοκρασία άνω των 20°C (τροπικές νύκτες). Σε αντιδιαστολή, ο αριθμός των ημερών με νυκτερινό παγετό αναμένεται να μειωθεί σημαντικά, ιδίως στη Βόρεια Ελλάδα (μείωση έως και κατά 40 ημέρες). Εξάλλου, η άνοδος της θερμοκρασίας θα έχει ως

συνέπεια την αύξηση της χρονικής διάρκειας της βλαστητικής περιόδου κατά 15-35 ημέρες (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας, 2011).



Σχήμα 19: Προσομοίωση της μεταβολής της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στην περιοχή της Ευρώπης – Μεσογείου για το A1B σενάριο και για διάφορα χρονικά διαστήματα του έτους (IPCC, 2007).

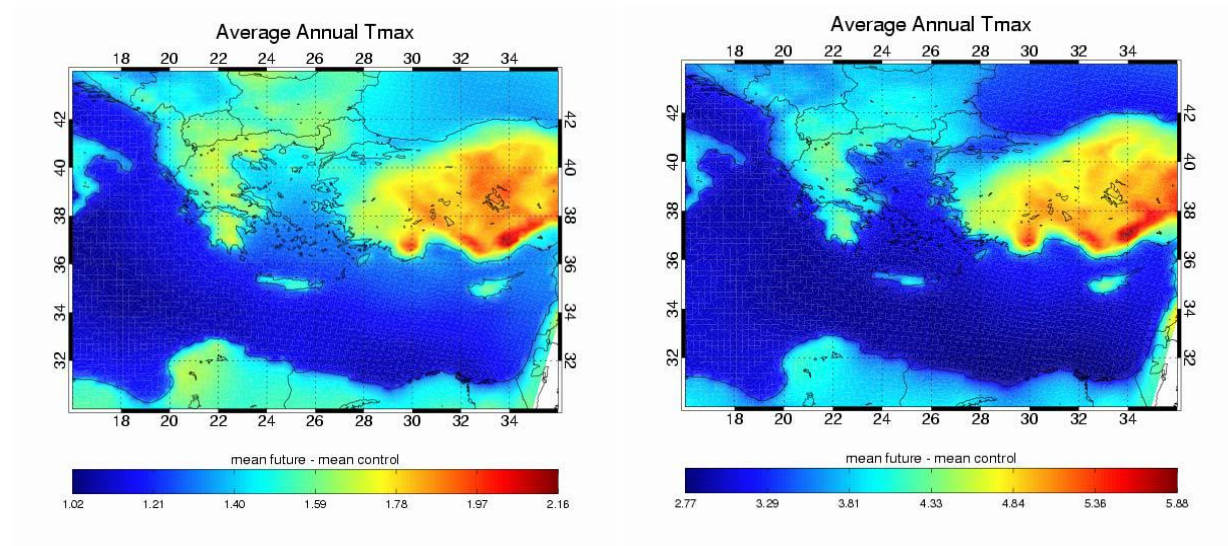
Μεταβολές αναμένονται επίσης ως προς τις ακραίες τιμές της βροχόπτωσης. Στην ανατολική Στερεά Ελλάδα και τη ΒΔ Μακεδονία η μέγιστη ποσότητα του νερού που κατακρημνίζεται σε διάστημα έως 3 ημέρες αναμένεται να αυξηθεί σε ποσοστό έως 30%, ενώ στη δυτική Ελλάδα αναμένεται να μειωθεί σε ποσοστό έως 20%. Σε αντιδιαστολή με τις πλημμυρικές περιόδους, οι μεγαλύτερες αυξήσεις της διάρκειας των ξηρών περιόδων θα σημειωθούν στην ανατολική ηπειρωτική χώρα και στη βόρεια Κρήτη, όπου αναμένονται 20 επιπλέον ημέρες ξηρασίας μέχρι το 2021-2050 και μέχρι 40 επιπλέον ημέρες το 2071-2100. Αναμένεται ότι η μεταβολή των κλιματικών συνθηκών θα αυξήσει σημαντικά τον αριθμό των ημερών με εξαιρετικά αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιάς, κατά 40 ημέρες το 2071-2100 σε όλη την ανατολική Ελλάδα από τη Θράκη έως την Πελοπόννησο, ενώ μικρότερες αυξήσεις αναμένονται στη δυτική Ελλάδα (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας, 2011).

Η Ελλάδα επίσης, ως μια χώρα με εξαιρετικά μεγάλο μήκος ακτογραμμής, απειλείται άμεσα από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Από το σύνολο της ακτογραμμής της Ελλάδος, περίπου το 20% είναι ακτές με μέτρια έως υψηλή ευπάθεια στις αναμενόμενες, βάσει των εκτιμήσεων, εξελίξεις.

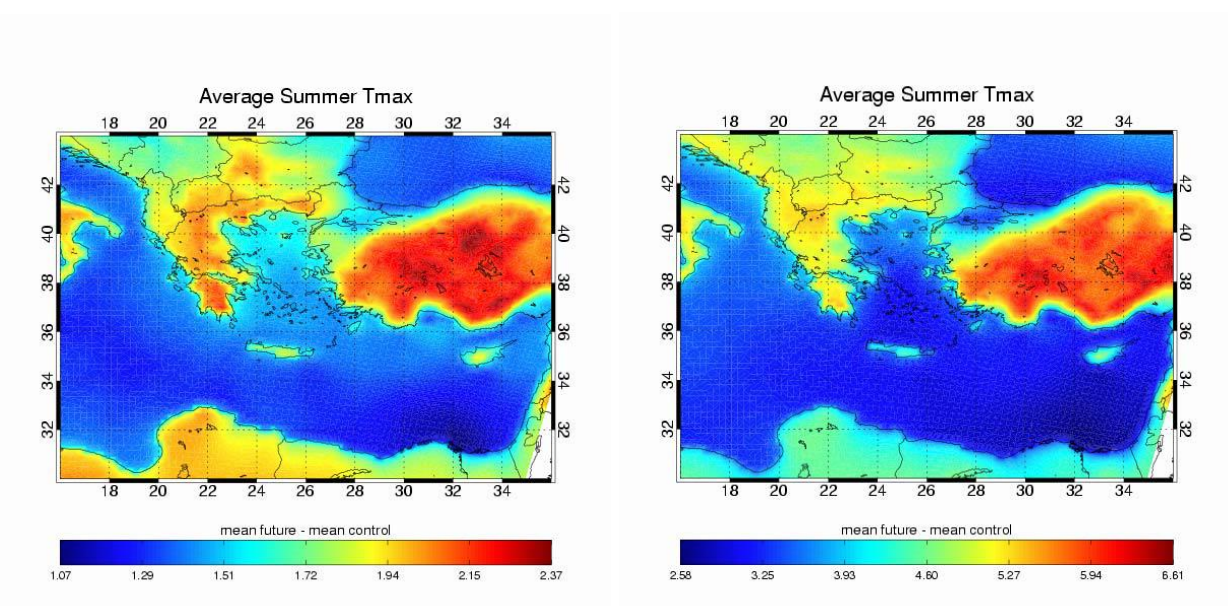
Σε παρόμοια συμπεράσματα κατέληξαν και οι Giannakopoulos et al. (2012) που εξέτασαν τις κλιματικές αλλαγές στις μέσες τιμές της θερμοκρασίας και των βροχοπτώσεων καθώς και των ακραίων τιμών τους (καύσωνες, περίοδοι ξηρασίας, αριθμός τροπικών νυχτών). Η κλιματική προσομοίωση έγινε για το σενάριο A1B της κλιματικής αλλαγής, που είναι ένα μεσαίο σενάριο όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και την οικονομική ανάπτυξη, για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 με περίοδο αναφοράς την περίοδο 1961-1990 και τη χρήση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RACMO2 που είναι μεγάλης διακριτικής ικανότητας (οριζόντια ανάλυση 25km*25km).

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν συνοψίζονται παρακάτω:

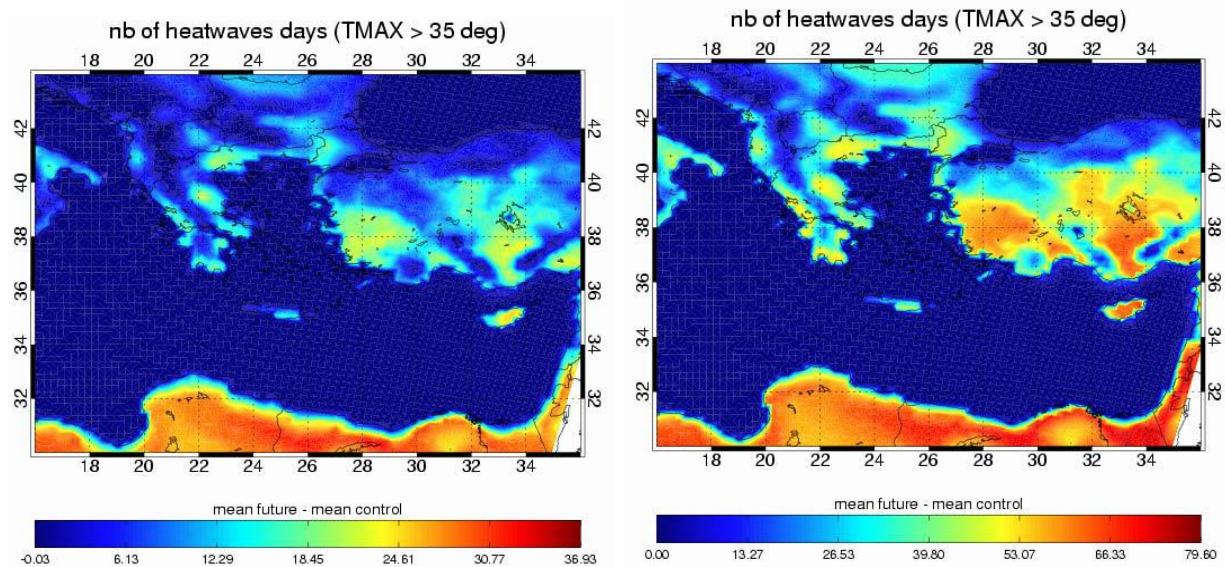
- ✚ Η μεταβολή στη μέση μέγιστη θερμοκρασία στο εσωτερικό της χώρας είναι μεγαλύτερη από ότι στις παραθαλάσσιες περιοχές και είναι της τάξεως των 1,5-2,0°C για την περίοδο 2021-2050 και 3,5-5,0°C για την περίοδο 2071-2100 (Σχήμα 20).
- ✚ Η μεγαλύτερη αύξηση στη μέση μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται το καλοκαίρι. Είναι πιο εμφανής στα ηπειρωτικά από στις παράκτιες περιοχές, και φτάνει τους 1,8-2,2°C την περίοδο 2021-2050 και τους 4-6°C για την περίοδο 2071-2100 (Σχήμα 21).
- ✚ Οι εξαιρετικά θερμές ημέρες (δηλαδή οι ημέρες στις οποίες $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$), που υποδεικνύουν κατά κάποιο τρόπο τους επερχόμενους καύσωνες, αυξάνονται κατά 25 ημέρες την περίοδο 2021-2050 και κατά 60 ημέρες την περίοδο 2071-2100 (Σχήμα 22). Και τις δύο χρονικές περιόδους τις μεγαλύτερες αυξήσεις τις αντιμετωπίζουν περιοχές της κεντρικής Μακεδονίας και της Θεσσαλίας ενώ ακολουθούν, η ανατολική Στερεά, η δυτική Στερεά, τα παράλια Πελοποννήσου και τα νότια τμήματα της Κρήτης.
- ✚ Αναμένεται αύξηση στη μέση ελάχιστη θερμοκρασία η οποία θα είναι περίπου 1,4-1,8°C για την περίοδο 2021-2050 και 2,7-3,8°C για την περίοδο 2071-2100 (Σχήμα 23). Οι περιοχές με τη μεγαλύτερη αύξηση είναι αυτές στην ανατολική ηπειρωτική χώρα.
- ✚ Ο αριθμός των τροπικών νυχτών είναι πιθανό να αυξηθεί 1-2 μήνες για την περίοδο 2021-2050 και 2,5-3 μήνες για την περίοδο 2071-2100. Η αύξηση είναι περισσότερο εμφανής στις παραθαλάσσιες και νησιωτικές περιοχές της χώρας.
- ✚ Το ποσό υετού κατά τη διάρκεια του χειμώνα μειώνεται κατά 10% στα ανατολικά τμήματα της Ελλάδας την περίοδο 2021-2050 και κατά 20% στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας την περίοδο 2071-2100 (Σχήμα 24).
- ✚ Αυξάνονται οι περίοδοι ξηρασίας κατά 25% την περίοδο 2021-2050 και κατά 25-50% την περίοδο 2071-2100 (Σχήμα 25) πράγμα που συμφωνεί και με αποτελέσματα του Περιβαλλοντικού Προγράμματος Ηνωμένων Εθνών (Σχήμα 26).



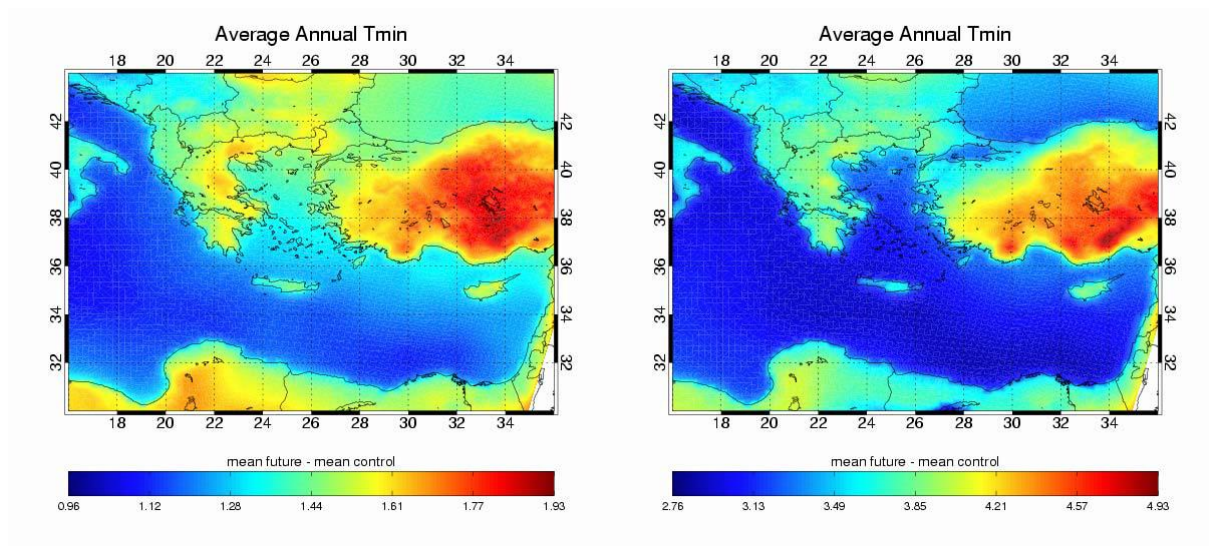
Σχήμα 20: Μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).



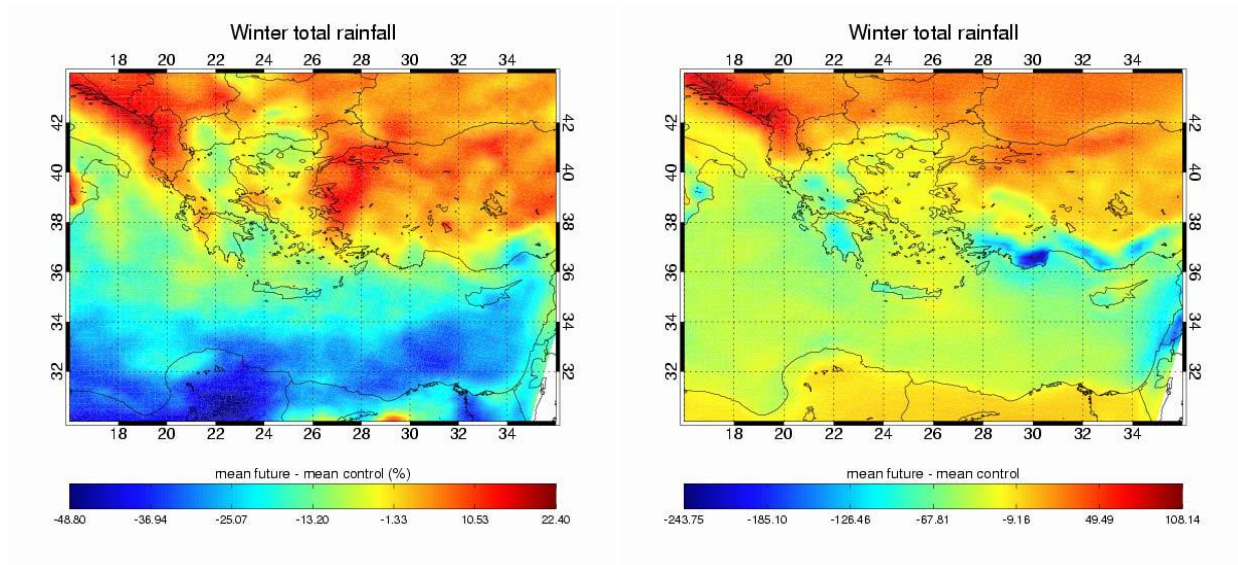
Σχήμα 21: Μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας το καλοκαίρι για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).



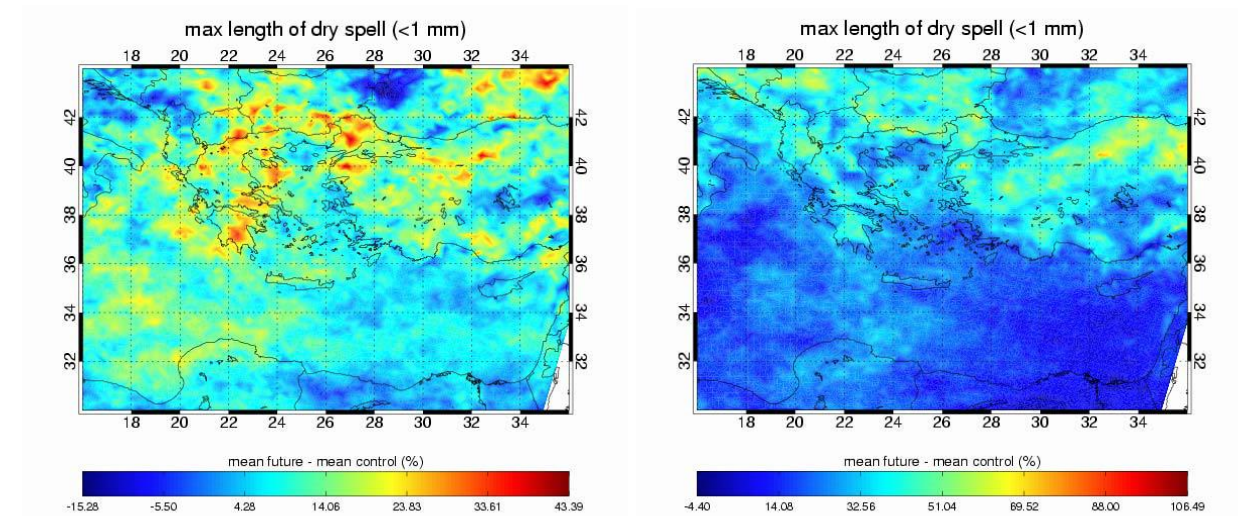
Σχήμα 22 Μεταβολή της στον αριθμό των εξαιρετικά θερμών ημερών για την περίοδο 2021 - 2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).



Σχήμα 23: Μεταβολή της μέσης ετήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).



Σχήμα 24: Μεταβολή στον ολικό υετό το χειμώνα για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).



Σχήμα 25: Μεταβολή (επί τοις εκατό) στις περιόδους ξηρασίας για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).



Σχήμα 26: Ερημοποίηση στην Ανατολική Μεσόγειο (GRID Arendal, UNEP, 2009 τροποποιημένο).

Η έκθεση του 2011 της Τράπεζας της Ελλάδας για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην χώρα μας προβλέπει ότι: «Η κλιματική αλλαγή θα έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις σε διάφορους τομείς στην Ελλάδα. Οι επιπτώσεις στους τομείς της γεωργίας, των δασών, της αλιείας, του τουρισμού, των μεταφορών, στις δραστηριότητες σε παράκτιες περιοχές και στο δομημένο περιβάλλον των αστικών κέντρων, θα οδηγήσουν σε μείωση της παραγωγικότητας, σε απώλεια κεφαλαίου και σε επιπλέον δαπάνες για την αποκατάσταση των ζημιών. Αρνητικές συνέπειες θα υπάρξουν επίσης για τους τομείς της βιοποικιλότητας, των οικοσυστημάτων και της υγείας».

2.4 Τροπικές νύχτες και κλιματική αλλαγή

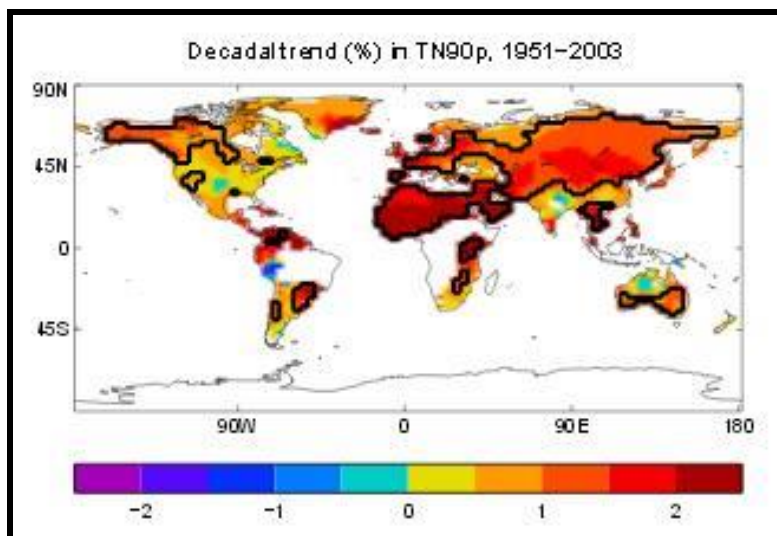
Ως τροπικές νύχτες (TN) ορίζονται εκείνες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία αέρα ξεπερνά τους 20°C (Alexander et al., 2006; Fischer, 2010). Αυτές οι νύχτες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον, λόγω της επίδρασής τους στην θερμική άνεση των ανθρώπων κατά την διάρκεια της νύχτας, ρυθμίζοντας την ποιότητα και την διάρκεια του ύπνου. Η στέρηση ύπνου κατά τη διάρκεια τέτοιων νυχτών έχουν έντονες επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων καθώς αλλάζουν το φυσικό ρυθμό του ανθρώπινου σώματος το οποίο δεν μπορεί να ανακάμψει από την κόπωση της ημέρας, ιδιαίτερα όταν οι νύχτες αυτές ακολουθούν ημέρες με υψηλές θερμοκρασίες (πχ

θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 35°C ή ημέρες καύσωνα). Τις τροπικές νύχτες πιο ευάλωτοι είναι οι ηλικιωμένοι οι οποίοι διατρέχουν αυξημένο κίνδυνο αναπτύξεως θερμοπληξίας και θερμικής εξάντλησης. Έτσι, οι τροπικές νύχτες μπορεί να αποτελέσουν αιτία αύξησης του ποσοστού νοσηρότητας ακόμη και θνησιμότητας του πληθυσμού.

Τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μία αυξητική τάση στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών παγκοσμίως (Alexander et al., 2006) και η Ελλάδα συμπεριλαμβάνεται στις περιοχές όπου η τάση είναι θετική (Σχήμα 27).

Κάτω από το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής παρατηρείται αυξημένο ενδιαφέρον για τις τροπικές νύχτες καθώς διάφορες μελέτες διαβλέπουν ότι αυτές θα αυξηθούν σημαντικά στο μέλλον.

Οι Fischer and Schär (2010) χρησιμοποιώντας ένα σύνολο από έξι περιοχικά κλιματικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης και το σενάριο εκπομπών A1B στην περιοχή της Ευρώπης, συνδύασε τις ημέρες όπου η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 35°C ($T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$) και η ελάχιστη τους 20°C (τροπική νύχτα) και εξέτασε τη μεταβολή τους για τις χρονικές περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (Σχήμα 28).



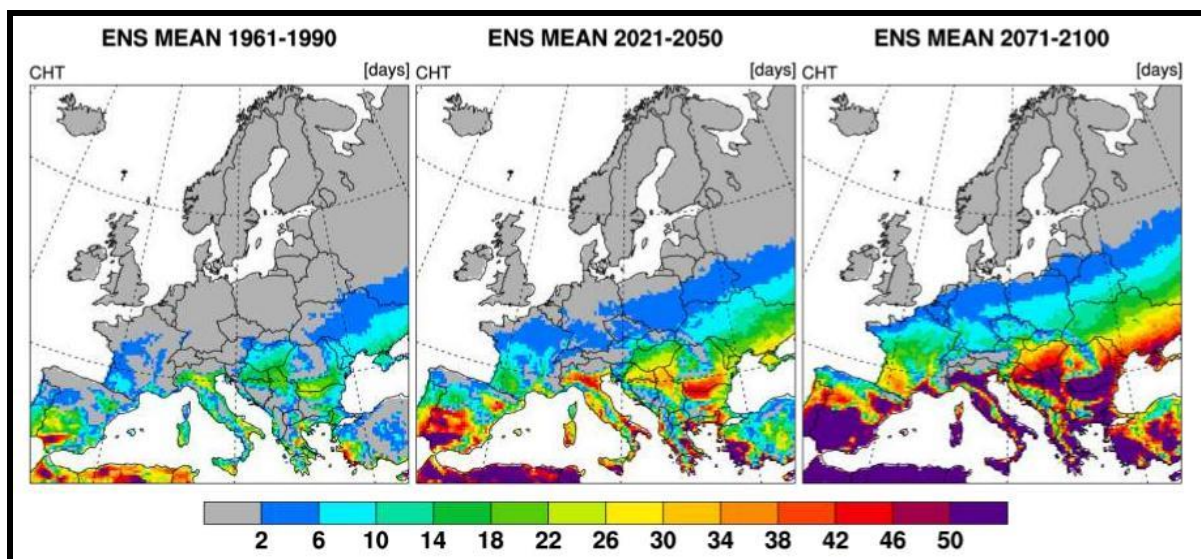
Σχήμα 27: Παρατηρούμενες τάσεις ανά δεκαετία (%) στον αριθμό των τροπικών νυχτών που ξεπερνούν το 90% για την περίοδο 1951-2003 (Alexander et al., 2006).

Στις παράκτιες και νησιωτικές περιοχές αναμένεται αύξηση στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών περίπου 30 ημέρες την περίοδο 2021 - 2050 και περισσότερες από 50 τροπικές νύχτες ετησίως την περίοδο 2071-2100 στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας. Μικρότερη αύξηση και για τις δύο χρονικές περιόδους αναμένεται στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας πράγμα που έρχεται σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα της έκθεσης της Επιτροπής Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας (2011) που αναφέραμε

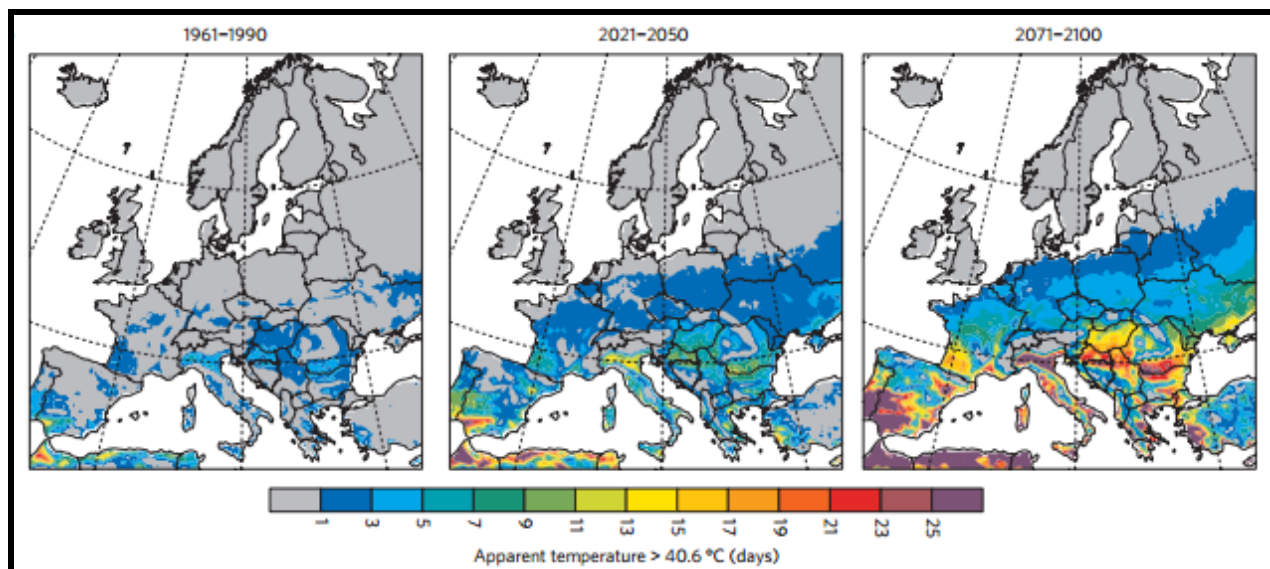
προηγούμενα. Η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη, ειδικότερα, σύμφωνα με την ίδια μελέτη, με βάση και την πληθυσμιακή τους πυκνότητα, κρίνονται ως δύο πολύ ευάλωτες περιοχές για να βιώνουν πάνω από 20 ημέρες το χρόνο πάρα πολύ υψηλές θερμοκρασίες (φαινόμενη θερμοκρασία >40,6°C) οπότε ο κίνδυνος για την υγεία είναι ιδιαίτερα αυξημένος (Σχήμα 29).

Οι Orłowsky and Seneviratne (2012) βασίστηκαν σε προσομοιώσεις παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων από την 4^η αναφορά της IPCC και εξέτασαν διάφορους δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης ως προς τη μεταβολή τους την χρονική περίοδο 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο 1980-1999, βάσει του σεναρίου εκπομπής A₂. Σύμφωνα με τις αναλύσεις τους, η αύξηση στον αριθμό των τροπικών νυχτών είναι σημαντική στις τροπικές χώρες, ενώ για την περιοχή της Μεσογείου (και της Ελλάδας) η μεταβολή έχει εποχικό χαρακτήρα και παρουσιάζεται το καλοκαίρι (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο) αφού τις άλλες εποχές η ελάχιστη θερμοκρασία δύσκολα ξεπερνά τους 20°C (Σχήμα 30).

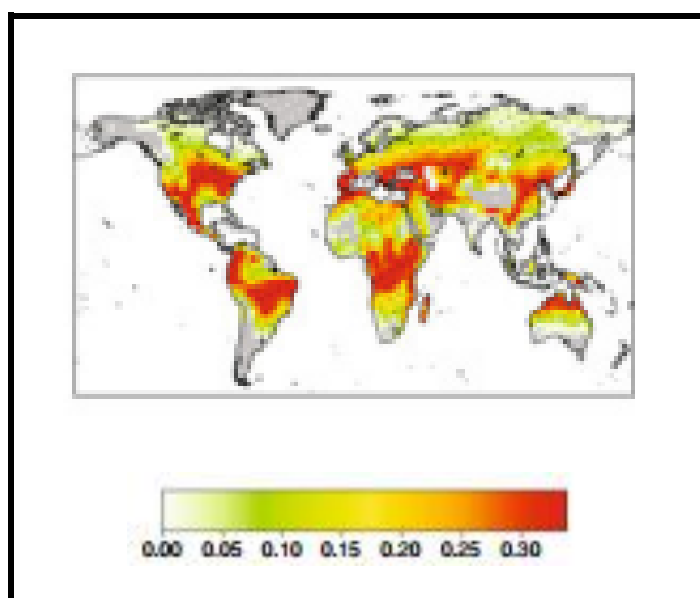
Παρόμοια αποτελέσματα για την αύξηση του αριθμού τροπικών νυχτών, προέκυψαν επίσης από τους Fischer et al. (2011) και το ensemble πρόγραμμα CLMCUBE, που αποτελείται από 108 μέλη, που εξέτασαν την απόκριση των τροπικών νυχτών κατά το διπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO₂ (σταθερή συγκέντρωση 710ppm από 305ppm) (Σχήμα 32). Η μεγαλύτερη αύξηση παρατηρείται και πάλι στις τροπικές χώρες ενώ η περιοχή της Ελλάδας, κατά το διπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO₂, θα έχει 15-25 επιπλέον τροπικές νύχτες (Σχήμα 32).



Σχήμα 28: Μέσος αριθμός ημερών με T_{max}>35°C και T_{min}>20°C από έξι περιοχικά κλιματικά μοντέλα για το σενάριο εκπομπών A1B για την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2021-2050 (μεσαία εικόνα) και 2071-2100 (δεξιά εικόνα) (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας, 2011).

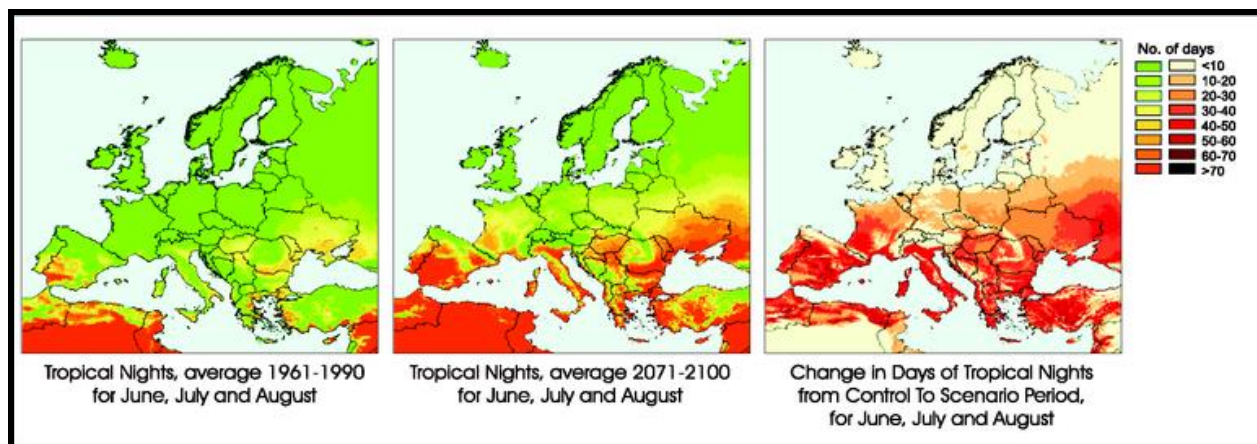


Σχήμα 29: Αριθμός ημερών όπου η φαινόμενη θερμοκρασία ξεπερνά τους 40,6°C την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2021-2050 (μεσαία εικόνα) και 2071-2100 (δεξιά εικόνα) (Fischer and Schär, 2010).

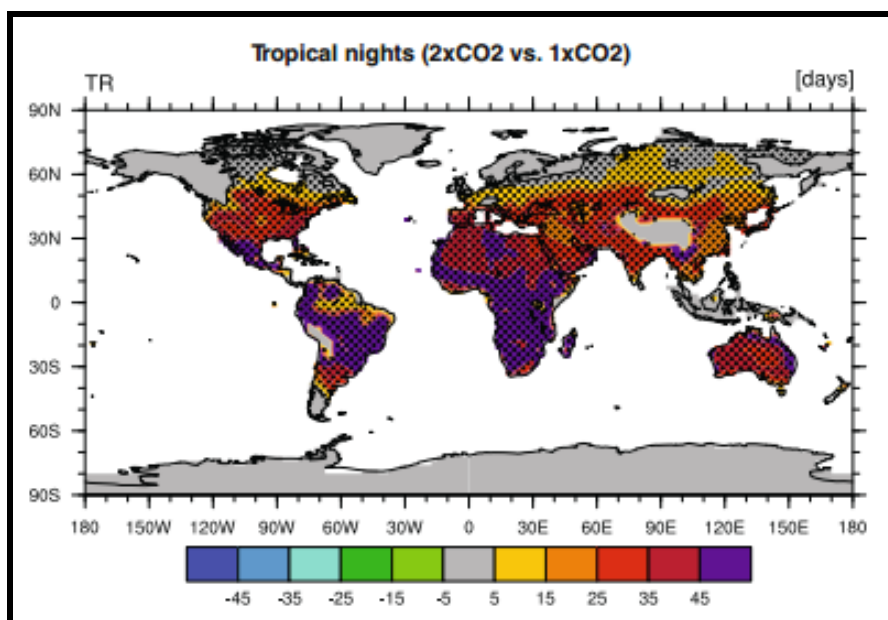


Σχήμα 30: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών την περίοδο 2081-2100 σε σχέση με την περίοδο 1980-1999 κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Orlowsky and Senevirante, 2012).

Σημαντική είναι η αύξηση στον αριθμό τροπικών νυχτών μέχρι το τέλος του αιώνα (2071-2100) για όλη τη νότια Ευρώπη και την Ελλάδα ειδικότερα, σύμφωνα και με την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος (Σχήμα 31).

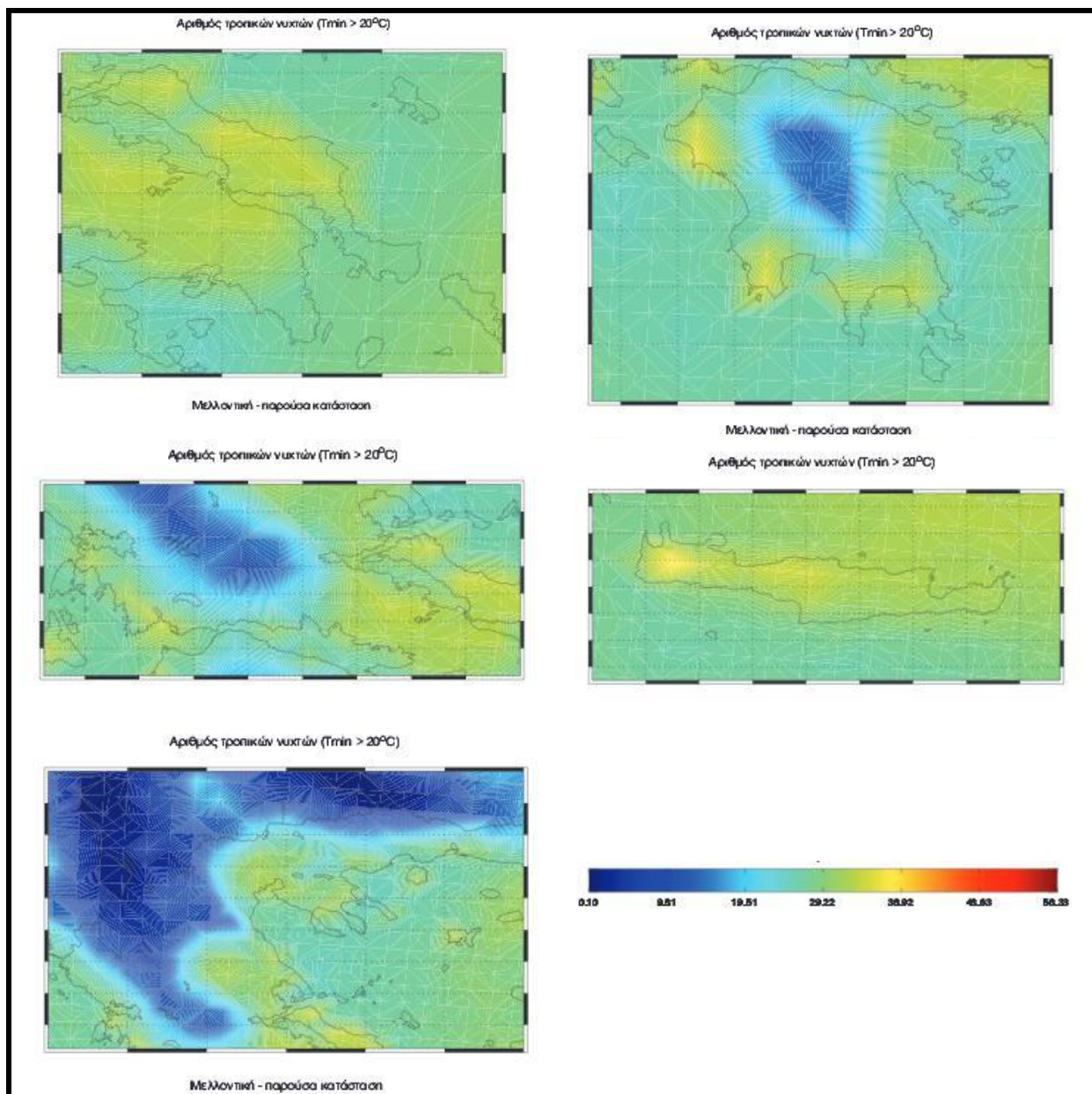


Σχήμα 31: Μέσος αριθμός τροπικών νυχτών που εμφανίζονται τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο για την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2071-2100 (μεσαία εικόνα) και μεταβολή τους ανάμεσα στις δύο προηγούμενες περιόδους (δεξιά εικόνα) (<http://www.eea.europa.eu>).



Σχήμα 32: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών κατά το διπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO₂ (σταθερή συγκέντρωση 710ppm από 305ppm) (Fischer et al., 2011).

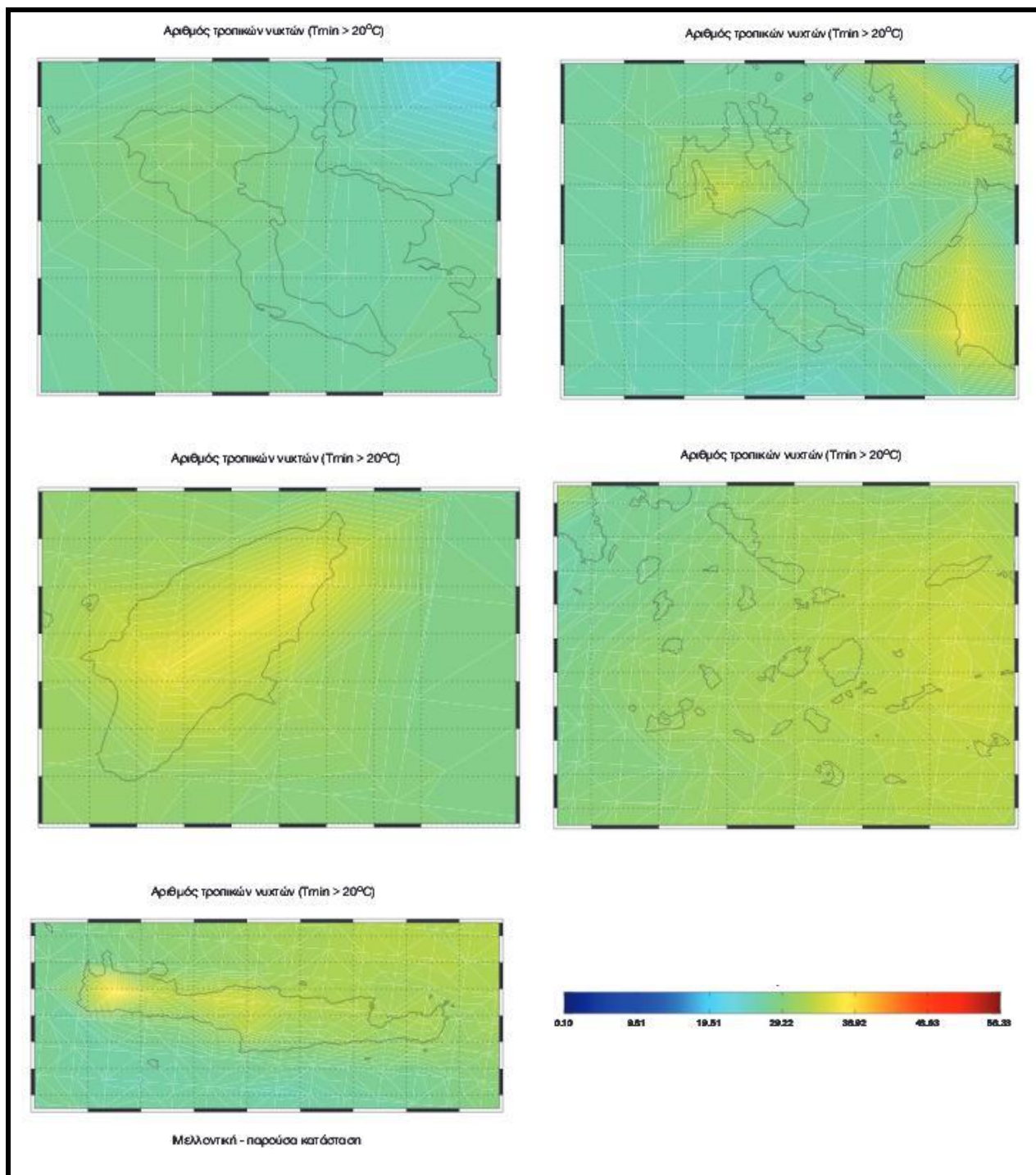
Σύμφωνα με σχετικά πρόσφατη μελέτη της WWF Ελλάς (WWF Ελλάς, 2009) και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Giannakopoulos, 2011), στο άμεσο μέλλον (2021-2050) οι τροπικές νύχτες αυξάνονται σχεδόν παντού. Τα αποτελέσματα για τη μελλοντική περίοδο υποδεικνύουν ότι όλες οι επιλεγμένες αστικές πόλεις, εκτός από τα Ιωάννινα, θα βιώσουν, ανά έτος, έναν επιπλέον μήνα με υψηλές θερμοκρασίες τα βράδια (τροπικές νύχτες) (σε σχέση με την περίοδο 1961-1990).



Σχήμα 33: Αλλαγές στον αριθμό τροπικών νυχτών μεταξύ 2021-2050 και 1961-1990 για επιλεγμένες αστικές περιοχές στην Ελλάδα (WWF Ελλάς, 2009).

Οι παράκτιες αστικές περιοχές πλήττονται ακόμα περισσότερο από ότι πόλεις στον ηπειρωτικό κορμό της χώρας (Σχήμα 33). Σύμφωνα με την έκθεση, σηματοδοτείται η σωρευτική επίδραση της αστικής θερμικής νησίδας στην αύξηση της εμφάνισης τροπικών νυχτών στις αστικές περιοχές.

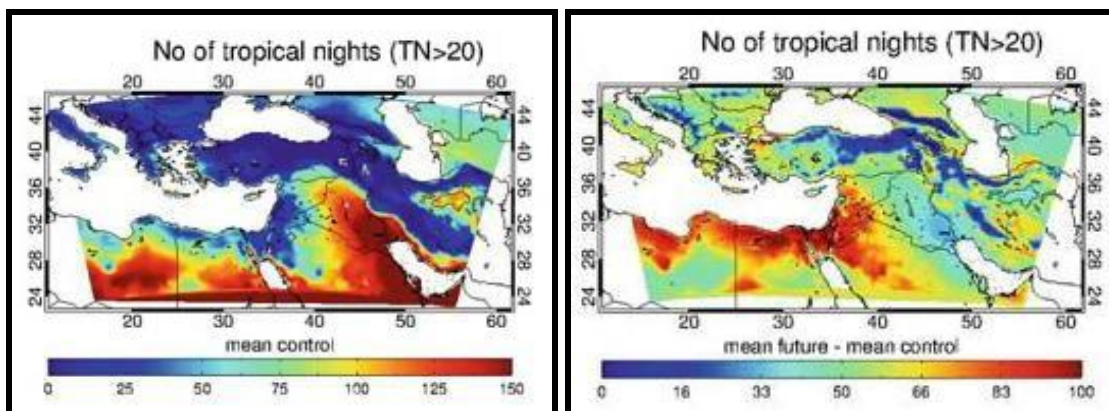
Την ίδια περίπου αύξηση τροπικών νυχτών στο άμεσο μέλλον, θα βιώσουν και τουριστικές περιοχές στην Ελλάδα (Σχήμα 34). Αυτό σε συνδυασμό με τα αυξημένα επίπεδα υγρασίας κοντά στη θάλασσα, αναμένεται να αυξήσει τη δυσφορία των τουριστών.



Σχήμα 34: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών μεταξύ 2021-2050 και 1961-1990 για επιλεγμένες τουριστικές περιοχές στην Ελλάδα (WWF Ελλάς, 2009).

Οι Kostoroulou et al. (2012), με κλιματικές προσομοιώσεις βασισμένες στο περιοχικό κλιματικό μοντέλο PRECIS, εξερεύνησαν τις μελλοντικές αλλαγές στη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση στην Ανατολική Μεσόγειο και τη Μέση Ανατολή. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν υποδεικνύουν ότι το θερμότερο μέλλον στην περιοχή θα επηρεάσει και την εμφάνιση των

τροπικών νυχτών. Η αύξηση στον αριθμό τροπικών νυχτών μέχρι το τέλος του αιώνα αναμένεται να είναι περίπου τρεις μήνες για τις νότιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας (Σχήμα 35).



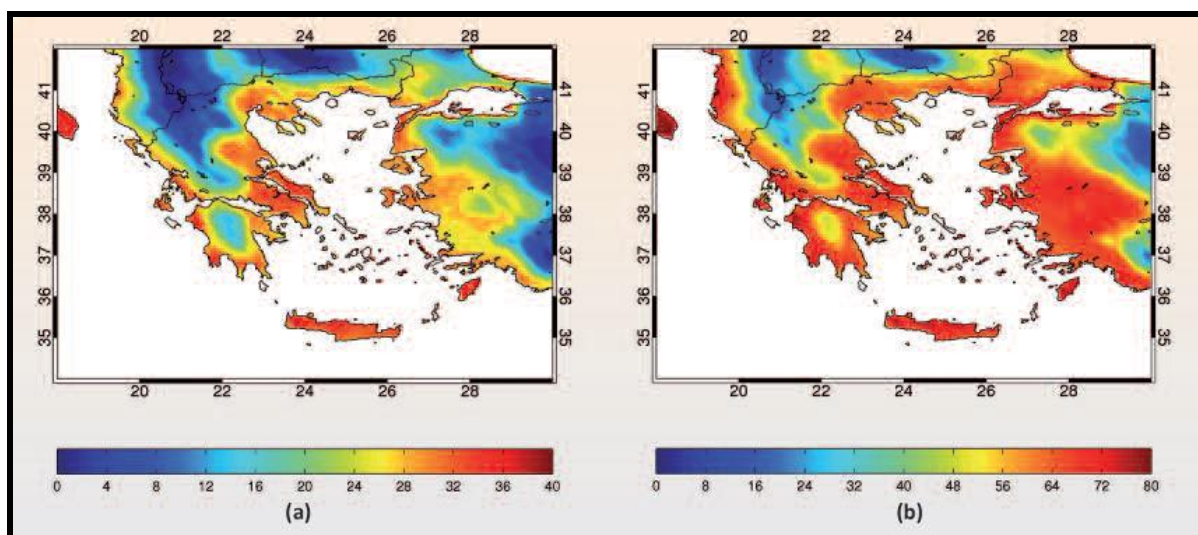
Σχήμα 35: Μέσος αριθμός τροπικών νυχτών ανά έτος για την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (αριστερή εικόνα) και μεταβολή του κατά την περίοδο 2070-2099 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (δεξιά εικόνα) (Kostoroulou et al., 2012).

Σύμφωνα με έκθεση της Επιτροπής Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας (2011) ο ετήσιος αριθμός των τροπικών νυχτών αναμένεται να αυξηθεί σχεδόν παντού στην Ελλάδα, αλλά ουσιαστικά περισσότερο στις παράκτιες και νησιωτικές από ότι στις ηπειρωτικές περιοχές (Σχήμα 36). Η Κρήτη, οι παράκτιες περιοχές της ανατολικής Ελλάδας και τα νησιά του Αιγαίου αναμένεται να έχουν 40 επιπλέον τροπικές νύχτες ανά έτος την περίοδο 2021-2050 και 80 επιπλέον τροπικές νύχτες ετησίως την περίοδο 2071-2100. Πάντως, στη Δυτική Ελλάδα και στην Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, η αύξηση στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών θα είναι μικρότερη και θα κυμαίνεται από 30 επιπλέον τροπικές νύχτες την περίοδο 2021-2050 έως και 70 για τη χρονική περίοδο 2071-2100, με ακόμη μικρότερες αυξήσεις να προβλέπονται για τη Δυτική Μακεδονία (15 ή λιγότερες και 30 ή λιγότερες επιπλέον τροπικές νύχτες ανά έτος για την περίοδο 2021-2050 και 2071-2100 αντίστοιχα).

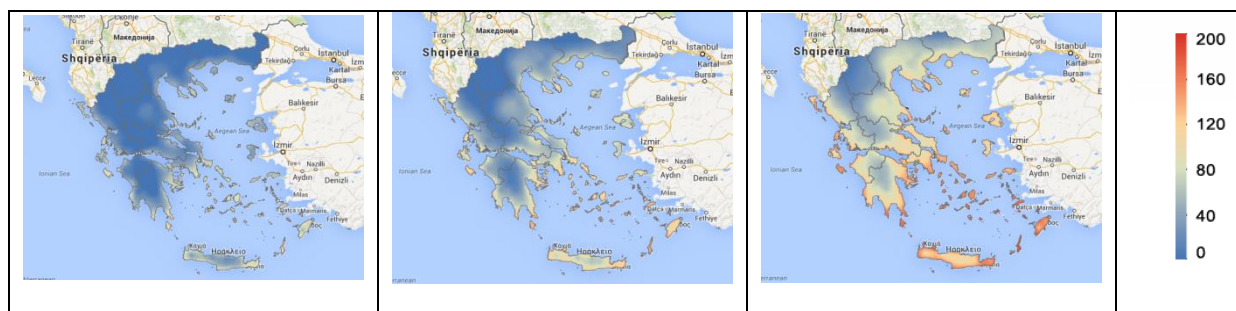
Ιδιαίτερα η Αθήνα, που συγκεντρώνει μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού της Ελλάδας, σύμφωνα με την ίδια έκθεση στο κοντινό μέλλον (2021-2050) αναμένεται να βιώσει έως 30 επιπλέον τροπικές νύχτες και έως το τέλος του αιώνα (2071-2100) περισσότερες από 50.

Παρόμοιες δυσοίωνες προβλέψεις για την αύξηση του αριθμού τροπικών νυχτών, προέκυψαν επίσης από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα CLIMRUN (Climate Local Information in the Mediterranean region Responding to User Needs), το οποίο ολοκλήρωσε το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών στις αρχές του 2014 και παρουσιάζονται στο Οικοσκόπιο (www.oikoskopio.gr/map/), τη διαδικτυακή χαρτογραφική εφαρμογή του WWF Ελλάς για το περιβάλλον στον ελληνικό χώρο. Μέσα από ενδεικτικούς χάρτες και σχεδιαγράμματα, ο

χρήστης του Οικοσκοπίου μπορεί να διαπιστώσει πώς θα μεταβληθούν στο άμεσο μέλλον και συγκεκριμένα κατά τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100, εννέα παράμετροι, που σχετίζονται άμεσα με την κλιματική αλλαγή και τις δασικές πυρκαγιές. Στους χάρτες, που προσομοιώνουν ποιες αλλαγές αναμένονται να συμβούν σε κάθε γωνιά της χώρας περιλαμβάνεται και ο αριθμός τροπικών νυχτών (Σχήμα 37).



Σχήμα 36: Μεταβολή στον αριθμό τροπικών νυχτών κατά την περίοδο (a) 2021-2050 και (b) 2071-2100 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής της Τράπεζας της Ελλάδας, 2011).

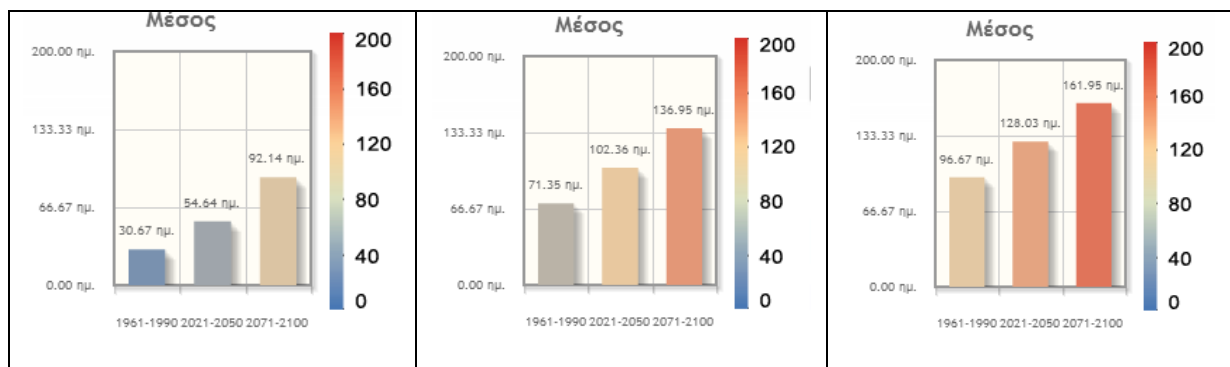


Σχήμα 37: Αριθμός τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο για την περίοδο 1961-1990 (αριστερή εικόνα), 2021-2050 (μεσαία εικόνα) και 2071-2100 (δεξιά εικόνα) (www.oikoskopio.gr/map/).

Σύμφωνα με το πρόγραμμα, οι τροπικές νύχτες (μέση τιμή) την περίοδο 2021-2050 θα φτάσουν τις 70 τον χρόνο και μεταξύ 2071 με 2100 τις 102, όταν τώρα παρατηρούνται 45 τροπικές νύχτες κατά μέσο όρο στην Ελλάδα. Γενικότερα, παρατηρείται μια μεγαλύτερη επιβάρυνση όσο κινούμαστε νοτιοανατολικά. Στο Σχήμα 38 παραθέτουμε ενδεικτικά κάποια στατιστικά στοιχεία που προέκυψαν από το πρόγραμμα για κάποιες περιοχές της Ελλάδας.

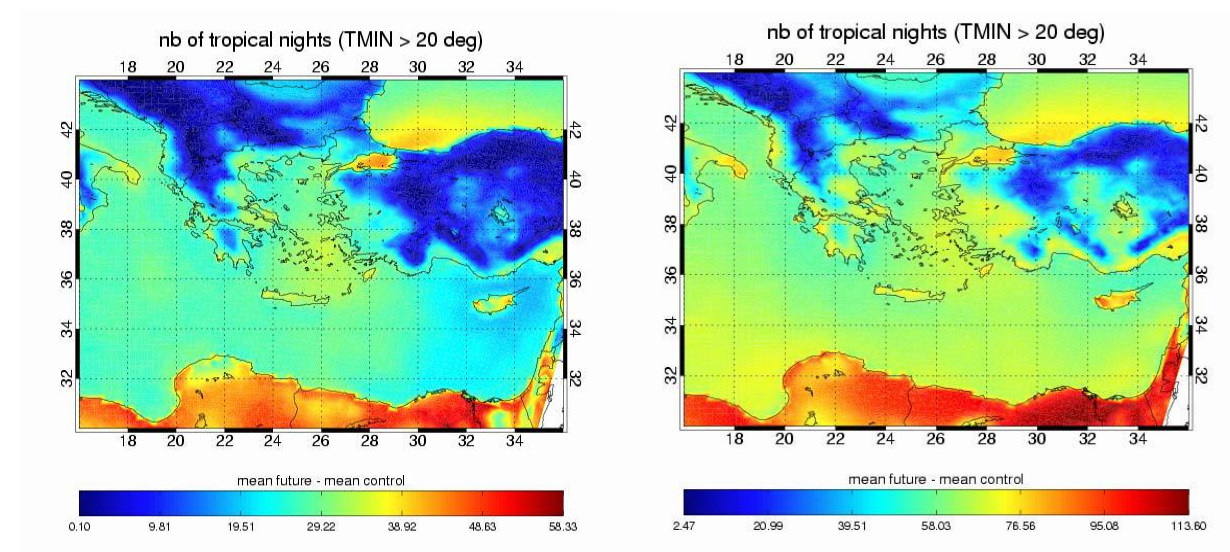
Οι Founda et al. (2008) εξέτασαν τις κλιματικές αλλαγές στις μέσες τιμές της θερμοκρασιών και των βροχοπτώσεων καθώς και των ακραίων τιμών τους (καύσωνες, περίοδοι ξηρασίας,

αριθμός τροπικών νυχτών) προκειμένου να προσδιοριστούν οι περιοχές που είναι πιθανό να επηρεαστούν μελλοντικά από τον κίνδυνο πυρκαγιάς. Η κλιματική προσομοίωση έγινε για το σενάριο A1B της κλιματικής αλλαγής, που είναι ένα μεσαίο σενάριο όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και την οικονομική ανάπτυξη, για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 με περίοδο αναφοράς την περίοδο 1961-1990 και τη χρήση του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RACMO2 μεγάλης διακριτικής ικανότητας (οριζόντια ανάλυση 25km*25km).



Σχήμα 38: Αριθμός τροπικών νυχτών για τη δυτική Ελλάδα (αριστερή εικόνα), την Κρήτη (μεσαία εικόνα) και το νότιο Αιγαίο (δεξιά εικόνα) (www.oikoskopio.gr/map/).

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για τη μεταβολή των τροπικών νυχτών είναι πολύ σημαντικά και χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή. Ο αριθμός των τροπικών νυχτών είναι πιθανό να αυξηθεί 1-2 μήνες για την περίοδο 2021-2050 και 2.5-3 μήνες για την περίοδο 2071-2100 (Σχήμα 39). Η αύξηση είναι περισσότερο εμφανής στις παραθαλάσσιες και νησιωτικές περιοχές της χώρας, που έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα που έχουμε προαναφέρει.



Σχήμα 39: Μεταβολή στον αριθμό των τροπικών νυχτών για την περίοδο 2021-2050 (αριστερά) και 2071-2100 (δεξιά) για το σενάριο A1B (Giannakopoulos, 2012).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ατμοσφαιρικές τηλεσυνδέσεις και Δείκτες

3.1 Εισαγωγή

Εδώ και καιρό καταγράφονται στη διεθνή μετεωρολογική βιβλιογραφία, ταυτόχρονες μεταβολές στον καιρό και το κλίμα σε διάφορα, απομακρυσμένα μεταξύ τους, σημεία της Γης. Τέτοιες μεταβολές έχουν να κάνουν με τις λεγόμενες ατμοσφαιρικές ταλαντώσεις και τηλεσυνδέσεις.

Η έννοια των λεγόμενων **ατμοσφαιρικών ταλαντώσεων (atmospheric oscillations)** ξεκίνησε γύρω στο 1870 όταν, λόγω των επιπτώσεων που έφερε η λεγόμενη Μεγάλη ξηρασία στην Ινδία, δημιουργήθηκε μετεωρολογικό τμήμα στην Ινδία για να εξετάσει εάν μπορούσαν να προβλεφτούν οι εποχιακοί μουςώνες. Παρόλο που η προσπάθεια δεν στέφθηκε με επιτυχία οι μελέτες που έγιναν οδήγησαν στην ανακάλυψη των ατμοσφαιρικών ταλαντώσεων. Βρέθηκε δηλαδή ότι διάφορες μεταβλητές έπαιρναν κάποιες τιμές που είχαν κάποια περιοδικότητα.

Οι **ατμοσφαιρικές τηλεσυνδέσεις (teleconnections)** από την άλλη, είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αλληλοσυσχέτιση των ατμοσφαιρικών ταλαντώσεων μεταξύ τους, είτε άμεση, είτε έμμεση, καθώς και την συσχέτιση τους με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Οι ατμοσφαιρικές τηλεσυνδέσεις αποτελούν σημαντικό συστατικό της μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και παίζουν βασικό ρόλο σε ατμοσφαιρικές παραμέτρους όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία έχοντας έτσι, οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές αντανakλάσεις.

Το παρόν κεφάλαιο, που αποτελείται από δύο μέρη, έχει ως βασικό αντικείμενο τη θεωρητική προσέγγιση των ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων καθώς αυτές είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της βραχυπρόθεσμης και μακροπρόθεσμης μεταβλητότητας του κλίματος. Στο πρώτο μέρος παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο των ατμοσφαιρικών τηλεσυνδέσεων και των δεικτών που τις χαρακτηρίζουν ενώ στο δεύτερο μέρος γίνεται πιο εκτενής αναφορά σε κάποιους από αυτούς.

3.2 Τηλεσυνδέσεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας

Με τον όρο ατμοσφαιρική τηλεσύνδεση, στη μετεωρολογία εννοούμε την συµμεταβλητότητα ή συνδιακύμανση (αρνητική ή θετική) των τιμών μίας ή περισσότερων μετεωρολογικών παραμέτρων σε διαφορετικές περιοχές του πλανήτη (Wallace and Gutzler, 1981; Esbsnsner, 1984).

Συνήθως, με τον όρο τηλεσύνδεση, αναφερόμαστε στην χαμηλής συχνότητας μεταβλητότητα, διάρκειας εβδομάδας, μήνα ή ακόμα και έτους, που συνδέεται με την γενική κυκλοφορία πλανητικής κλίμακας. Οι τηλεσυνδέσεις είναι φυσικές διεργασίες του σχεδόν χαοτικού ατμοσφαιρικού συστήματος και γενικά θεωρείται ότι προκύπτουν ως αποτέλεσμα της εσωτερικής δυναμικής της ατμόσφαιρας (Glantz et al., 1991). Οι μεταβολές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας και η γενική κυκλοφορία των ωκεάνιων ρευμάτων, παίζουν ζωτικής σημασίας ρόλο στην δημιουργία και την εμμονή των τηλεσυνδέσεων. Σημαντικό ρόλο επίσης στην δημιουργία και την εμμονή που παρουσιάζουν οι τηλεσυνδέσεις, εκτός από την αλληλεπίδραση ωκεανού-ατμόσφαιρας, παίζει και η αλληλεπίδραση των μεγάλων ηπειρωτικών εκτάσεων με την ατμόσφαιρα. Οι μεγάλες ποσότητες πάγου ή υγρασίας πάνω από ηπειρωτικές εκτάσεις δημιουργούν την δυναμική εκείνη για την ανάπτυξη τηλεσυνδέσεων.

Οι πιο ισχυρές τηλεσυνδέσεις προκαλούνται από διακυμάνσεις της τροπικής κυκλοφορίας και γίνονται πιο εμφανείς το χειμώνα, όταν οι δυτικοί άνεμοι (westerlies) είναι πλησιέστερα στον ισημερινό, επιτρέποντας έτσι στα στάσιμα πλανητικά κύματα (κύματα Rossby) να διαδίδονται στα μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (Webster, 1980). Η δομή και η ένταση των τηλεσυνδέσεων εξαρτώνται από την εποχή και την επιλογή της μεταβλητής.

Η σημασία των τηλεσυνδέσεων έγινε ευρέως αποδεκτή στις αρχές της δεκαετίας του 1970 μετά τις εκτεταμένες έρευνες για το γνωστό φαινόμενο El Niño – Southern Oscillation (ENSO), που αποτελεί ένα από τα πιο γνωστά και μελετημένα φαινόμενα τηλεσύνδεσης. Οι τηλεσυνδέσεις παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον επειδή επιτρέπουν τη διερεύνηση της σύνδεσης της ανώτερης, πλανητικής κλίμακας ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας με τις κλιματικές διακυμάνσεις μικρής διάρκειας. Επίσης, η χρήση των τηλεσυνδέσεων είναι πολύ χρήσιμη, δεδομένου ότι η διάσταση και η πολυπλοκότητα της ατμόσφαιρας περικλείεται σε μία (ή μερικές) παραμέτρους και, ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται συχνά σε στατιστικές μεθόδους υποβιβασμού κλίμακας (Brunetti and Kutiel, 2011).

Οι μεγάλης κλίμακας κυμάνσεις ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας μπορεί να επηρεάζουν κλιματικές παραμέτρους ακόμα και σε περιοχές απομακρυσμένες από τα κέντρα δράσης τους. Πιο συγκεκριμένα οι ατμοσφαιρικές τηλεσυνδέσεις επηρεάζουν τις κατανομές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης, τη θέση και την ένταση των αεροχειμάρρων και των συνδεόμενων με αυτούς τροχιών των υφέσεων, καθώς και τη συχνότητα, την ένταση και τη διάρκεια ακραίων κλιματικών φαινομένων σε διάφορες κλίμακες χώρου και χρόνου. Το ότι οι τηλεσυνδέσεις είναι δυνατόν να αναφέρονται σε διαφορετικές χρονικές περιόδους, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σημαντικό εργαλείο για την επίτευξη πρόγνωσης μακράς διάρκειας (Goddard et al., 2001; Μεταξάς κ. ά., 2002). Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η χρήση των τηλεσυνδέσεων στις μακράς διάρκειας προγνώσεις δεν βοηθά στη δημιουργία καιρικών προγνώσεων αλλά προγνώσεων κλίματος. Δηλαδή, οι τηλεσυνδέσεις διευκολύνουν την πρόβλεψη των μέσων

μηνιαίων και εποχικών καιρικών συνθηκών και όχι την πρόβλεψη μικρής διάρκειας καιρικών γεγονότων.

Οι περισσότερες τηλεσυνδέσεις αναφέρονται στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας. Ωστόσο, κάποιες άλλες αναφέρονται σε ανώτερα στρώματα στην τροπόσφαιρα.

3.3 Βασικές Τηλεσυνδέσεις - Δείκτες κυκλοφορίας

Οι κλιματολόγοι για να κατανοήσουν καλύτερα το κλίμα και τις διακυμάνσεις του, χρειάζονται αριθμούς, και ως εκ τούτου οι τηλεσυνδέσεις εκφράζεται μέσω των αριθμητικών δεικτών. Αν και αυτοί οι δείκτες αντιπροσωπεύουν μια εξαιρετικά πολύπλοκη πραγματικότητα, μπορούν να υπολογιστούν εύκολα.

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικότερα οι βασικοί τύποι τηλεσύνδεσης που έχουν εντοπιστεί στο Βόρειο ημισφαίριο και στην περιοχή του Ατλαντικού και της Ευρώπης.

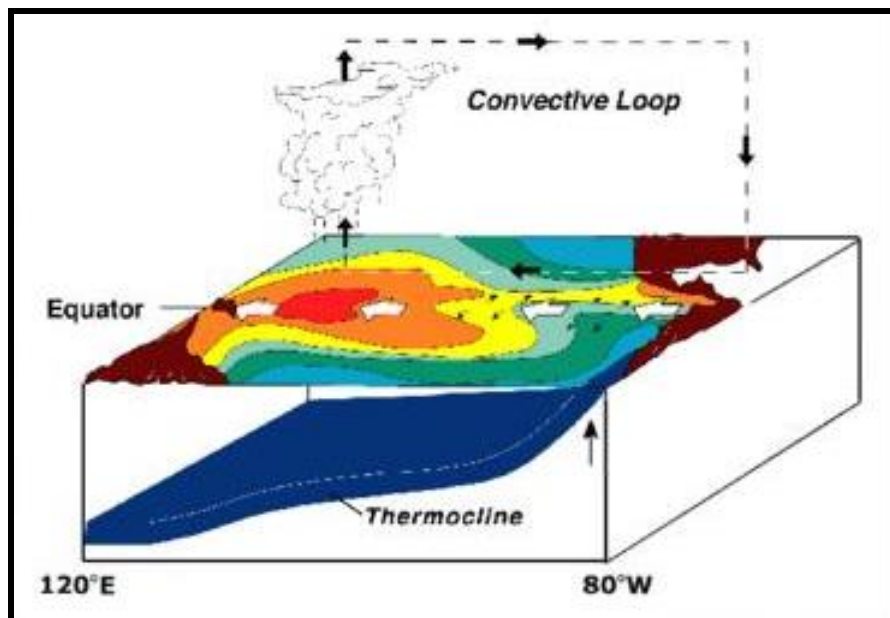
3.3.1 Ελ Νίνιο-Νότια Ταλάντωση (El Niño-Southern Oscillation ENSO)

Η νότια ταλάντωση (Southern Oscillation SO) αποτελεί μία από τις σημαντικότερες τηλεσυνδέσεις, εξαιτίας της μεγάλης επίδρασης που έχει στο παγκόσμιο κλίμα και την οικονομία. Επειδή συμβαίνει παράλληλα με το φαινόμενο El Niño οι επιστήμονες για χάρη συντομίας την ονόμασαν ENSO. Η ENSO είναι ένα φαινόμενο που σχετίζεται τόσο με τα ωκεάνια, όσο και με τα ατμοσφαιρικά ρεύματα και επηρεάζει την ετήσια και την εποχιακή μεταβολή του καιρού και του κλίματος.

Η Νότια Κύμανση ανακαλύφθηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, από τον Sir Gilbert Walker (Walker, 1936). Ο Walker παρατήρησε ότι όταν η πίεση αυξάνεται στα ανατολικά του Ειρηνικού, πέφτει συνήθως στα δυτικά. Ο Walker καινοτόμησε με τη χρήση των στατιστικών μεθόδων για τη σύνδεση των ανωμαλιών του καιρού με την Νότια Κύμανση, συμπεριλαμβανομένων των Ασιατικών μουσώνων και ήταν ένας από τους πρώτους που διερεύνησε τη δυνατότητα των εποχικών προβλέψεων (Walker, 1936). Ο ίδιος μάλιστα έπλασε τον όρο Νότια Κύμανση, και τον απέδωσε στην «τραμπάλα» που επικρατεί στην επιφανειακή πίεση στις δύο περιοχές. Οι δύο περιοχές συσχετίζονται αρνητικά, δηλαδή όταν η πίεση στη μία περιοχή είναι υψηλότερη από το σύννηθες, η πίεση στην άλλη είναι χαμηλότερη της μέσης τιμής. Το ENSO είναι ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο προκύπτει από συνδυασμό αλληλεπιδράσεων μεταξύ της ατμόσφαιρας και των ωκεανών στον τροπικό Ειρηνικό ωκεανό (Trenberth, 2003; Chen and Cane, 2007) και εκφράζεται με τη διαφορά της ατμοσφαιρικής επιφανειακής πίεσης μεταξύ του Darwin της Β. Αυστραλίας και της νήσου Tahiti. Τα δύο άκρα του ENSO είναι το Ελ Νίνιο και η Λα Νίνια (La Niña). Όταν η διαφορά Tahiti-Darwin είναι αρνητική, οι πιέσεις είναι υψηλότερες στο Darwin και εάν η διαφορά υπερβαίνει κάποιο στατιστικό όριο τότε γεννιέται το El Niño. Το αντίθετο συμβαίνει στην εμφάνιση του La Niña.

Κανονικές συνθήκες

Στην Ισημερινή και την Τροπική ζώνη η ατμοσφαιρική κυκλοφορία, κάτω από κανονικές συνθήκες, είναι γνωστή σαν Ισημερινή κυκλοφορία του Walker. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργεί ως εξής: Αέρας ανυψώνεται κατακόρυφα επάνω από το δυτικό Ειρηνικό, εξαιτίας της θέρμανσής του από τα θερμά ύδατα (τη θερμή λίμνη) σχηματίζοντας πλήθος νεφών και καταιγίδων και δημιουργώντας ένα επιφανειακό κέντρο χαμηλών πιέσεων. Στον ανατολικό Ειρηνικό που βρίσκεται σε επαφή με την ψυχρή θάλασσα, ψύχεται και καθιζάνει. Η κατάσταση αυτή δημιουργεί υψηλές πιέσεις ανατολικά και δραματική μείωση των βροχοπτώσεων (η περιοχή είναι από τις ξηρότερες του πλανήτη). Τα δύο αυτά κέντρα πίεσης διαμορφώνουν τελικά κλειστή κυκλοφορία του αέρα με επιφανειακούς ανέμους να πνέουν από τα ανατολικά προς τα δυτικά, να ανέρχονται και να επιστρέφουν ως ανώτεροι δυτικοί άνεμοι για να κατέλθουν τελικά στις ακτές της Ν. Αμερικής (Σχήμα 40). Η θερμοκλασία βάθους του Ειρηνικού στην περίπτωση που οι συνθήκες είναι κανονικές, παρουσιάζει μια χαρακτηριστική δομή, όπου το θερμοκλινές, δηλαδή η ισοθερμική επιφάνεια χαρακτηρίζεται από μια σημαντική αύξηση βάθους από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Αυτό οφείλεται στη δράση των ανατολικών αληγών ανέμων οι οποίοι «ξαφρίζουν» τα επιφανειακά νερά στα ανατολικά. Τα νερά αυτά, μάλιστα που εκτοπίζονται από τους αληγείς ανέμους, αναπληρώνονται με ψυχρότερα νερά που αναβλύζουν.

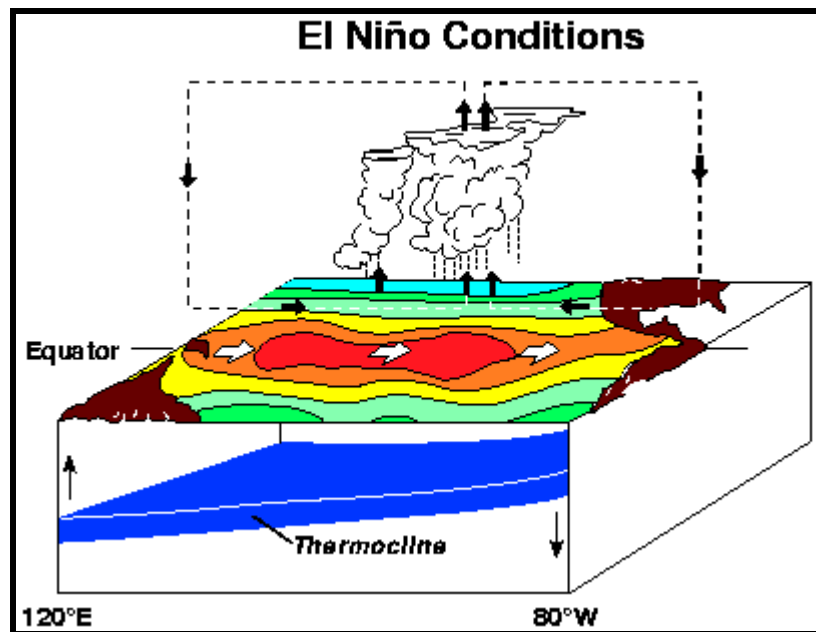


Σχήμα 40: Κανονικές συνθήκες στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό (<http://www.pmel.noaa.gov>).

Τα ψυχρότερα αυτά νερά είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά και ευνοούν τη θαλάσσια μικροζωή κάνοντας τις ακτές του Περού και του Εκουαδόρ αλιευτικούς παραδείσους.

Φάση Ελ Νίνιο

Ο όρος Ελ Νίνιο (El Niño) που στα ισπανικά σημαίνει «το βρέφος», έχει δοθεί σε μία ανωμαλία του καιρού που συμβαίνει έξω από τις ακτές του Βόρειου Περού κάθε τέσσερα χρόνια περίπου. Στα τέλη του Δεκέμβρη και για σχεδόν ένα μήνα παρατηρείται μία εισβολή θερμών θαλάσσιων υδάτων που αντικαθιστούν τα συνήθη ψυχρά. Η εμφάνιση του El Niño στην ουσία σταματά την άντληση του ψυχρού νερού στις ακτές της Ν. Αμερικής. Ακόμη αλλάζει τελείως την κυκλοφορία στον Ισημερινό Ειρηνικό, προκαλώντας μείωση των ανατολικών αληγών επιφανειακών ανέμων και των δυτικών ανέμων της ανώτερης ατμόσφαιρας. Οι συνθήκες αυτές αντανακλούν στη μείωση της έντασης της Ισημερινής κυκλοφορίας του Walker, η οποία σε έντονα επεισόδια El Niño μπορεί να απουσιάζει παντελώς, ενώ οι νεφικοί σχηματισμοί επεκτείνονται ανατολικά και προκαλούν σημαντική αύξηση των βροχοπτώσεων στο Περού. Σε συνθήκες El Niño η δομή των νερών χαρακτηρίζεται από ένα αφύσικο βαθύ στρώμα νερού και από μια αύξηση του βάθους του θερμοκλινούς στον ανατολικό Ειρηνικό. Η κλίση του θερμοκλινούς μειώνεται και σε ισχυρά επεισόδια μπορεί να γίνει οριζόντιο για πολλούς μήνες (Σχήμα 41).



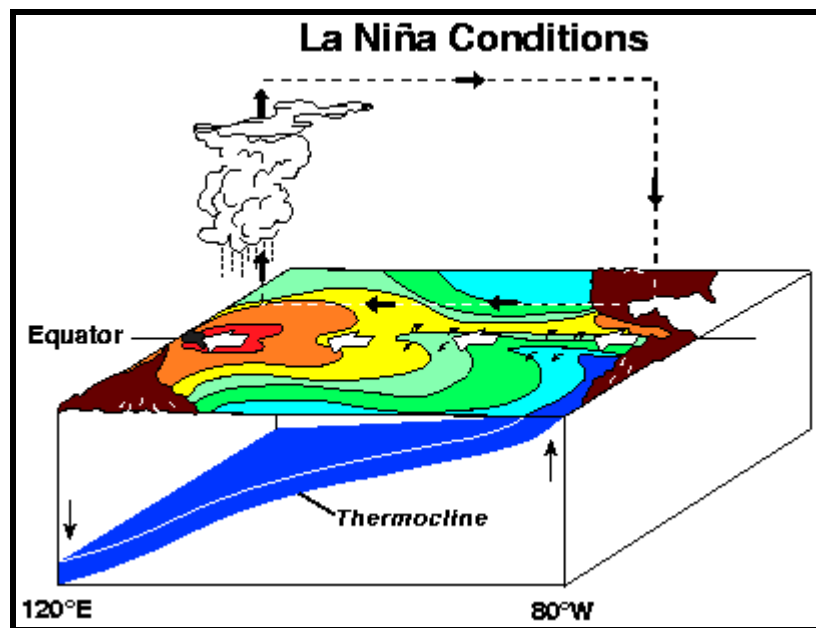
Σχήμα 41: Συνθήκες El Niño στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό (<http://www.pmel.noaa.gov>).

Επιπρόσθετα, εξασθενεί την ανάβλυση στα ανοικτά των ακτών της Νοτίου Αμερικής. Η παράκτια ανάβλυση κατά μήκος αυτής της ακτής μειώνεται και τα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, κρύα νερά από τον βαθύ ωκεανό δεν εμφανίζονται πλέον στην επιφάνεια της θάλασσας. Λόγω της έλλειψης θρεπτικών ουσιών, μειώνεται η παραγωγή πλαγκτόν. Αυτό έχει επιπτώσεις πιο ψηλά στην τροφική αλυσίδα αλλά και στην οικονομία των περιοχών.

Κατά τη διάρκεια της φάσης του Ελ Νίνιο, ο δείκτης της Νότιας Κύμανσης είναι αρνητικός, που σημαίνει ότι υπάρχει μικρή διαφορά στην ατμοσφαιρική πίεση μεταξύ της Ταϊτής και της πόλης του Ντάργουιν. Κατά τη διάρκεια του Ελ Νίνιο τόσο οι χειμώνες, όσο και οι θύελλες εμφανίζονται πιο νότια από το κανονικό.

Φάση Λα Νίνια

Η αντίστροφη φάση του El Niño είναι γνωστή σαν φαινόμενο La Niña. Όπως προαναφέρθηκε, στο El Niño ουσιαστικά σταματά η άντληση του ψυχρού νερού στις ακτές της Ν. Αμερικής και τεράστιες ποσότητες ψυχρού νερού παγιδεύονται κάτω από το θερμοκλινές. Όταν το El Niño παύσει να δρα, οι παγιδευμένες ποσότητες του κρύου νερού ανέρχονται στην επιφάνεια της θάλασσας, με το μηχανισμό της άντλησης, προκαλώντας πτώση των θερμοκρασιών στις ακτές του Περού. Οι θερμοκρασίες που παρουσιάζονται τότε είναι χαμηλότερες από τις κανονικές.



Σχήμα 42: Συνθήκες La Niña στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό (<http://www.pmel.noaa.gov>).

Μάλιστα, όσο ισχυρότερο είναι το El Niño τόσο ισχυρότερο θα είναι και το La Niña, αφού τα συσσωρευμένα ψυχρά ύδατα που θα αποδεσμευτούν θα είναι πολύ περισσότερα. Οι συνθήκες που δημιουργούνται στην επιφάνεια παρουσιάζουν μια ενίσχυση των ανέμων, που εμφανίζονται στην περιγραφείσα κυκλοφορία του Walker (Σχήμα 42).

Παγκόσμιες κλιματικές ανωμαλίες που σχετίζονται με την Λα Νίνια είναι εν γένει λιγότερο σημαντικές και σε ορισμένες περιοχές τείνουν να είναι οι αντίθετες από αυτές που συνδέονται με το Ελ Νίνιο. Η μετάβαση από Ελ Νίνιο σε Λα Νίνια τείνει να είναι αρκετά γρήγορη, ενώ η μετάβαση από το Λα Νίνια σε Ελ Νίνιο τείνει να είναι πιο σταδιακή (Kousky and Higgins, 2007).

3.3.2 Βορειοατλαντική Ταλάντωση (North Atlantic Oscillation NAO)

Η Βορειοατλαντική Ταλάντωση, BAT (North Atlantic Oscillation, NAO) αποτελεί έναν από τους βασικούς ρυθμιστές της μεταβολής της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας του βορείου ημισφαιρίου και επηρεάζει το κλίμα στην κεντρική και βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και τη βόρεια Ασία. Η κύμανση του βορείου Ατλαντικού καθορίζει μια μεγάλης κλίμακας κύμανση των ατμοσφαιρικών αερίων μαζών σε μεσημβρινή διεύθυνση μεταξύ των κέντρων του υποτροπικού υψηλού των Αζορών και του υποπολικού χαμηλού της Ισλανδίας. Ταυτόχρονη ενίσχυση (θετική φάση NAO) των δυο συστημάτων υποδεικνύει περισσότερο μεσημβρινές τροχιές των υφέσεων ενώ στην περίπτωση της ταυτόχρονης εξασθένησης των δυο συστημάτων (αρνητική φάση NAO) οι τροχιές των υφέσεων να είναι περισσότερο ζωνικές με αποτέλεσμα να εισέρχονται στη Μεσόγειο (Σχήματα 43 και 44).

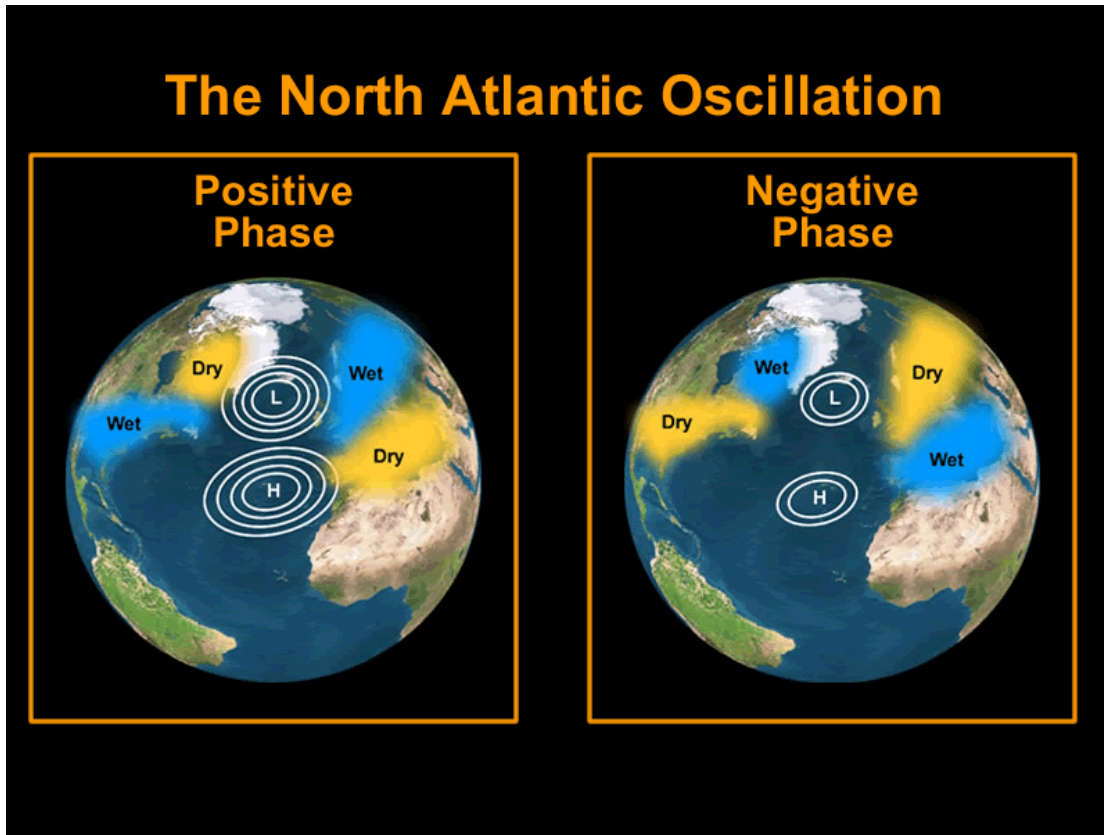
Οι διακυμάνσεις του φαινομένου είναι παρούσες σε όλη τη διάρκεια του έτους (Barnston and Livezey, 1987) αλλά ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν κατά τους χειμερινούς μήνες αφού η επιρροή τους είναι λιγότερο εμφανής το καλοκαίρι (Rogers, 1990).

Σαν μέτρο εκτίμησης των μεταβολών αυτών χρησιμοποιείται ο δείκτης North Atlantic Oscillation Index (NAOI). Για το δείκτη αυτό ισχύει $NAOI = P_1 - P_2$, όπου P_1 και P_2 οι κανονικοποιημένες πιέσεις στην επιφάνεια της θάλασσας στην Ponta Delgada των Αζορών και στο Akureyri της Ισλανδίας αντίστοιχα (Rogers, 1984). Στην πραγματικότητα, ο δείκτης είναι ένα μέτρο της έντασης των δυτικών ανέμων που πνέουν στο βόρειο Ατλαντικό Ωκεανό στη ζώνη γεωγραφικών πλατών $40^\circ - 60^\circ \text{ N}$.

Μεγάλες τιμές του δείκτη παρατηρούνται όταν ο αντικυκλώνας των Αζορών εμφανίζεται αρκετά ενισχυμένος και το χαμηλό της Ισλανδίας συγχρόνως βαθαίνει και τότε έχουμε τη θετική φάση του φαινομένου (Σχήμα 37). Η θετικότητα του δείκτη συνδέεται με την ενίσχυση της ζωνικής (δυτικής) συνιστώσας του ανέμου στα διάφορα τροποσφαιρικά στρώματα (westerlies) με αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμών και υγρών αερίων μαζών από τον Ατλαντικό προς τη δυτική και τη βόρεια Ευρώπη. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των κυκλογενέσεων και της βροχόπτωσης πάνω από το βορειοανατολικό Ατλαντικό και τη βόρεια Ευρώπη με αποτέλεσμα την εμφάνιση ψυχρότερων και ξηρότερων καταστάσεων στη Γροιλανδία και τη Μεσόγειο και θερμότερων και υγρότερων συνθηκών στην Β. Ευρώπη και τη Σκανδιναβία (van Loon and Rogers, 1978; Rogers and van Loon, 1979).

Αντίθετα, χαμηλές τιμές του δείκτη αυτού, δηλαδή αρνητική φάση του φαινομένου, οδηγούν στην εξασθένηση των δύο παραπάνω κέντρων πίεσης και στην καταστολή των δυτικών ανέμων. Οπότε, αρνητικές τιμές του δείκτη ευνοούν την μεταφορά ψυχρών μαζών από τους πόλους και επιφέρουν ψυχρούς χειμώνες στη βόρεια Ευρώπη αλλά συνδέονται με σχετικά ξηρότερο καιρό

ενώ πιο υγρές από τις κανονικές συνθήκες επικρατούν στη νότια Ευρώπη και στις περιοχές της Μέσης Ανατολής (Σχήμα 44).



Σχήμα 43: Βορειοατλαντική Κύμανση κατά τη θετική φάση (αριστερά) και κατά την αρνητική (δεξιά) (www.windows2universe.org/earth/climate/nao.html).

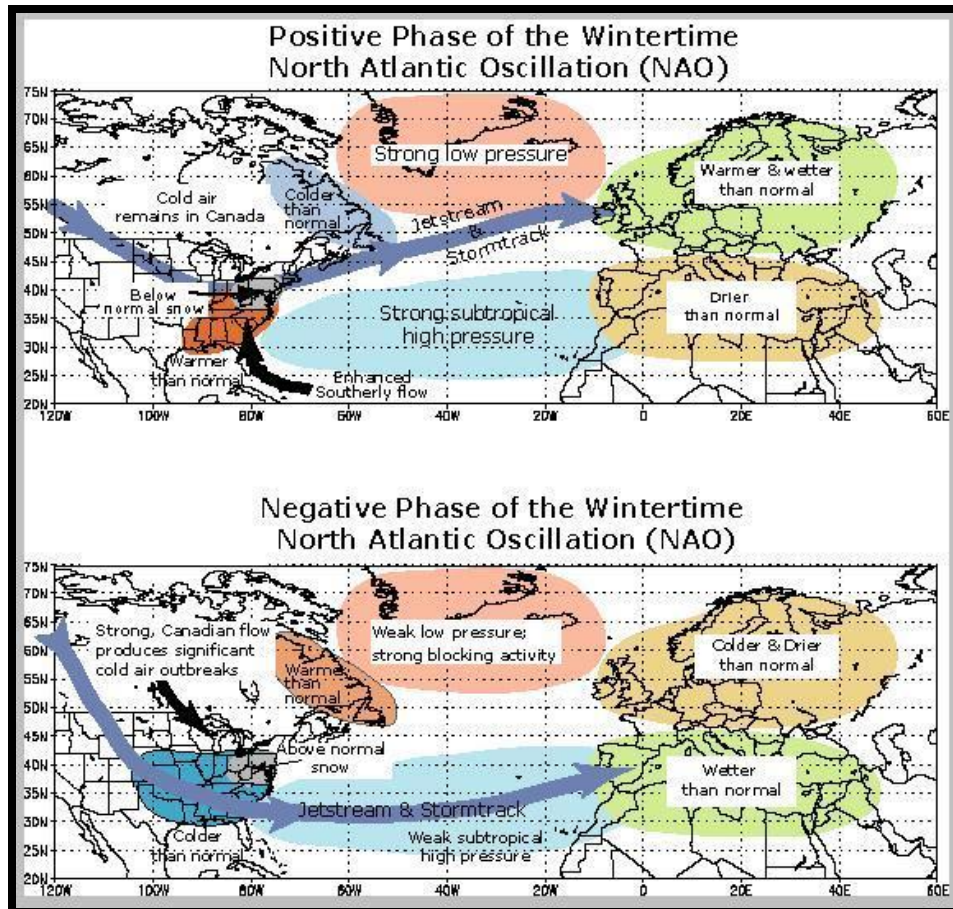
3.3.3 Ταλάντωση Βόρειας θάλασσας-Κασπίας (North Sea-Caspian Pattern NCP)

Η κύμανση Βόρειας θάλασσας-Κασπίας παρατηρείται μεταξύ της Βόρειας Θάλασσας και βόρεια της Κασπίας Θάλασσας. Η κύμανση αυτή ανακαλύφθηκε το 2002 από τους Kutiel and Benaroch και σχετίζεται με μεταβολές του κλίματος ιδιαίτερα πάνω από την Ευρώπη και τη δυτική Ασία.

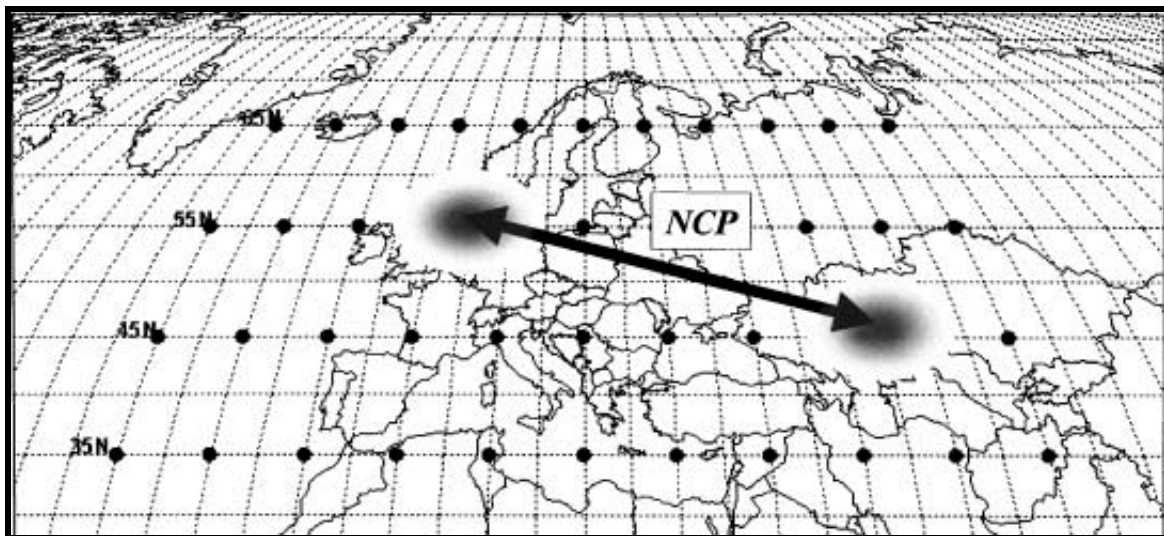
Μέτρο της έντασης της κύμανσης αποτελεί ο δείκτης Βόρειας θάλασσας-Κασπίας που ορίζεται ως εξής:

$$\text{NCPI} = \text{gpm}(500\text{hPa}) (0^\circ, 55^\circ \text{ N} ; 10^\circ \text{ E}, 55^\circ \text{ N}) - \text{gpm}(500\text{hPa}) (50^\circ \text{ E}, 45^\circ \text{ N} ; 60^\circ \text{ E}, 45^\circ \text{ N})$$

Όπου gpm (geo-potential metres) είναι η μέση τιμή των υψών στα 500hPa των δύο σημείων του πλέγματος που αποτελούν τους δύο πόλους του διπόλου Βόρειας θάλασσας-Κασπίας (Σχήμα 45).



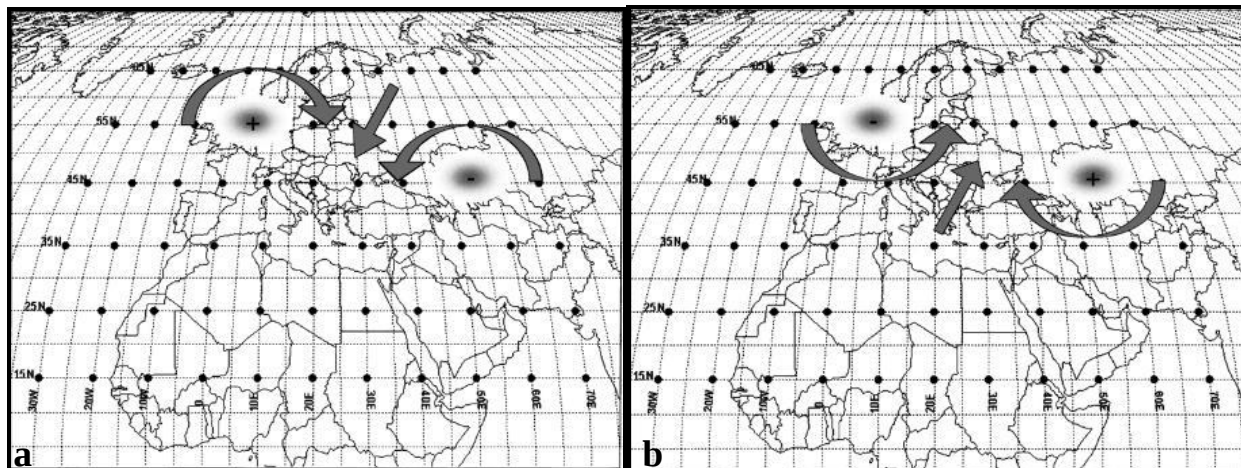
Σχήμα 44: Απεικόνιση των επιπτώσεων της θετικής φάσης (πάνω) και της αρνητικής φάσης (κάτω) στον καιρό του βορείου ημισφαιρίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα (www.ncdc.noaa.gov/paleo/ctl/clisci100.html).



Σχήμα 45: Το δίπολο Βόρειας θάλασσας-Κασπίας Θάλασσας (Kutiel and Benaroch, 2002).

Με κατώφλι κάποιες κανονικοποιημένες τιμές του δείκτη ορίζονται η θετική και αρνητική φάση του φαινομένου (Σχήμα 46). Στην αρνητική φάση του NCP παρατηρείται μία ενίσχυση της κυκλωνικής κυκλοφορίας γύρω από τον πόλο της Βόρειας Θάλασσας και μία συγχρόνως αύξηση της αντικυκλωνικής κυκλοφορίας γύρω από τον πόλο της Κασπίας Θάλασσας (Σχήμα 46b) με αποτέλεσμα την επικράτηση νοτιοδυτικής κυκλοφορίας στα Βαλκάνια, τη δυτική Τουρκία και τη Μέση Ανατολή (Kutiel and Benaroch, 2002; Brunetti and Kutiel, 2011). Ως εκ τούτου, σε αυτές τις περιοχές επικρατούν θερμοκρασίες υψηλότερες από τις κανονικές ενώ τα ποσά υετού είναι μικρότερα από τα κανονικά. Το ακριβώς αντίθετο συμβαίνει κατά τη θετική φάση του φαινομένου (Σχήμα 46a) με αποτέλεσμα την επικράτηση βορειοανατολικής κυκλοφορίας που επιφέρει ψυχρότερες και υγρότερες συνθήκες στις παραπάνω περιοχές.

Τα επεισόδια στα οποία επικρατεί η αρνητική φάση του NCP είναι συχνότερα, ωστόσο από τη δεκαετία του 1990 έχει αυξηθεί η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων NCP (+).



Σχήμα 46: Σχηματική αναπαράσταση των ανωμαλιών της κυκλοφορίας κατά τη θετική (a) και την αρνητική φάση (b) του NCP (Kutiel and Benaroch, 2002).

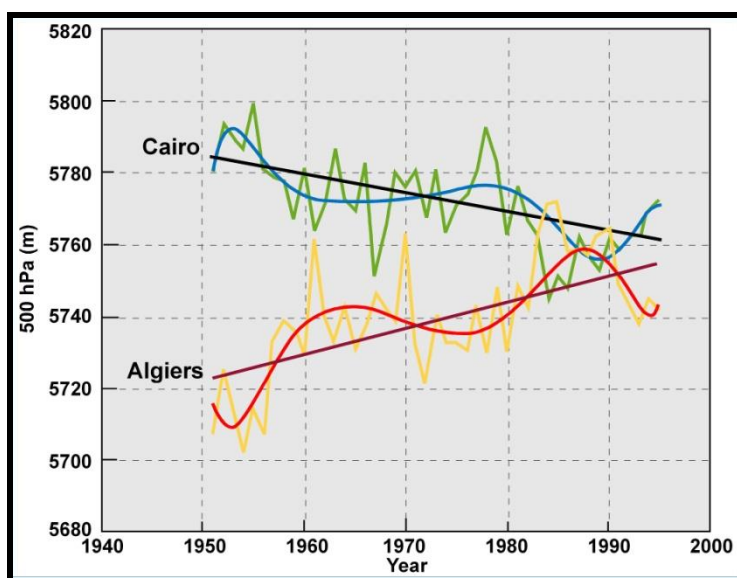
3.3.4 Μεσογειακή Ταλάντωση (Mediterranean Oscillation MO)

Η Μεσογειακή κύμανση θεωρείται από πολλούς ως ο κυριότερος παράγοντας ατμοσφαιρικής μεταβλητότητας στη Μεσόγειο.

Οι Conte et al. (1989) πρώτοι παρατήρησαν την αλληλοσυσχέτιση των γεωδυναμικών υψών στα 500hPa ανάμεσα στο Αλγέρι και στο Κάιρο (Σχήμα 47) και όρισαν τον δείκτη Μεσογειακής κύμανσης σαν τη διαφορά των κανονικοποιημένων ανωμαλιών του γεωδυναμικού ύψους της ισοβαρικής επιφάνειας των 500hPa στο Αλγέρι ($36,4^{\circ}\text{N}$, $3,1^{\circ}\text{E}$) και στο Κάιρο ($30,1^{\circ}\text{N}$, $31,4^{\circ}\text{E}$). Μία δεύτερη εκδοχή του δείκτη ορίζεται σαν τη διαφορά των κανονικοποιημένων ανωμαλιών της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας ανάμεσα στο Γιβραλτάρ ($36,1^{\circ}\text{N}$, $5,3^{\circ}\text{W}$) και το αεροδρόμιο Λόντ στο Ισραήλ ($32,0^{\circ}\text{N}$, $34,5^{\circ}\text{E}$) (Palutikof, 2003). Οι Brunetti et al. (2002) στην

προσπάθειά τους να επιτύχουν ένα δείκτη πιο κατάλληλο για την κεντρική Μεσόγειο χρησιμοποίησαν την ίδια διαφορά, όμως ανάμεσα στη Μασσαλία και την Ιερουσαλήμ. Πιο πρόσφατα οι Paradosopoulos et al. (2012) πιστεύοντας ότι μία διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ είναι πιθανό να αντικατοπτρίζει καλύτερα το δίπολο της πίεσης, όρισαν το δείκτη σαν τη διαφορά της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας ανάμεσα στη νότια Γαλλία (45°N, 5°E) και τη Λεβαντίνη θάλασσα (35°N, 30°E). Στο Σχήμα 48 απεικονίζονται οι θέσεις των αντιπροσωπευτικών σταθμών που χρησιμοποιούνται για τον ορισμό του δείκτη MO.

Η MO σχετίζεται με την ανάπτυξη κυκλογένεσης στη Μεσόγειο, κυρίως στον κόλπο της Γένοβας. Στη βιβλιογραφία συνήθως αναφέρονται ως θετική φάση του δείκτη οι τιμές $MOI > 0.5$, ενώ ως αρνητική φάση οι τιμές $MOI < -0.5$.



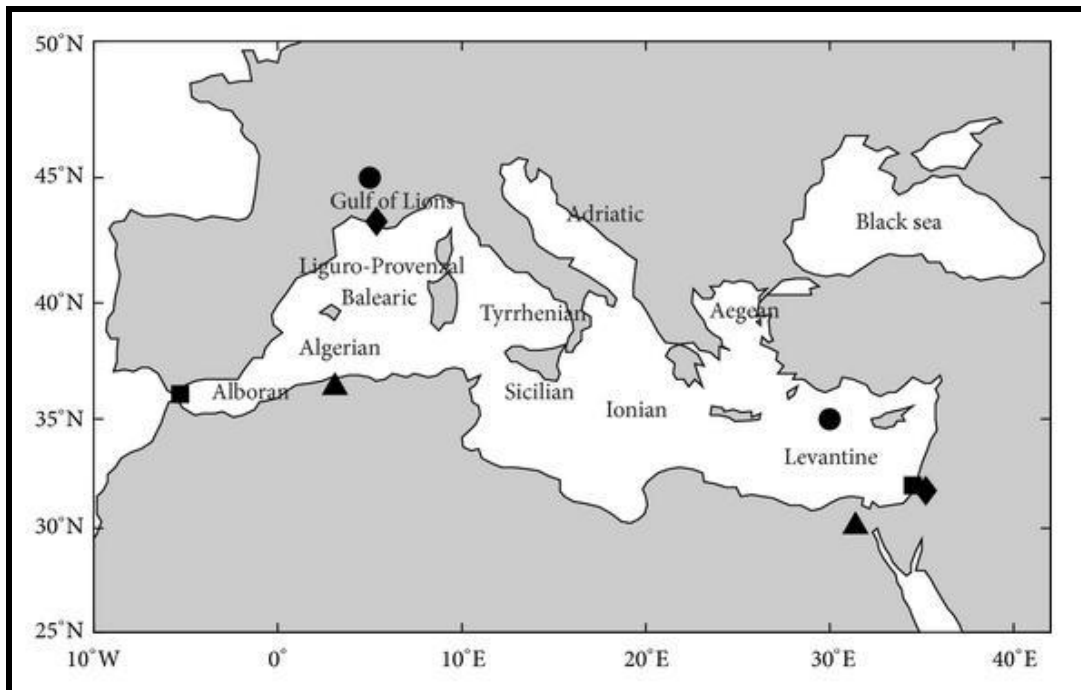
Σχήμα 47: Μεταβολή γεωδυναμικού ύψους (m) στην επιφάνεια των 500hPa στο Κάιρο και την Αλγερία (Conte et al., 1989).

Σε γενικές γραμμές, κατά τη θετική φάση του MO, στη δυτική Μεσόγειο επικρατούν χαμηλές πιέσεις και η κυκλογένεση είναι έντονη ενώ στην αρνητική φάση συμβαίνει το ακριβώς αντίθετο. Οι MO και NAO συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό μεταξύ τους, καθώς το πέρασμα των ψυχρών μετώπων από τον Ατλαντικό, που περιγράφονται από τη διακύμανση του NAOI, ενεργοποιούν την κυκλογένεση στη Μεσόγειο (Sušelj and Bergant, 2006).

3.3.5 Αρκτική Ταλάντωση (Arctic Oscillation AO)

Η Αρκτική κύμανση καθορίζει την επίδραση του βορείου πόλου στο κλίμα του βορείου ημισφαιρίου (Thompson and Wallace, 1998). Σχετίζεται με τις διακυμάνσεις της επιφανειακής βαρομετρικής πίεσης στον αρκτικό κύκλο, δηλαδή σε γεωγραφικά πλάτη βορειότερα του 20^{ου} παραλλήλου και των περιοχών που βρίσκονται στα γεωγραφικά πλάτη 37°-45°N, που διαρκούν

από εβδομάδες μέχρι δεκαετίες. Σε γενικές γραμμές αν η ατμοσφαιρική πίεση είναι υψηλή στην περιοχή της Αρκτικής, τείνει να είναι χαμηλή στις βορειότερες περιοχές των μεσαίων γεωγραφικών πλατών, όπως στη βόρεια Ευρώπη και τη βόρεια Αμερική.



Σχήμα 48: Οι θέσεις των αντιπροσωπευτικών σταθμών για τον ορισμό του δείκτη MO: (τρίγωνο για το δίπολο Αλγέρι-Κάιρο, τετράγωνο για το Γιβραλτάρ-Ισραήλ, κύκλος για τη Γαλλία-Λεβαντίνη και ρόμβος για Μασσαλία-Ιερουσαλήμ) (Criado-Aldeanueva and Sotto-Navarro, 2013).

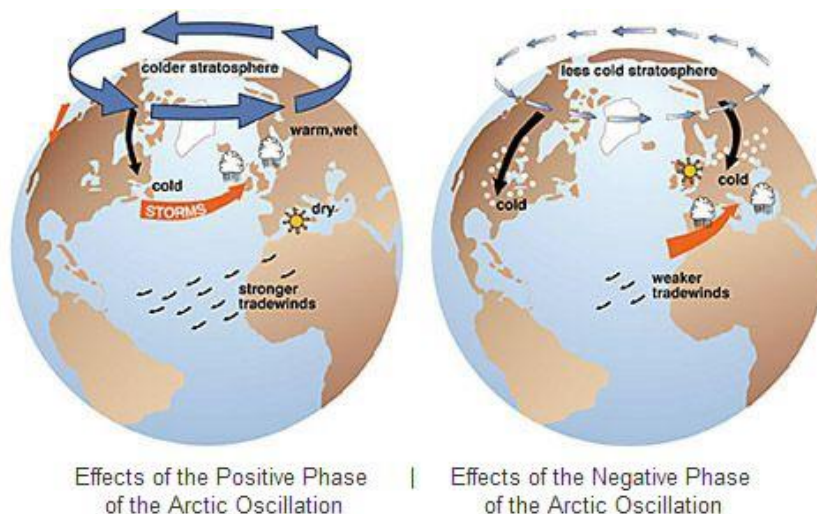
Και εδώ όπως και στις υπόλοιπες ταλαντώσεις, η διαφορά της πίεσης χρησιμοποιείται για να βγει ένας δείκτης που δείχνει την φάση της ταλάντωσης και παίρνει θετικές τιμές (θετική φάση) όταν αυξημένες τιμές πίεσης σε σχέση με τον μέσο όρο υπάρχουν στα μέσα γεωγραφικά πλάτη ενώ μικρότερες από το κανονικό στην Αρκτική. Αντίστοιχα παίρνει αρνητικές τιμές (αρνητική φάση) όταν συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο.

Οι θετικές τιμές του δείκτη (φυσιολογική φάση) συνδέονται με ενίσχυση του πολικού χαμηλού με αποτέλεσμα οι ψυχρές αέριες μάζες από τον παγωμένο βορρά να εγκλωβίζονται σε βορειότερα πλάτη και να μη μπορούν να κινηθούν νοτιότερα. Έτσι, οι δυτικοί άνεμοι (westerlies) παρουσιάζονται ιδιαίτερα ενισχυμένοι και τα βαρομετρικά χαμηλά κινούνται σε βορειότερα γεωγραφικά πλάτη. Αυτό σημαίνει πιο υγρές από το κανονικό συνθήκες στην Αλάσκα, τη Σκωτία και τη Σκανδιναβία και πιο ξηρές στις δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες και τη

Μεσόγειο. Κατά την ίδια φάση, η θερμοκρασία στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι υψηλότερες ενώ στη Γροιλανδία χαμηλότερες από το κανονικό.

Αντίστοιχα, αρνητικές τιμές του δείκτη συνδέονται με κατάρρευση του πολικού στροβίλου, με αποτέλεσμα την ευκολότερη κάθοδο ψυχρών αερίων μαζών προς τα νότια. Κατά συνέπεια, μια έντονα αρνητική φάση της Αρκτικής Ταλάντωσης σημαίνει ζεστό καιρό σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη και πιο ψυχρό στις πιο εύκρατες περιοχές (Σχήμα 49).

Επίσης, έχει βρεθεί ότι όσο πιο αρνητικός είναι ο δείκτης αυτός τόσο πιο ψυχρά χαρακτηριστικά έχουν οι αυλώνες που κατέρχονται από τον παγωμένο βορρά.



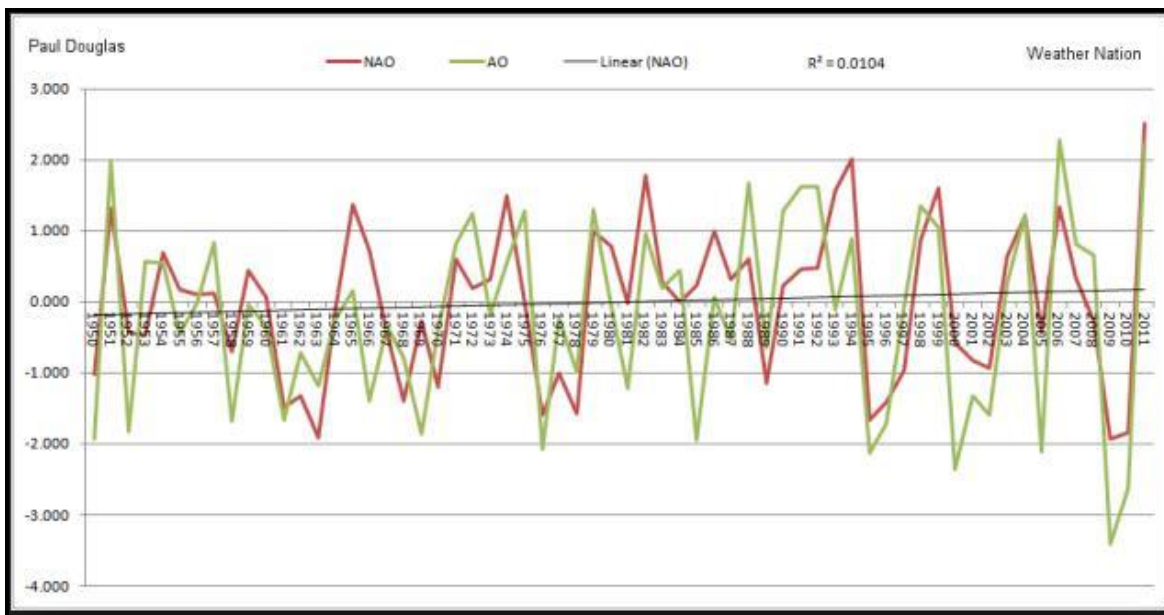
Σχήμα 49: Επιπτώσεις της Αρκτικής ταλάντωσης στο βόρειο ημισφαίριο κατά τη θετική(αριστερά) και την αρνητική φάση (δεξιά) (nsidc.org/icelights/2012/02/02/the-arctic-oscillation-winter-storms-and-sea-ice/).

Η ΑΟ εκτείνεται μέχρι τη στρατόσφαιρα όπου διαμορφώνει την ένταση του πολικού στροβίλου. Η έρευνα έδειξε ότι στη θετική φάση της ΑΟ η στρατόσφαιρα πάνω από το βόρειο πόλο γίνεται ψυχρότερη του κανονικού, ενώ στην αρνητική φάση στην ίδια περιοχή η στρατόσφαιρα γίνεται θερμότερη του κανονικού.

Κατά το μεγαλύτερο μέρος του περασμένου αιώνα, η Αρκτική Ταλάντωση εναλλασσόταν μεταξύ θετικών και αρνητικών φάσεων. Για μια περίοδο από τη δεκαετία του 1970 έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990, η Αρκτική Ταλάντωση έτεινε να μένει στη θετική φάση. Ωστόσο, από τότε και πάλι εναλλάσσεται μεταξύ θετικών και αρνητικών, με αρνητική φάση ρεκόρ το χειμώνα του 2009-2010.

Η ομοιότητα της Αρκτικής ταλάντωσης στον Ευρω-ατλαντικό τομέα με την αυτή της Βορειοατλαντικής καθώς και μια εξαιρετικά μεγάλη συσχέτιση ανάμεσα στις χρονοσειρές τους

(Σχήμα 50), έδωσαν το έναυσμα για τη συζήτηση σχετικά με το ποια από τις δύο ταλαντώσεις είναι πρωταρχική και σε θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα για την περιγραφή και την ερμηνεία της μεταβλητότητας της επιφανειακής βαρομετρικής πίεσης στο βόρειο ημισφαίριο. Μία από τις εναλλακτικές απόψεις βλέπει την Βορειοατλαντική κύμανση ως περιφερειακή εκδήλωση της πλανητικής κλίμακας δομής της Αρκτικής ταλάντωσης, ενώ η άλλη θεωρεί ότι η Βορειοατλαντική κύμανση εκφράζει πραγματικά την ατμοσφαιρική μεταβλητότητα και υποπτεύεται ότι η Αρκτική ταλάντωση είναι ένα στατιστικό τεχνούργημα (Ambaum et al., 2001; Huth, 2007). Πολλοί βέβαια είναι αυτοί που πιστεύουν ότι η ταλάντωση του Βόρειου Ατλαντικού και η Αρκτική ταλάντωση είναι διαφορετικοί τρόποι που περιγράφουν το ίδιο φαινόμενο και ότι απλώς αποτελούν διαφορετικές μεταφράσεις/αποτυπώσεις του, χωρίς όμως να έχουν καμία ουσιαστική διαφορά.



Σχήμα 50: Τιμές για τους δείκτες της Αρκτικής και Βορειοατλαντικής ταλάντωσης για την περίοδο 1951-2011 (www.conservationminnesota.org/weather/welcome-to-march-uary-near-record-territory-50-tomorrow/).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Χωροχρονική μεταβλητότητα των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα

4.1 Εισαγωγή

Οι κλιματικές αλλαγές που βιώνουμε σήμερα και οι οποίες θα επιταθούν το επόμενο διάστημα του 21ου αιώνα, σύμφωνα με τις προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων και τα πιθανά σενάρια, αναμένεται να επιφέρουν πολλές περιβαλλοντικές αλλαγές και να κάνουν πιο δύσκολη τη ζωή των κατοίκων σε πολλές περιοχές του κόσμου, απειλώντας την ασφάλεια και την επιβίωση των κοινωνιών τους. Οι κλιματικές αλλαγές μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν ακραία καιρικά φαινόμενα, αποψίλωση των δασών, μόλυνση των υδάτων, υποβάθμιση και ερημοποίηση της γεωργικής Γης, μείωση της βιοποικιλότητας και των ιχθυοαποθεμάτων.

Η Μεσόγειος έχει χαρακτηριστεί ως «θερμό σημείο» όσον αφορά στις κλιματικές επιπτώσεις και η Ελλάδα ως χώρα της Ανατολικής Μεσογείου είναι από τις πιο ευάλωτες. Σε ένα θερμότερο κλίμα με έντονα καιρικά φαινόμενα αναμένεται να αυξηθούν σε μεγάλο βαθμό και οι τροπικές νύχτες (TN) (Giannakopoulos et al., 2011; Kostopoulou et al., 2012; Nastos and Kapsomenakis, 2014) (TN ορίζονται ως εκείνες οι ημέρες όπου η ελάχιστη θερμοκρασία αέρα ξεπερνά τους 20°C). Αυτές οι νύχτες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον, λόγω της επίδρασής τους στην θερμική άνεση των ανθρώπων κατά την διάρκεια της νύχτας, ρυθμίζοντας την ποιότητα και την διάρκεια του ύπνου (Nastos and Matzarakis, 2008). Αναστέλλοντας την ανάκαμψη από την κούραση και τη θερμότητα της ημέρας οι τροπικές νύχτες μπορεί να έχουν σοβαρές συνέπειες στην υγεία των ανθρώπων. Οι τροπικές νύχτες μπορεί να οδηγήσουν σε θερμοπληξία και υψηλότερα ποσοστά νοσηρότητας και θνησιμότητας.

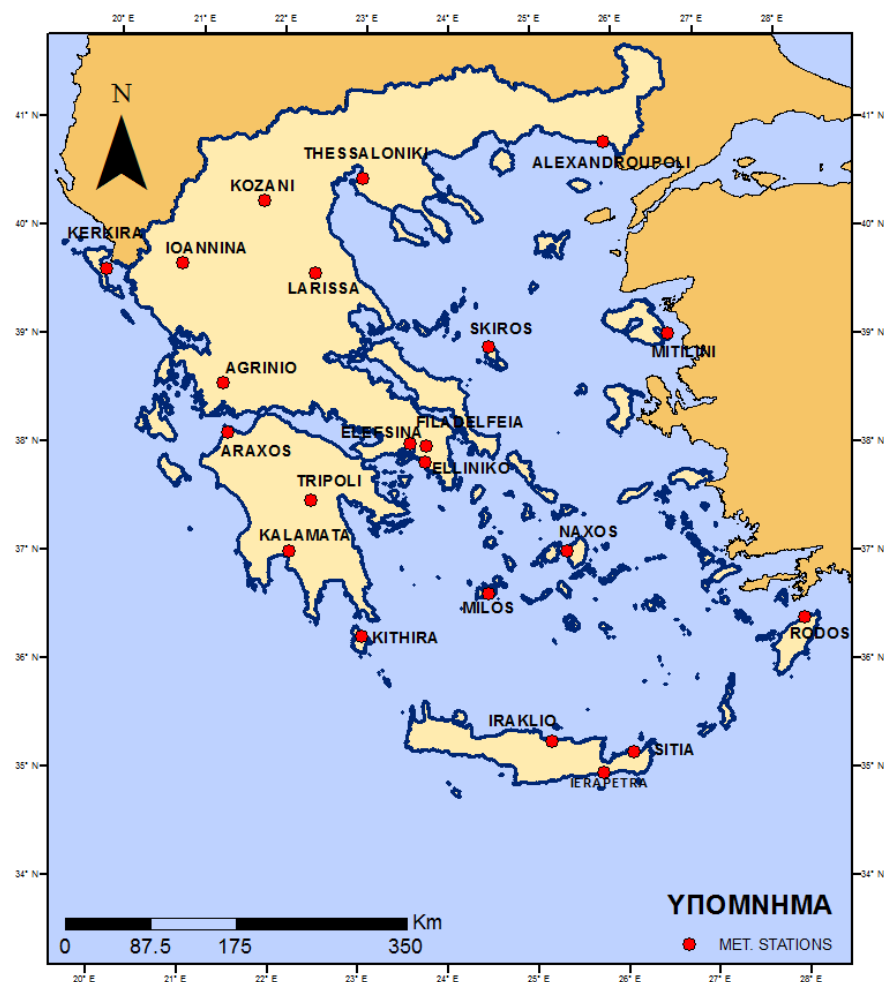
Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει την χωροχρονική διακύμανση και τις τάσεις των τροπικών νυχτών στην Ελληνική χερσόνησο κατά την περίοδο 1951-2004. Πιο αναλυτικά, το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από τέσσερα μέρη. Στο πρώτο μέρος, προσδιορίζονται με λεπτομέρεια τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Στο δεύτερο μέρος μελετάται η πορεία του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών στο δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα (1951-2004) καθώς και σε δύο υποπεριόδους (1951-1976, 1977-2004) και υπολογίζονται οι αντίστοιχες τάσεις. Στο τρίτο μέρος εξετάζεται η επίδραση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στην εμφάνιση τροπικών νυχτών συσχετίζοντας τα αποτελέσματα σε γειτονικές αστικές και ημιαστικές/αγροτικές περιοχές. Τέλος, το τέταρτο

μέρος παρουσιάζει τη χωρική διακύμανση και διαφοροποίηση των τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο κατά την περίοδο 1951-2004.

4.2 Δεδομένα και μεθοδολογία

Για τη διερεύνηση της χωροχρονικής διακύμανσης και των τάσεων των τροπικών νυχτών στην Ελληνική χερσόνησο, χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές των ημερήσιων ελάχιστων θερμοκρασιών από 22 μετεωρολογικούς σταθμούς (Μ.Σ.) του δικτύου της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), που καλύπτουν ικανοποιητικά και ομοιόμορφα την ελληνική περιφέρεια (Σχήμα 51) για την περίοδο 1951-2004. Αναλυτικά στοιχεία για τις συντεταγμένες, το υψόμετρο και το δείγμα των σταθμών δίνονται στον Πίνακα 2.

Η χρονική περίοδος που επιλέχθηκε για την διερεύνηση της χωροχρονικής μεταβλητότητας των τροπικών νυχτών, ξεκινά με το έτος έναρξης λειτουργίας του σταθμού και λήγει το έτος 2004 γιατί μέχρι αυτήν τη χρονιά τα δεδομένα έχουν υποστεί ποιοτικό έλεγχο.



Σχήμα 51: Χάρτης της Ελλάδας με τις θέσεις των 22 μετεωρολογικών σταθμών

Πίνακας 2: Συντεταγμένες και υψόμετρο μετεωρολογικών σταθμών καθώς και περίοδος διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων.

Μετ. Σταθμοί	Γεωγ. Πλάτος (Β)	Γεωγ. Μήκος (Α)	Υψόμετρο(μ)	Περίοδος
ΑΓΡΙΝΙΟ	38° 36' 21''	21° 21' 11''	24	1956-2004
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40° 51' 00''	25° 53' 00''	3	1951-2004
ΑΡΑΞΟΣ	38° 08' 59''	21° 25' 24''	12	1955-2004
ΕΛΛΗΝΙΚΟ	37° 53' 45''	23° 43' 56''	10	1955-2004
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	38° 04' 00''	23° 33' 00''	30	1958-2004
Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	38° 02' 43''	23° 44' 45''	141	1955-2004
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	35° 00' 00''	25° 44' 00''	10	1958-2004
ΙΟΑΝΝΙΝΑ	39° 41' 48''	20° 49' 10''	483	1956-2004
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35° 19' 00''	25° 10' 00''	39	1955-2004
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37° 04' 00''	22° 10' 00''	8	1956-2004
ΚΕΡΚΥΡΑ	39° 37' 00''	19° 55' 00''	1	1955-2004
ΚΥΘΗΡΑ	36° 17' 00''	23° 01' 00''	317	1955-2004
ΚΟΖΑΝΗ	40° 18' 00''	21° 47' 00''	625	1955-2004
ΛΑΡΙΣΑ	39° 38' 00''	22° 25' 00''	72	1955-2004
ΜΗΛΟΣ	36° 41' 00''	24° 28' 00''	164	1955-2004
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39° 03' 48''	26° 35' 54''	4	1955-2004
ΝΑΞΟΣ	37° 04' 00''	25° 22' 00''	7	1955-2004
ΡΟΔΟΣ	36° 24' 00''	28° 05' 00''	11	1955-2004
ΣΗΤΕΙΑ	35° 12' 00''	26° 06' 00''	114	1960-2004
ΣΚΥΡΟΣ	38° 58' 00''	24° 29' 00''	22	1955-2004
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40° 31' 00''	22° 58' 00''	4	1959-2004
ΤΡΙΠΟΛΗ	37° 32' 00''	22° 24' 00''	651	1958-2004

Επιλέξαμε δε, εκείνους τους σταθμούς για τους οποίους το δείγμα μας καλύπτει όσο το δυνατό μεγαλύτερη χρονική περίοδο και να είναι όσο το δυνατό πιο πλήρες. Οι χρονοσειρές σε όλους τους Μ.Σ. καλύπτουν μια χρονική περίοδο πολύ μεγαλύτερη των τριάντα ετών που συνιστά η Επιτροπή Κλιματολογίας του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού, για να περιλαμβάνεται η φυσική κλιματική κύμανση. Όσον αφορά την πληρότητα, σε οχτώ από τους επιλεγμένους σταθμούς (Αλεξανδρούπολη, Ελληνικό, Κύθηρα, Λάρισα, Μήλος, Μυτιλήνη, Θεσσαλονίκη, Τρίπολη) η χρονοσειρά μας είναι πλήρης, στους υπόλοιπους οι τιμές που λείπουν είναι κάτω από το 1% των συνολικών παρατηρήσεων και μόνο στο σταθμό των Ιωαννίνων αποτελούν το 1.1% των συνολικών παρατηρήσεων. Η ομογένεια των χρονοσειρών θερμοκρασίας εξαιτίας τεχνητών αλλαγών στις συνθήκες μέτρησης (αλλαγή θέσης του σταθμού, αλλαγή του τύπου του μετρητικού οργάνου, επιδράσεις αλλαγής στο περιβάλλον του σταθμού, ελλιπής συντήρηση του σταθμού, κακή εκπαίδευση ή αμέλεια των παρατηρητών) που επηρεάζει το αποτέλεσμα της μέτρησης και πρέπει να αποκαθίσταται με ανόρθωση, έχει

εξεταστεί στο παρελθόν (Feidas et al., 2004; Flocas et al., 2005; Nastos et al., 2011) χρησιμοποιώντας κυρίως το στατιστικό τεστ του Alexandersson (Alexanderson, 1986) και δεν αποτέλεσε αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Μετά από βιβλιογραφική έρευνα σχετική με το θέμα, ακολούθησε στατιστική επεξεργασία και ανάλυση των θερμοκρασιακών δεδομένων από τους παραπάνω μετεωρολογικούς σταθμούς στο πρόγραμμα Excel τα αποτελέσματα της οποίας, αποτυπώθηκαν σε μορφή διαγραμμάτων και πινάκων.

Για την οργάνωση και τη διαχείριση των στοιχείων καθώς και την επεξεργασία, τους ποσοτικούς υπολογισμούς και την παρουσίαση τους δημιουργήθηκε επίσης, Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών χρησιμοποιώντας το λογισμικό Arc Map, έκδοση 10. Για την οργάνωση των γεωγραφικών πληροφοριών χρησιμοποιήθηκε το σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87. Τέλος, για την επεξεργασία και την παρουσίαση κάποιων στοιχείων χρησιμοποιήθηκε και το στατιστικό πακέτο Statistica, έκδοση 10.

Πιο αναλυτικά, για κάθε Μ.Σ. επιλέχθηκαν οι ημερομηνίες στις οποίες είχαμε τροπικές νύχτες και στη συνέχεια υπολογίστηκε, σε ετήσια βάση, ο αριθμός των τροπικών νυχτών. Η στατιστική επεξεργασία του ετήσιου αριθμού των τροπικών νυχτών έγινε για όλη την επικράτεια και για κάθε σταθμό ξεχωριστά. Τέλος, στις χρονοσειρές των τροπικών νυχτών έγινε έλεγχος της εμφάνισης τάσεων καθώς και έλεγχος της στατιστικής τους σημαντικότητας.

Παρόμοια διαδικασία ακολουθήθηκε για τη μελέτη της χωρικής κατανομής των τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο με το διαχωρισμό της Ελλάδας σε πέντε υποπεριοχές.

4.3 Χρονική διακύμανση των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα

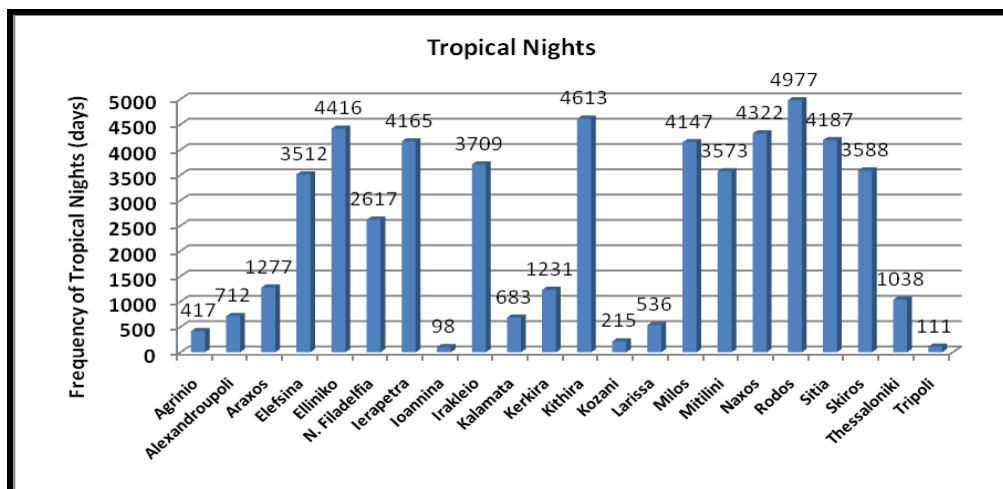
Σε αυτήν την ενότητα, μετά τη συλλογή των στοιχείων της ημερήσιας ελάχιστης θερμοκρασίας για τους 22 σταθμούς από τη βάση δεδομένων της Ε.Μ.Υ. επιλέξαμε εκείνες τις ημέρες για τις οποίες η ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 20°C (τροπικές νύχτες) και για κάθε Μ.Σ. υπολογίστηκε, σε ετήσια βάση, ο αριθμός των τροπικών νυχτών (EATN ή Annual Number of Tropical Nights ANTN).

Πριν τη διεξαγωγή της ανάλυσης που αναφέρεται στις τροπικές νύχτες θεωρούμε σκόπιμο να αναφερθούμε στη μέση ελάχιστη θερμοκρασία των επιλεγμένων Μ.Σ για την περίοδο 1951-2004 (Πίνακας 3). Οι μεγαλύτερες τιμές της μέσης ελάχιστης θερμοκρασίας (15,2-15,4°C) σημειώνονται στην νοτιοανατολική Ελλάδα (Κύθηρα, Ρόδος, Σητεία, Ιεράπετρα και Νάξος). Ο σταθμός της Τρίπολης, (7°C) παρουσιάζει τη χαμηλότερη μέση ελάχιστη θερμοκρασία από όλους τους σταθμούς και ακολουθούν οι σταθμοί της Κοζάνης και των Ιωαννίνων. Αυτό μας δείχνει ότι η μέση ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζει μεταβολή όχι μόνο λόγω του γεωγραφικού πλάτους αλλά και λόγω του ανάγλυφου.

Στο Γράφημα 1 παρουσιάζεται η συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών ανά σταθμό κατά την περίοδο 1951-2004. Οι υψηλότερες τιμές τροπικών νυχτών (που ξεπερνούν τις 4000) εμφανίζονται στα νοτιοανατολικά της χώρας με τη Ρόδο να έχει τις περισσότερες τροπικές νύχτες στην Ελλάδα (4977). Τα Ιωάννινα έχουν το μικρότερο αριθμό τροπικών νυχτών που ανέρχεται σε 98 κι αυτό ίσως οφείλεται στη γεωγραφική τους θέση, όπου η αύρα ορέων που σχηματίζεται στους ορεινούς όγκους της Πίνδου συντελεί ώστε η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα ακόμη και τους καλοκαιρινούς μήνες. Μετά τα Ιωάννινα μικρό αριθμό τροπικών νυχτών έχουν η Τρίπολη και η Κοζάνη που είναι ημιορεινές περιοχές (Πίνακας 2).

Πίνακας 3: Μέση ελάχιστη θερμοκρασία για την περίοδο 1951-2004 στους επιλεγμένους Μ.Σ.

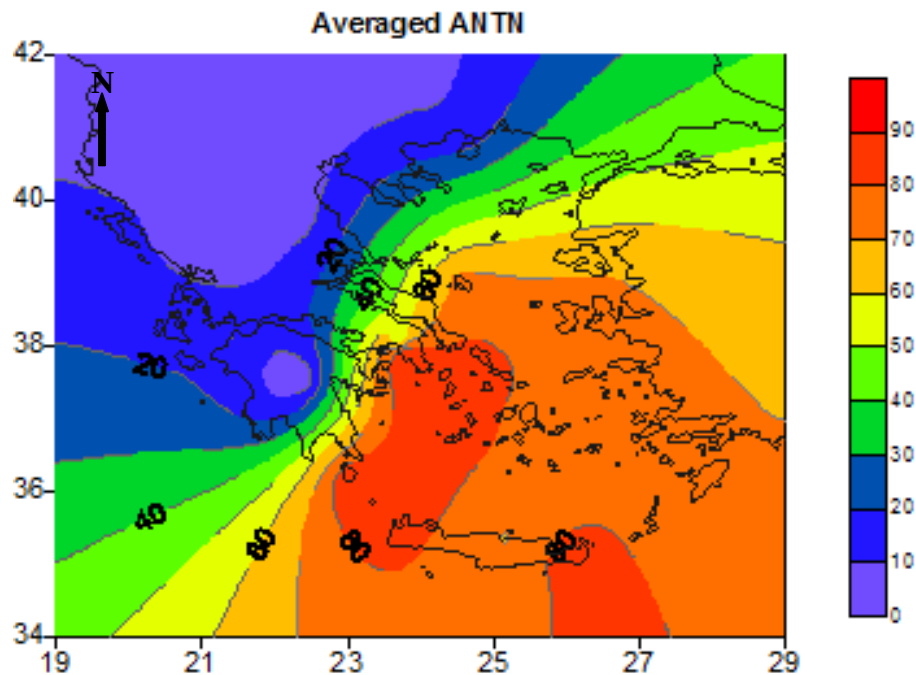
Σταθμός	ΑΓΡΙΝΙΟ	ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛ Η	ΑΡΑΞΟΣ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	ΕΛΕΥΣΙΝ Α	Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	ΙΟΑΝΝΙΝΑ	ΗΡΑΚΛΕΙ Ο
Μέση T _{min} (°C)	10.3	9.2	12.3	14.4	13.3	12.6	7.5	14.8
Σταθμός	ΚΑΛΑΜ ΑΤΑ	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΚΥΘΗΡ Α	ΚΟΖΑΝΗ	ΛΑΡΙΣΑ	ΜΗΛΟΣ	ΜΥΤΙΛΗΝ Η	ΝΑΞΟΣ
Μέση T _{min} (°C)	11.6	11.9	15.4	7.2	8.8	14.8	13.7	15.2
Σταθμός	ΡΟΔΟΣ	ΣΗΤΕΙΑ	ΣΚΥΡΟΣ	ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚ Η	ΤΡΙΠΟΛΗ	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ		
Μέση T _{min} (°C)	15.4	15.4	14	9.9	7	15.3		



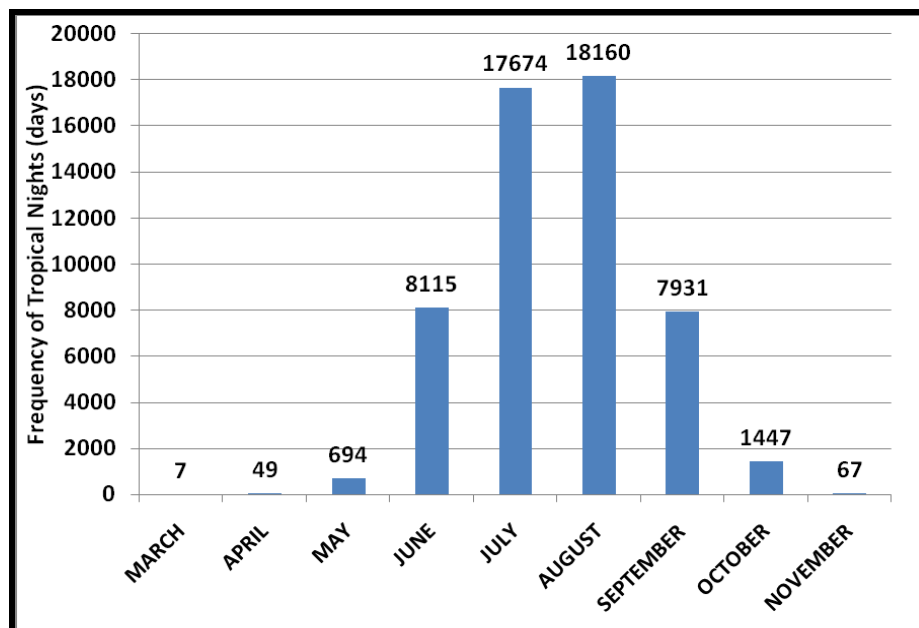
Γράφημα 1: Συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών ανά σταθμό για την περίοδο 1951-2004.

Από το Σχήμα 52 γίνεται φανερό ότι ο μέσος ετήσιος αριθμός τροπικών νυχτών ακολουθεί μια βαθμίδα με βορειοδυτική-νοτιοανατολική κατεύθυνση. Πράγματι, στα βορειοδυτικά της χώρας εμφανίζονται κατά μέσο όρο περίπου 10 τροπικές νύχτες ετησίως ενώ στα νοτιοανατολικά εμφανίζονται πάνω από 70 ενώ σε κάποιες περιοχές (Αττική, δυτικές Κυκλάδες και Κρήτη) ξεπερνούν τις 80 τροπικές νύχτες ετησίως.

Η συχνότητα των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα ανά μήνα παρουσιάζεται στο Γράφημα 2. Παρατηρούμε ότι τροπικές νύχτες εμφανίζονται από το Μάρτιο έως το Νοέμβριο με υψηλές τιμές εμφάνισης από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο κορυφούμενες τον Αύγουστο. Το χειμώνα που είναι η ψυχρή εποχή του έτους δεν εμφανίζεται σε κανέναν από τους σταθμούς τροπική νύχτα.

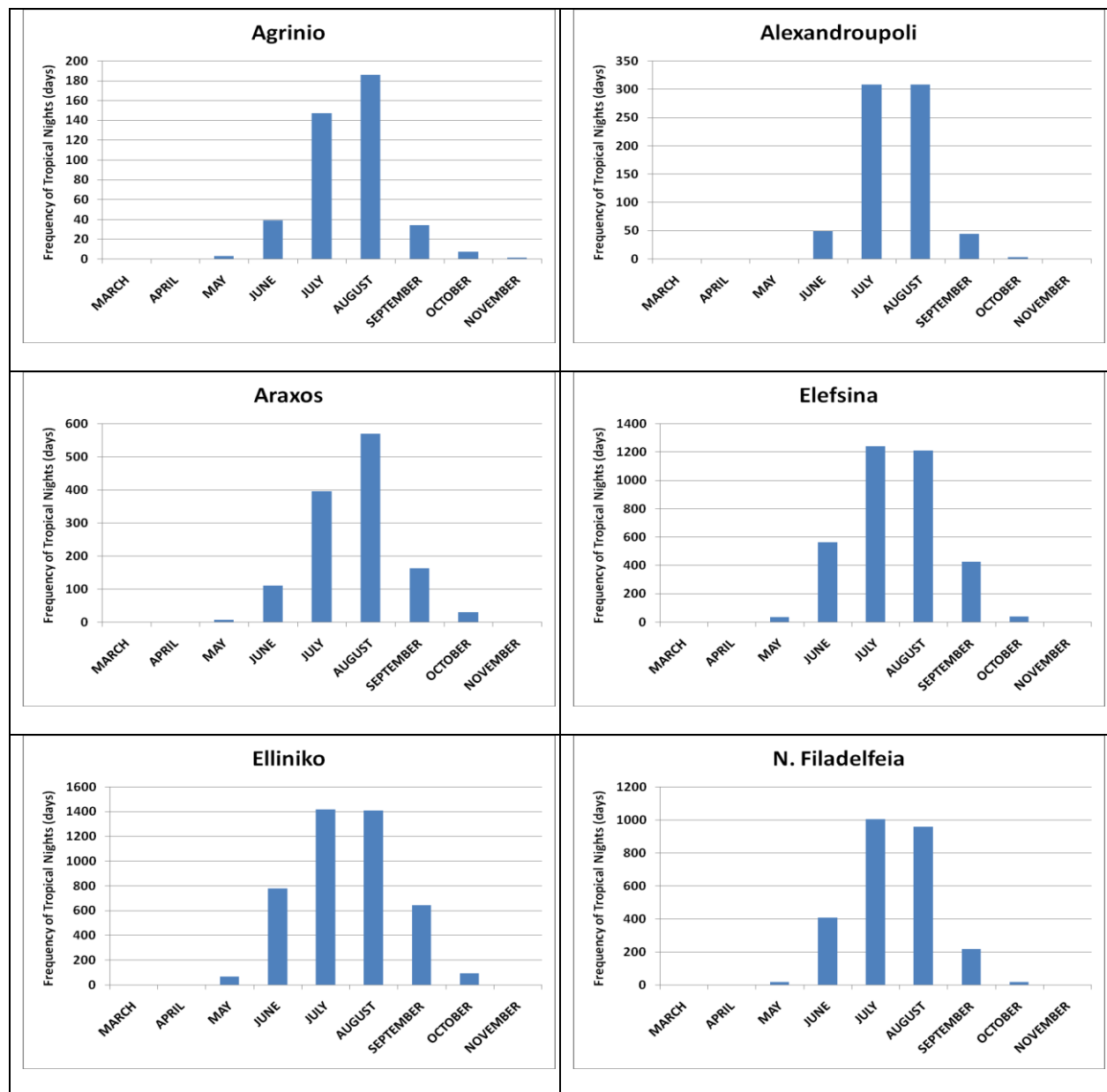


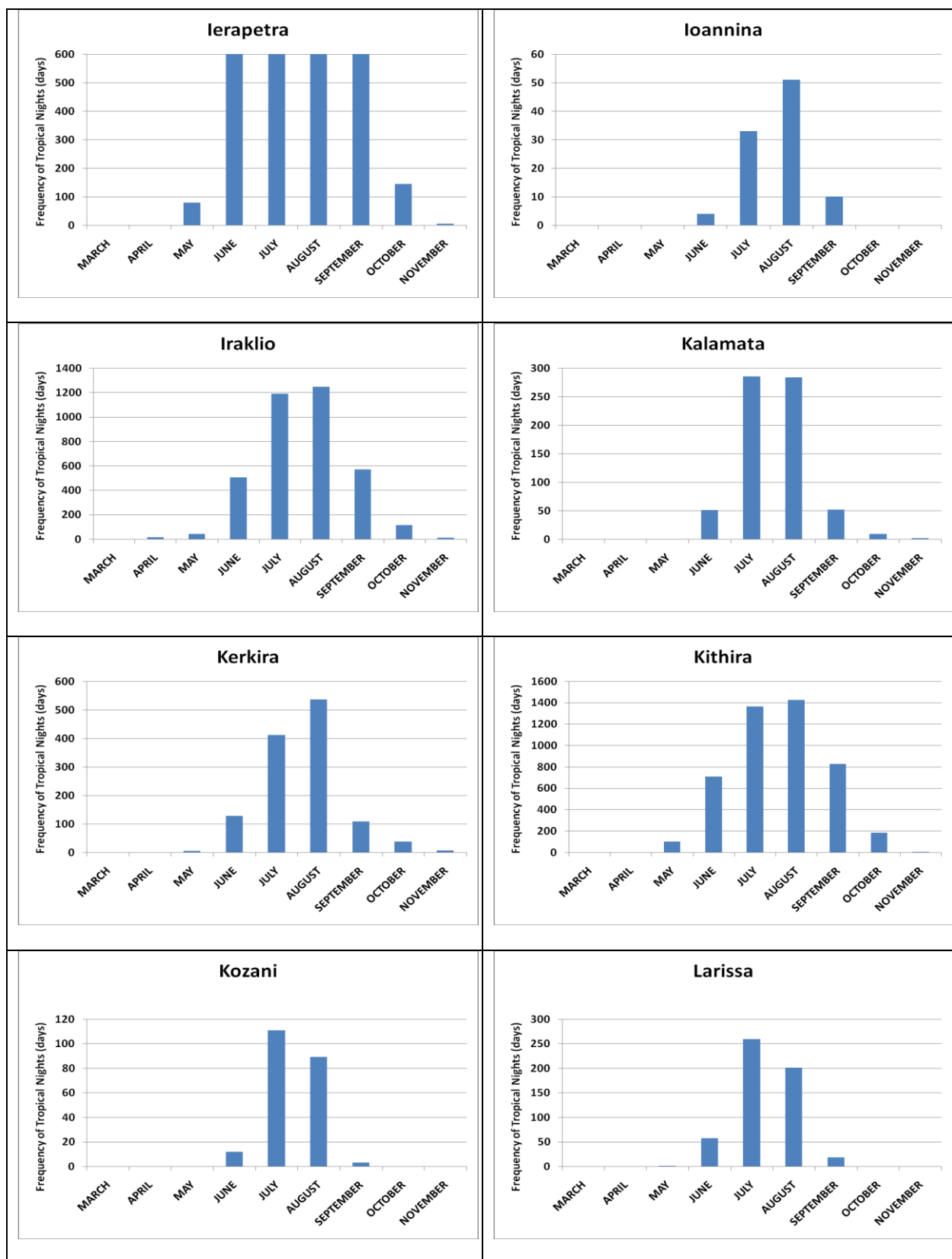
Σχήμα 52: Χωρική κατανομή του μέσου ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών.

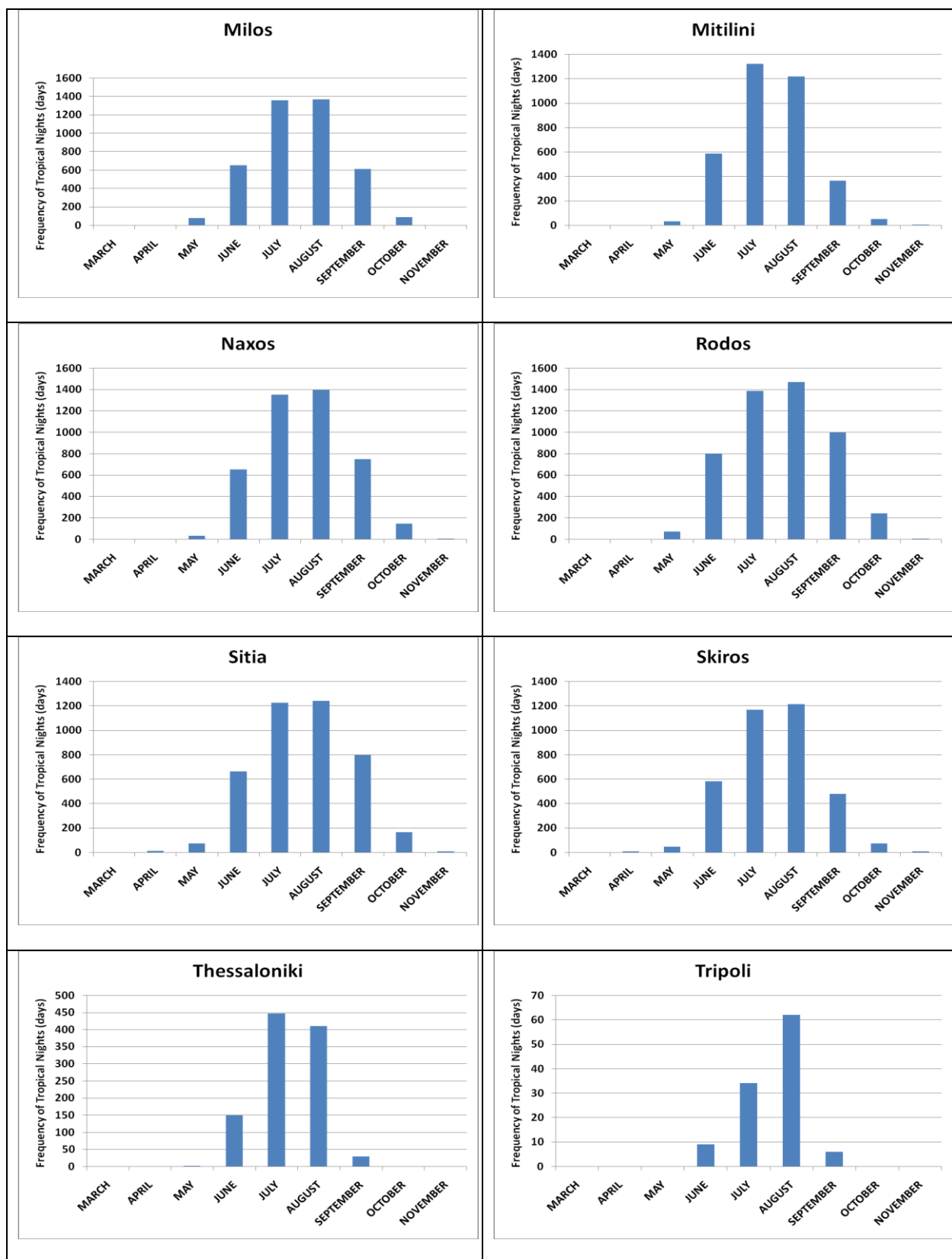


Γράφημα 2: Συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια του έτους.

Επίσης στο Γράφημα 3 απεικονίζεται η συχνότητα των τροπικών νυχτών ανά μήνα σε κάθε σταθμό ξεχωριστά. Στους περισσότερους από τους σταθμούς ο Αύγουστος είναι ο μήνας με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών. Υπάρχουν όμως και κάποιοι σταθμοί (Ελευσίνα, Ελληνικό, Νέα Φιλαδέλφεια, Κοζάνη, Λάρισα, Μυτιλήνη και Θεσσαλονίκη) στους οποίους περισσότερες τροπικές νύχτες εμφανίζονται το μήνα Ιούλιο. Στην Αλεξανδρούπολη και στην Καλαμάτα, τέλος ο Ιούλιος και ο Αύγουστος έχουν τον ίδιο περίπου αριθμό τροπικών νυχτών. Επίσης, από το ίδιο γράφημα γίνεται φανερό ότι το Μάρτιο μόνο σε τρεις σταθμούς (Ηράκλειο, Μυτιλήνη και Σκύρος) έχουν εμφανιστεί τροπικές νύχτες ενώ τον Απρίλιο σε έξι (Ηράκλειο, Μήλος, Μυτιλήνη, Ρόδος, Σητεία και Σκύρος).







Γράφημα 3: Συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών ανά μήνα στους 22 σταθμούς.

4.3.1 Τάσεις τροπικών νυχτών

Καθώς οι τάσεις παρέχουν ενδείξεις σχετικά με πιθανές κλιματικές αλλαγές, μεγάλης σπουδαιότητας κρίθηκε ο έλεγχος της εμφάνισης τάσεων στις χρονοσειρές του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών και στη συνέχεια ο έλεγχος της στατιστικής τους σημαντικότητας.

Για τη μελέτη των τάσεων των χρονοσειρών σε ετήσια βάση καθώς και για τον έλεγχο της στατιστικής τους σημαντικότητας, επιλέχθηκε η στατιστική μέθοδος της γραμμικής παλινδρόμησης (Panofsky and Brier, 1968). Η γραμμή παλινδρόμησης εκφράζεται με τη σχέση:

$$y = bx + a \quad (1)$$

όπου y είναι η εξαρτημένη μεταβλητή η οποία στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ο αριθμός τροπικών νυχτών στο αντίστοιχο έτος, x είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή, το έτος, στην περίπτωση μας και ο συντελεστής b δίνει την κλίση της γραμμής παλινδρόμησης και εκφράζει την τάση της αντίστοιχης παραμέτρου.

Η στατιστική σημαντικότητα ενός αποτελέσματος είναι η πιθανότητα που η παρατηρηθείσα σχέση (μεταξύ των μεταβλητών) εμφανίστηκε καθαρά κατά τύχη και ότι στην πραγματικότητα δεν υπάρχει καμία τέτοια σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Με απλά λόγια, κάποιος θα μπορούσε να πει ότι η στατιστική σημαντικότητα ενός αποτελέσματος μας λέει κάτι για το βαθμό στον οποίο το αποτέλεσμα είναι «αληθινό» (υπό την έννοια ότι είναι «αντιπροσωπευτικό του πληθυσμού»). Η στατιστική σημαντικότητα των τάσεων ελέγχεται με τον υπολογισμό της p -value στη στάθμη σημαντικότητας $\alpha=0.05$. Ερμηνεύοντας το p -value της μεθόδου της γραμμικής παλινδρόμησης θα μπορούσαμε να πούμε ότι η τιμή του αντιπροσωπεύει έναν μειωτικό δείκτη της αξιοπιστίας του αποτελέσματος (Brownlee, 1960). Αυτό που συμβαίνει είναι ότι το p -value για κάθε όρο ελέγχει την μηδενική υπόθεση ότι ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των δυο μεταβλητών (μεταξύ ανεξάρτητης και εξαρτημένης μεταβλητής) ισούται με το μηδέν (καμία δράση). Ένα χαμηλό p -value (<0.05) δείχνει ότι μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση. Με άλλα λόγια, μια χαμηλή τιμή p υποδεικνύει ότι αλλαγές στην ανεξάρτητη μεταβλητή συνδέονται με μεταβολές στην εξαρτημένη κι αντιστρόφως.

Είναι γνωστό ότι στα μέσα της δεκαετίας του 1970 εμφανίστηκε μία σημαντική κλιματική μετατόπιση από χαμηλότερες σε υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες θάλασσας στον Ειρηνικό ωκεανό με επιπτώσεις που επεκτάθηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο (Flannery, 2005; Meehl et al., 2009). Μάλιστα, το έτος 1976 θεωρείται σαν το έτος μεταίχμιο στην πορεία της θερμοκρασίας. Για το λόγο αυτό η εμφάνιση τάσεων εκτός από την συνολική περίοδο 1951-2004 ελέγχθηκε ξεχωριστά για κάθε Μ.Σ. και για τις υποπεριόδους 1951-1976 και 1977-2004.

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για τους επιλεγμένους Μ.Σ. καθώς και για όλη την επικράτεια. Η μέση τιμή που υπολογίστηκε και από τους 22 σταθμούς για όλη την Ελλάδα είναι 45,3 τροπικές νύχτες/έτος για την περίοδο 1951-1976. Ωστόσο, αυτή η τιμή αυξάνεται κατά 18,5% την περίοδο 1977-2004 (53,7 τροπικές νύχτες/έτος) ενώ η τάση της μέσης τιμής του EATN για την Ελλάδα για την περίοδο 1960-2004 (που είναι κοινή για όλους τους σταθμούς) υποδεικνύει μία αύξηση της τάξης των 0,468 τροπικών νυχτών/έτος (Γράφημα 4). Με άλλα λόγια στο τέλος του αιώνα η Ελλάδα θα βιώνει κατά μέσο όρο περίπου 45 παραπάνω τροπικές νύχτες το έτος φτάνοντας περίπου τις 100 (αφού η μέση τιμή για την περίοδο 1951-2004 είναι 50,2 τροπικές νύχτες/έτος).

Για την περίοδο πριν το 1976, το Ελληνικό είναι ο σταθμός με τη μεγαλύτερη μέση τιμή στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών με 90,1 ημέρες ενώ η Κοζάνη με τη μικρότερη που μόλις φτάνει τις 1,5 ημέρες (Πίνακας 4). Την περίοδο μετά το 1976 καθώς και τη συνολική περίοδο 1951-2004 η Ρόδος έχει τη μεγαλύτερη μέση τιμή (121,4 και 99,5 ημέρες αντίστοιχα) ενώ τα Ιωάννινα τη μικρότερη (2 ημέρες και για τις δύο περιόδους).

Όσον αφορά στην τυπική απόκλιση, η στατιστική αυτή παράμετρος είναι αρκετά μεγάλη σε κάποιους σταθμούς διευρύνοντας κατά αυτό τον τρόπο ακόμα περισσότερο το εύρος τιμών του EATN (Πίνακας 4). Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι στην περίοδο πριν το 1976 για το Αγρίνιο, η τυπική απόκλιση είναι περίπου ίση με τη μέση τιμή του EATN. Αυτό σημαίνει ότι κάποιες χρονιές στο Αγρίνιο δεν εμφανίζονται καθόλου τροπικές νύχτες ενώ κάποιες άλλες, αυτές είναι διπλάσιες από τη μέση τιμή, πράγμα που επιβεβαιώνεται από τη χρονοσειρά (π.χ. το 1957, 29 τροπικές νύχτες, το 2003, 25 ενώ το 1976 και το 1983 καμία).

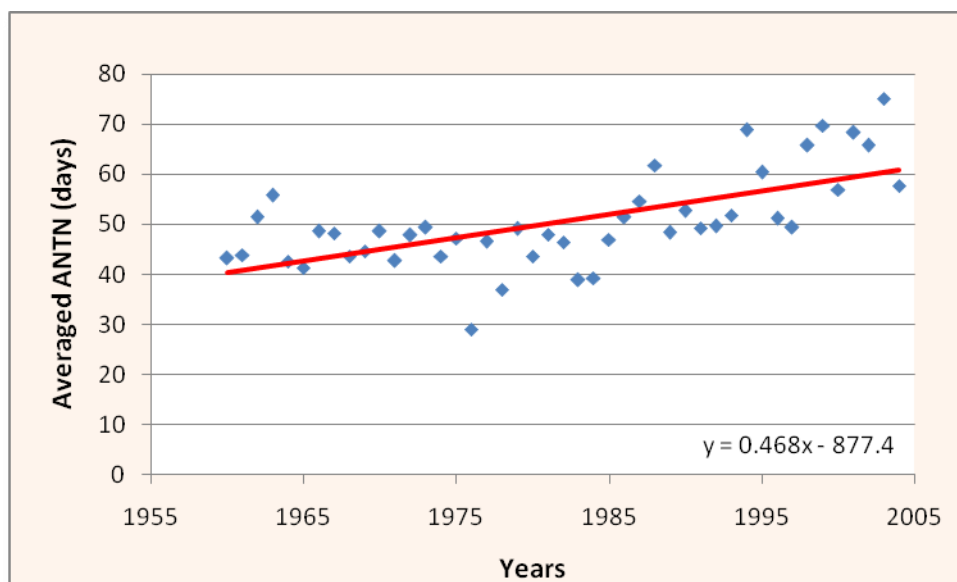
Οι πορείες του EATN (ANTN) που αναλύθηκαν για κάθε σταθμό ξεχωριστά, μαζί με τις γραμμές παλινδρόμησης για τις χρονικές περιόδους 1951-1976, 1977-2004 και 1951-2004 απεικονίζονται στο Γράφημα 5, ενώ στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται οι τάσεις για αυτές τις περιόδους αριθμητικά. Για την πρώτη περίοδο είναι φανερή μία πτωτική τάση στην πλειοψηφία των σταθμών και μία τάση αύξησης σε μερικούς από αυτούς. Ο EATN χαρακτηρίζεται από θετική τάση σε όλους τους σταθμούς μελέτης κατά τη δεύτερη περίοδο ενώ για τη συνολική περίοδο από το 1951 έως το 2004 η επικράτηση των θετικών τάσεων είναι σχεδόν καθολική.

Πιο αναλυτικά, κατά την περίοδο 1951-1976 στις χρονοσειρές της του EATN, υπάρχουν 15 σταθμοί που παρουσιάζουν αρνητική τάση και μόλις 7 με θετική. Ο αριθμός τροπικών νυχτών (Γράφημα 5, Σχήμα 53) παρουσιάζει μείωση σε: Μυτιλήνη, Αγρίνιο, Καλαμάτα, Άραξος, Αλεξανδρούπολη, Μήλος, Θεσσαλονίκη, Ελληνικό, Νέα Φιλαδέλφεια, Κύθηρα και Λάρισα, ενώ πτωτική τάση με μικρότερο ρυθμό εμφανίζεται σε: Κοζάνη, Τρίπολη, Ρόδο και Σκύρο. Κατά τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, σε εφτά σταθμούς οι

τάσεις που εντοπίστηκαν είναι στατιστικά σημαντικές, πρόκειται για έξι αρνητικές στους σταθμούς του Αγρινίου, της Αλεξανδρούπολης, της Καλαμάτας, της Κοζάνης, της Μυτιλήνης και της Θεσσαλονίκης και μία θετική στο σταθμό της Σητείας (Πίνακας 5). Η κατάσταση την περίοδο 1977-2004 είναι σαφέστερη καθώς ο EATN παρουσιάζει αύξηση σε όλους τους Μ.Σ (Γράφημα 5, Σχήμα 53) οι οποίες όλες είναι στατιστικά σημαντικές εκτός από τα Ιωάννινα και την Τρίπολη (Πίνακας 5). Για την περίοδο 1951-2004 παρατηρείται αύξηση του EATN σε όλες τις περιοχές της χώρας εκτός από το Αγρίνιο και την Τρίπολη (τα Ιωάννινα παρουσιάζουν σχεδόν μηδενική τάση) (Γράφημα 5, Σχήμα 54). Οι τάσεις που εντοπίστηκαν για τη συνολική περίοδο βρέθηκαν να είναι στατιστικά σημαντικές στην πλειοψηφία των σταθμών (σε 13 σταθμούς) (Πίνακας 5). Καταλήγουμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι σε γενικές γραμμές, ο αριθμός των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα παρουσιάζει μία τάση αύξησης με την πάροδο του χρόνου.

Πίνακας 4: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για τη συνολική περίοδο και τις δύο υποπεριόδους.

	Μέσος Όρος (ημέρες)	Τυπική Απόκλιση (ημέρες)	Μέσος Όρος (ημέρες)	Τυπική Απόκλιση (ημέρες)	Μέσος Όρος (ημέρες)	Τυπική Απόκλιση (ημέρες)
	1951-1976		1976-2004		1951-2004	
ΑΓΡΙΝΙΟ	11.7	11.2	6.10	6.30	8.50	9.10
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	13.3	7.60	13.0	8.50	13.2	8.00
ΑΡΑΞΟΣ	20.6	10.3	29.4	15.0	25.5	13.7
ΕΛΛΗΝΙΚΟ	90.1	9.50	86.9	14.2	88.3	12.4
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	67.9	10.3	79.3	13.2	74.7	13.3
ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	46.5	10.2	57.0	14.8	52.3	13.9
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	80.2	16.2	94.3	21.1	88.6	20.3
ΙΟΑΝΝΙΝΑ	2.00	2.20	2.00	2.30	2.00	2.20
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	68.9	10.0	78.3	11.2	74.2	11.6
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	14.9	9.50	13.2	9.01	13.9	9.20
ΚΕΡΚΥΡΑ	13.5	7.70	33.3	21.2	24.6	19.3
ΚΥΘΗΡΑ	87.3	12.6	96.1	13.6	92.3	13.7
ΚΟΖΑΝΗ	1.50	1.70	6.50	8.20	4.30	6.70
ΛΑΡΙΣΑ	8.60	4.30	12.4	7.40	10.7	6.50
ΜΗΛΟΣ	83.4	11.0	82.6	13.5	82.9	12.4
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	69.4	13.1	73.1	14.6	71.5	14.0
ΝΑΞΟΣ	78.2	8.60	92.9	12.9	86.4	13.3
ΡΟΔΟΣ	71.8	10.8	121.4	11.6	99.5	27.3
ΣΗΤΕΙΑ	81.8	16.2	99.9	19.0	93.0	19.8
ΣΚΥΡΟΣ	71.0	10.2	72.3	12.5	71.8	11.5
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	11.8	4.50	29.5	18.0	22.6	16.6
ΤΡΙΠΟΛΗ	2.70	2.60	2.10	2.20	2.40	2.30
AVERAGE	45.3		53.7		50.2	



Γράφημα 4: Πορεία μέσου ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών στην Ελλάδα για την περίοδο 1960-2004.

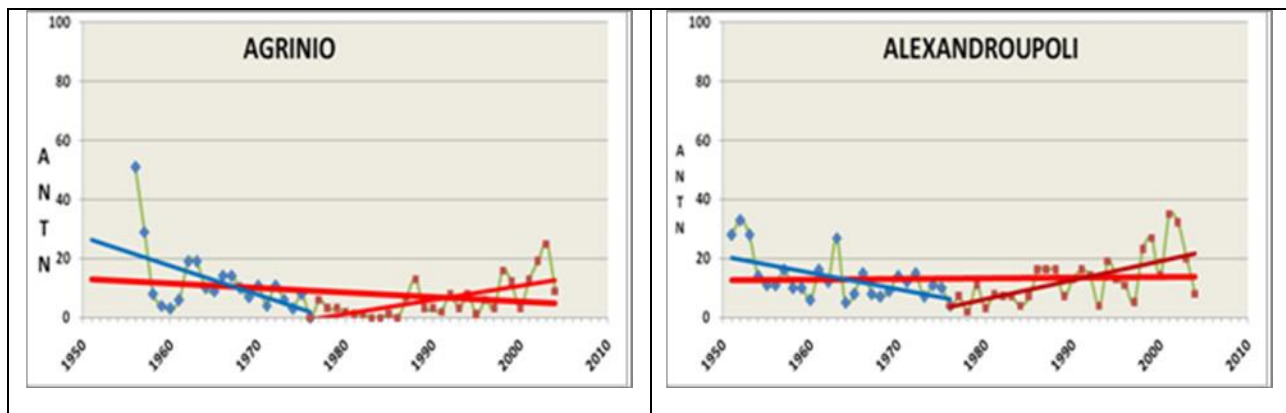
Παρατηρώντας προσεχτικά τις τάσεις κυρίως κατά την χρονική περίοδο 1977-2004 που όπως προαναφέραμε σε όλους τους σταθμούς είναι θετική βλέπουμε ότι στους ηπειρωτικούς, πεδινούς σταθμούς του Αγρινίου και της Λάρισας (Lolis et al., 1999) η αύξηση στον αριθμό τροπικών νυχτών είναι πολύ μικρή (άρα το υψόμετρο δεν επιδρά) σε σχέση με την αύξηση που σημειώνεται στους παραθαλάσσιους σταθμούς (π.χ. Ιεράπετρα, Κέρκυρα) ή σε αυτούς που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα (π.χ. Κύθηρα) (Πίνακας 5). Το ίδιο μπορεί κάποιος να παρατηρήσει, αν και όχι τόσο ξεκάθαρα και κατά τη συνολική περίοδο 1951-2004 όπου το Αγρίνιο είναι ένας από τους δύο σταθμούς στους οποίους παρατηρείται μείωση στον EATN.

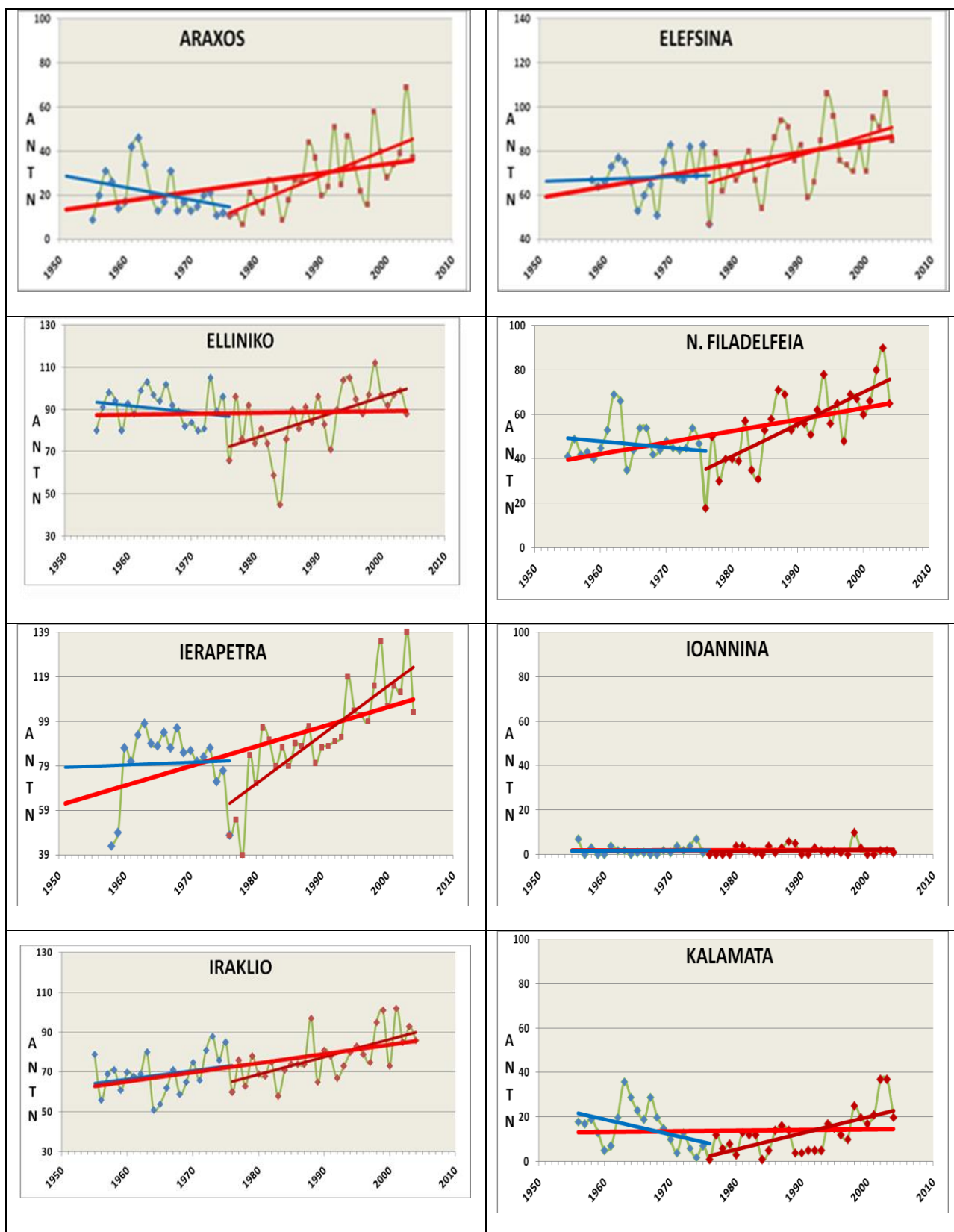
Διαφορές στον αριθμό τροπικών νυχτών είναι λογικό να παρατηρούνται μεταξύ των διάφορων περιοχών της χώρας λόγω του υψομέτρου και λόγω της επίδρασης της θάλασσας. Αξιοσημείωτη όμως είναι η παρατηρούμενη αύξηση του εν λόγω αριθμού στη Ρόδο την περίοδο 1977-2004. Συνδυάζοντας το γεγονός αυτό, τη μέση τιμή του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών, που προαναφέρθηκε και προσέχοντας το Γράφημα 5 για τον ίδιο σταθμό, πιστεύουμε ότι μπορεί να οφείλεται στην μετακίνηση του σταθμού από τη Μαριτσά στο Παραδείσι που έγινε το 1977 και για αυτό το λόγο οι παρατηρήσεις του σταθμού χρήζουν παραπάνω ανάλυση για την αξιοπιστία τους.

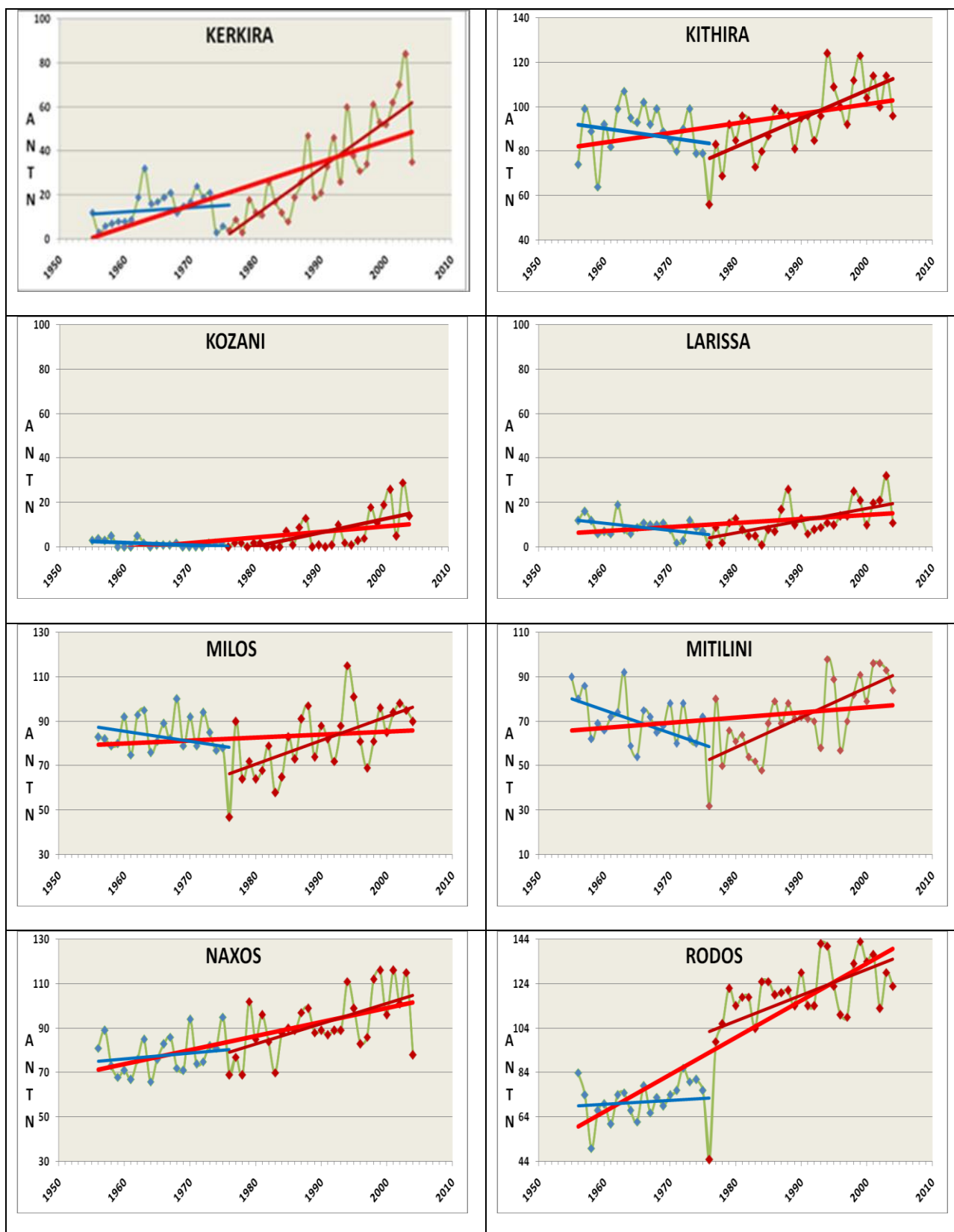
Στην αλλαγή της θέσης του σταθμού από την πόλη της Σητείας στη σημερινή του θέση, στο αεροδρόμιο της Σητείας, που έγινε τον Απρίλιο του 1986, μπορεί να οφείλεται και η «περίεργη» συμπεριφορά της πορείας του EATN στο σταθμό της Σητείας (Γράφημα 5).

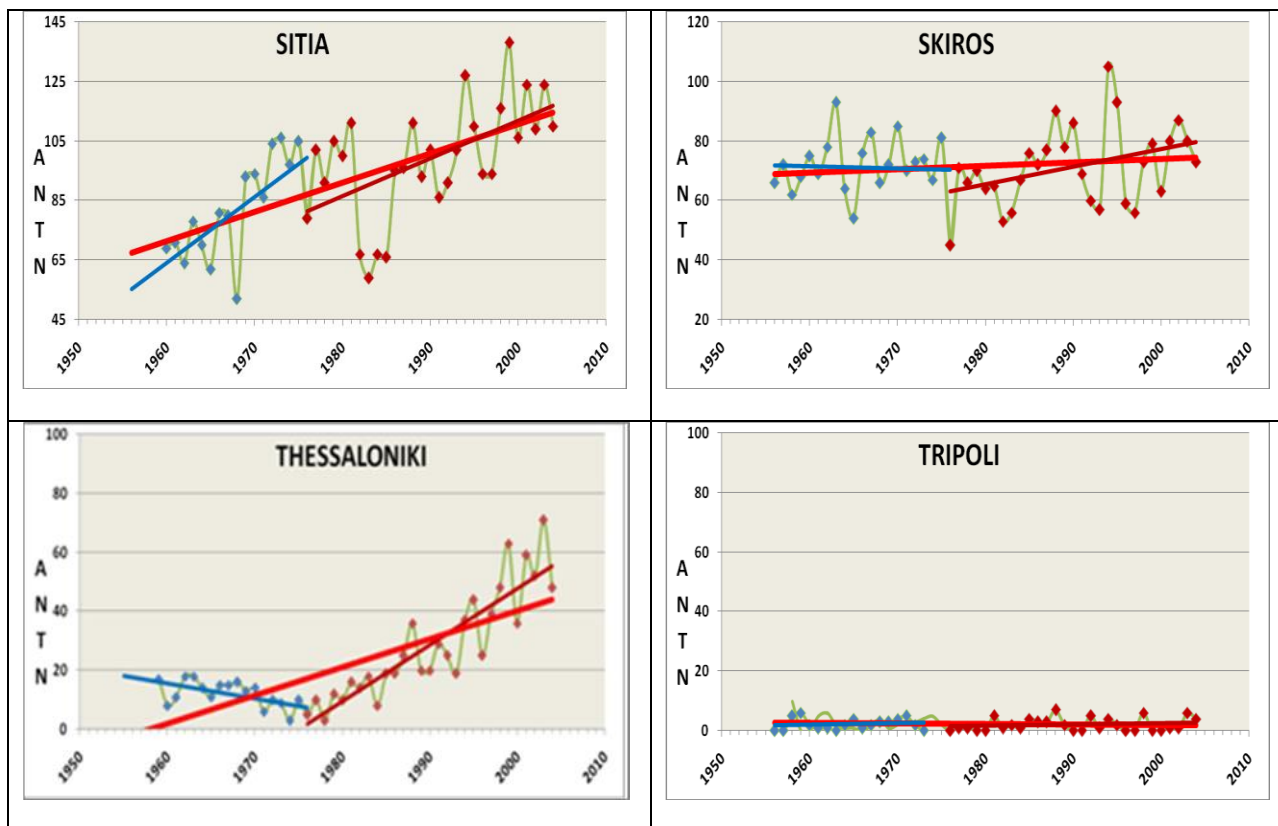
Πίνακας 5: Οι τάσεις του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για τις τρεις χρονικές περιόδους για κάθε Μ.Σ. (με γκρι σκίαση οι στατιστικά σημαντικές τάσεις στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

Μετ. Σταθμοί	1951-1976 (ημέρες/έτος)	1977-2004 (ημέρες/έτος)	1951-2004 (ημέρες/έτος)
ΑΓΡΙΝΙΟ	-0.974	0.477	-0.154
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	-0.555	0.638	0.018
ΑΡΑΞΟΣ	-0.565	1.196	0.421
ΕΛΛΗΝΙΚΟ	-0.310	0.976	0.040
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	0.096	0.890	0.513
Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	-0.286	1.449	0.516
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	0.121	2.193	0.881
ΙΟΑΝΝΙΝΑ	0.007	0.026	0.005
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	0.417	0.884	0.461
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	-0.684	0.727	0.028
ΚΕΡΚΥΡΑ	0.185	2.125	0.975
ΚΥΘΗΡΑ	-0.233	1.284	0.437
ΚΟΖΑΝΗ	-0.110	0.622	0.251
ΛΑΡΙΣΑ	-0.217	0.549	0.185
ΜΗΛΟΣ	-0.550	1.071	0.091
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	-1.029	1.346	0.230
ΝΑΞΟΣ	0.124	0.907	0.589
ΡΟΔΟΣ	-0.085	1.164	1.583
ΣΗΤΕΙΑ	2.213	1.264	0.984
ΣΚΥΡΟΣ	-0.050	0.584	0.110
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	-0.501	1.906	0.952
ΤΡΙΠΟΛΗ	-0.086	0.043	-0.015

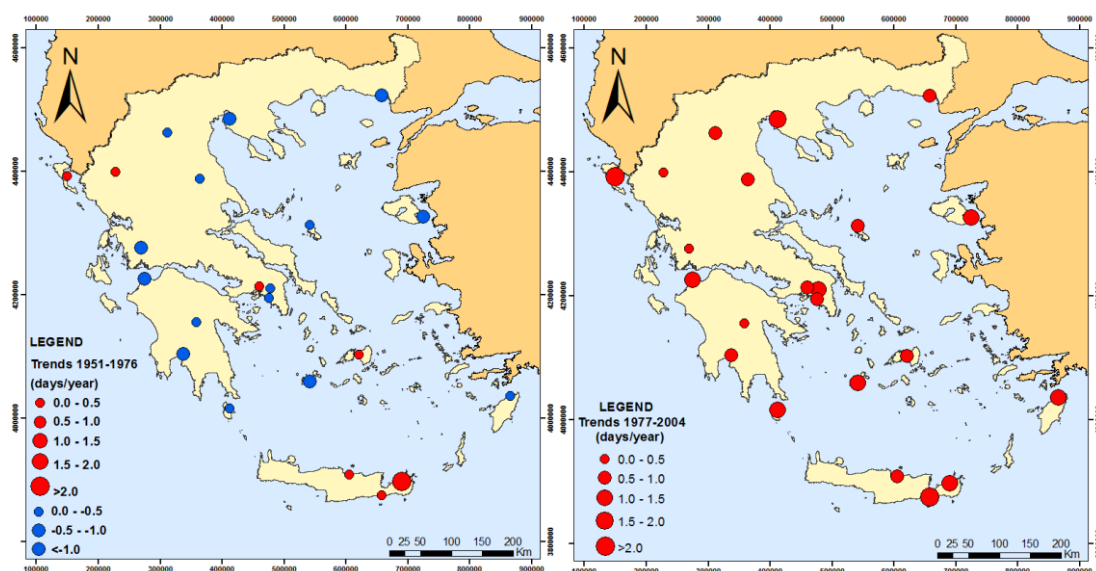




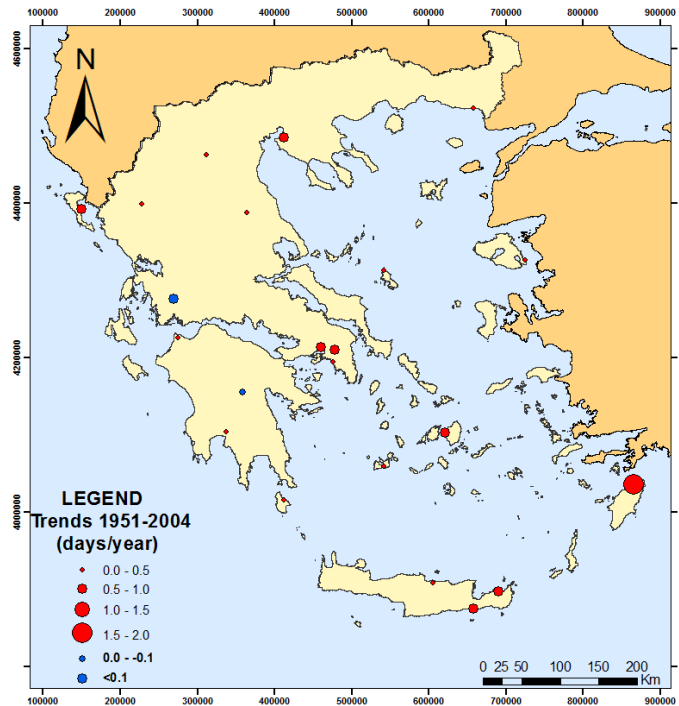




Γράφημα 5: Πορεία του EATN για τους Μ.Σ. (Η κόκκινη γραμμή είναι η γραμμή παλινδρόμησης για την περίοδο 1951-2004, η μπλε για την 1950-1976 και η μπορντώ για την 1977-2004).



Σχήμα 53: Χωρική κατανομή των τάσεων του EATN στην Ελλάδα για την περίοδο 1951-1976 (αριστερή εικόνα) και για την περίοδο 1977-2004 (δεξιά εικόνα) (οι κόκκινοι και μπλε αναλογικοί κύκλοι δείχνουν θετικές και αρνητικές τάσεις, αντίστοιχα).



Σχήμα 54: Χωρική κατανομή των τάσεων του EATN στην Ελλάδα για την περίοδο 1951-2004.

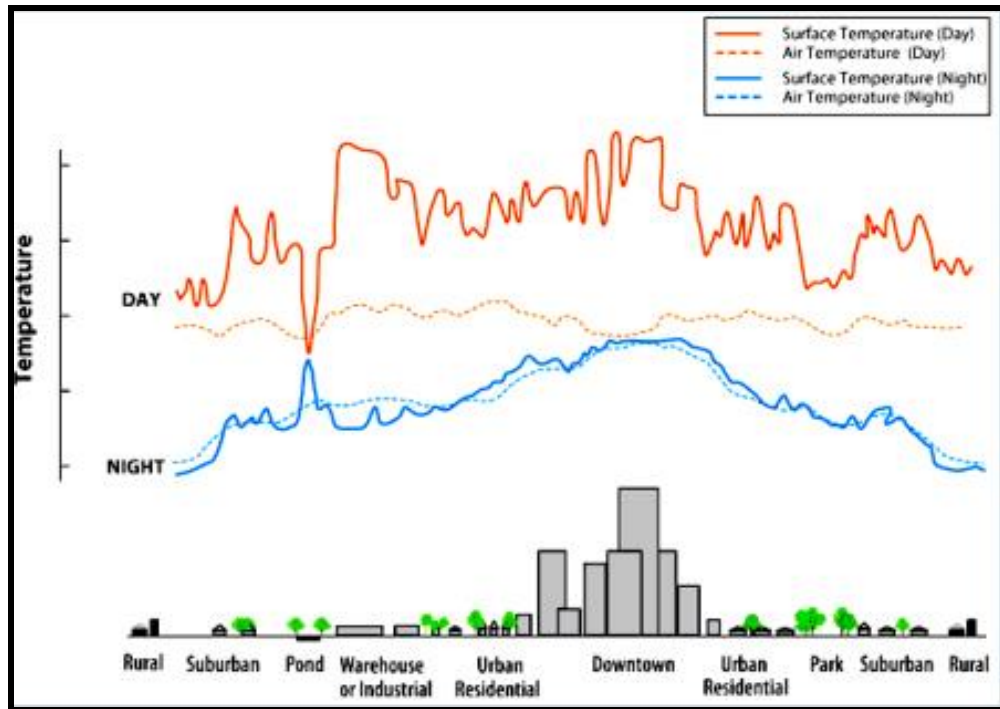
4.4 Τροπικές νύχτες και φαινόμενο αστικής θερμικής νησίδας

Σκοπός αυτής της ενότητας είναι η μελέτη της επίδρασης του αστικού μικροκλίματος στον EATN.

Η πιο σημαντική συνέπεια από την αστική ανάπτυξη είναι η τροποποίηση των βιοφυσικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος. Η αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών και του αέρα στο αστικό περιβάλλον συνιστά το φαινόμενο που ονομάζεται «αστική θερμική νησίδα» (Urban Heat Island), που επηρεάζει καθοριστικά το μικροκλίμα. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας ευθύνεται για την ύπαρξη υψηλότερων θερμοκρασιών στα αστικά κέντρα, σε σχέση με τις γύρω μη-αστικές περιοχές και την ύπαιθρο και γίνεται πιο εμφανές αργά το απόγευμα και τη νύχτα (Oke, 1974, 1979; Landsberg, 1981; Katsoulis and Theocharatos, 1985) (Σχήμα 55). Ο Luke Howard (1772-1854) ερεύνησε και περιέγραψε πρώτος το φαινόμενο σε βιβλίο που εκδόθηκε το 1818 για το κλίμα του Λονδίνου.

Πιο αναλυτικά, η μάζα των κτιρίων λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας και οι όγκοι των κτιρίων εμποδίζουν τον άνεμο μειώνοντας την έντασή του. Τα κτίρια κατά την διάρκεια της ημέρας αποθηκεύουν θερμότητα κυρίως στις εξωτερικές τους επιφάνειες και τοίχους, αυξάνοντας τη θερμοκρασία τους. Ο αέρας που έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες των κτιρίων αποκτά την θερμοκρασία τους, μεταφέροντας στην συνέχεια την θερμότητα αυτή και στις γειτονικές μάζες του αέρα αυξάνοντας τη θερμοκρασία τους. Κατά τη διάρκεια της νύχτας,

οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων εκπέμπουν την θερμότητά τους με την μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας, εμποδίζοντας τον αέρα να ψυχθεί αποτελεσματικά. Έτσι οι αστικές περιοχές αποκτούν υψηλότερες θερμοκρασίες (και υψηλότερες ελάχιστες θερμοκρασίες) από τις γειτονικές μη-αστικές περιοχές.



Σχήμα 55: Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (EPA, 2008).

Σε περιοχές με θερμό και μεσογειακό κλίμα, όπως αυτό της Ελλάδας, το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας έχει αρνητικές συνέπειες (Αγερίδης κ. ά., 2011), που κατά κύριο λόγο αφορούν:

- ✚ Στο αστικό περιβάλλον: στη συγκέντρωση και διανομή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.
- ✚ Στα κτίρια: στην αύξηση των αναγκών δροσισμού και κατ' επέκταση στην εντατική λειτουργία κλιματιστικών μονάδων που, απορρίπτοντας θερμότητα επαυξάνουν την θερμοκρασία του υπαίθριου αστικού χώρου.
- ✚ Στους ανθρώπους: σε θερμική δυσφορία και προβλήματα υγείας.
- ✚ Στην οικονομία: σε όλες τις συνέπειες που οφείλονται στο υποβαθμισμένο, απαξιωμένο και αφιλόξενο αστικό περιβάλλον καθώς και στην αυξημένη κατανάλωση ενέργειας.
- ✚ Στην κοινωνία: στην υποβάθμιση των συνθηκών διαβίωσης που πλήττει περισσότερο τις πιο αδύναμες κοινωνικές ομάδες.

Οι επιπτώσεις του φαινομένου στην ποιότητα ζωής, στο αστικό περιβάλλον και στη ρύπανση, στη ζήτηση ενέργειας και φυσικών πόρων και στη κοινωνικοοικονομική ζωή των αστικών κέντρων, το συνιστούν μείζον πρόβλημα και για αυτό το λόγο κρίναμε αναγκαία την περαιτέρω μελέτη του.

Στα πλαίσια αυτής της ενότητας εξετάσαμε την πορεία του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών στο σταθμό της Νέας Φιλαδέλφειας που ανήκει σε καθαρά αστική περιοχή και στο σταθμό του Τατοΐου που είναι αγροτική/ημιαστική περιοχή (Σχήμα 56). Το Τατόι δεν ανήκει στους 22 σταθμούς μελέτης μας (Πίνακας 2) αλλά κανείς από τους σταθμούς της Αττικής δεν μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αγροτική/ημιαστική περιοχή (Lolis et al., 1999). Τα γεωγραφικά του χαρακτηριστικά είναι γεωγραφικό πλάτος $38^{\circ} 06' 21''$ Β, γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 46' 48''$ Α, και 236,6m υψόμετρο.

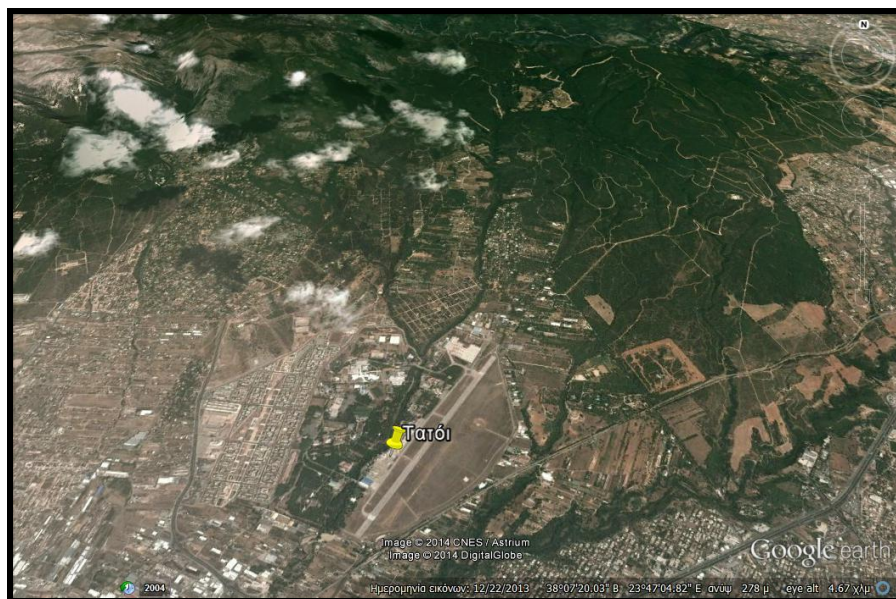
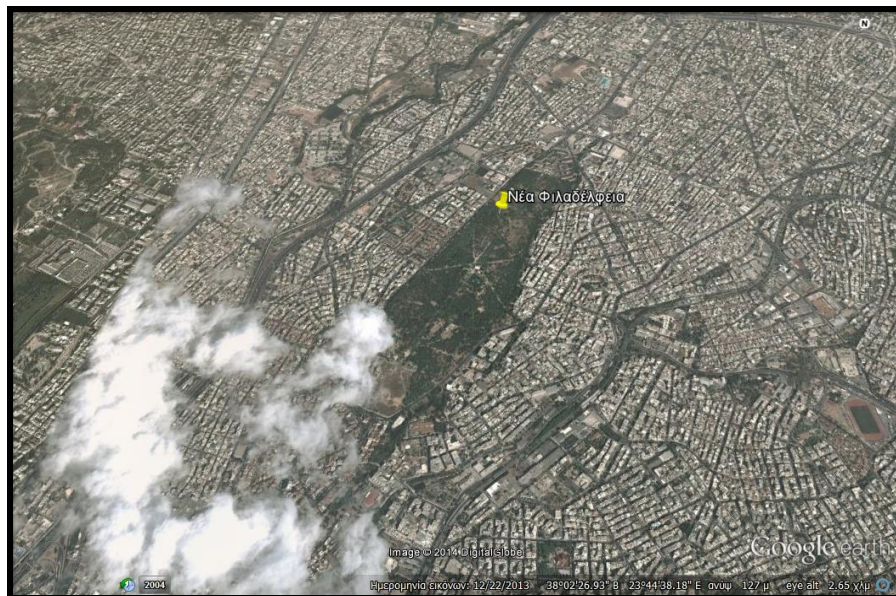
Οι πορείες του EATN (ANTN) για τους δύο σταθμούς απεικονίζονται στο Γράφημα 6 μαζί με τις ευθείες παλινδρόμησης για τις χρονικές περιόδους 1951-1976, 1977-2004 και 1951-2004 ενώ στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι τάσεις σε αυτές τις περιόδους αριθμητικά.

Η πρώτη διαπίστωση παρατηρώντας το Γράφημα 6 αλλά και τις τάσεις στις τρεις διαφορετικές χρονικές περιόδους είναι ότι οι τροπικές νύχτες και στους δύο σταθμούς παρουσιάζουν μία κοινή πορεία. Μία πτωτική τάση κατά την περίοδο 1951-1976, μία σημαντική τάση αύξησης κατά την περίοδο 1977-2004 και μία τάση αύξησης για την περίοδο 1951-2004, όχι όμως τόσο σημαντική σαν αυτή της προηγούμενης περιόδου. Βέβαια, κάθε χρονιά το Τατόι βιώνει αρκετά λιγότερες τροπικές νύχτες από τη Νέα Φιλαδέλφεια. Στο Τατόι επίσης, οι τάσεις αύξησης στις δύο περιόδους είναι μικρότερες από αυτές στη Νέα Φιλαδέλφεια. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι ο ρυθμός αύξησης των τροπικών νυχτών στη Νέα Φιλαδέλφεια για την συνολική περίοδο μελέτης είναι περίπου διπλάσιος από αυτόν στο Τατόι. Παρόμοια, η σύγκριση των τάσεων κατά την περίοδο 1951-1976 φανερώνει ότι ο ρυθμός πτώσης των τροπικών νυχτών στην ημιαστική περιοχή είναι διπλάσιος από αυτόν στην αστική περιοχή.

Από τα παραπάνω δεν μπορούμε ξεκάθαρα να καταλήξουμε στο συμπέρασμα ότι η αύξηση του αριθμού των τροπικών νυχτών την περίοδο 1951-2004 οφείλεται στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Όμως, στην επίδραση της θερμικής νησίδας των πόλεων μπορεί να αποδοθεί ο μεγαλύτερος ρυθμός με τον οποίο αυξάνονται οι τροπικές νύχτες στις πυκνά δομημένες περιοχές.

4.5 Χωρική διακύμανση των τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο

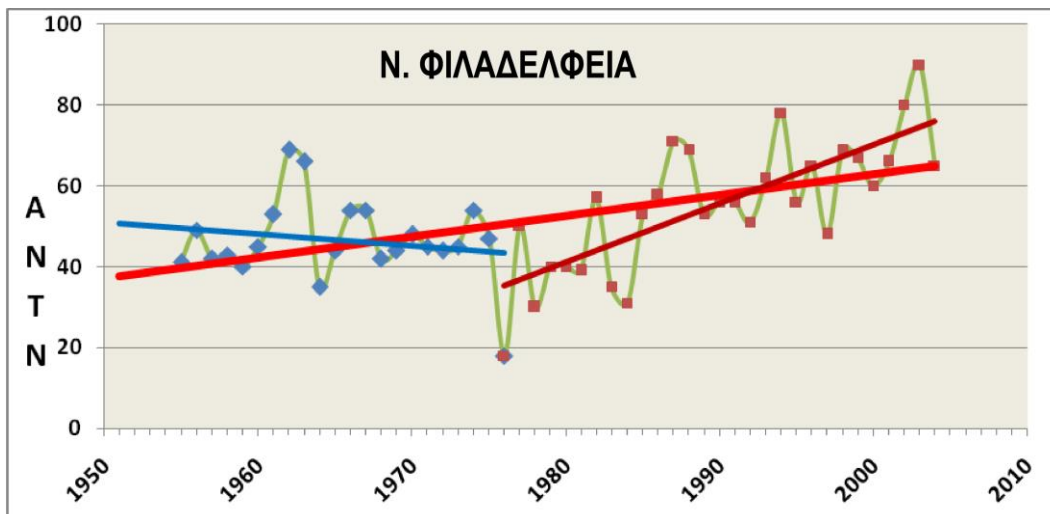
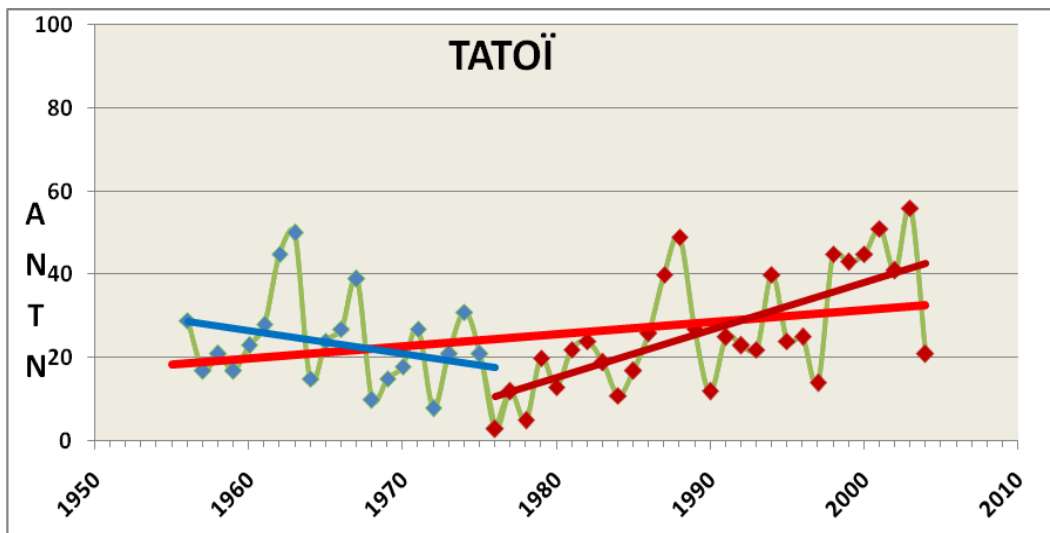
Σε αυτήν την ενότητα θα εξετάσουμε τον τρόπο με τον οποίο κατανέμονται και μεταβάλλονται χωρικά οι τροπικές νύχτες στον Ελλαδικό χώρο. Για αυτό το σκοπό κατηγοριοποιήσαμε τους 22 σταθμούς μελέτης μας σε πέντε περιοχές: βόρεια, δυτικά, κεντρικά, ανατολικά και νότια (Σχήμα 57).



Σχήμα 56: Οι θέσεις των σταθμών της Νέας Φιλαδέλφειας (επάνω εικόνα) και του Τατοΐου (κάτω εικόνα) όπου διακρίνεται ο αστικός και περιαστικός/αγροτικός τους χαρακτήρας αντίστοιχα (Google Earth).

Πίνακας 6: Οι τάσεις του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για τις τρεις χρονικές περιόδους για τη Ν. Φιλαδέλφεια και το Τατόι.

Μετ. Σταθμοί	1951-1976 (ημέρες/έτος)	1977-2004 (ημέρες/έτος)	1951-2004 (ημέρες/έτος)
Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	-0.286	1.449	0.516
ΤΑΤΟΙ	-0.544	1.136	0.286



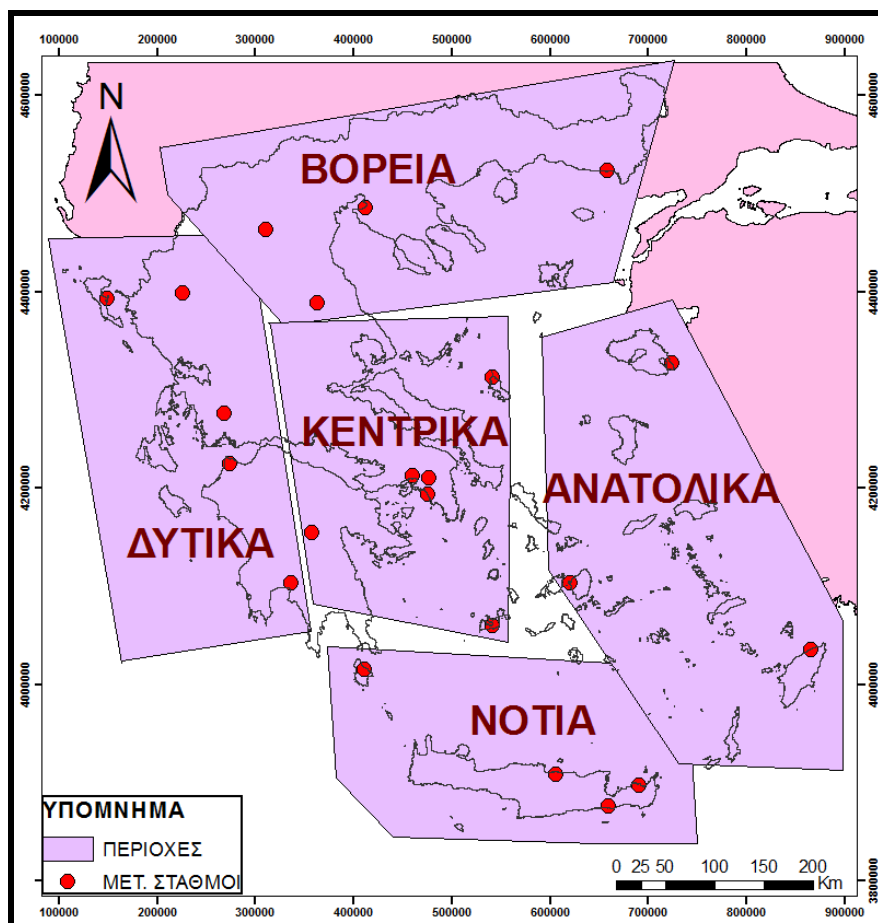
Γράφημα 6: Πορεία του EATN για τη Ν. Φιλαδέλφεια και το Τατόι (η κόκκινη γραμμή είναι η ευθεία παλινδρόμησης για την περίοδο 1951-2004, η μπλε για την 1950-1976 και η μπορντώ για την 1977-2004).

Η διαίρεση της Ελλάδας στις πέντε γεωγραφικές περιοχές έγινε βάσει κλιματικών και γεωγραφικών κριτηρίων. Τα σημαντικότερα που λάβαμε υπόψη είναι τα ακόλουθα:

- ✚ Η μεταβολή της θερμοκρασίας στην Ελλάδα παράλληλα με το γεωγραφικό πλάτος.
- ✚ Η οροσειρά της Πίνδου καθώς και τα βουνά της Πελοποννήσου έχουν κατεύθυνση σχεδόν από Β προς Ν, κάθετα προς τη ροή των ανέμων, χωρίζοντας με αυτόν τον τρόπο την ηπειρωτική Ελλάδα στη δυτική ομβροπλευρά της χώρας και στην ξηρότερη ανατολική (ομβροσκιά).

✚ Η τοπογραφία.

Οι μετεωρολογικοί σταθμοί που περιλαμβάνονται σε κάθε περιοχή φαίνονται στον Πίνακα 7.



Σχήμα 57: Η διαίρεση του Ελλαδικού χώρου σε πέντε περιοχές και οι μετεωρολογικοί σταθμοί που περιλαμβάνουν.

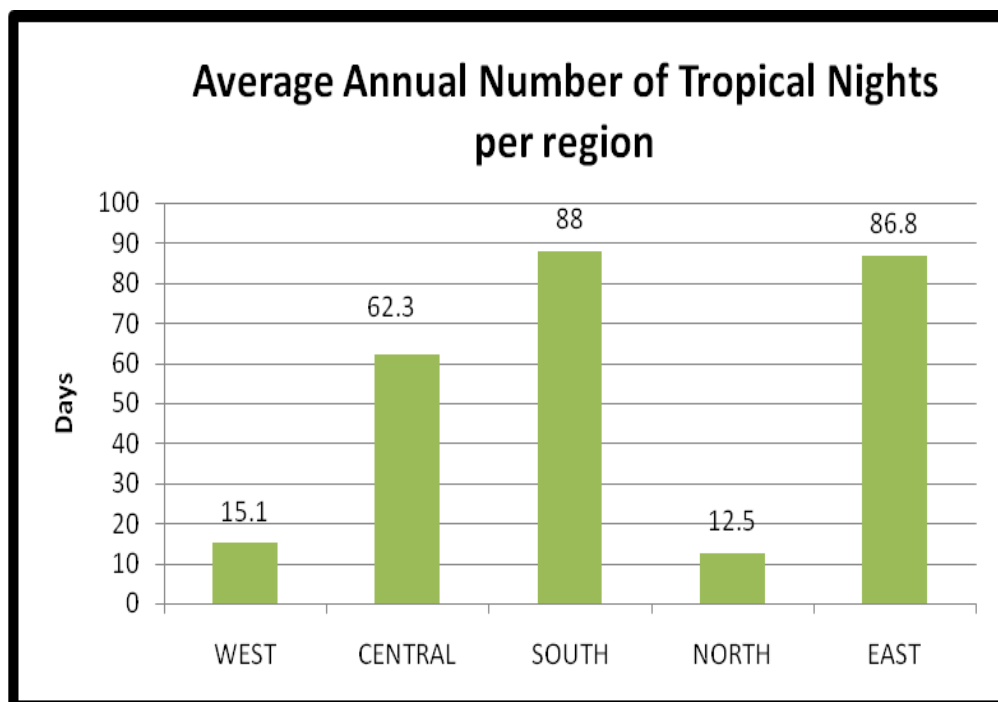
Πίνακας 7: Η διαίρεση των Μ.Σ. σε γεωγραφικές περιοχές.

<i>Βόρεια</i>	<i>Δυτικά</i>	<i>Κεντρικά</i>	<i>Ανατολικά</i>	<i>Νότια</i>
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	ΑΓΡΙΝΙΟ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	ΑΡΑΞΟΣ	ΕΛΕΥΣΙΝΑ	ΝΑΞΟΣ	ΗΡΑΚΛΕΙΟ
ΚΟΖΑΝΗ	ΙΟΑΝΝΙΝΑ	Ν.ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	ΡΟΔΟΣ	ΚΥΘΗΡΑ
ΛΑΡΙΣΑ	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	ΜΗΛΟΣ		ΣΗΤΕΙΑ
	ΚΕΡΚΥΡΑ	ΣΚΥΡΟΣ		
		ΤΡΙΠΟΛΗ		

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε έχει ως εξής:

Μελετήσαμε την περίοδο 1960-2004 που είναι κοινή για όλους τους σταθμούς. Σε αυτήν την περίοδο βρήκαμε τις ημερομηνίες που υπήρχε παρατήρηση της ελάχιστης θερμοκρασίας για όλους τους σταθμούς της κάθε περιοχής και βρήκαμε τη μέση τιμή για κάθε ημερομηνία. Στη συνέχεια επιλέξαμε τις τροπικές νύχτες ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$) και υπολογίσαμε τον ετήσιο αριθμό τους για την κάθε περιοχή ξεχωριστά.

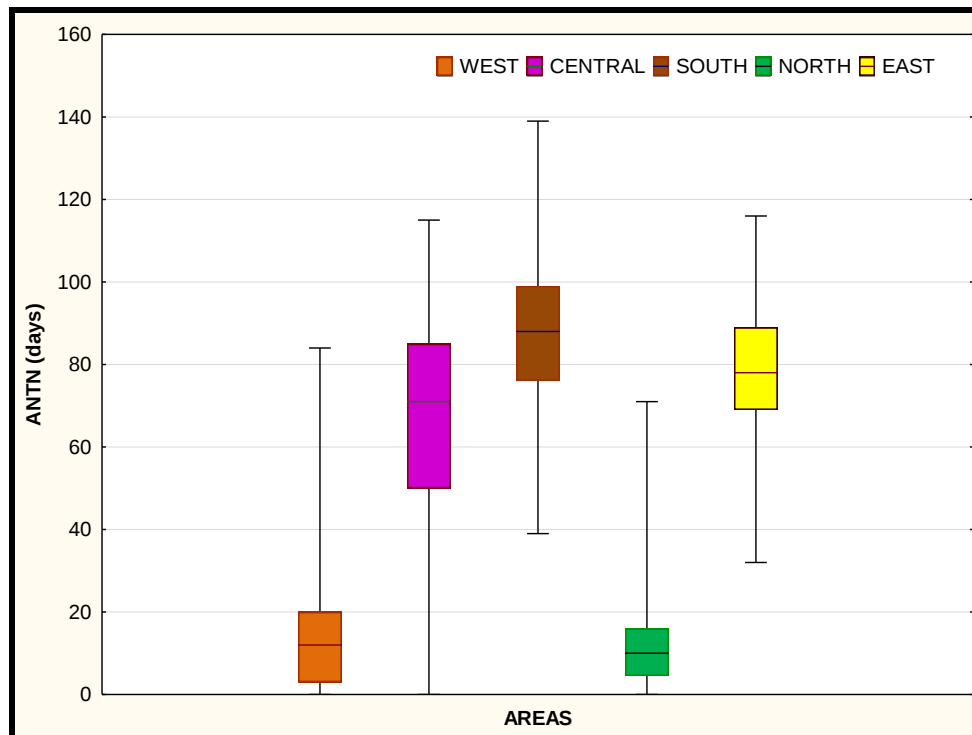
Τα νότια και τα ανατολικά βιώνουν το μεγαλύτερο κατά μέσο όρο αριθμό τροπικών νυχτών (88 και 86,8 τροπικές νύχτες αντίστοιχα) ενώ η βόρεια Ελλάδα είναι η περιοχή με τις λιγότερες τοπικές νύχτες κατά έτος (12,5 τροπικές νύχτες) (Γράφημα 7). Σε αυτό το σημείο επειδή, όπως προαναφέραμε και στην παράγραφο 4.3.1, στο σταθμό της Ρόδου μετά την αλλαγή της θέσης του παρατηρήθηκε μία μετατόπιση της χρονοσειράς του EATN, κρίναμε σκόπιμο να αφαιρέσουμε αυτό το σταθμό από τα ανατολικά και να γίνει εκ νέου η επεξεργασία. Και πάλι τα ανατολικά κατατάσσονται στη δεύτερη θέση εμφάνισης τροπικών νυχτών αλλά με 79 κατά μέσο όρο τροπικές νύχτες το χρόνο.



Γράφημα 7: Μέσος ετήσιος αριθμός τροπικών νυχτών ανά περιοχή.

Το box-and-whisker γράφημα που φαίνεται στο Γράφημα 8, μας δίνει μια γενική εικόνα της κατανομής του EATN στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα. Το γράφημα αυτό δίνει πολύ περισσότερες πληροφορίες από τα τέσσερα τεταρτημόρια στα οποία χωρίζει τα

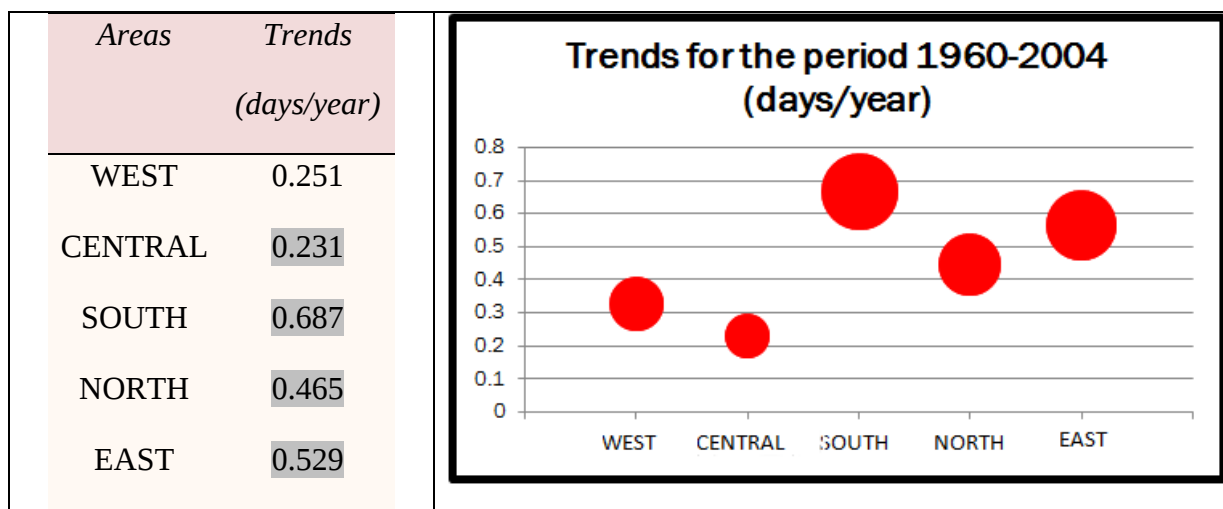
δεδομένα μας. Με μια ματιά γίνεται φανερή η υπεροχή των τροπικών νυχτών στα νότια και τα ανατολικά (με διάμεσο 88 και 78 τροπικές νύχτες, αντίστοιχα). Επίσης στα κεντρικά αφού η διάμεσος έχει μεγάλη τιμή (71) σημαίνει ότι τις περισσότερες χρονιές ο αριθμός τροπικών νυχτών είναι μεγάλος.



Γράφημα 8: Κατανομή του EATN των πέντε περιοχών σε τεταρτημόρια.

Με τη στατιστική μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης μελετήθηκαν και πάλι οι τάσεις των χρονοσειρών σε ετήσια βάση και έγινε ο έλεγχος της στατιστικής τους σημαντικότητας (Σχήμα 57). Διευκρινίζουμε ότι ο σταθμός της Ρόδου αφαιρέθηκε από τη διαδικασία της μελέτης των τάσεων γιατί κρίναμε ότι θα επηρέαζε κατά λανθασμένο τρόπο τα αποτελέσματα.

Ο EATN την περίοδο 1960-2004 χαρακτηρίζεται από θετική τάση και στις πέντε περιοχές στις οποίες διαιρέθηκε ο Ελλαδικός χώρος, οι οποίες όλες είναι στατιστικά σημαντικές στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%, εκτός από αυτή που αναφέρεται στην περιοχή των κεντρικών (Σχήμα 58). Είναι φανερό ότι η μεγαλύτερη τάση αύξησης παρατηρείται στα νότια με 0,687 τροπικές νύχτες το χρόνο και ακολουθούν τα ανατολικά με 0,529 τροπικές νύχτες το χρόνο. Τη μικρότερη τάση αύξησης παρατηρούμε στα κεντρικά που όπως προαναφέραμε δεν είναι στατιστικά σημαντική.



Σχήμα 58: Οι τάσεις του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών για την περίοδο 1960-2004 για τις πέντε περιοχές αριθμητικά (αριστερά) και γραφικά (δεξιά) (με γκρι σκίαση οι στατιστικά σημαντικές τάσεις στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Τροπικές νύχτες και συνοπτική κατάσταση

5.1 Εισαγωγή

Οι διάφορες καταστάσεις καιρού προκαλούνται από τη δράση των μεγάλων ατμοσφαιρικών σχηματισμών όπως οι κυκλώνες και οι αντικυκλώνες, ή από συγκεκριμένες μετεωρολογικές καταστάσεις όπως η ατμοσφαιρική αστάθεια. Τα μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της επικρατούσας συνοπτικής κατάστασης συνδυάζονται με τα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά κάθε συγκεκριμένης περιοχής δηλαδή με το ανάγλυφο του εδάφους και την κατανομή ξηράς – θάλασσας και δημιουργούν την κατάσταση καιρού σε μία γεωγραφική περιοχή. Η περιγραφή και η ανάλυση των ατμοσφαιρικών κινήσεων μεγάλης κλίμακας σε διάφορες ισοβαρικές στάθμες είναι πολύ σημαντικές για την κατανόηση διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως οι τροπικές νύχτες.

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει τη μέση συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όταν εμφανίζονται τροπικές νύχτες κατά την περίοδο 1951-2004. Πιο αναλυτικά, το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος, προσδιορίζονται με λεπτομέρεια τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Στο δεύτερο μέρος περιγράφεται η συνοπτική κατάσταση που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες στις συγκεκριμένες περιοχές που βρίσκονται οι σταθμοί μελέτης ενώ στο τρίτο μέρος περιγράφεται η ίδια κατάσταση αλλά στις πέντε περιοχές που έχει διαιρεθεί η Ελλάδα.

5.2 Δεδομένα και μεθοδολογία

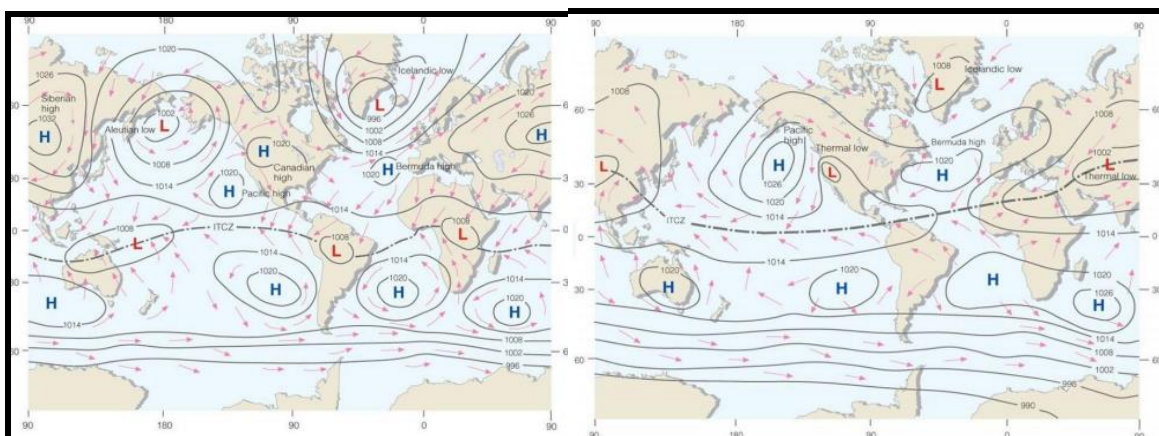
Για να εξετάσουμε τη συνοπτική κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα όταν εμφανίζονται τροπικές νύχτες χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες τιμές του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500hPa και 850hPa και της θερμοκρασίας στα 850hPa, σε σημεία πλέγματος 2.5° γ. μήκος x 2.5° γ. πλάτος, τα οποία καλύπτουν τη γεωγραφική περιοχή που εκτείνεται από 12° Δ μέχρι 40° Α και από 30° μέχρι 60° Β, για την περίοδο 1951–2004. Για επιλεγμένους σταθμούς χρησιμοποιήθηκαν και οι τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας. Τα δεδομένα ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Reanalysis Project (Kalnay et al., 1996).

Για να εξετάσουμε τη σχέση ανάμεσα στις τροπικές νύχτες στην Ελλάδα και τη μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία, αρχικά βρήκαμε ποιες ημερομηνίες εμφανίζεται τροπική νύχτα σε κάθε έναν από τους 22 σταθμούς μελέτης μας και δημιουργήσαμε αρχεία κειμένου (txt) συγκεκριμένου τύπου (format) με το 95^ο ποσοστημόριο αυτών των ημερών. Η εφαρμογή

του 95^ο ποσοστημορίου προτιμήθηκε για δύο λόγους: Πρώτον αντιπροσωπεύει τις πιο ακραίες περιπτώσεις τροπικών νυχτών και δεύτερον είναι συγκρίσιμο μέγεθος για περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια το εργαλείο διαχείρισης αρχείων FileZilla έκανε δυνατή την πρόσβαση στο Πρωτόκολλο Μεταφοράς Αρχείων (File Transfer Protocol – FTP) για την απομακρυσμένη μεταφορά των αρχείων μας στον εξυπηρετή (server) του NCEP/NCAR. Με αυτόν τον τρόπο κατασκευάστηκαν χάρτες με τη μέση ατμοσφαιρική κυκλοφορία στα 500hPa και στα 850hPa και τις αποκλίσεις τους από τη μέση τιμή 1981-2010, για τις ημερομηνίες που είχαμε τροπικές νύχτες σε όλους τους Μ.Σ., ενώ για τις πέντε υποπεριοχές κατασκευάστηκαν χάρτες μόνο για τις αποκλίσεις από τη μέση τιμή 1981-2010 στις ισοβαρικές επιφάνειες των 300, 500 και 850hPa.

5.3 Τροπικές νύχτες και συνοπτική κατάσταση ανά σταθμό

Τα κέντρα δράσης που επηρεάζουν τον καιρό της Ελλάδας που ανήκει στη Νότια Βαλκανική αποτελούνται από αντικυκλώνες και υφέσεις που καθορίζουν τις κινήσεις των αερίων μαζών (Σχήμα 59). Τα επικρατούντα στην ευρύτερη περιοχή συστήματα κυκλοφορίας/κέντρα δράσης που άμεσα επηρεάζουν τον καιρό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι ο αντικυκλώνας των Αζορών (θέση και ένταση), η κατάρρευση του σιβηρικού αντικυκλώνα, το θερμικό χαμηλό της νοτιοδυτικής Ασίας και η θέση του υποτροπικού αεροχείμαρρου.



Σχήμα 59: Περιοχές χαμηλών και υψηλών πιέσεων τον Ιανουάριο (αριστερή εικόνα) και τον Ιούλιο (δεξιά εικόνα) (apollo.lsc.vsc.edu).

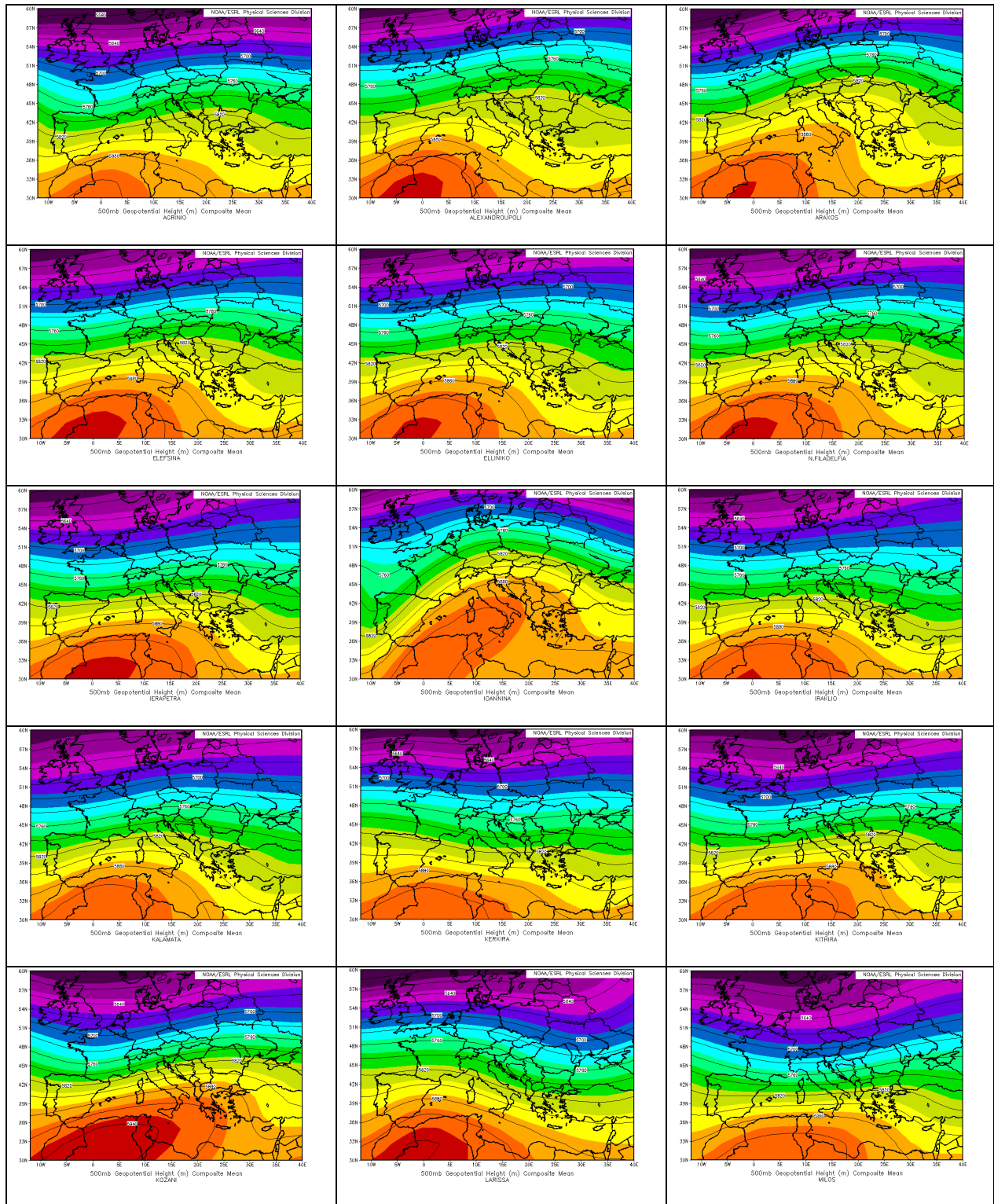
Πιο αναλυτικά, η μετατόπιση του Ατλαντικού αντικυκλώνα προς βορρά δεν επιτρέπει πλέον τη διέλευση των υφέσεων του Ατλαντικού πάνω από τη Μεσόγειο. Η ακριβής θέση και η ένταση του Αζορικού αντικυκλώνα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο καθώς η ανύψωση του (ουσιαστικά η εισχώρηση της σχετικά θερμής ράχης του) προς την Ιβηρική και την κεντρική Ευρώπη συνδέεται με υψηλές θερμοκρασίες στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπης και των Βαλκανίων, ενώ η ανύψωσή του σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη (στο ύψος της βορειοδυτικής Ευρώπης ή και λίγο βορειότερα) αναγκάζει τις ψυχρές αέριες μάζες από τη βόρεια Ευρώπη να

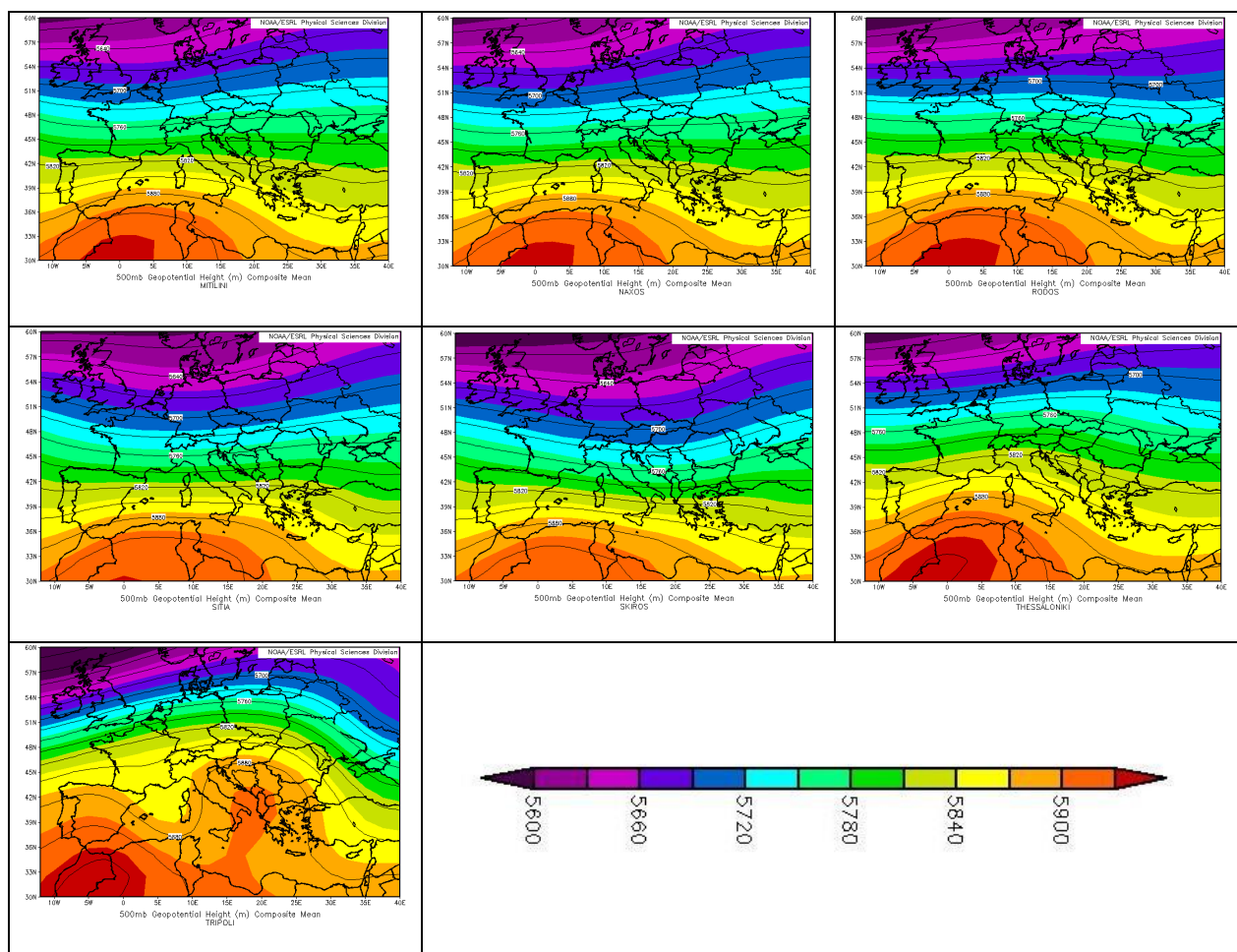
εισχωρήσουν μέχρι και τα νότια Βαλκάνια. Από την άλλη η ανύψωσή του προς το βορειοανατολικό Ατλαντικό συνδέεται με την εμφάνιση ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας εμποδισμού τύπου Ωμέγα η οποία πολλές φορές ευθύνεται για τη μεγάλη διάρκεια των υψηλών θερμοκρασιών στην ευρύτερη περιοχή της Ευρώπης (Metaxas and Kallos, 1979; Prezerakos, 1989). Η θέση του υποτροπικού αεροχειμάρρου (Subtropical Jet Stream - STJ) από την άλλη παίζει καθοριστικό ρόλο και η εμπειρία έχει δείξει πως είναι «το κλειδί» για την εμφάνιση κυμάτων καύσωνα και γενικά υψηλών θερμοκρασιών αέρα επιφανείας στην Ελλάδα (Prezerakos, 1989). Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και υπό κανονικές μετεωρολογικές συνθήκες η κύρια θέση του STJ παρατηρείται πάνω από τη ΝΔ Ισπανία, Σικελία, νότια ηπειρωτική Ελλάδα, κεντρικό Αιγαίο πέλαγος και ΝΔ Τουρκία (Prezerakos, 1978). Ο υποτροπικός αεροχειμάρρος στη θέση αυτή αποτελεί φραγμό στην προς νότο κάθοδο των ψυχρών αέριων μαζών που προέρχονται από τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Αντίθετα, η συνοπτική εμπειρία δείχνει ότι όσο βορειότερα στην Ευρώπη (και στην Ελλάδα κατ' επέκταση) βρίσκεται το STJ, τροπικές αέριες μάζες Σαχαριανής προέλευσης βρίσκουν δίοδο να κινηθούν και να μπουν στη Μεσόγειο, φτάνοντας και στην περιοχή της Ελλάδας με αποτέλεσμα τις υψηλές θερμοκρασίες και τους καύσωνες (Prezerakos, 1989).

Στο Σχήμα 60 απεικονίζεται το μέσο γεωδυναμικό ύψος σε m στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς. Αυτό που παρατηρείται για όλους τους σταθμούς, όταν σε αυτούς εμφανίζεται τροπική νύχτα, είναι ότι η συνοπτική εικόνα στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa είναι παρόμοια. Πάνω από τον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο και τη Βαλκανική χερσόνησο γενικότερα, κυριαρχεί μία «έξαρση» των ισοϋψών της οποίας ο άξονας έχει κατεύθυνση από ΝΔ προς ΒΑ. Αυτό σημαίνει, με άλλα λόγια, ότι η οριζόντια μεταφορά θερμών αέριων μαζών από τη βόρεια Αφρική προς τη Βαλκανική είναι γεγονός σε αυτή τη στάθμη της τροπόσφαιρας. Η «ανάλυση» των ισοϋψών καμπυλών στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa, δείχνει ότι ο ευρύτερος Ελλαδικός χώρος καλύπτεται από τις ισοϋψείς καμπύλες των 5810m και 5840m ενώ όταν εμφανίζεται τροπική νύχτα στα Ιωάννινα, στην Κοζάνη και στην Τρίπολη ο Ελλαδικός χώρος καλύπτεται από την ισοϋψή καμπύλη των 5870m. Η φύση μιας τέτοιας ατμοσφαιρικής κατάστασης (αντικυκλώνας), αλλά και η περιοχή προέλευσής της που είναι η βορειοδυτική Αφρική (Σχήμα 60), συσχετίζεται έντονα με την μεταφορά θερμών αέριων μαζών σε ένα μεγάλο βάθος μέσα στην τροπόσφαιρα, προς βορειότερες περιοχές. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι, η ανάπτυξη ενός αντικυκλώνα πάνω από μια ηπειρωτική περιοχή, ή η μετακίνηση ενός αντικυκλώνα, ο οποίος δημιουργήθηκε πάνω από μια ηπειρωτική περιοχή προς κάποια άλλη είναι, για τη θερμή περίοδο του έτους σχεδόν ταυτόσημο με την ύπαρξη θερμής εισβολής.

Οι αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους από την κλιματολογία 1981-2010 είναι θετικές και φτάνουν τα 60m ενώ στα Ιωάννινα, στην Κοζάνη και στην Τρίπολη τα ξεπερνούν (Σχήμα 63).

Με αυτό τον τρόπο επιβεβαιώνεται η έντονη αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την εξεταζόμενη περιοχή.

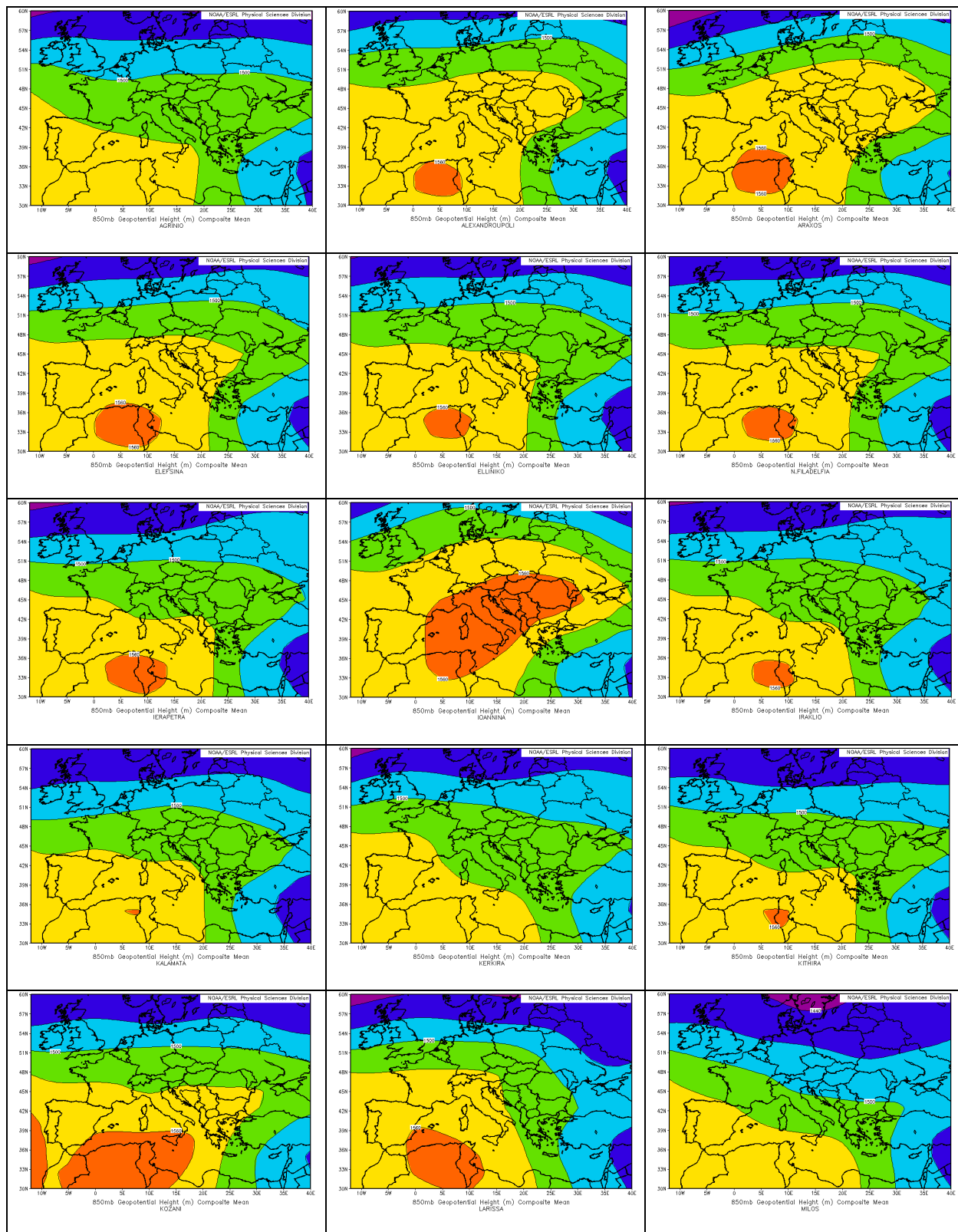


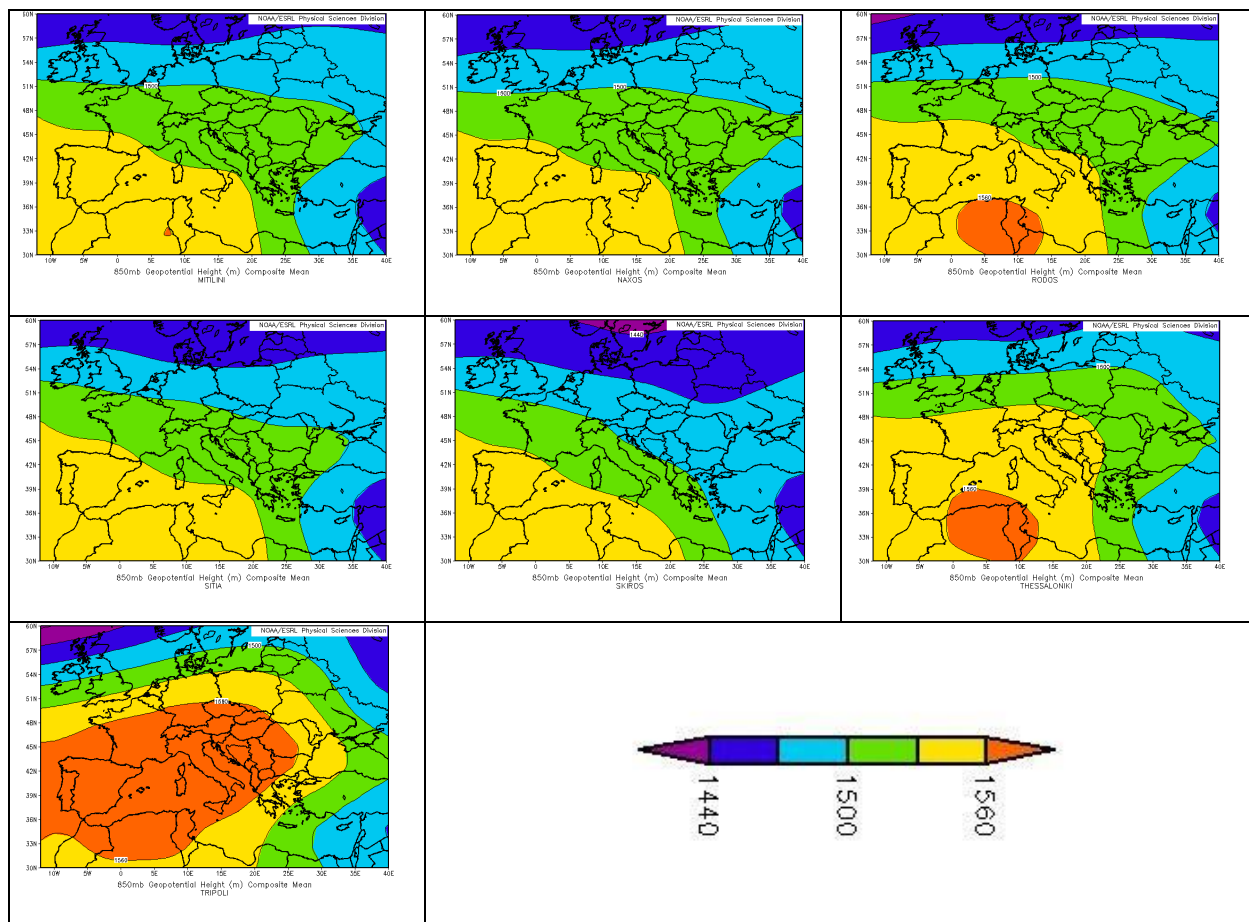


Σχήμα 60: Μέσο γεωδυναμικό ύψος σε m στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.

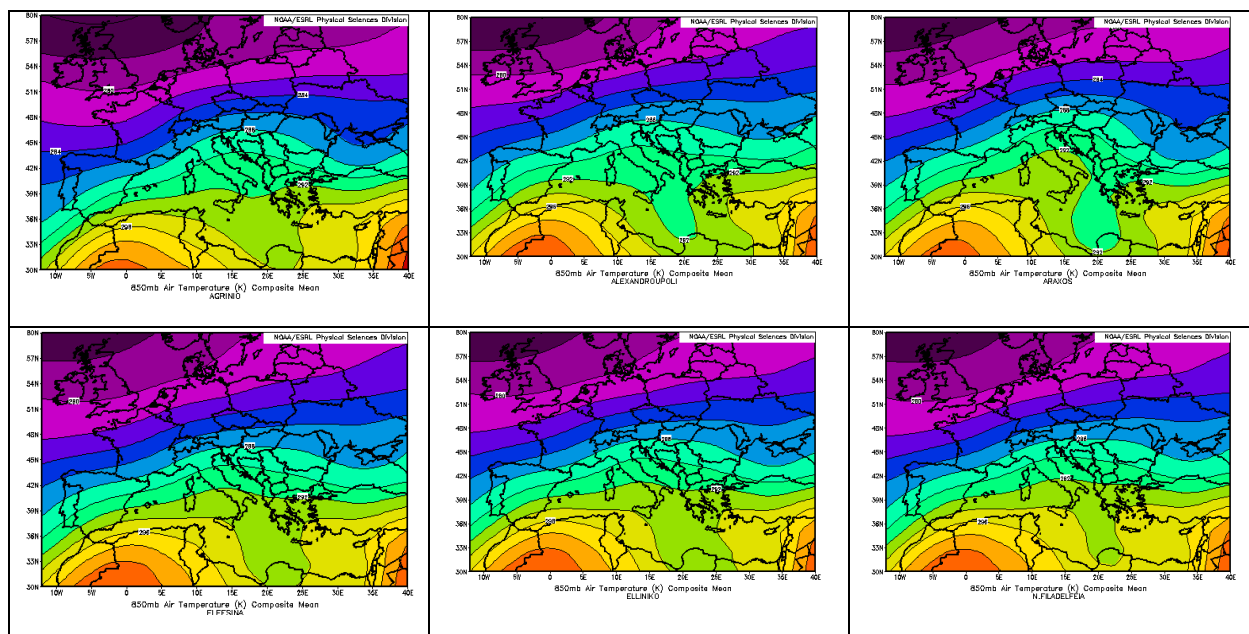
Μία έξαρση των ισοϋψών παρατηρείται και στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa (Σχήμα 61) της οποίας ο άξονας έχει και πάλι κατεύθυνση από ΝΔ προς ΒΑ και το κέντρο της βρίσκεται στη βορειοδυτική Αφρική. Ο Ελλαδικός χώρος καλύπτεται από γεωδυναμικά ύψη με τιμές από 1500m έως 1560m, ενώ η ανάλυση των ανωμαλιών του γεωδυναμικού πεδίου αυτής της ισοβαρικής επιφάνειας αποκαλύπτει θετικές τιμές σε όλους τους σταθμούς, εκτός τη Σκύρο που φτάνουν μέχρι τα 40m (Σχήμα 64).

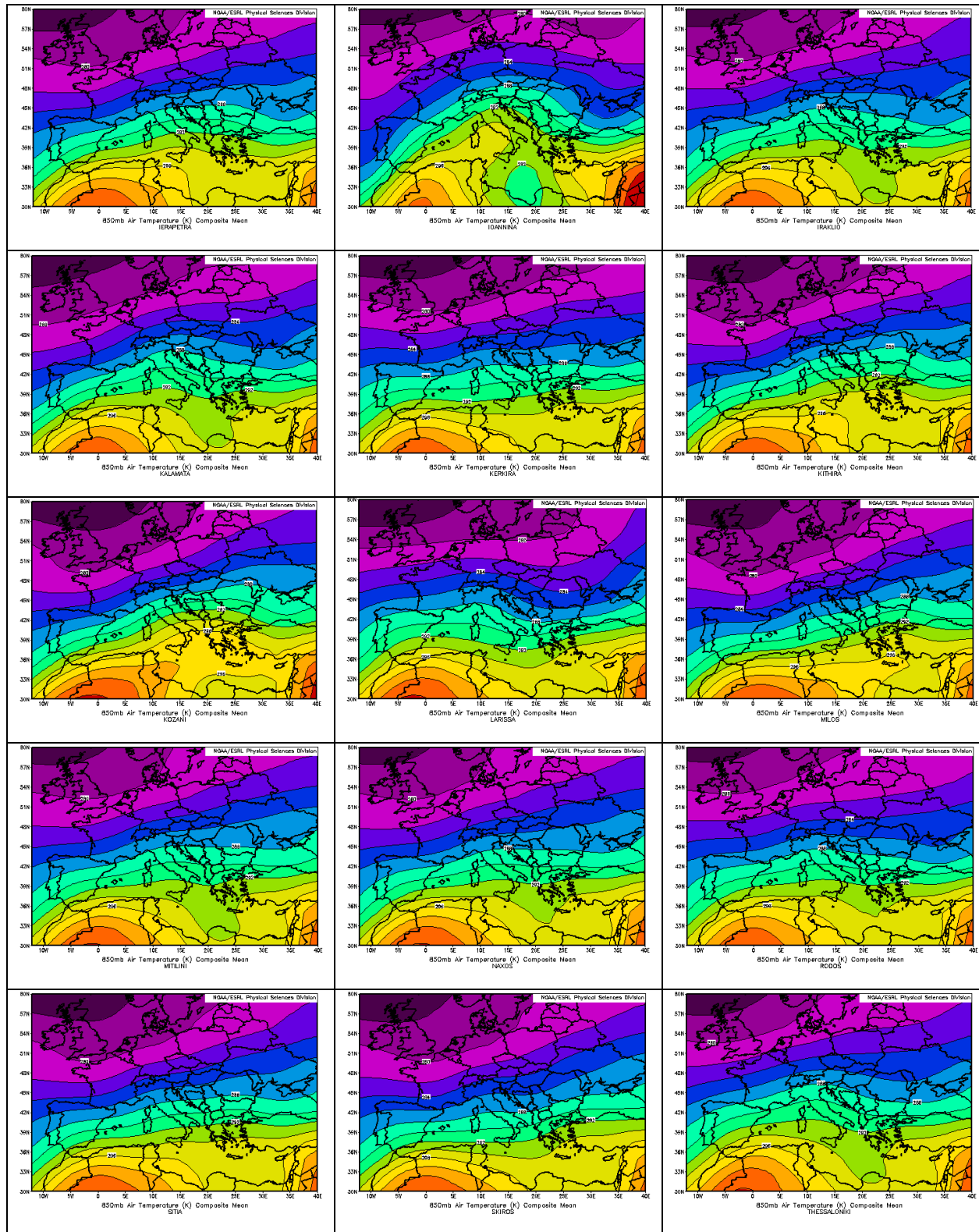
Η ανάλυση των ισόθερμων καμπυλών στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa, δείχνει ότι η Ελλάδα καλύπτεται από τις ισόθερμες των 15, 17 και 19°C (288, 290 και 292°K αντίστοιχα) (Σχήμα 62) και στην περίπτωση της Κοζάνης από την ισόθερμη των 21°C. Εδώ αξίζει να τονίσουμε πως η Κοζάνη βιώνει τροπικές νύχτες όταν η θερμοκρασία στα 850hPa πλησιάζει το όριο των 22°C, το οποίο γενικώς χρησιμοποιείται ως κριτήριο για τον ορισμό του καύσωνα στον Ελλαδικό χώρο.

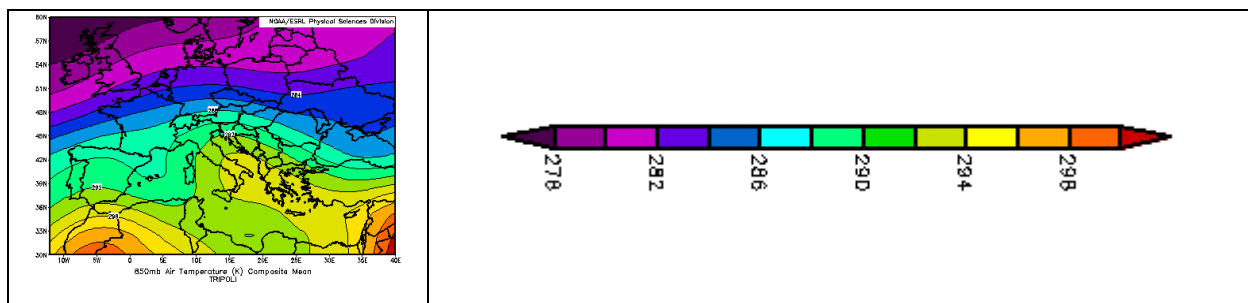




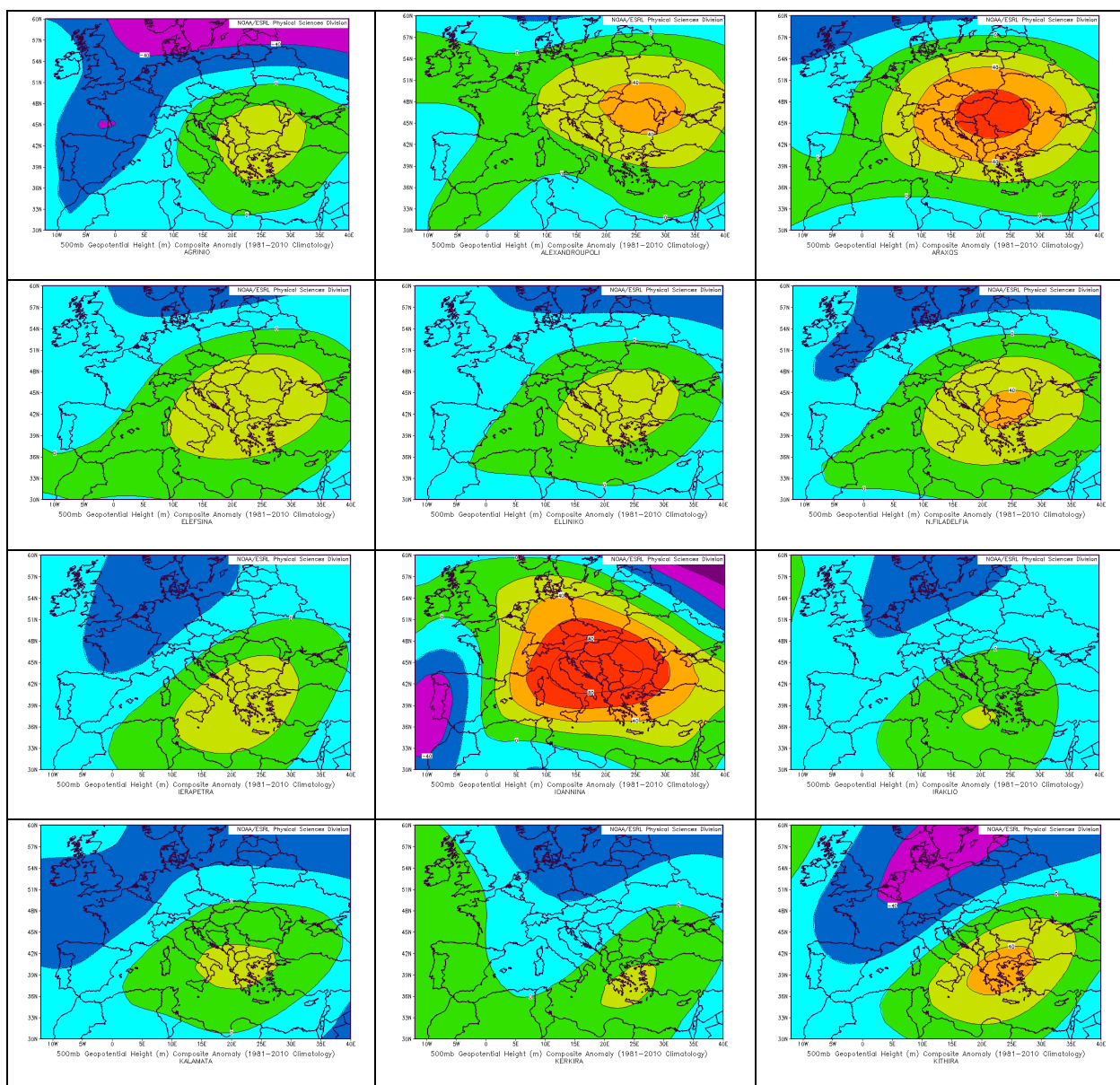
Σχήμα 61: Μέσο γεωδυναμικό ύψος σε m στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.

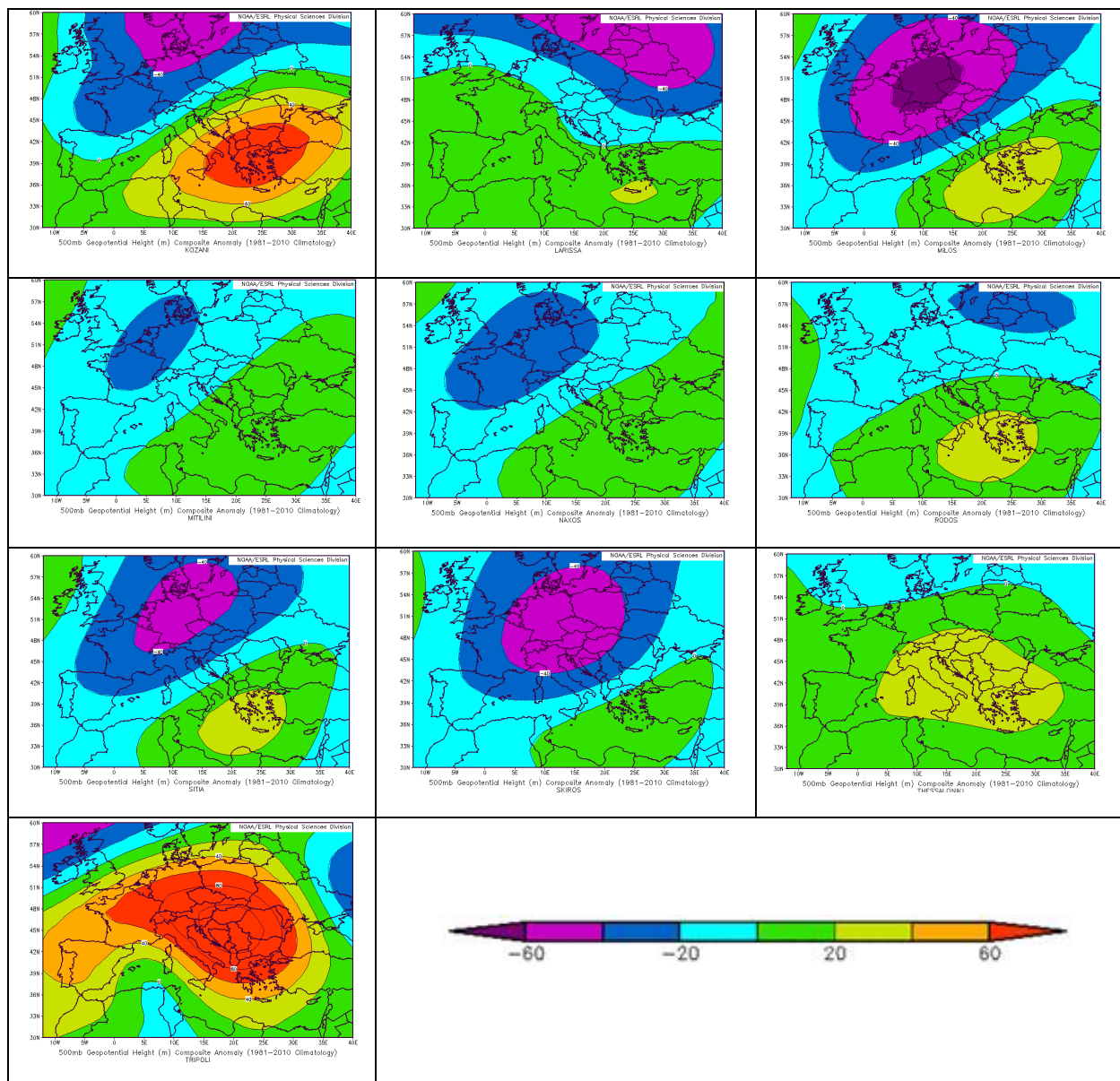




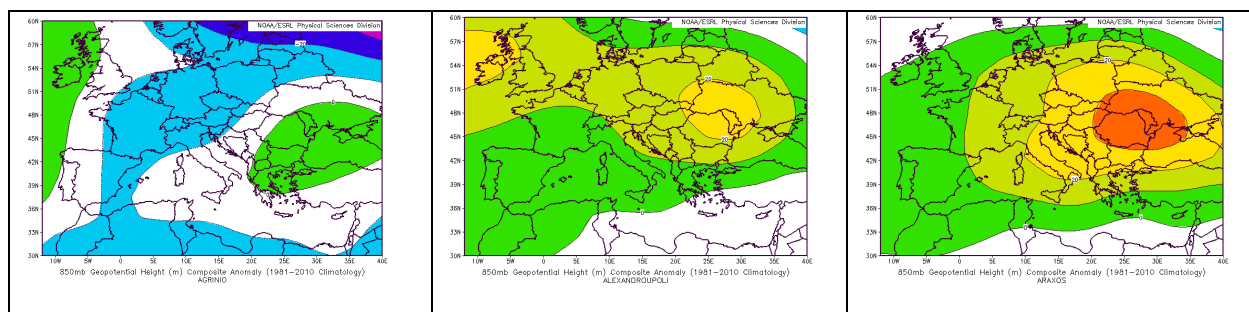


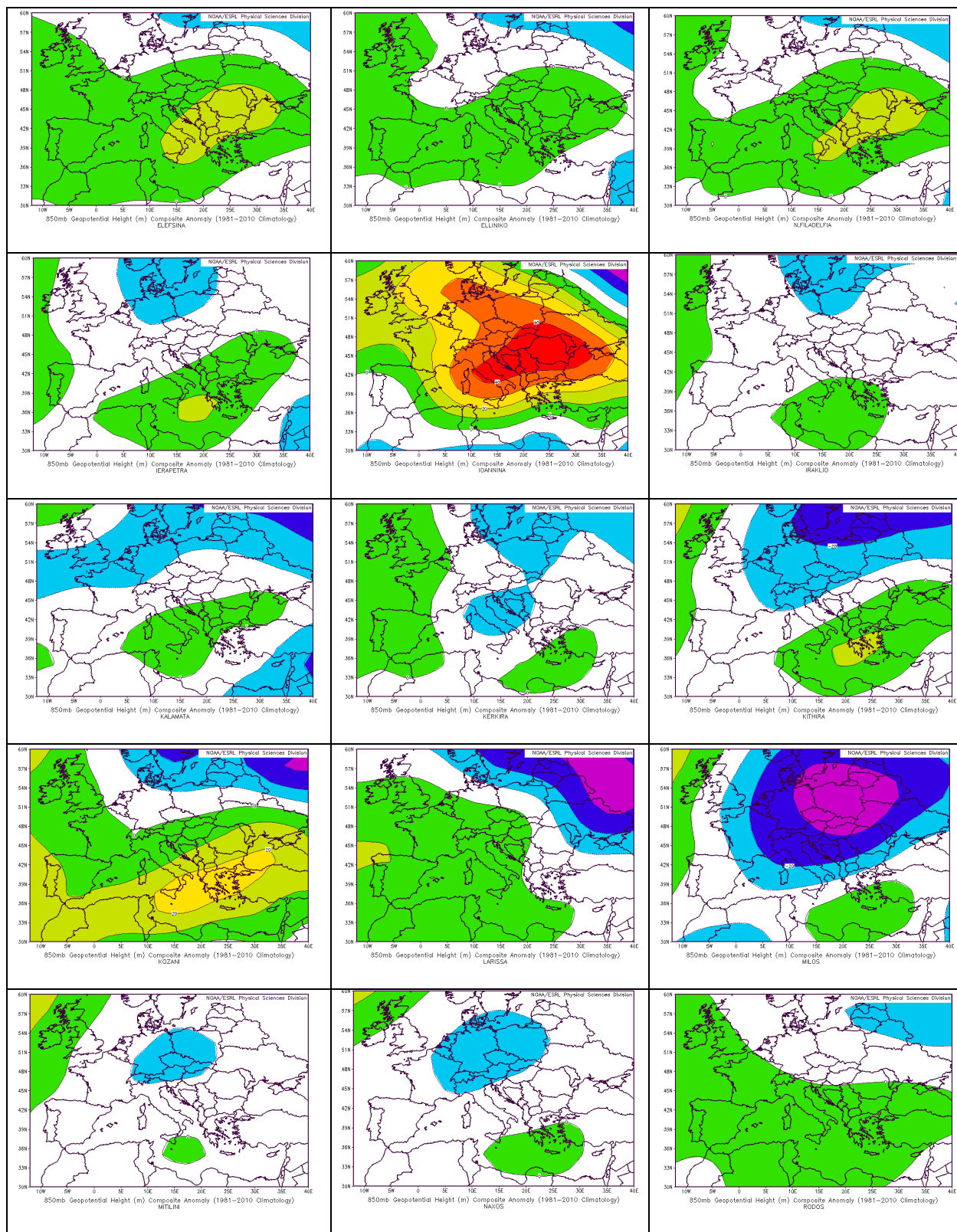
Σχήμα 62: Μέση θερμοκρασία σε °K στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.

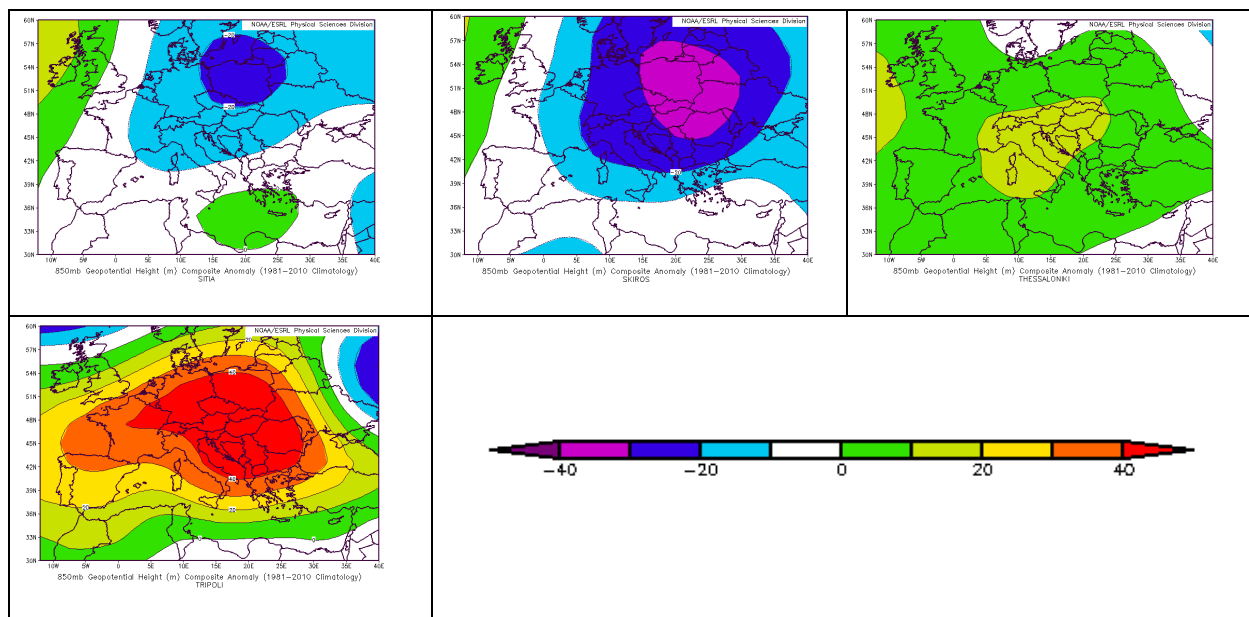




Σχήμα 63: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.







Σχήμα 64: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 850hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες σε κάθε έναν από τους σταθμούς μελέτης.

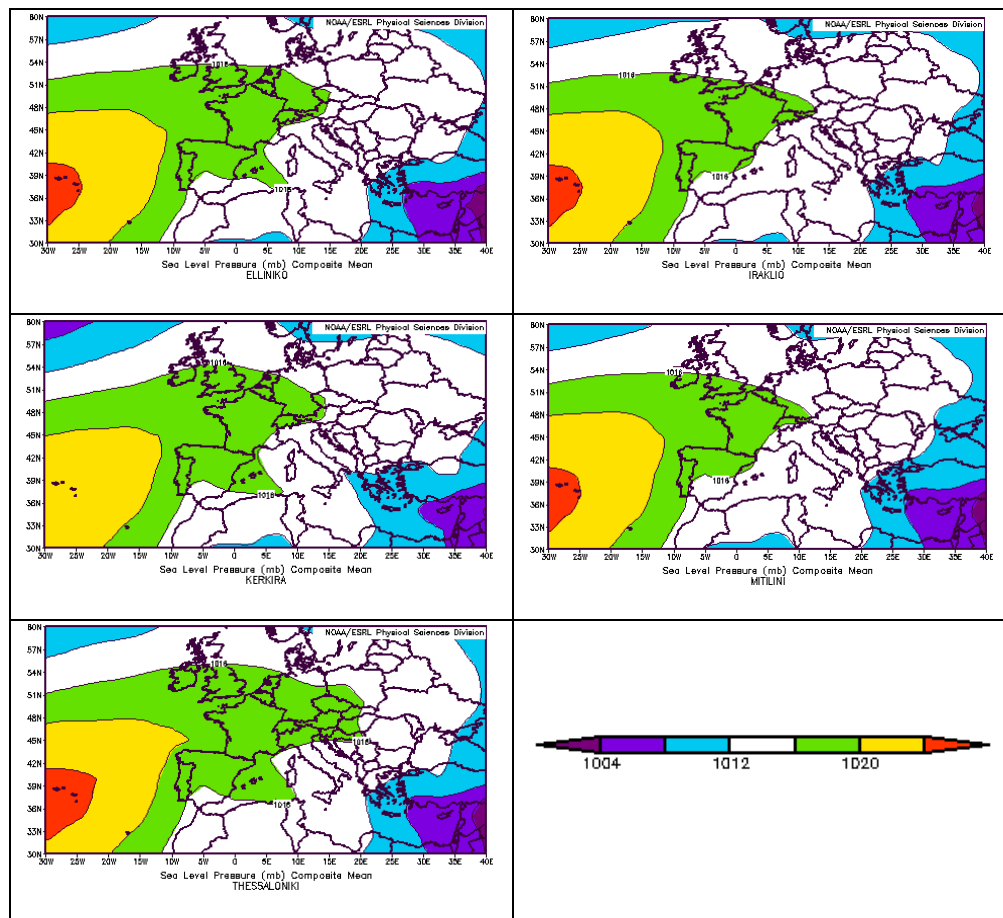
Για επιλεγμένους σταθμούς του Ελλαδικού χώρου κατασκευάστηκαν οι χάρτες της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας για να εξεταστεί η θέση και η ένταση του Αζορικού αντικυκλώνα (Σχήμα 65). Οι σταθμοί που επιλέχτηκαν σαν αντιπροσωπευτικοί για όλες τις περιοχές της Ελλάδας είναι το Ελληνικό, το Ηράκλειο, η Κέρκυρα, η Μυτιλήνη και η Θεσσαλονίκη. Από τους χάρτες του Σχήματος 65 είναι φανερή η ανύψωση του αντικυκλώνα προς την Ιβηρική και την κεντρική Ευρώπη η οποία όπως έχουμε προαναφέρει συνδέεται με υψηλές θερμοκρασίες στην περιοχή της κεντρικής Ευρώπης και των Βαλκανίων και στην περίπτωση μας στην εμφάνιση τροπικών νυχτών.

5.4 Τροπικές νύχτες και συνοπτική κατάσταση ανά περιοχή

Την ίδια περίπου διαδικασία ακολουθήσαμε και για τις πέντε περιοχές που διαιρέσαμε τον Ελλαδικό χώρο στην §4.6: κατασκευάστηκαν χάρτες με τις αποκλίσεις, από τη μέση τιμή 1981-2010, της μέσης ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στα 300hPa, 500hPa και στα 850hPa, για τις ημερομηνίες που είχαμε τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές καθώς και για την απόκλιση της θερμοκρασίας στα 1000hPa στις 00Z που είναι η πιο κοντινή διαθέσιμη, στην ώρα που παρατηρείται η ελάχιστη θερμοκρασία.

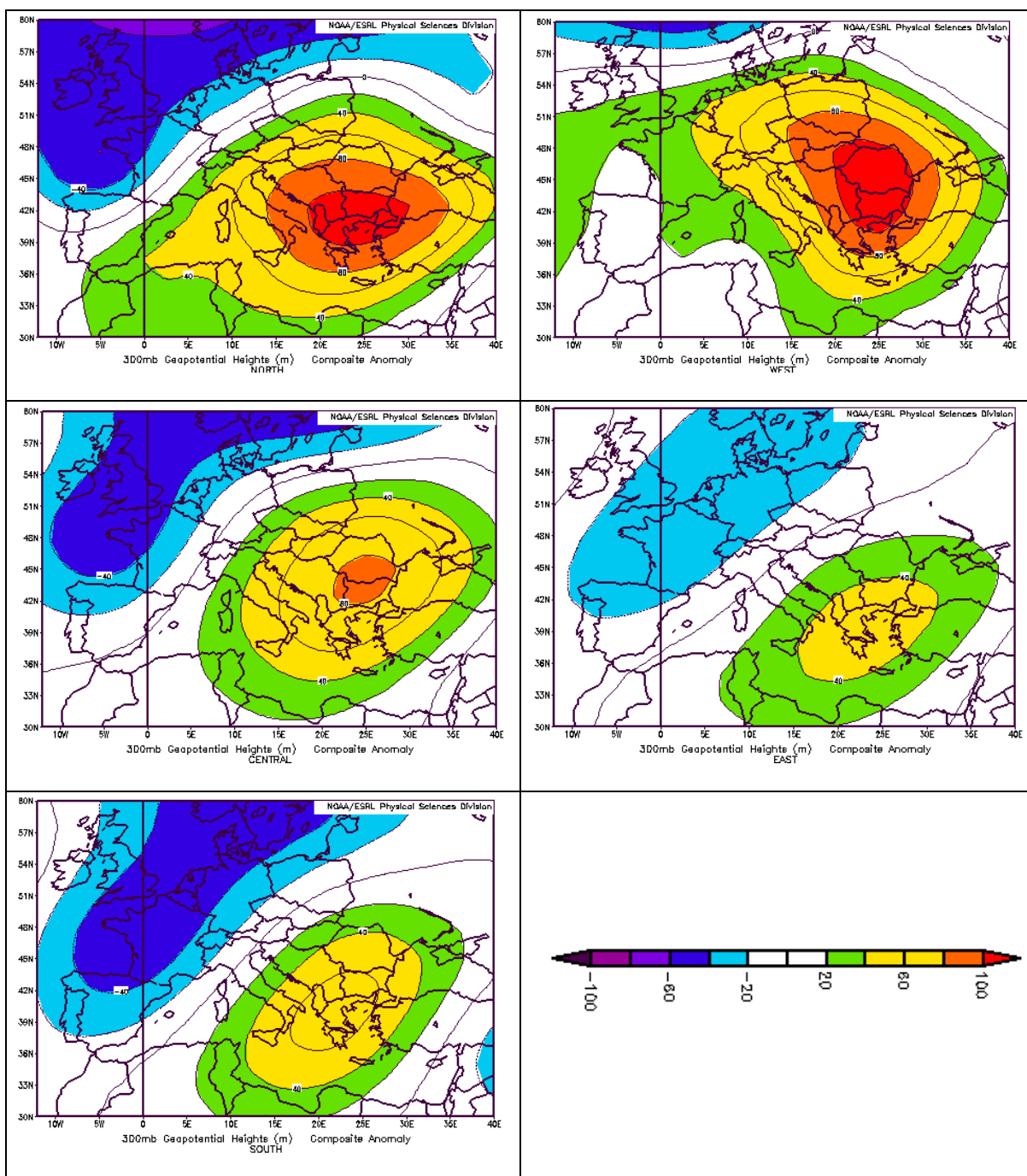
Στην ισοβαρική επιφάνεια των 300hPa και για τις πέντε περιοχές παρατηρείται θετική απόκλιση (Σχήμα 66). Είναι προφανές ότι οι αποκλίσεις στις τιμές του γεωδυναμικού ύψους σε αυτήν την ισοβαρική επιφάνεια, σε όλη την εξεταζόμενη περιοχή, κυμαίνονται από 20 έως και πάνω από 100m. Αξίζει να αναφέρουμε ότι όταν η βόρεια χώρα βιώνει τροπικές νύχτες η

απόκλιση στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας ξεπερνά τα 80m. Έτσι επιβεβαιώνεται και πάλι ότι οι τροπικές νύχτες συνδέονται με συνθήκες έντονης αντικυκλωνικής κυκλοφορίας πάνω από τη χώρα.

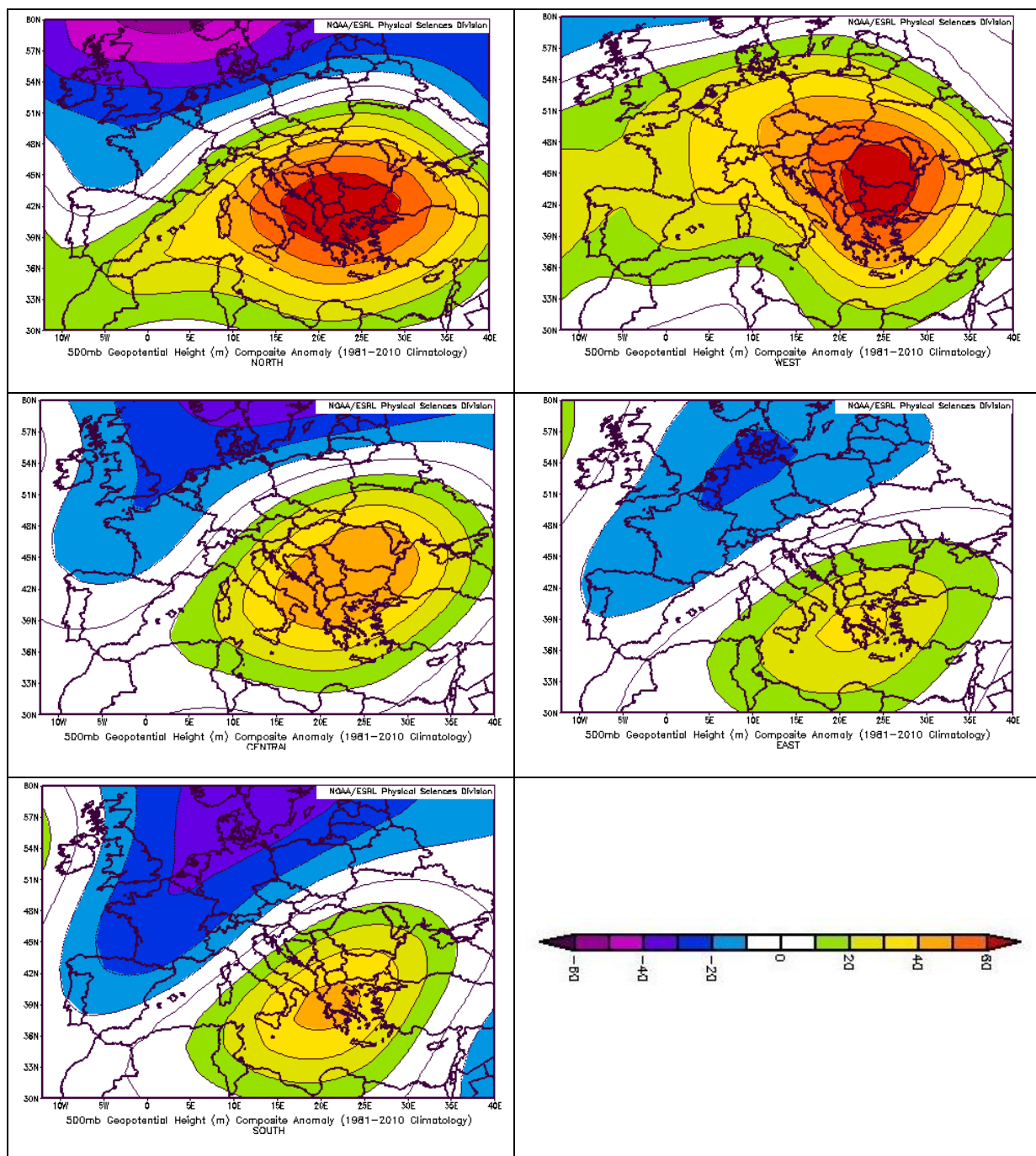


Σχήμα 65: Μέση ατμοσφαιρική πίεση στην επιφάνεια της θάλασσας σε mb που συνδέεται με τις τροπικές νύχτες σε επιλεγμένους σταθμούς μελέτης.

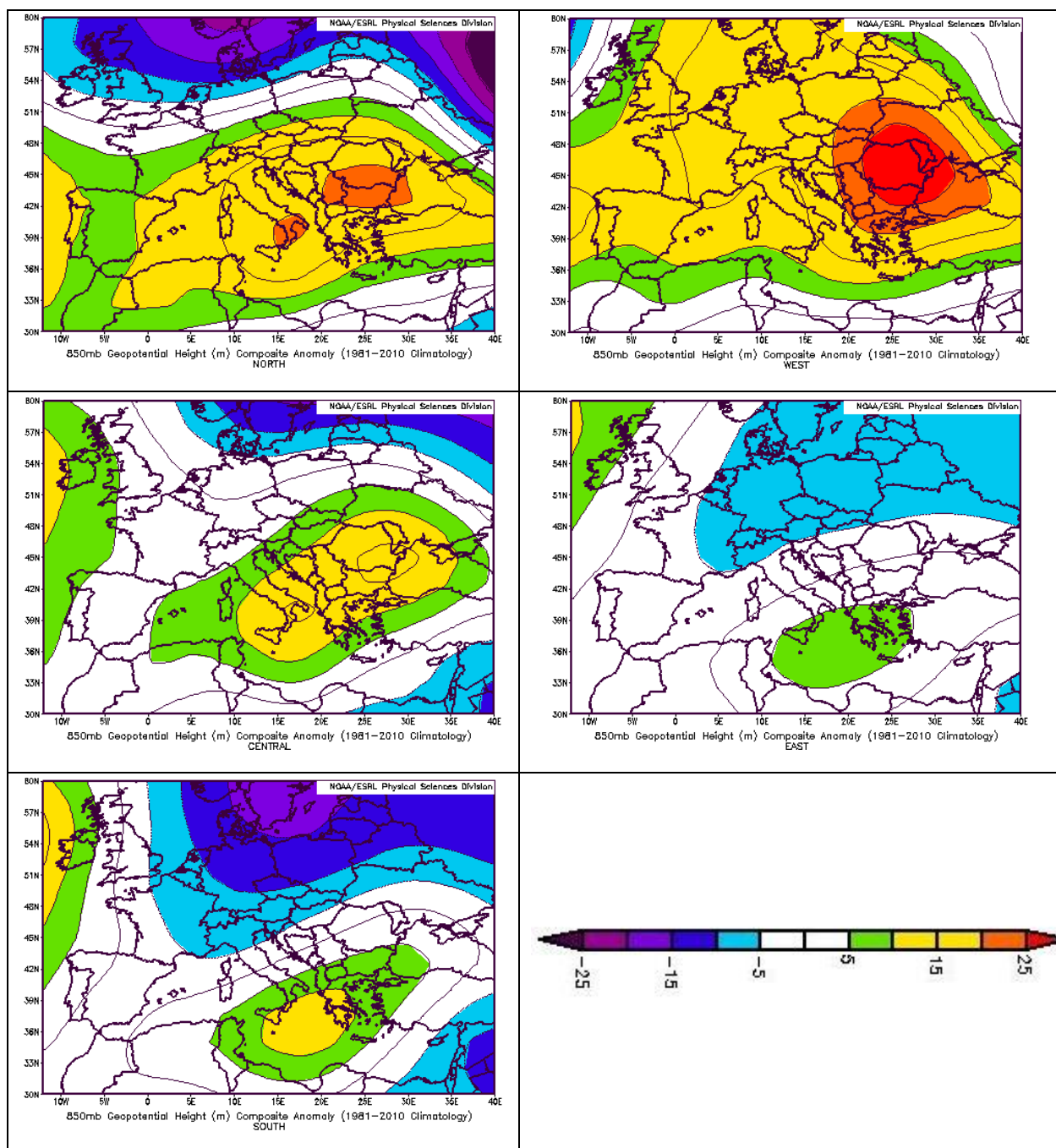
Στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa και για τις πέντε περιοχές παρατηρείται και πάλι θετική απόκλιση (Σχήμα 67). Η «ανάλυση» των ισοϋψών καμπυλών στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa, δείχνει ότι στις περιπτώσεις όπου εκδηλώνονται τροπικές νύχτες, οι αποκλίσεις που καλύπτουν τον ευρύτερο Ελλαδικό, είναι από 20 έως 60m. Αξίζει κι εδώ να αναφέρουμε ότι όταν η βόρεια χώρα βιώνει τροπικές νύχτες η απόκλιση στο μεγαλύτερο μέρος της Ελλάδας ξεπερνά τα 60m. Έτσι επιβεβαιώνεται και πάλι ότι οι τροπικές νύχτες συνδέονται με συνθήκες έντονης αντικυκλωνικής κυκλοφορίας πάνω από τη χώρα. Το ίδιο σκηνικό παρουσιάζεται και στην ισοβαρική επιφάνεια των 850hPa, όπου οι τιμές της απόκλισης κυμαίνονται από 5 έως 20m (Σχήμα 68).



Σχήμα 66: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 300hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.



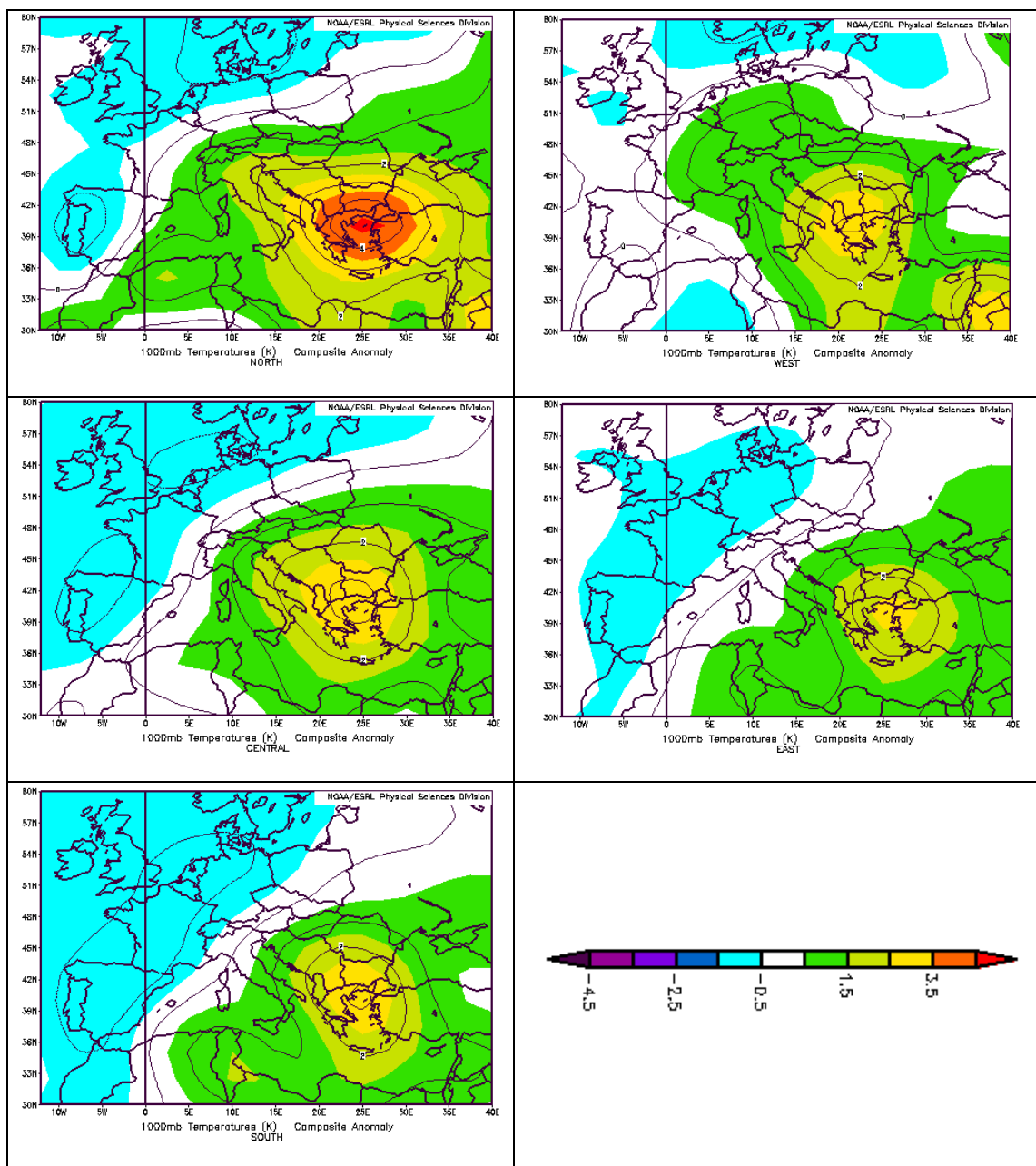
Σχήμα 67: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 500hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.



Σχήμα 68: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους στα 850hPa (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι οι αποκλίσεις στις τιμές του γεωδυναμικού ύψους αυξάνονται με το ύψος (Σχήματα 66, 67, 68). Το γεγονός αυτό φανερώνει τη συχνότερη εμφάνιση θερμής εισβολής στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και μεγαλύτερη ευστάθεια στην επιφάνεια. Από την «ανάλυση» των αποκλίσεων της κυκλοφορίας μεγάλης κλίμακας που συνδέονται με την τροπική νύχτα στις πέντε περιοχές, γίνεται φανερή η επικράτηση μια μεσημβρινής κυκλοφορίας σε όλο το βάθος της τροπόσφαιρας. Αυτή

γενικότερα συνδυάζεται με την ανάπτυξη αντικυκλώνα εμποδισμού στη Μεσόγειο και ταυτόχρονα το πέρασμα του υποτροπικού αεροχειμάρρου βορειότερα μέσα στην Ευρώπη, επιτρέποντας σε τροπικές Σαχαριανής προέλευσης αέριες μάζες να μεταφερθούν προς την περιοχή μας. Η προς το Βορά μετατόπιση του υποτροπικού αεροχειμάρρου θεωρείται υπεύθυνη για την εμφάνιση ισχυρών κυμάτων καύσωνα στην Ελλάδα, όπως αυτός του 1987 που κόστισε τη ζωή σε πάνω από 1500 άτομα (Prezerakos, 1989).



Σχήμα 69: Αποκλίσεις της θερμοκρασίας του αέρα στα 1000 hPa για την ώρα 00Z (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) που συνδέονται με τις τροπικές νύχτες στις πέντε περιοχές που διαιρέθηκε η Ελλάδα.

Τα παραπάνω επιβεβαιώνονται και από την ανάλυση των αποκλίσεων της θερμοκρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000hPa, για την ώρα 00Z η οποία μας φανερώνει ότι η ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται από 1,5°C έως 3,5°C πάνω από την κλιματική τιμή που αφορά στην περίοδο 1981-2010 ενώ στα βόρεια η απόκλιση ξεπερνά και τους 3,5°C (Σχήμα 69). Η πάνω από τις κανονικές τιμές ελάχιστη θερμοκρασία συνεπάγεται και αύξηση της συχνότητας εμφάνισης τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο.

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε ότι η επικράτηση από τη μία μιας έντονης αντικυκλωνικής κυκλοφορίας στη μέση και κατώτερη τροπόσφαιρα πάνω στο χώρο της Ελληνικής χερσονήσου η οποία συνδέεται με αρνητική μεταφορά στροβιλισμού και κατολίσθηση των αερίων μαζών και από την άλλη μια ζωνική κυκλοφορία η οποία συνδέεται με τη μετατόπιση του υποτροπικού αεροχειμάρρου βορειότερα και τη μεταφορά θερμών αερίων μαζών από τη βορειοδυτική Αφρική έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση υψηλών ελάχιστων θερμοκρασιών στη χώρα μας και άρα τη συχνότερη εμφάνιση τροπικών νυχτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Τροπικές νύχτες και ατμοσφαιρική κυκλοφορία

6.1 Εισαγωγή

Καθώς η μεγάλης κλίμακας ατμοσφαιρική κυκλοφορία παίζει σημαντικό ρόλο στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος είναι ζωτικής σημασίας να κατανοήσουμε με ποιες διεργασίες αυτή επηρεάζει τις αλλαγές του κλίματος σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Η επίδραση γνωστών τύπων διασύνδεσης της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στη θερμοκρασία και τη βροχόπτωση έχει ευρέως μελετηθεί τόσο σε παγκόσμιο όσο και επίπεδο Μεσογείου (van Loon and Rogers, 1978; Wallace and Gutzler, 1981; Kiutel et al., 1996; Maheras and Kiutel 1999; Feidas et al., 2004, Kiutel and Benaroch, 2002; Kiutel et al., 2002; Nastos et al., 2011). Ο ρόλος των διασυνδέσεων στο κλίμα της Μεσογείου δεν έχει ακόμα τελείως ξεκαθαριστεί και συνεχίζει να είναι ένα θέμα υπό μελέτη.

Σε αυτήν την ενότητα γίνεται προσπάθεια να εκτιμηθεί ο αντίκτυπος των δεικτών κυκλοφορίας στην εμφάνιση τροπικών νυχτών στον Ελλαδικό χώρο για την περίοδο 1951-2004. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να ερμηνευτεί η διακύμανση των τροπικών νυχτών με βάση τη διακύμανση της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου. Πιο αναλυτικά, το παρόν κεφάλαιο αποτελείται από τρία μέρη. Στο πρώτο μέρος, προσδιορίζονται με λεπτομέρεια τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε. Στο δεύτερο μέρος διερευνήθηκε η σχέση ανάμεσα στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών και σε επιλεγμένους δείκτες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας για την χρονική περίοδο 1960-2004 που ήταν κοινή για όλους τους Μ.Σ. Τέλος, στο τρίτο μέρος παρουσιάζονται οι μέσες αποκλίσεις στη συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας που συνδέονται με ακραίες τιμές των δεικτών κυκλοφορίας και επιχειρείται η συσχέτισή τους με την εμφάνιση τροπικών νυχτών στην Ελλάδα.

6.2 Δεδομένα και μεθοδολογία

Για να διαπιστωθεί η σχέση μεταξύ των δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και του αριθμού τροπικών νυχτών στην ευρύτερη περιοχή της Ελλάδας και να διερευνηθεί πώς το ένα μπορεί να επηρεάσει το άλλο, πραγματοποιήθηκε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης.

Η ποσοτική μέτρηση της έντασης της σχέσης (γραμμικής) μεταξύ δύο μεταβλητών ονομάζεται συντελεστής συσχέτισης (correlation coefficient) και στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο παραμετρικός συντελεστής συσχέτισης του Pearson (<http://www.statsoft.com/Textbook/statsoft-textbook-search/Name/pearson%20correlation>).

Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson είναι ένα αριθμητικό μέτρο του μεγέθους της συσχέτισης μεταξύ δύο συνόλων τιμών. Παίρνει τιμές από +1 μέχρι -1. Το πρόσημο “+” σημαίνει θετική συσχέτιση, δηλαδή οι τιμές της μιας μεταβλητής αυξάνονται όταν αυξάνονται και της άλλης. Αντίστοιχα, το πρόσημο “-” σημαίνει αρνητική συσχέτιση, δηλαδή οι τιμές της μιας μεταβλητής μειώνονται όταν αυξάνονται της άλλης. Συντελεστής συσχέτισης 1 σημαίνει μια τέλεια συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Με άλλα λόγια, ένα γράφημα διασποράς των δύο μεταβλητών θα δείξει ότι όλα τα σημεία προσαρμόζονται απόλυτα σε μια ευθεία γραμμή. Τιμή 0 σημαίνει ότι τα σημεία του γραφήματος διασποράς είναι κατανεμημένα τυχαία γύρω από οποιοδήποτε ευθεία που έχει σχεδιαστεί ή είναι διατεταγμένα έτσι ώστε να πλησιάζουν κάποια καμπύλη.

Στην παρούσα εργασία η ατμοσφαιρική κυκλοφορία αντιπροσωπεύεται από τέσσερις δείκτες: το δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI), το δείκτη της Βορειοατλαντικής ταλάντωσης (NAOI), το δείκτη Μεσογειακής ταλάντωσης (MOI) και το δείκτη κυκλοφορίας Αρκτικής ταλάντωσης. Στον Πίνακα 8 παρουσιάζεται συνοπτικά η περιγραφή των δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πίνακας 8: Περιγραφή των δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας.

<i>Συντομογραφία Δείκτη</i>	<i>Περιγραφή Δείκτη</i>
NCPI	ορίζεται από τη διαφορά των κανονικοποιημένων ανωμαλιών του γεωδυναμικού ύψους της επιφάνειας των 500 hPa στη Βόρεια θάλασσα και την Κασπία
NAOI	ορίζεται από τη διαφορά των κανονικοποιημένων ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (SLP) στο Ponta Delgada και τις Αζόρες
MOI	ορίζεται από τη διαφορά των κανονικοποιημένων ανωμαλιών του γεωδυναμικού ύψους της επιφάνειας των 500 hPa στο Αλγέρι και στο Κάιρο
AOI	ορίζεται από τη διαφορά των ανωμαλιών της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας (SLP) στον αρκτικό κύκλο και τα μέσα γεωγραφικά πλάτη (37° - 45° N)

Για να κατασκευαστούν οι μέσες αποκλίσεις στη συνοπτική κατάσταση της ατμόσφαιρας που συνδέονται με ακραίες τιμές των δεικτών κυκλοφορίας βρέθηκε αρχικά το 5° και 95° ποσοστημόριο του συνόλου των τιμών των δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Στη συνέχεια

για τις χρονιές που αντιστοιχούν σε αυτές τις ακραίες τιμές των δεικτών βρέθηκαν οι αποκλίσεις στο γεωδυναμικό ύψος στα 300hPa, 500hPa και 850hPa με δεδομένα που ελήφθησαν από τη βάση δεδομένων του National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) Reanalysis Project (Kalnay et al., 1996).

6.3 Δείκτες κυκλοφορίας και ετήσιος αριθμός τροπικών νυχτών

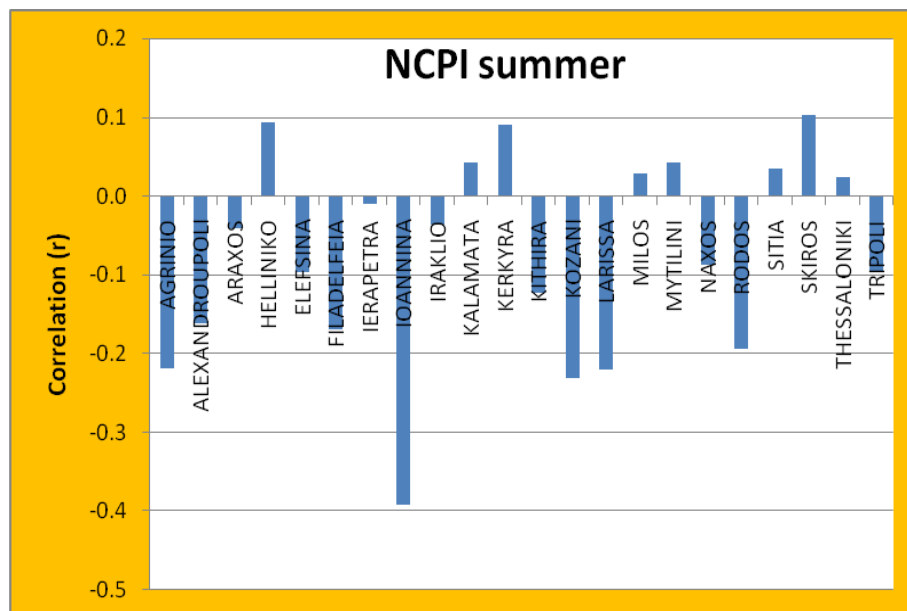
Διερευνήθηκε η σχέση ανάμεσα στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών και σε τιμές επιλεγμένων δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, για την χρονική περίοδο 1960-2004 που ήταν κοινή για όλους τους Μ.Σ. χρησιμοποιώντας τον παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης του Pearson, r . Η συσχέτιση έγινε τόσο για τις ετήσιες τιμές των δεικτών όσο και για τις τιμές τους το καλοκαίρι (Πίνακας 9).

Πίνακας 9: Συσχέτιση ανάμεσα στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών και σε επιλεγμένους ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας δείκτες (με γκρι σκίαση οι στατιστικά σημαντικές τάσεις στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%).

	<i>NCPI_s</i>	<i>NCPI</i>	<i>NAOI_s</i>	<i>NAOI</i>	<i>MOI_s</i>	<i>MOI</i>	<i>AOI_s</i>	<i>AOI</i>
ΑΓΡΙΝΙΟ	-0.219	-0.030	-0.249	-0.060	0.067	-0.029	-0.141	-0.056
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	-0.162	-0.187	-0.048	-0.009	-0.115	-0.007	0.105	0.002
ΑΡΑΞΟΣ	-0.041	0.129	-0.081	0.226	0.035	0.232	0.182	0.312
ΕΛΛΗΝΙΚΟ	0.093	0.055	-0.018	0.258	0.003	0.183	0.148	0.264
ΕΛΕΥΣΙΝΑ	-0.097	-0.151	-0.189	0.114	0.070	-0.019	-0.101	0.019
ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ	-0.169	-0.055	-0.174	0.154	0.040	0.161	0.056	0.204
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	-0.010	-0.069	0.042	0.216	0.035	0.160	0.254	0.167
ΙΟΑΝΝΙΝΑ	-0.392	-0.098	-0.348	0.179	0.101	0.227	0.039	-0.007
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	-0.036	-0.119	-0.039	0.338	0.031	0.107	0.129	0.194
ΚΑΛΑΜΑΤΑ	0.043	-0.024	-0.082	-0.039	-0.006	0.034	-0.153	-0.109
ΚΕΡΚΥΡΑ	0.090	0.143	0.057	0.179	-0.018	0.206	0.277	0.287
ΚΥΘΗΡΑ	-0.123	-0.227	-0.166	0.128	0.010	0.124	0.031	0.021
ΚΟΖΑΝΗ	-0.231	-0.078	-0.322	0.254	0.158	0.158	-0.097	0.001
ΛΑΡΙΣΑ	-0.220	-0.113	-0.287	0.078	-0.042	0.093	-0.047	0.006
ΜΗΛΟΣ	0.028	-0.131	-0.099	-0.010	-0.012	-0.118	-0.053	-0.013
ΜΥΤΙΛΗΝΗ	0.042	-0.082	-0.073	0.055	-0.022	0.050	0.082	0.100
ΝΑΞΟΣ	-0.087	-0.196	-0.016	0.359	0.028	0.257	0.276	0.238
ΡΟΔΟΣ	-0.194	-0.121	-0.005	0.367	-0.049	0.247	0.227	0.307
ΣΗΤΕΙΑ	0.034	0.022	-0.036	0.285	0.046	0.155	0.190	0.248
ΣΚΥΡΟΣ	0.103	-0.103	0.113	0.095	0.102	0.131	0.220	0.194
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0.024	0.075	-0.087	0.231	-0.148	0.046	0.119	0.165
ΤΡΙΠΟΛΗ	-0.095	-0.054	-0.298	-0.034	0.161	0.255	-0.116	-0.053

Συσχέτιση με NCPI

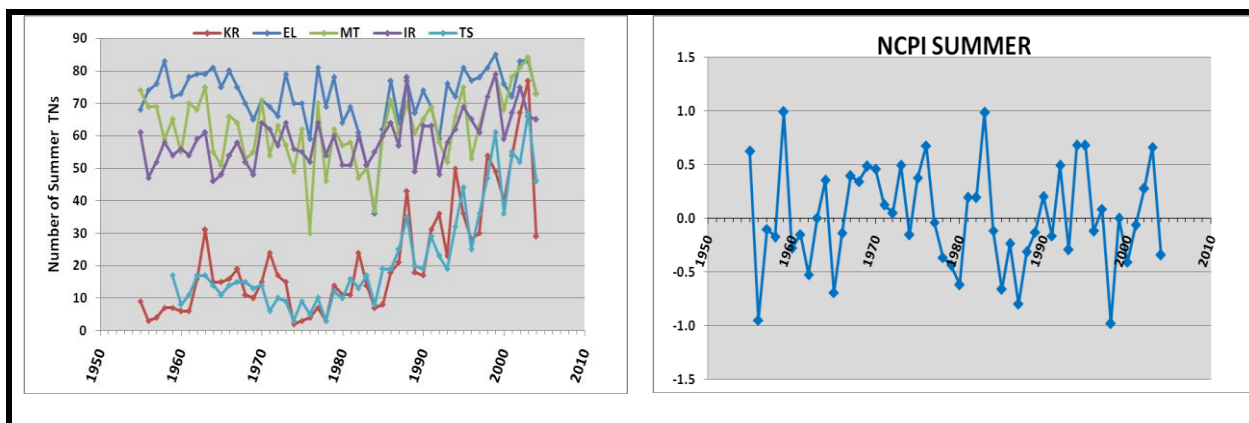
Ο ετήσιος αριθμός τροπικών νυχτών συσχετίζεται αρνητικά με το δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI) τόσο σε ετήσια βάση, όσο και σε επίπεδο καλοκαιριού (Πίνακας 9). Αυτό σημαίνει ότι ο EATN αυξάνεται καθώς μειώνεται ο δείκτης και αντίστροφα. Με άλλα λόγια κατά τη θετική φάση του NCPI η Ελλάδα βιώνει μεγαλύτερο αριθμό τροπικών νυχτών κατά τη διάρκεια του έτους. Η συσχέτιση αν και μέτρια είναι πιο εμφανής με τις καλοκαιρινές τιμές του δείκτη (Γράφημα 9). Επίσης από την ανάλυση φάνηκε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική συσχέτιση του EATN με το δείκτη (εκτός από τη περίπτωση των Ιωαννίνων με την τιμή του δείκτη το καλοκαίρι).



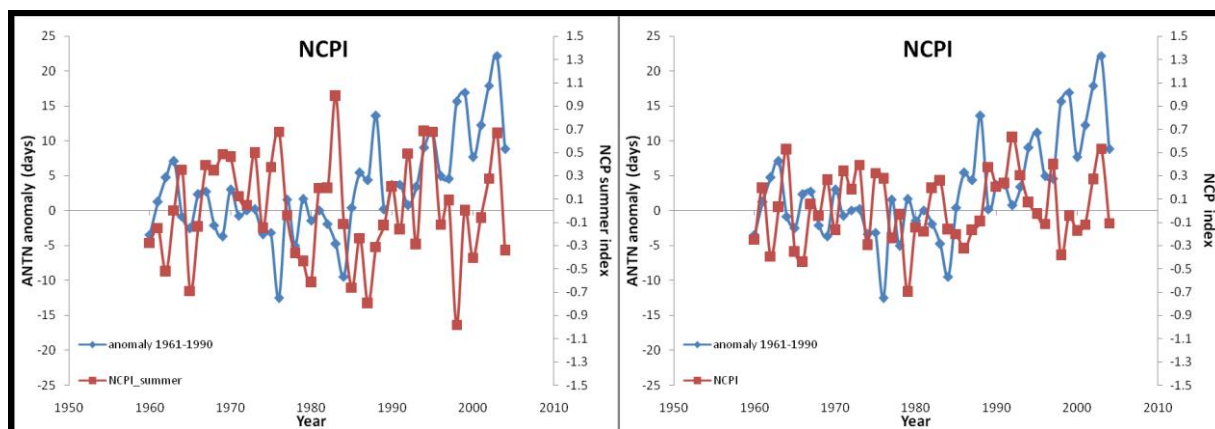
Γράφημα 9: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του NCP και τον EATN.

Η αρνητική συσχέτιση των παραπάνω μεταβλητών γίνεται εμφανής και από το Γράφημα 10 όπου για επιλεγμένους σταθμούς (Κέρκυρα-KR, Ελληνικό-EL, Μυτιλήνη-MT, Ηράκλειο-IR, Θεσσαλονίκη-TS) απεικονίζονται οι χρονοσειρές του EATN παράλληλα με τη χρονοσειρά του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας το καλοκαίρι.

Η αρνητική συσχέτιση γίνεται επίσης αντιληπτή και από το Γράφημα 11 όπου απεικονίζονται οι αποχές (ανωμαλίες) του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις ετήσιες τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας και με τις αντίστοιχες του καλοκαιριού.



Γράφημα 10: Χρονοσειρές του EATN (αριστερά) και του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας το καλοκαίρι (δεξιά).

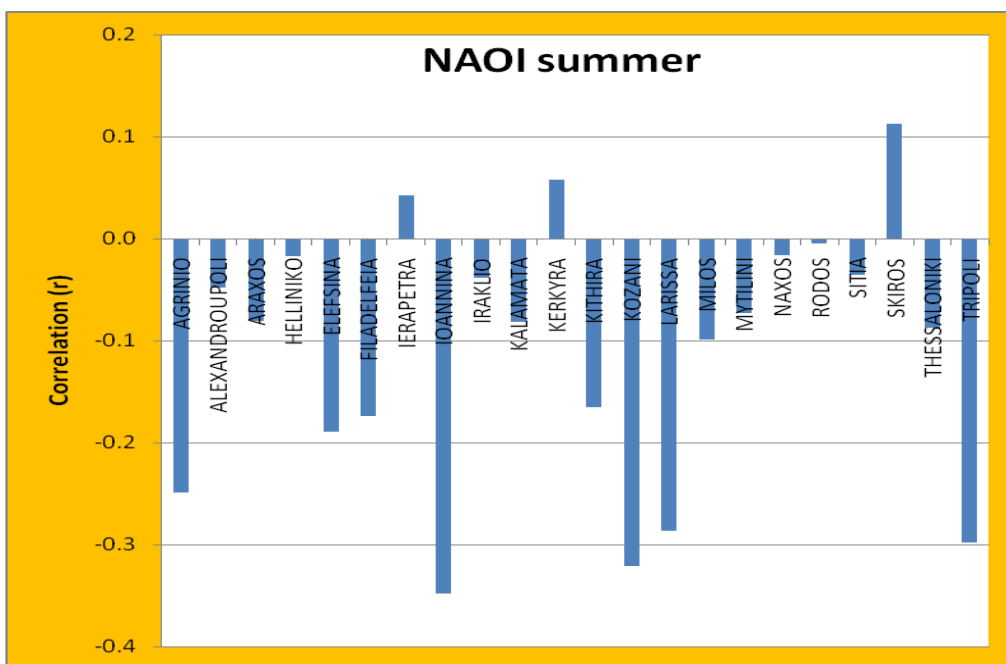


Γράφημα 11: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).

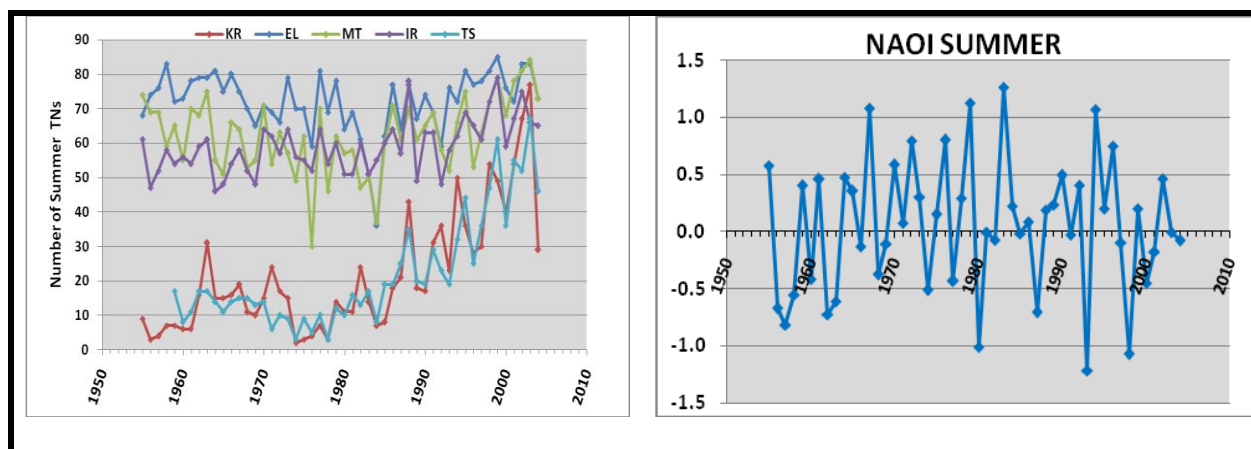
Συσχέτιση με NAOI

Μέτρια αρνητική συσχέτιση εμφανίζουν και οι μεταβολές του EATN με τις μεταβολές του δείκτη της Βορειοατλαντικής ταλάντωσης (NAOI) το καλοκαίρι (Γράφημα 12) ενώ σε ετήσια βάση διαφαίνεται μία μέτρια θετική συσχέτιση (Πίνακας 9). Η συσχέτιση αυτή στην πλειοψηφία των σταθμών βρέθηκε ότι δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Οι χρονοσειρές του EATN για επιλεγμένους σταθμούς παράλληλα με τη χρονοσειρά του δείκτη ταλάντωσης της Βορειοατλαντικής ταλάντωσης το καλοκαίρι φαίνονται στο Γράφημα 13 από το οποίο γίνεται γενικά φανερό ότι ο EATN αυξάνεται αντίστροφα από τον δείκτη της Βορειοατλαντικής ταλάντωσης το καλοκαίρι.

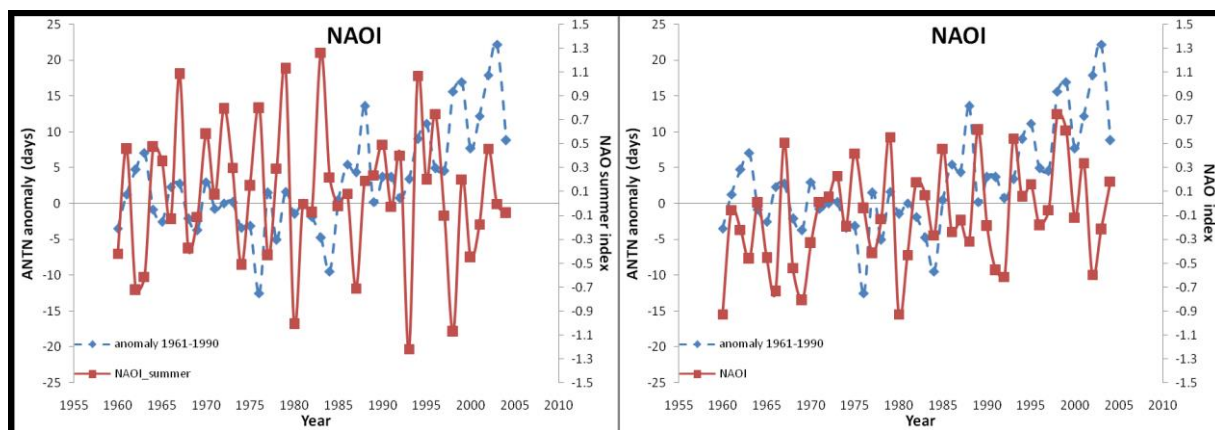


Γράφημα 12: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του NAO και τον EATN.



Γράφημα 13: Χρονοσειρές του EATN (αριστερά) και του δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού το καλοκαίρι (δεξιά).

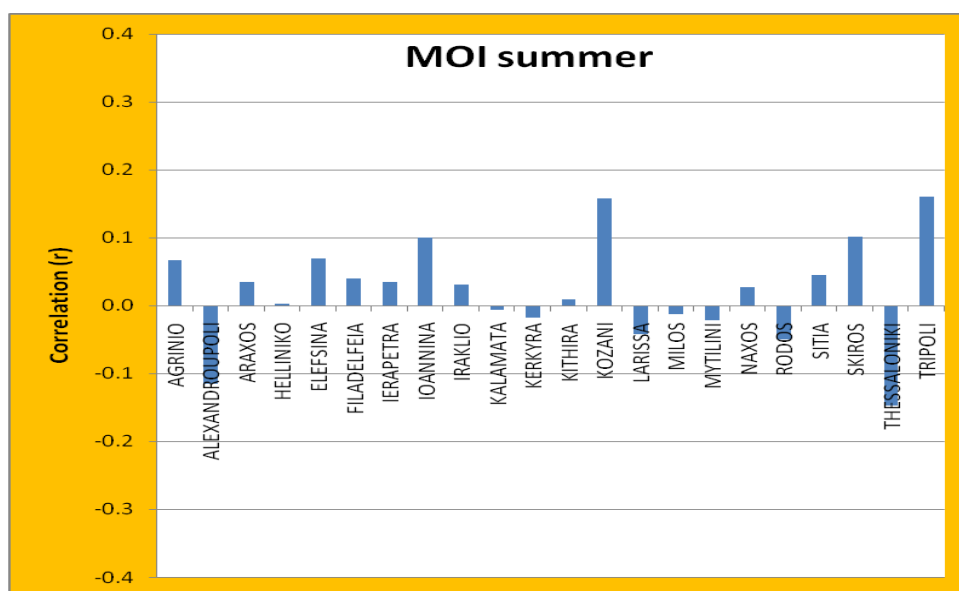
Παρόμοιες ενδείξεις έχουμε και από το Γράφημα 14 όπου απεικονίζονται οι αποχές (ανωμαλίες) του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του ετήσιου και του καλοκαιρινού δείκτη της Βορειοατλαντικής ταλάντωσης.



Γράφημα 14: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).

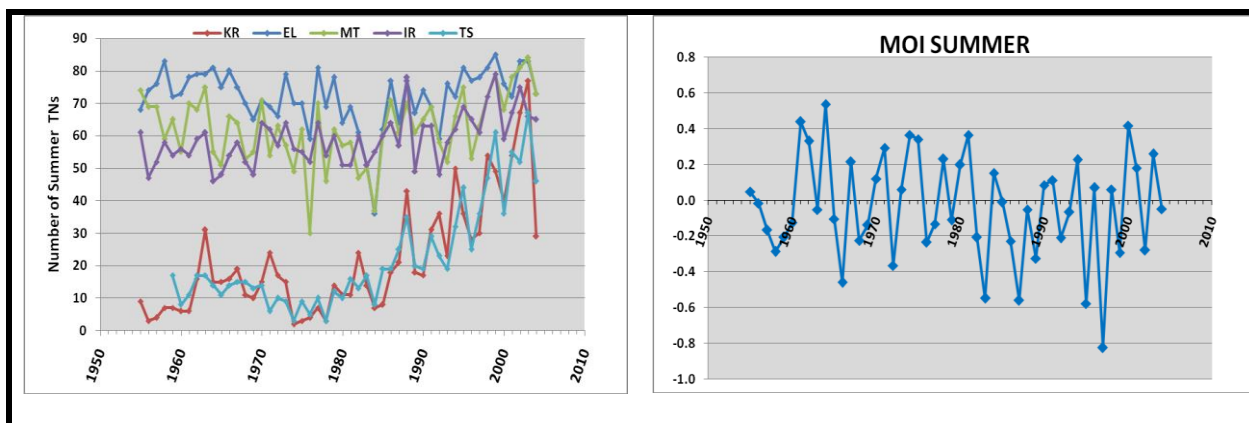
Συσχέτιση με MOI

Μικρή θετική συσχέτιση παρουσιάζεται ανάμεσα στον ετήσιο αριθμό τροπικών νυχτών και το δείκτη Μεσογειακής ταλάντωσης (MOI) το καλοκαίρι (Γράφημα 15), ενώ σε ετήσια βάση η θετική συσχέτιση είναι μέτρια (Πίνακας 9). Καμία από τις παραπάνω συσχετίσεις δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (Πίνακας 9).

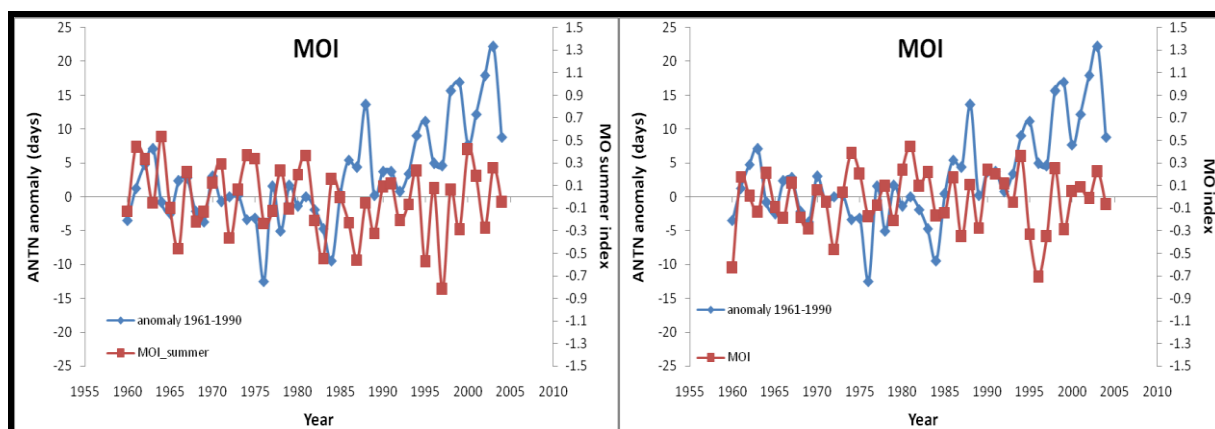


Γράφημα 15: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του MO και τον EATN.

Η όχι και τόσο καλή συσχέτιση των δύο παραπάνω μεταβλητών κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και η σαφώς καλύτερη σε ετήσια βάση γίνεται αντιληπτή και από τα Γραφήματα 13 και 14.



Γράφημα 16: Χρονοσειρές του EATN (αριστερά) και του δείκτη Μεσογειακής ταλάντωσης το καλοκαίρι (δεξιά).

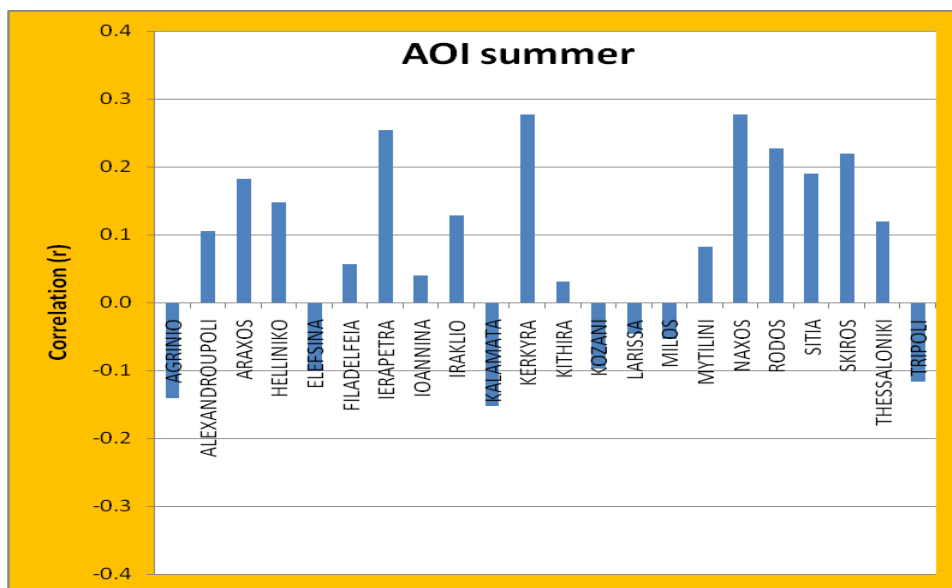


Γράφημα 17: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη Μεσογειακής ταλάντωσης το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).

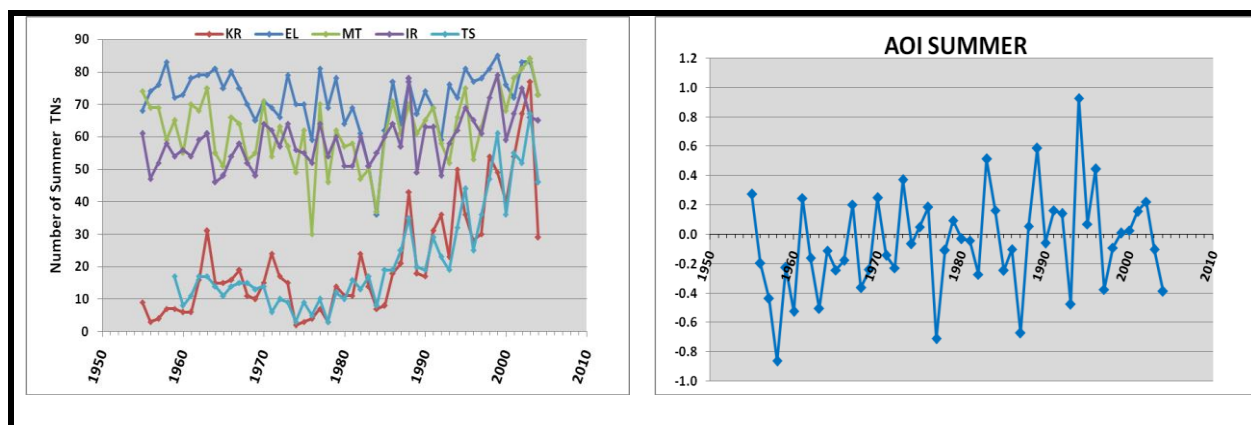
Συσχέτιση με ΑΟΙ

Μέτρια θετική συσχέτιση στην πλειοψηφία των σταθμών παρατηρείται ανάμεσα στον EATN και το δείκτη κυκλοφορίας Αρκτικής ταλάντωσης τόσο σε ετήσια βάση όσο και επίπεδο καλοκαιριού ωστόσο, ελάχιστες από αυτές βρέθηκαν να είναι στατιστικά σημαντικές (Γράφημα 18, Πίνακας 9).

Η συσχέτιση των δύο παραπάνω μεταβλητών τόσο σε ετήσια βάση όσο και επίπεδο καλοκαιριού γίνεται φανερή και από τα Γραφήματα 19 και 20.



Γράφημα 18: Συντελεστής συσχέτισης, r , ανάμεσα στον καλοκαιρινό δείκτη του ΑΟ και τον ΕΑΤΝ.



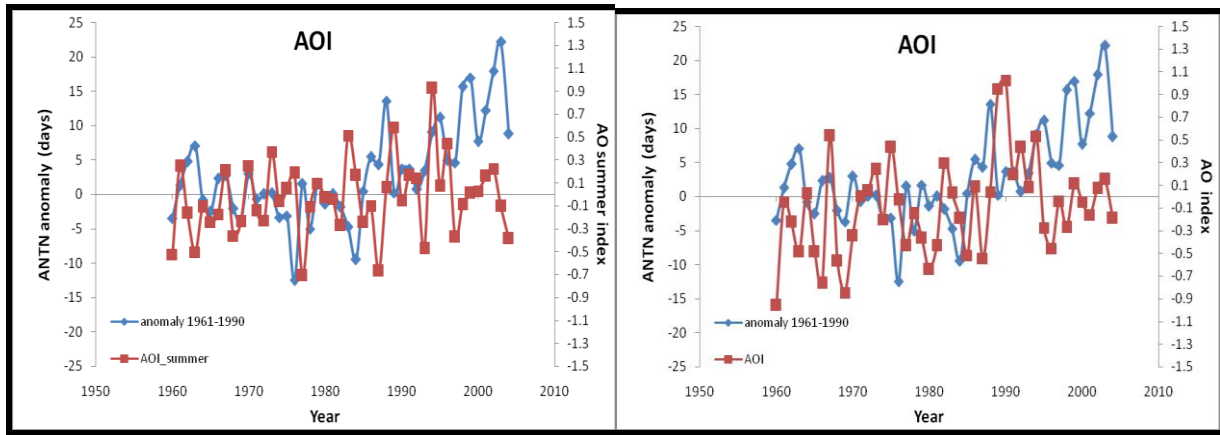
Γράφημα 19: Χρονοσειρές του ΕΑΤΝ (αριστερά) και του δείκτη Αρκτικής ταλάντωσης το καλοκαίρι (δεξιά).

Όλα τα αποτελέσματα για τη συσχέτιση μεταξύ του ετήσιου αριθμού τροπικών νυχτών και των δεικτών ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας συνοψίζονται στον Πίνακα 10.

Σε γενικές γραμμές η συσχέτιση των δεικτών κυκλοφορίας με τον ΕΑΤΝ είναι μέτρια και περισσότερο εμφανής, το καλοκαίρι με το δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού (ΝΑΟΙ) και με το δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI) οι οποίοι μπορούν κατά κάποιο τρόπο να θεωρηθούν ως παράγοντες κλιματικής ενίσχυσης.

Το καλοκαίρι άλλωστε η Ελλάδα επηρεάζεται από το θερμικό χαμηλό της ανατολικής Μεσογείου και τον υποτροπικό αντικυκλώνα του Ατλαντικού με αποτέλεσμα να μη

σημειώνονται εντυπωσιακές αλλαγές του καιρού. Αυτό έχει σαν συνέπεια το καλοκαίρι να «ξεθωριάζουν» και οι σχέσεις μεταξύ των δεικτών κυκλοφορίας με τον EATN.



Γράφημα 20: Αποχές του EATN σε σχέση με την περίοδο 1961-1990 παράλληλα με τις τιμές του δείκτη Αρκτικής ταλάντωσης το καλοκαίρι (αριστερά) και τον ετήσιο (δεξιά).

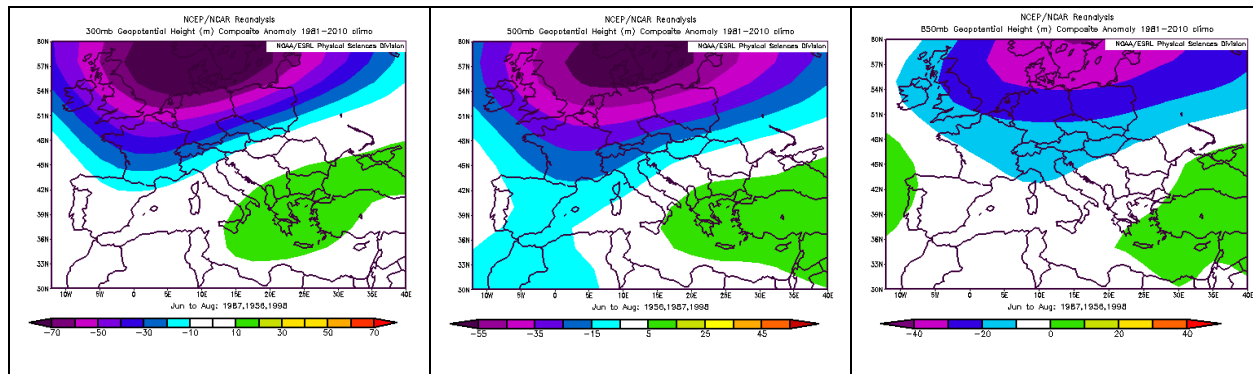
Πίνακας 10: Συσχέτιση του EATN με τους δείκτες ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (όπου + μέτρια θετική συσχέτιση, - μέτρια αρνητική ενώ οι αντίστοιχες μικρές έχουν γραφτεί μέσα σε παρένθεση).

	Καλοκαίρι	Ετήσιος
NCPI	-	(-)
NAOI	-	+
MOI	(+)	+
AOI	+	+

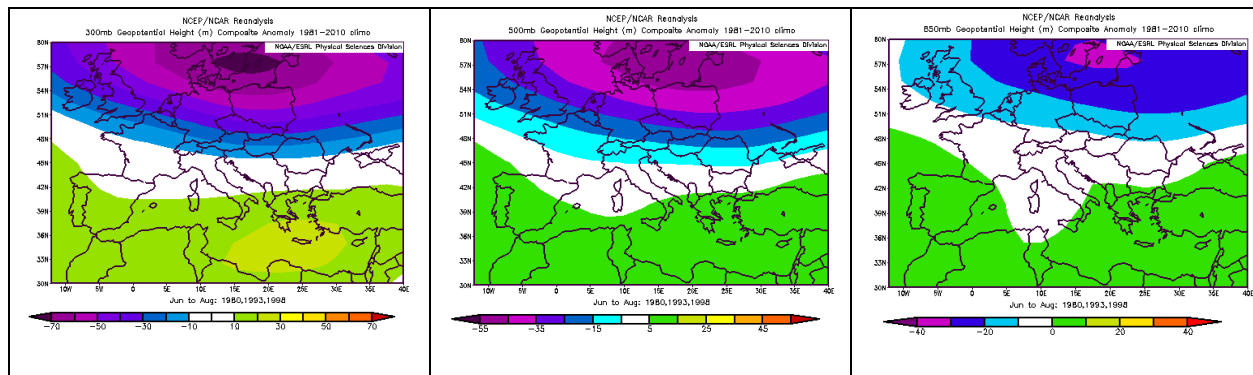
6.4 Τροπικές νύχτες και ακραίες τιμές των δεικτών κυκλοφορίας

Σε αυτήν την ενότητα εξετάζουμε τις αποχές (ανωμαλίες) του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 300hPa, 500hPa και 850hPa σε σχέση με την περίοδο 1981-2010 για τις ακραίες τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI) (Σχήμα 70) και του δείκτη ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού (NAOI) (Σχήμα 71) το καλοκαίρι που στην προηγούμενη ενότητα βρήκαμε ότι συσχετίζονται αρνητικά με τον EATN.

Ο δείκτης ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI) παρουσίασε ακραίες αρνητικές τιμές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τις χρονιές 1956, 1987 και 1998 (Γράφημα 10) ενώ ο δείκτης ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού (NAOI) τις χρονιές 1980, 1993 και 1998 (Γράφημα 13).



Σχήμα 70: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) στα 300hPa (αριστερή εικόνα), στα 500hPa (μεσαία εικόνα) και στα 850hPa (δεξιά εικόνα) που συνδέονται με τις ακραίες αρνητικές καλοκαιρινές τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI).



Σχήμα 71: Αποκλίσεις του γεωδυναμικού ύψους (αποχές από τη μέση τιμή 1981-2010) στα 300hPa (αριστερή εικόνα), στα 500hPa (μεσαία εικόνα) και στα 850hPa (δεξιά εικόνα) που συνδέονται με τις ακραίες αρνητικές καλοκαιρινές τιμές του δείκτη ταλάντωσης Βόρειας θάλασσας Κασπίας (NCPI).

Η «ανάλυση» των αποκλίσεων του γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 300, 500 και 850hPa, δείχνει ότι τα καλοκαίρια όπου οι δείκτες NCPI και NAOI παρουσιάζουν ακραίες αρνητικές τιμές, θετικές ανωμαλίες καλύπτουν την Ελλάδα σε όλο το βάθος της τροπόσφαιρας (Σχήματα 69 και 70). Οι θετικές αυτές ανωμαλίες υποδεικνύουν μία ισχυρή αντικυκλωνική κυκλοφορία πάνω από την ευρύτερη περιοχή. Η έντονη αντικυκλωνική κυκλοφορία στα ανώτερα στρώματα οδηγεί σε κατολίσθηση των αερίων μαζών η οποία με τη σειρά της έχει σαν αποτέλεσμα τιμές ελάχιστων θερμοκρασιών πάνω από τις κανονικές και άρα αυξημένη συχνότητα εμφάνισης τροπικών νυχτών στην Ελλάδα.

Συμπεράσματα-Προβληματισμοί

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά συμπεράσματα στα οποία οδηγήθηκε η παρούσα Διπλωματική Εργασία.

Από τα δεδομένα και τα αποτελέσματα της μελέτης που διεξήχθη προκύπτει σημαντική ομοιογένεια σε ότι αφορά την τάση αύξησης των τροπικών νυχτών στην ελληνική επικράτεια στο μέλλον (βέβαια υπάρχουν διακυμάνσεις από περιοχή σε περιοχή).

Οι τροπικές νύχτες θα είναι πιο συχνές στο μέλλον και μπορεί να επεκταθούν σε περιοχές όπου σήμερα ο αριθμός τους είναι μικρός όπως σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Όσον αφορά σε τοπικό επίπεδο, μόνο δύο σταθμοί (από τους 22 που εξετάστηκαν) παρουσιάζουν μία μικρή πτωτική τάση για την περίοδο 1951-2004, ενώ οι υπόλοιποι παρουσιάζουν μία σαφή τάση αύξησης. Όσον αφορά σε εθνικό επίπεδο, αύξηση διαφαίνεται σε όλα τα τμήματα του Ελληνικού χώρου. Συγκεκριμένα, προκύπτει σημαντικότερη αύξηση στο νότιο και ανατολικό τμήμα της χώρας και μικρότερη αύξηση στο δυτική και κεντρική χώρα.

Η κλιματική αλλαγή θα διαμορφώσει μία νέα πραγματικότητα όσον αφορά στις τροπικές νύχτες καθώς οι συνθήκες θα γίνουν πιο ευνοϊκές για την συχνότερη εμφάνισή τους. Στις μεγάλες αστικές περιοχές από την άλλη, η αύξηση της συχνότητας των τροπικών νυχτών ενισχύεται και από το φαινόμενο της αστικοποίησης.

Η ανάλυση των αποκλίσεων του γεωδυναμικού ύψους που συνδέονται με το 95^ο ποσοστημόριο των τροπικών νυχτών αποκαλύπτει 20 έως 60m μεγαλύτερα γεωδυναμικά ύψη από τις τιμές τριακονταετίας 1981-2010 στα ανώτερα και μέσα στρώματα της ατμόσφαιρας πάνω από τον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο. Οι αποκλίσεις αυτές αυξάνονται με το ύψος γεγονός που φανερώνει τη συχνότερη εμφάνιση θερμής εισβολής στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και μεγαλύτερη ευστάθεια στην επιφάνεια. Από την άλλη, η μεσημβρινή κυκλοφορία που είναι έκδηλη σε όλο το βάθος της τροπόσφαιρας συνδυάζεται με την ανάπτυξη αντικυκλώνα εμποδισμού στη Μεσόγειο και ταυτόχρονα με το πέρασμα του υποτροπικού αεροχειμάρρου βορειότερα μέσα στην Ευρώπη, επιτρέποντας έτσι σε τροπικές, Σαχαριανής προέλευσης, θερμές αέριες μάζες να μεταφερθούν προς την περιοχή μας. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες συνεισφέρουν έτσι να έχουμε ελάχιστες θερμοκρασίες πάνω από τα κανονικά επίπεδα και άρα συχνότερη εμφάνιση τροπικών νυχτών στην Ελλάδα.

Η εξέταση του αν και κατά πόσο η ατμοσφαιρική κυκλοφορία επηρεάζει τη μεταβολή των τροπικών νυχτών στην Ελλάδα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης ταλάντωσης Βόρειας Θάλασσας Κασπίας (NCPI) και ο δείκτης ταλάντωσης Βόρειου Ατλαντικού (NAOI) συσχετίζονται αρνητικά με τον ετήσιο αριθμό εμφάνισης τροπικών νυχτών κυρίως στην περίοδο του καλοκαιριού. Ακόμα και τις χρονιές όπου οι δύο παραπάνω δείκτες παρουσιάζουν ακραίες αρνητικές τιμές θετικές αποκλίσεις στις τιμές του γεωδυναμικού ύψους και σε όλη την στήλη

της ατμόσφαιρας καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή υποδηλώνοντας μία έντονη αντικυκλωνική κυκλοφορία η οποία με τη σειρά της έχει σαν αποτέλεσμα μία έντονη αύξηση στις ελάχιστες θερμοκρασίες και στις τροπικές νύχτες κατ' επέκταση.

Σε αυτό το σημείο θεωρείται αναγκαία η κατάθεση ενός προβληματισμού μας. Τα αποτελέσματα που έχουν προκύψει από σειρά κλιματικών προσομοιώσεων και αφορούν στην αύξηση των τροπικών νυχτών στο μέλλον (αλλά και άλλων κλιματικών παραμέτρων), πρέπει να αντιμετωπισθούν με επιφύλαξη λόγω της εξάρτησής τους από μια σειρά παραγόντων που βρίσκονται υπό αλλαγή ή προβλέπεται να αλλάξουν στο μέλλον.

Οι αβεβαιότητες που υπεισέρχονται είναι πολλές. Η χρήση των κλιματικών μοντέλων αποτελεί την πιο σημαντική πηγή αβεβαιοτήτων καθώς:

- ✚ έχουν μικρή διακριτική ικανότητα, με αποτέλεσμα η τοπογραφία τους να είναι πιο απλή από αυτή της πραγματικότητας,
- ✚ υπάρχει ανακρίβεια στις αρχικές συνθήκες που χρησιμοποιούν,
- ✚ υπάρχει ελλιπής γνώση και περιγραφή των φυσικών διεργασιών (π.χ ροή θερμότητας ωκεανών, επίδραση που έχουν τα σύννεφα στην ακτινοβολία και άλλα),
- ✚ κάθε μεθοδολογία ακολουθεί διαφορετικές παραδοχές.

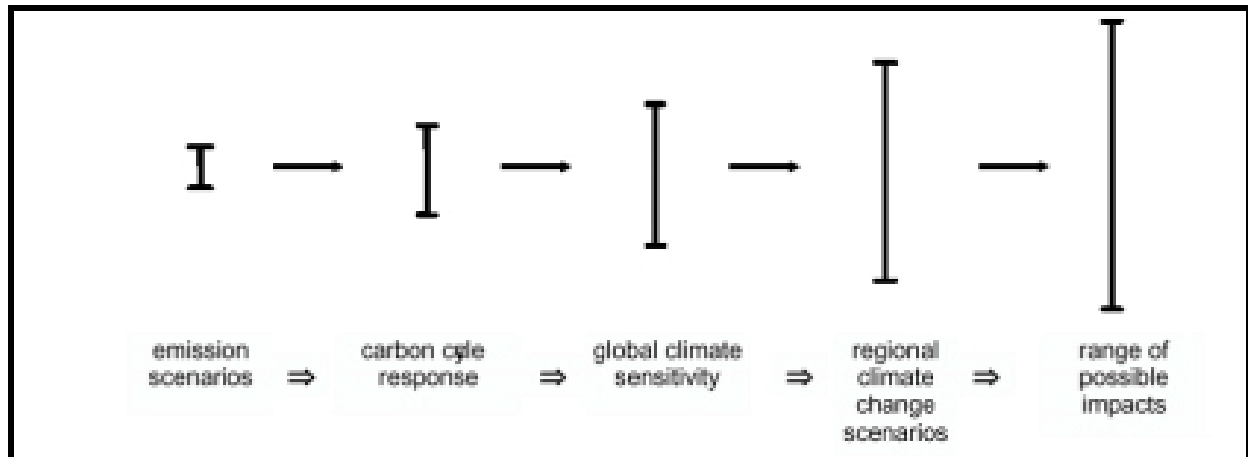
Σπουδαίο ρόλο στην αβεβαιότητα παίζει επίσης, ότι οι μελέτες για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επικεντρώνονται στις εκπομπές του CO₂ στην ατμόσφαιρα και μπορεί να υπερεκτιμούν την επίδραση που μπορεί αυτές να έχουν. Η επιλογή δε, του σεναρίου εκπομπής θερμοκηπικών αερίων βάσει του οποίου γίνεται η προσομοίωση του μελλοντικού κλίματος, παίζει εξίσου σημαντικό ρόλο και είναι μία πηγή αβεβαιότητας. Εδώ πρέπει να τονίσουμε και την ανάγκη ανάπτυξης εθνικών σεναρίων τα οποία θα είναι προσαρμοσμένα στις τοπικές συνθήκες.

Στα παραπάνω στοιχεία αβεβαιότητας που επικρατούν για τα αίτια της κλιματικής αλλαγής θα πρέπει να προστεθεί και η περίπτωση κατευθυνόμενης έρευνας όπως αυτή που αποκαλύφθηκε το 2009 στο Climate Research Unit (CRU) του Πανεπιστημίου East Anglia και έχει χαρακτηριστεί και ως *Climate Gate*.

Το πόσο επηρεάζουν οι αβεβαιότητες τα αποτελέσματα μας το θυμίζουν το φαινόμενο της πεταλούδας (http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect), η θεωρία του ντόμινο και ο «καταρράχτης» αβεβαιότητας (Σχήμα 72).

Τέλος οι αναδράσεις και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ανθρώπων, του κλίματος, της ατμόσφαιρας και των οικοσυστημάτων έχουν συνεργιστική δράση και αυξάνουν το βαθμό

αβεβαιότητας γιατί είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν. Εξάλλου, το βασικό και πολύπλοκο χαρακτηριστικό του κλιματικού συστήματος είναι πως γειτονικές περιοχές ίδιου κλιματικού τύπου (Μεσογειακού) εμφανίζουν διαφορετική απόκριση (μη γραμμική) σε μία συγκεκριμένη επίπτωση της κλιματικής αλλαγής.



Σχήμα 72: Ο «καταρράχτης» της αβεβαιότητας (IPCC, 2001).

Μέτρα - Προτάσεις

Σύμφωνα με την Επιτροπή Μελέτης των Επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής (2011) η διατήρηση και η προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων αποτελεί το καλύτερο και το πιο αποτελεσματικό – σε όρους κόστους – μέτρο ενάντια στην κλιματική αλλαγή (Zaunberger et al., 2008). Η διατήρηση των δασών που είναι οι φυσικές δεξαμενές άνθρακα είναι απαραίτητη, προκειμένου η δέσμευση και η αποθήκευση άνθρακα να έχει σημαντική συμβολή στο μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.

Μείωση των εκπομπών του CO₂ αλλά και των άλλων θερμοκηπικών αερίων κρίνονται αναγκαίες. Μεταξύ των μέτρων για τη μείωση των εκπομπών του θερμοκηπίου, υπάρχουν πολλές επιλογές «χαμηλού κόστους με παράλληλα οφέλη». Η κλιματική πολιτική εκτός από τον πυλώνα της καταπολέμησης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου έχει πλέον στραφεί και στον πυλώνα της προσαρμογής. Η Ελλάδα οφείλει να παρακολουθεί και να εφαρμόζει τα σχέδια δράσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης κι όχι μόνο, για το μετριασμό των εκπομπών και την προσαρμογή, παρ' όλα αυτά αξιολογείται με πολύ χαμηλή απόδοση στον Δείκτη Απόδοσης Κλιματικής Αλλαγής (CCPI) 2013 και βρίσκεται στην 45^η θέση από τις 58 χώρες που αξιολογούνται.

Έτσι, τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής, όπως για παράδειγμα οι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες, μπορούν να μετριάστούν υιοθετώντας τις κατάλληλες πρακτικές. Αυξάνοντας

για παράδειγμα τους χώρους πρασίνου στις πόλεις, οι οποίοι δρουν ως ρυθμιστές του κλίματος μπορούμε να αμβλύνουμε την επίδραση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στην εμφάνιση τροπικών νυχτών στις μεγαλουπόλεις.

Χρειάζεται να παρθούν διάφορα μέτρα μεταξύ άλλων θεσμικά και διοικητικά και απαιτείται συνεχής έρευνα και περαιτέρω γνώσεις για να γνωρίσουμε καλύτερα τις σχέσεις ανάμεσα στο κλίμα και τη μεταβολή των τροπικών νυχτών καθώς και τις αλληλεπιδράσεις όλων των παραμέτρων που επηρεάζουν αυτήν τη μεταβολή.

Βιβλιογραφία

Ξένη Βιβλιογραφία

- Adhemar, J., (1842), *Revolution de la mer: Déluges*, Carilian-Goeury et V. Dalmont, Paris, 184.
- Ambaum, M.H.P., Hoskins, B. J., and Stephenson, D. B. (2001), *Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation?*, J. Climate, 14, 3495–3507.
- Alexander, L.V., Zhang, X., Peterson, T.C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A.M.G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa, Kumar K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D.B., Burn. J., Aguila, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., Vazquez-Aguirre, J.L. (2006). *Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation*, J. Geophys Res 111:D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
- Alexandersson, H. (1986), *A homogeneity test applied to precipitation data*, J. Climatol 6:661–675.
- Alverson, K.D., Bradleyand, R.S., Pedersen T.F., (2003), *Paleoclimate, Global Change and the Future*, The IGBP Series, Springer-Verlag, New York.
- Bard, E. and M. Frank (2006), *Climate change and solar variability: What’s new under the sun?* *Frontiers*, Earth and Planetary Science Letters, 248, 1-14.
- Barnston, A.G., and Livezey, R.E., (1987), *Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns*, Mon Wea Rev 115:1083-1126.
- Bradley, R.S. (1999), *Paleoclimatology. Reconstructing Climates of the Quaternary*, International Geophysics, Academic Press.
- Brownlee, K.A., (1960), *Statistical theory and methodology in science and engineering*, John Wiley& Sons, Inc., New York.
- Brunetti, M., Maugeri, M., and T. Nanni, (2002), *Atmospheric circulation and precipitation in Italy for the last 50 years*, International Journal of Climatology, vol. 22, no. 12, pp. 1455–1471.
- Bruneti M. and H. Kutiel (2011), *The relevance of the North-Sea Caspian Pattern (NCP) in explaining temperature variability in Europe and the Mediterranean*, Natural Hazards and Earth Systems Sciences, Vol. 11 pp. 2881-2888.
- Chen, D., Cane, M.A., (2007), *El Nino prediction and predictability*, Journal of Computational Physics, 227, 3625-3640.
- Conte, M., Giuffrida, A., and S. Tedesco, (1989), *The Mediterranean Oscillation, impact on precipitation and hydrology in Italy*, in Conference on Climate Water, pp. 121–137, Publications of the Academy of Finland, Helsinki.
- Criado-Aldeanueva, F., and F. J. Soto-Navarro, (2013), *The Mediterranean Oscillation Teleconnection Index: Station-Based versus Principal Component Paradigms*, Advances in Meteorology, Vol. 2013, Article ID 738501, pp 2, doi.org/10.1155/2013/738501.
- Croll, J., (1875), *Climate and time in their geological relations. A theory of secular changes of the earth ’s climate*, Dadly, Ibister & Co, London.
- Davoudi, S., Crawford, J. and Mehmood. A. (eds.), (2009), *Planning for Climate Change: Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners*, Earthscan, London.

- Diffenbough, N.S., Pal, J.S., Giorgiand, F., Gao, X., (2007), *Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot*, Geophysical Research Letters, 34, L11706, doi: 10.1029/2007GL030000.
- EEA, JRC & WHO (2008), *Impacts of Europe's climate changing climate-2008 indicator based assessment*, EEA Report 4/2008, JRC Reference Report JRC47756. European Environment Agency, Copenhagen.
- EAA (2009), *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2009: Tracking progress towards Kyoto targets*.
- EPA, (2008), *Urban Heat Island Basics, Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies*, U.S. p. 4.
- Esbensen S.K. (1984), *A comparison of intermonthly and interannual teleconnections in the 700 mb geopotential field during the northern hemisphere winter*, Monthly Weather Review 112: 2016 – 2032.
- 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.
- Fish, P.D., Bennett, G.C., Millard, P.H., (1985), *Heat wave morbidity and mortality in old age*, Age Ageing, 14(4), 243-245.
- Fischer, E.M. and C. Schär, (2010), *Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves*, Nature Geoscience, doi: 10.1038/NCEO866.
- Fischer, E.M., Lawrence, D.M. and B.M. Sanderson, (2011), *Quantifying uncertainties in projections of extremes - a perturbed land surface parameter experiment*, Clim. Dynam., 37, 7-8, 1381-1398.
- Flannery, T., (2005), *The Weather Maker*, Text Publishing Company, Australia.
- Flocas, H.A., Tolika, K., Anagnostopoulou, Chr., Patrikas, I., Maheras, P., Vafiadis, M., (2005), *Evaluation of maximum and minimum temperature of NCEP-NCAR reanalysis data over Greece*, Theor Appl Climatol 80:49–65.
- Founda, D., Giannakopoulos, C., Sarantopoulos, A., Petrakis, M., Zerefos, C., (2008), *Estimating present and future fire risk in Greece: links with the destructive fires of summer 2007*, Geophysical Research Abstracts 10, EGU2008-A-07848
- Friis-Christensen, E. and H. Svensmark (1997), *What do we really know about the Sun-climate connection?*, Adv. Space Res. Vol. 20, No4/5, pp. 913-921.
- Giannakopoulos, C., Bindi, M., Moriondo M., Tin T. (2005), *Climatic changes impacts in the Mediterranean resulting from a 2°C global temperature rise*, Glob. Planet. Change, doi:10.1016/j.gloplacha.2009.06.001.
- Giannakopoulos, C., Kostopoulou, E., Varotsos, K., Tziotziou, K., and Plitharas, A., (2011), *An integrated assessment of climate change impacts for Greece in the near future*, Reg. Environ. Change, Vol. 11 829–843, doi:10.1007/s10113-011-0219-8.
- Giannakopoulos, C., Founda, D., Zerefos, C., (2012), *Estimating present and future fire risk in Greece due to Climate Change: Links with the destructive fires of summer 2007*, Presentation, National University of Athens, Greece.
- Giorgi, F., (2006), *Climate change Hot – spot*,. Geophys Res Lett 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734.

- Giorgi F, Lionello, P., (2008), *Climate Change projections for the Mediterranean region*, Global Planet Change 63:90-104.
- Glantz M.H., Nicholls N. and R. W. Katz, (1991), *Teleconnections Linking Worldwide Anomalies*, Cambridge University Press.
- Goddard L., Mason, S.J, Zebiak, S.E., Ropelewski, C.F., Basher, R. and M. A. Cane, (2001), *Current approaches to seasonal-to interannual climate predictions*, International Journal of Climatology 21: 111 –1152.
- Goubanova, K. and L. Li (2007), *Extremes in temperature and precipitation around the Mediterranean basin in an ensemble of future climate scenario simulations*, Global and Planetary Change, 57, 27-42, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.012.
- Howard, L., (1818), *The Climate of London, deduced from Meteorological Observations made at different places in the Neighborhood of the Metropolis*, Vol. 1.
- Hurrell, W., (1995), *Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation*, Science, 269, 676–679.
- Huth, R., (2007), *Arctic or North Atlantic Oscillation? Arguments based on the principal component analysis methodology*, Theoretical and Applied Climatology 89(1-2): 1-8.
- IPCC, (1996), *Science of Climate Change*, Working Group 1 contribution, Second Assessment Report.
- IPCC, (2001), *Climate Change 2001: Synthesis Report*, Summary for Policymakers.
- IPCC, (2007), *Climate Change 2007: Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jones R.G., Murphy, J.M. and Noguer M. (1995), *Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries*, Quarterly Journal of Royal Meteorology Society 121: 1413-1449.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, B., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R. and Joseph, D., (1996), *The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project*, Bulletin of the American Meteorological Society, 77, 437–472.
- Katsoulis, B.D., and G.A. Theoharatos (1985), *Indications of the Urban Heat Island in Athens, Greece*, J. of Climate and Applied Meteorology, V. 24, Amer. Meteor. Society.
- Kondratyev, K.Y. and Nikolsky, G.A. (1970), *Solar radiation and solar activity*, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 96, pp 509-522.
- Kostopoulou, E., Giannakopoulos, C., Hatzaki, M., Karali, A., Hadjinicolaou, P., Lelieveld, J., Lange, M.A., (2012), *Assessment of climate change extremes over the Eastern Mediterranean and Middle East region using the Hadley Centre PRECIS Regional Climate Mode*, 11th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics, COMECAP2012, Athens, Greece, 29 May-1 June 2012. In Proc.: C.G. Helmis and P.T. Nastos (eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Springer Atmospheric Science, pp 547–554. doi:10.1007/978-3-642-29172-2_78, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2012.

- Kousky, V.E., and Higgins, R.W., (2007). *An Alert Classification System for Monitoring and Assessing the ENSO Cycle*. *Weather and Forecasting*, 22(2), 353-371.
- Krol, M., Jaeger, A., Bronstert, A., Guntner, A., (2006), *Integrated modeling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brazil*, *Journal of hydrology*, doi:10.1016/j.jhydrol.2005.12.021.
- Kutiel H, Maheras, P., Guika, S., (1996), *Circulation indices over The Mediterranean and Europe and their relationship with rainfall conditions across Mediterranean*, *Theoretical and Applied Climatology* 54: 125 – 138.
- Kutiel H, Benaroch Y. (2002), *North Sea-Caspian Pattern (NCP)–an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: identification and definition*, *Theoretical and Applied Climatology* 71: 17 – 28.
- Kutiel, H., Maheras, P., Turkes, M. and Paz, S., (2002), *North Sea-Caspian Pattern (NCP) – an upper level atmospheric teleconnection affecting the eastern Mediterranean: implications on the regional climate*, *Theoretical and Applied Climatology*, 72, pp. 173–192.
- Landsberg, H.E., (1981), *The Urban Climate*, Int. Geophys. Ser., Vol. 28, Academic Press, 1-533
- Lewis, J.M., (1998), *Clarifying the dynamics of the General Circulation*, *Bull Amer. Meteor. Soc.*, 79, 39-60.
- Lolis, C.J., Bartzokas, A. and Metaxas, D.A., (1999), *Spatial covariability of the climatic parameters in the Greek area*, *Int. J. Climatol.*, 19: 185-196.
- Lye, M., Kamal, A., (1977) *Effects of a heat-wave on mortality-rates in elderly inpatients*, *Lancet*, 5;1(8010):529-531.
- Maheras, P., Kutiel, H., (1999), *Spatial and Temporal variation in the temperature regime in the Mediterranean and their relationship with circulation during the last century*, *Int. J Climatol.* 19:745-764.
- Meehl, G. A., Hu, A. and B.D. Santer, (2009), *The mid-1970s climate shift in the Pacific and the relative roles of forced versus inherent decadal variability*, *J. Climate*, 22, 780-792.
- Metaxas, D., and Kallos, G., (1979), *Heat waves from a synoptic point of view*, Technical Rep. 14, Ioannina.
- Milankovitch, M., (1941), *Canon of Insolation and the Ice Age Problem*, Royal Serbian Sciences, Special Publication 132, Section of Mathematical and Natural Sciences, 33, 633, Belgrade.
- NaKicerovic, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., Jung, T.Y., Kram, T., La Rovere, E.L., Michaelis, L., Mori, S., Morita, T., Pepper, W., Pitcher, H., Price, L., Raihi, K., Roehrl, A., Rogner, H., Sankovski, A., Schlesinger, M., Shukla, P., Smith, S., Swart, R., van Rooijen, S., Victor, N., Dadi, Z. (2000), *Emissions Scenarios: A Special Report of IPCC Working Group III of the Intergovernmental Panel on climate Change*, Cambridge, UK, 599pp.
- Nastos, P.T., and Matzarakis, A., (2008b), *Human-bimeteorological effects on sleep disturbances in Athens, Greece: A preliminary evaluation*, *Indoor Built Environ*, 17:535–542.
- Nastos, P.T., Philandras, C.M., Founda, D., Zerefos, C.S., (2011), *Air temperature trends related to changes in atmospheric circulation in the wider area of Greece*, *Int J Remote Sens* 32:737–750.

- Nastos, P.T., and Kapsomenakis, J., (2014), *Regional climate model simulations of extreme air temperature in Greece. Abnormal or common records in the future climate?*, Atmos Res (in press).
- Newton, C (1986), *Erik Palmen: Synthesizer of the Atmospheric General Circulation*, National Center for Atmospheric Research Vol. 67 No. 3 pp 282-293.
- Noguer M., Jones R. and Murphy J. (1998), *Sources of systematic errors in the climatology of a regional climate model over Europe*, *Climate Dynamics* 14: 691-712.
- Oke, T.R., (1974), *Review of Urban Climatology (1968-1973)*, WMO Tech. Note No. 134, 1-132.
- Oke, T.R. (1979), *Review of Urban Climatology (1973-1976)*, WMO Tech. Note No. 169, 114-119.
- Orłowsky, B., and S. I. Seneviratne (2012), *Global changes in extreme events: Regional and seasonal dimension*, *Clim. Change*, 110, 669–696, doi:10.1007/s10584-011-0122-9.
- Panofsky, H.A. and Brier, G.W., (1968), *Some applications of Statistics to Meteorology*, University Park, Pennsylvania.
- Papadopoulos, V.P., Kontoyiannis, H., Ruiz, S. and N. Zarokanellos, (2012), *Influence of atmospheric circulation on turbulent air-sea heat fluxes over the Mediterranean Sea during winter*, *Journal of Geophysical Research C*, vol. 117, no. 3, Article ID C03044.
- Palutikof, J. P., (2003), *Analysis of Mediterranean climate data: measured and modelled*, in *Mediterranean Climate: Variability and Trends*, H. J. Bolle, Ed., Springer, Berlin, Germany.
- Prezerakos, N.G., (1978), *Contribution to the study of blocking over the Greek area*, PhD thesis, Univ. of Thessaloniki, in Greek.
- Prezerakos, N.G., (1989), *A contribution to the study of the extreme heat wave over the South Balkans in July 1987*, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 41, 261-271.
- Revelle, R. and H.E. Suess (1957), *Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades*, *Tellus* Volume 9, Issue 1, pp 18–27, February) doi: 10.1111/j.2153-3490.1957.tb01849.x.
- Rogers, J.C. and H. van Loon, (1979), *The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part II: some oceanic and atmospheric effects in middle and high latitudes*, *Mon. Wea. Rev.*, 107, 509-519.
- Rogers, J.C. (1984), *The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere*, *Mon Wea Rev* 112:1999-2015.
- Rogers, J.C. (1990), *Patterns of low frequency monthly sea level pressure variability (1899-1996) and associated wave cyclone frequencies*, *J Climate* 3:1364-1379.
- Sarmiento, J.L. and N. Gruber, (2002), *Sinks for anthropogenic carbon*, *Physics Today*, 55(8), 30-36.
- Scafetta, N. and B.J. West (2006), *Phenomenological solar contribution to the 1900-2000 global surface warming*, *Geophysical Research Letters*, 33 L05708, doi: 10.1029/2005GL025539.
- Simarski, L.T., (1992), *Volcanism and climate change*, special report, AGU, Washington, D. C., pp. 27.
- Stern, N., (2007), *The economics of climate change impacts: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Suselj, K., and K. Bergant, (2006), *Mediterranean Oscillation Index*, *Geophysical Research Abstracts* 8, 02145 European Geosciences Union.

- Thompson, DWJ, Wallace, JM (1998), *The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields*, Geophys Res Lett 25: pp. 1297-1300.
- Trenberth, K., E., (2003), *El Nino Southern Oscillation (ENSO)*, Encyclopedia of Ocean Sciences, 815-827.
- Trenberth, K. E., Fasullo, J.T., Kiehl, J., (2009), *Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO₂ during the Past Decades, Earth's global energy budget*, Bull. Amer. Meteor. Soc., 90, 311-323.
- United Nations, (1992), *Framework Convention on Climate Change*, United Nations Environment Programme Information Unit for Conventions, <http://www.unep.org>.
- Walker, G.T., (1936), *Seasonal Weather and its Prediction*, Smithsonian Institute Annual Report, 1935, pp. 117-138.
- Wallace, J.M., Gutzler, D.S., (1981), *Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter*, Monthly Weather Review 109: 784 – 812.
- Wanner, H., J. Beer, J. Büttikofer, T.J. Crowley, U. Cubasch, J. Flückiger, H. Goosse, M. Grosjean, F. Joos, J.O. Kaplan, M. Küttel, S.A. Müller, I.C. Prentice, O. Solomina, T.F. Stocker, P. Tarasov, M. Wagner and M. Widmann (2008), *Mid to Late Holocene climate change: an overview*, Quaternary Science Reviews, 27, 1791-1828, doi:10.1016/j.quascirev. 2008.06.013.
- Webster, P.J., (1980), *Mechanisms Determining the Atmospheric Response to Sea Surface Temperature Anomalies*, J Atmos Sci 38:554-571.
- van Loon, H., and Rogers, J.C., (1978), *The Seesaw in Winter Temperatures between Greenland and Northern Europe. Part I: General Description*, Monthly Weather Review 106:296-310.
- Zauneberger, K., Ange, S., Miko, L. (2008), *The climate change-biodiversity nexus key to co-benefit approaches*, Draft paper for the European Commission, Directorate General for Environment.

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Αγερίδης, Γ., κ.ά., (2011), *Βιοκλιματικές Αναβαθμίσεις Δημόσιων Ανοικτών Χώρων-Οδηγός Μελετών*, ΥΠΕΚΑ, ΚΑΠΕ, σελ. 9.
- Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδος, (2011), *Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα*, Τράπεζα της Ελλάδας, σελ. vii, 88-89.
- Καψωμενάκης, Ι., Δούβης, Κ., Γιαννακόπουλος, Χ., Ζάνης, Π., Τσελιούδης, Γ., Ρεπάπης, Χ., Ζερεφός, Χ. (2011), *Σενάρια Ανθρωπογενούς Παρέμβασης Στην Κλιματική Αλλαγή και τα Προγράμματα PRUDENCE ΚΑΙ ENSEMBLES*, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδας.
- Μαριολόπουλος, Η.Γ., (1938), *Το Κλίμα της Ελλάδος*, Αθήναι.
- Μαριολόπουλος, Η.Γ., (1982), *Επιτομή του Κλίματος της Ελλάδος*, ΚΕΦΑΚ Ακαδημίας Αθηνών, Δημοσίευμα, 7.
- Μεταξάς, Δ.Α., Μπαρτζώκας, Α., Λώλης Χ.Ι. και Κ. Φιλάνδρας, (2002), *Συμβολή στην εποχική πρόγνωση της θερμοκρασίας του αέρα στο βόρειο ημισφαίριο με τη χρήση στατιστικών*

μεθόδων, 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας-Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Ιωάννινα, Σεπτέμβριος 2002, 172-185.

- Παπανικολάου, Δ., Διακάκης, Μ., (2011), *Μεταβολές Στην Ένταση Και Την Κατανομή Των Καταστροφών*, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδας.
- Υφαντόπουλος, Ι. και Μητράκος, Θ. (2011), *Οι Κοινωνικές Διαστάσεις της Κλιματικής αλλαγής*, Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Τράπεζα της Ελλάδας.
- WWF Ελλάς (2009), *Το Αύριο της Ελλάδας, Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα κατά το Άμεσο Μέλλον*, σελ.14-24.

Σελίδες στο Διαδίκτυο

- <http://www.metoffice.gov.uk/barometer/videos/2012-01/what-is-climate> [ανακτήθηκε 15 Ιανουαρίου 2014]
- www.unep.org/climatechange [ανακτήθηκε 15 Ιανουαρίου 2014]
- <http://users.sch.gr/kassetas/0%20000%200aCyrclCARBON.htm> [ανακτήθηκε 20 Ιανουαρίου 2014]
- <http://ec.europa.eu/clima/policies/2030/> [ανακτήθηκε 20 Ιανουαρίου 2014]
- <http://i34.tinypic.com/f28qjt.jpg> [ανακτήθηκε 24 Ιανουαρίου 2014]
- http://www.wmo.int/pages/themes/climate/index_en.php [ανακτήθηκε 24 Ιανουαρίου 2014]
- http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino_profiles.html [ανακτήθηκε 26 Ιανουαρίου 2014]
- <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ctl/clisci100.html> [ανακτήθηκε 26 Ιανουαρίου 2014]
- <http://www2.ucar.edu/> [ανακτήθηκε 2 Φεβρουαρίου 2014]
- <http://nsidc.org/icelights/2012/02/02/the-arctic-oscillation-winter-storms-and-sea-ice/> [ανακτήθηκε 2 Φεβρουαρίου 2014]
- <http://www.conservationminnesota.org/weather/welcome-to-march-uary-near-record-territory-50-tomorrow/> [ανακτήθηκε 21 Φεβρουαρίου 2014]
- http://www.hnms.gr/hnms/greek/meteorology/full_story_html?dr_url=/docrep/docs/misc/ClimateOfGreece [ανακτήθηκε 21 Φεβρουαρίου 2014]
- GRID Arendal, UNEP (2009) http://www.grida.no/graphicslib/detail/desertification_c59a [ανακτήθηκε 22 Φεβρουαρίου 2014]
- <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/modelled-number-of-tropical-nights-over-europe-during-summer-june-august-1961-1990-and-2071-2100> [ανακτήθηκε 1 Απριλίου 2013]

- http://politics.wwf.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=776&Itemid=380 [ανακτήθηκε 5 Απριλίου 2014]
- <http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=32152> [ανακτήθηκε 2 Μαρτίου 2014]
- <http://www.page21.eu/faq/82-blogs/summer-blog-chersky-2013/281-chersky-2013-tropical-nights-in-siberia> [ανακτήθηκε 2 Μαρτίου 2014]
- <http://www.climrun.eu/> [ανακτήθηκε 9 Μαρτίου 2014]
- <http://www.oikoskopio.gr/map/> [ανακτήθηκε 18 Μαρτίου 2014]
- http://www.greenpeace.org/greece/el/campaigns/climate-change/to_provlima/ [ανακτήθηκε 29 Μαρτίου 2014]
- <http://www.statsoft.com/Textbook/statsoft-textbook-search/Name/pearson%20correlation> [ανακτήθηκε 28 Απριλίου 2014]
- <http://www.stat-athens.aueb.gr/~jpan/statistiki-skepsi-II/chapter17.pdf> [ανακτήθηκε 13 Απριλίου 2014]
- http://stat-athens.aueb.gr/~jbn/courses/spps_sem/spss3.pdf [ανακτήθηκε 13 Απριλίου 2014]
- <http://flowingdata.com/2008/02/15/how-to-read-and-use-a-box-and-whisker-plot/> [ανακτήθηκε 13 Απριλίου 2014]
- http://en.wikipedia.org/wiki/Butterfly_effect [ανακτήθηκε 25 Μαΐου 2014]
- https://www.youtube.com/watch?v=A7MyW_HWoZI [ανακτήθηκε 25 Μαΐου 2014]
- <http://climatechangeplanet.wordpress.com/category> [ανακτήθηκε 25 Μαΐου 2014]
- Summey, B., NASA Goddard Visualization Analysis Lab. <http://www.nasa.gov/> [ανακτήθηκε 30 Ιουλίου 2014]
- <http://water.usgs.gov/edu/watercyclegreekh.html> [ανακτήθηκε 30 Ιουλίου 2014]
- <https://people.uvawise.edu/pww8y/Reviews/ES/ESRevs/10GrnHsEffImages.html> [ανακτήθηκε 31 Ιουλίου 2014]
- <http://www.noaanews.noaa.gov/stories2010/images/warmingindicators.jpg> [ανακτήθηκε 31 Ιουλίου 2014]
- <http://www.windows2universe.org/earth/climate/nao.html> [ανακτήθηκε 02 Αυγούστου 2014]