



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΤΕ

***ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΙΣ ΧΩΡΕΣ ΤΗΣ
ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ***



Πτυχιακή Εργασία

των

Μήτση Θεοδώρα, GE05344

Σωτηρούλης Κωνσταντίνος, GE05577

που υποβάλλεται στο Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων
του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας
για τη μερική εκπλήρωση των υποχρεώσεων απόκτησης
του Πτυχίου Μηχανικού Γεωτεχνολογίας Περιβάλλοντος ΤΕ



Κοζάνη, Οκτώβριος, 2021

Περίληψη

Η Λεκάνη της Μεσογείου είναι μια πολυπολιτισμική περιοχή που χαίρει από τα αρχαία χρόνια σημαντικής εμπορικής, ταξιδιωτικής και τουριστικής σημασίας. Τυγχάνει όμως και ένα από τα τμήματα του πλανήτη μας που ήδη επηρεάζεται σημαντικά από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και όλα δείχνουν πως θα συνεχίσει να επηρεάζεται, με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής να πληθαίνουν και να δυσχεραίνουν με το πέρασμα των χρόνων.

Στην εργασία εξετάσαμε τις χώρες της Μεσογείου και την έννοια του «Μεσογειακού κλίματος» από τη γένεση ακόμα του όρου. Αναλύσαμε την έννοια της κλιματικής αλλαγής, τα σημάδια και τις επιπτώσεις της στη Μεσόγειο αλλά και σε παγκόσμιο επίπεδο.

Με τη βοήθεια παλαιοκλιματικών στοιχείων μελετήσαμε το κλίμα που επικρατούσε στην περιοχή ενδιαφέροντος από αρχαιότατων χρόνων και παρατηρήσαμε την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο με το πέρασμα των χρόνων, δίνοντας ιδιαίτερη βάση και στη βιομηχανική εποχή.

Εξετάσαμε τέλος λεπτομερώς τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής όπως αυτές παρατηρούνται και διαμορφώνονται σήμερα αλλά και το ποια θα είναι, σύμφωνα με τις επιστημονικές μελέτες και προβλέψεις, η εξέλιξη τους με το πέρασμα του χρόνου, καταλήγοντας στο συμπέρασμα πως οι χώρες της Μεσογείου επηρεάζονται ήδη εξαιρετικά άσχημα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και οι προγνώσεις για το κλιματικό τους μέλλον είναι κάτι παραπάνω από δυσμενείς. Οι αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί και εντείνονται διαρκώς συνεπάγονται πολυάριθμους και σοβαρούς κινδύνους για το οικοσύστημα και την ανθρώπινη ευημερία.

Λέξεις Κλειδιά: Λεκάνη της Μεσογείου, Επιστήμη της Κλιματικής Αλλαγής, Επιπτώσεις, Θερμοκρασία

Abstract

The Mediterranean Basin is a multicultural region that has since the ancient times been of trade, travelling and tourist import. It also however happens to be one of the parts of our planet that is already critically affected by the effects of climate change and it seems it will continue to be affected, while the aforementioned effects will only increase in number and severity as the years go by.

In this project we examined the Mediterranean countries and the concept of the “Mediterranean Climate”, starting by the very discovery of the term. We analyzed the notion of climate change, its signs and consequences both in the Mediterranean and globally.

With the aid of the science of paleoclimatology we studied the climate of the region starting from its ancient history and we observed the development of climate change in the Mediterranean, while we paid special attention to the age of the Industrial Revolution.

Finally, we assessed the effects of climate change as they are observed today and how they will, according to scientific studies and predictions, their future evolution, reaching the conclusion that the countries of the Mediterranean are already severely affected by the consequences brought on by climate change and the future climate prognosis appears to be more than bleak. The observed changes imply numerous and serious risks for the ecosystem and for human well-being.

Keywords: Mediterranean Basin, Science of Climate Change, Effects, Temperature

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	3
Abstract	4
Κεφάλαιο 1: Η Μεσόγειος	7
1.1 Γεωγραφικά Στοιχεία	7
1.2 Κλιματικές παράμετροι και ταξινόμηση κλιμάτων	8
1.3 Το Μεσογειακό Κλίμα	10
Κεφάλαιο 2: Κλιματική Αλλαγή.....	13
2.1 Ορισμός της κλιματικής αλλαγής	13
2.2 Αίτια και επιπτώσεις	13
Κεφάλαιο 3: Ιστορία του Μεσογειακού Κλίματος	23
3.1 Παλαιοκλιματικά στοιχεία στη Μεσόγειο και την Ελλάδα	23
3.2 Ο ρόλος της Βιομηχανικής Επανάστασης στην κλιματική αλλαγή.....	26
Κεφάλαιο 4: Επιστήμη Κλιματικής Αλλαγής.....	30
4.1 Οι πρώτες υποψίες-ανιχνεύσεις της κλιματικής αλλαγής.....	30
4.2 Γένεση της επιστήμης της κλιματικής αλλαγής.....	32
4.3 Η επιστήμη της κλιματικής αλλαγής, 1982 μέχρι σήμερα.....	33
Κεφάλαιο 5: Κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο τα τελευταία χρόνια	36
5.1 Μεσόγειος.....	36
5.2 Ανάλυση επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο ανά κατηγορία.....	38
5.2.1 Ραδιενέργεια και σύννεφα	38
5.2.2 Θερμοκρασία	39
5.2.3 Βροχόπτωση/Κατακρήμνιση	42
5.2.4 Εξάτμιση, απώλειες νερού σε θάλασσα και γη.....	45
5.2.5 Κρυόσφαιρα.....	46
5.2.6 Αλλαγές σε Θαλάσσια Ύδατα	47
5.2.7 Επίπεδο Θαλάσσης	49

Κεφάλαιο 6: Το μέλλον της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο	50
6.1 Κλιματική αλλαγή σε μελλοντικό χαρακτήρα.....	50
6.2 Ανάλυση προβλέψεων επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής ανά κατηγορία	51
6.2.1 Ραδιενέργεια και σύννεφα	51
6.2.2 Θερμοκρασία	51
6.2.3 Βροχόπτωση/Κατακρήμνιση	55
6.2.4 Εξάτμιση, απώλειες νερού σε θάλασσα και γη.....	58
6.2.5 Κρυόσφαιρα.....	59
6.2.6 Αλλαγές σε Θαλάσσια Ύδατα	60
6.2.7 Επίπεδο Θαλάσσης	61
6.2.8 Συμπεράσματα	62
Βιβλιογραφία	62

Κεφάλαιο 1: Η Μεσόγειος

1.1 Γεωγραφικά Στοιχεία

Με έκταση 2.505.000 km² και μέσο βάθος 1500m, η Μεσόγειος είναι η μεγαλύτερη κλειστή θάλασσα της Γης.

Βρέχει τις ηπείρους Ευρώπη, Ασία και Αφρική και για χιλιάδες χρόνια αποτελούσε το επίκεντρο του ανθρώπινου πολιτισμού και της ιστορίας του, έχοντας υπηρετήσει τους μεγαλύτερους πολιτισμούς της αρχαιότητας που αναπτύχθηκε στα παράλια της ως σημαντικό εμπορικό και ταξιδιωτικό πέρασμα.

Στα δυτικά συνδέεται με τον Ατλαντικό Ωκεανό, δια του πορθμού του Γιβραλτάρ, στα ανατολικά με την Ερυθρά Θάλασσα, δια της διώρυγας του Σουέζ και με τη Μαύρη Θάλασσα, δια των στενών του Ελλησπόντου-Βοσπόρου.

Το όνομα της Μεσογείου ανήκει ιστορικά στους Λατίνους και μάλιστα περί τα μέσα του 3^{ου} αιώνα, οπότε πρώτος ο Σολίνος την ονομάζει χαρακτηριστικά «Mare Mediterraneum» ως μεταξύ δύο ηπείρων θάλασσα, καθιστάμενος ιστορικός ανάδοχος του ονόματος αυτής. Η πατρότητα του ελληνικού όρου «Μεσόγειος» οφείλεται στον γεωγράφο- επίσκοπο Αθηνών Μελέτιο Β'.

Οι 21 χώρες που βρέχονται από τη Μεσόγειο είναι οι Αλβανία, Αλγερία, Αίγυπτος, Βοσνία-Ερζεγοβίνη, Γαλλία, Ιταλία, Ελλάδα, Ισπανία, Κύπρος, Ισραήλ, Κροατία, Λίβανος, Λιβύη, Μάλτα, Μαυροβούνιο, Μαρόκο, Παλαιστίνη, Σλοβενία, Συρία, Τηνησία και Τουρκία. Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η περιοχή της Μεσογείου περιλαμβάνει επτά κράτη μέλη, είτε μερικώς (Γαλλία, Πορτογαλία, Ιταλία, Ισπανία) είτε πλήρως (Ελλάδα, Μάλτα, Κύπρος).



Εικόνα 1.1: Γεωμορφολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Μεσογείου.

1.2 Κλιματικές παράμετροι και ταξινόμηση κλιμάτων

Η ταξινόμηση των διαφορετικών κλιμάτων γίνεται βάση κριτηρίων που χωρίζονται σε δύο κατηγορίες – τις αιτίες διαμόρφωσης του κλίματος σε κάθε περιοχή, όπως τα θαλάσσια ρεύματα ή οι τοπικοί άνεμοι και τα αποτελέσματα της επίδρασης του κλίματος, όπως η ερημικότητα ή φυτοκάλυψη της περιοχής. Οι κατατάξεις των κλιμάτων δε χαρακτηρίζονται από απόλυτη αντικειμενικότητα, μιας και δεν έχει επιτευχθεί μια σαφής, μαθηματική περιγραφή των ορίων των κλιμάτων από περιοχή σε περιοχή, και ο κάθε ερευνητής δίνει διαφορετική βαρύτητα σε διαφορετικά κλιματικά στοιχεία.

Οι κλιματικές ταξινομήσεις θεωρούνται **γενικές** και **ποιοτικές**. Υπάρχουν διαφορετικές τεχνικές και μέθοδοι ταξινόμησης των κλιμάτων, όπως:

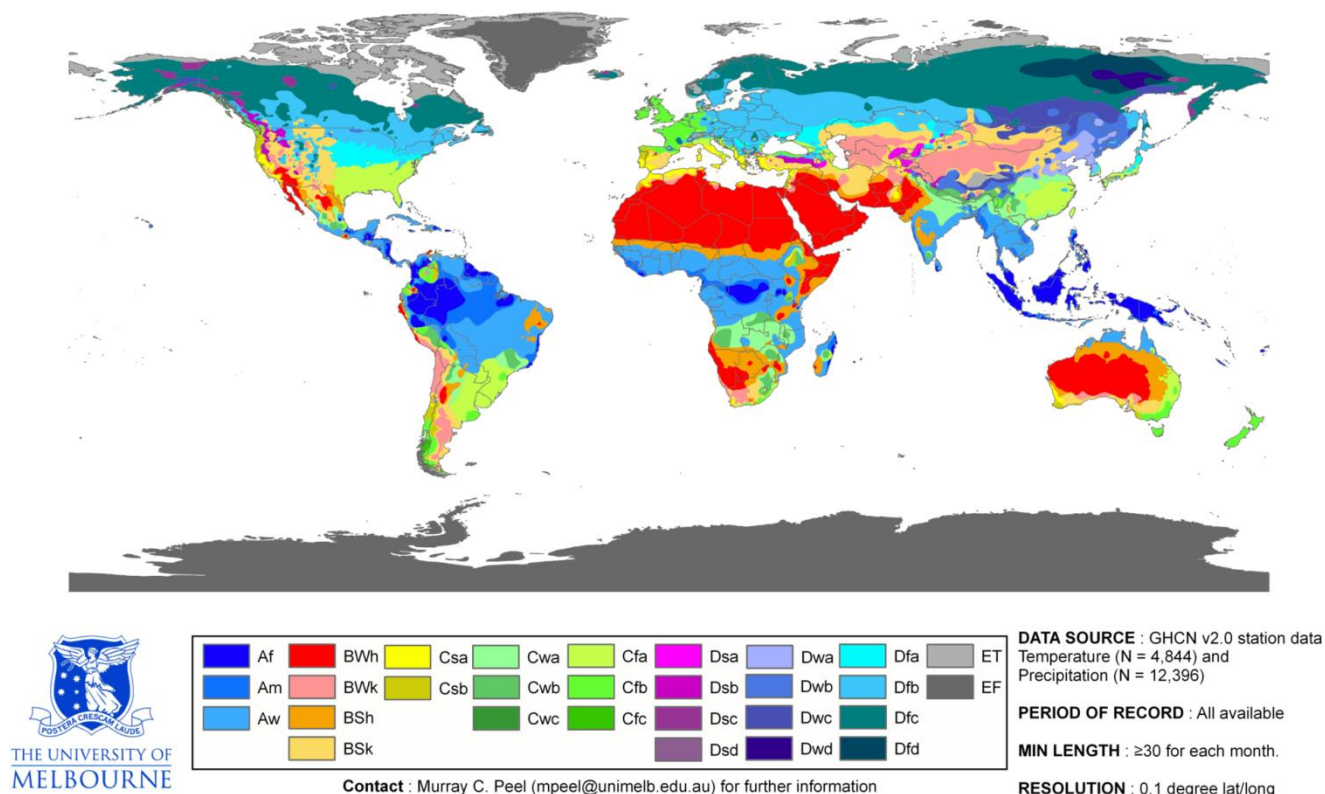
- Μελέτες των ισοζυγίων της ενέργειας και της μάζας για μεγάλες χρονικές περιόδους.
- Σύγχρονες στατιστικές τεχνικές μέσα από προγράμματα υπολογιστή που συνήθως χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση συστημάτων ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και ομαδοποίησης των εν λόγω συστημάτων.
- Χρησιμοποίηση ορισμένων βασικών κλιματικών παραμέτρων και ο συνδυασμός αυτών σε συμφωνία με παραδοχές και προϋποθέσεις που θέτει ο ερευνητής.

Οι μεγάλες κλιματικές κατατάξεις έχουν σκοπό να δώσουν μια γενική εποπτική εικόνα των κλιματικών τύπων του πλανήτη. Ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιούν διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, αυτήν που στηρίζεται στην **ατμοσφαιρική κυκλοφορία ή την κατανομή των αερίων μαζών** (μέθοδοι Alison, Floen) και αυτή που χρησιμοποιεί το **συνδυασμό των κλιματικών παραμέτρων** (μέθοδοι Köppen, Thornwaite, de Martonne). Παρακάτω, θα εξετάσουμε περαιτέρω το σύστημα κλιματικής ταξινόμησης Köppen, ένα από τα πιο διαδεδομένα και ευκολονόητα συστήματα ταξινόμησης.

Το σύστημα Köppen, ή αλλιώς Köppen-Geiger, πήρε το όνομά του από τους κλιματολόγους Wladimir Köppen και Rudolf Geiger. Η μεθοδολογία τους βασίζεται στη μέση θερμοκρασία και την ετήσια πορεία του υετού. Τα κριτήρια που επιλέχθηκαν στην κλιματική ταξινόμηση βασίζονται κατά ένα σημαντικό μέρος στη φυσική βλάστηση, τα φυσικά όρια της εξάπλωσής της καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό το κλίμα μιας περιοχής.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση Köppen, υπάρχουν πέντε βασικές κατηγορίες κλιμάτων, τα ενδοτροπικά, ξηρά, εύκρατα, ηπειρωτικά και πολικά. Οι ομάδες αυτές χωρίζονται περαιτέρω σε διαφορετικούς τύπους και υποκατηγορίες, που βασίζονται στα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι διαφορετικοί τύποι κλίματος συμβολίζονται με δύο έως τέσσερα γράμματα του λατινικού αλφαβήτου. Το *εύκρατο κλίμα*, για παράδειγμα, συμβολίζεται με το γράμμα C. Το *μεσογειακό κλίμα*, που αποτελεί υποκατηγορία του, συμβολίζεται με τα γράμματα Csa, όπου έχουμε το *κλίμα της ενδοχώρας* και Csb, το *παράκτιο μεσογειακό κλίμα*.

World map of Köppen-Geiger climate classification



Εικόνα 1.2: Παγκόσμιος χάρτης της κλιματικής ταξινόμησης Köppen-Geiger.

1.3 Το Μεσογειακό Κλίμα

Λόγω της θέσης της και του ότι είναι μία κλειστή θάλασσα με μόνο δύο εξόδους στις ακτές της επικρατεί γενικά ήπιο κλίμα, το οποίο ονομάζεται μεσογειακό και επικρατεί και στη χώρα μας. Είναι χαρακτηριστικό των περιοχών της Νότιας και Νοτιοδυτικής Αυστραλίας, Κεντρικής Χιλής, Δυτικής περιοχής του Ακρωτηρίου της Νότιας Αφρικής καθώς και γύρω από τη Μεσογειακή Λεκάνη. Η μεγαλύτερη περιοχή με μεσογειακό κλίμα είναι η Μεσογειακή Λεκάνη, παρόλο που μεγάλες εκτάσεις της Μεσογειακής Ακτής, όπως η Αίγυπτος, η Λιβύη και τμήμα της Τυνησίας είναι εξαιρετικά ξηρά. Περισσότερες από μισές από το σύνολο των περιοχών με μεσογειακό κλίμα ανά τον κόσμο βρίσκονται γύρω από τη Μεσόγειο Θάλασσα.

Περιοχές με μεσογειακό κλίμα βρίσκονται σε γεωγραφικό πλάτος περίπου μεταξύ 31 και 40 βαθμών βόρεια και νότια από τον ισημερινό, στη δυτική πλευρά των ηπείρων. Εφ' όσον δεν

υπάρχουν οροσειρές ή έντονα υγρές καιρικές συνθήκες, συμβαίνει να επεκτείνονται και προς τα ανατολικά. Η πιο εκτεταμένη εισχώρηση προς ανατολάς απλώνεται από τη Λεκάνη της Μεσογείου μέχρι το δυτικό μέρος του Πακιστάν αλλά και σε περιοχές του Τουρκμενιστάν και Ουζμπεκιστάν. Οι μεσογειακές περιοχές της Καλιφόρνιας και της Χιλής, αντιθέτως, περιορίζονται στα ανατολικά από οροσειρές κοντά στον Ειρηνικό Ωκεανό, κάτι που δεν ισχύει όμως για την Αυστραλία και τη Νότια Αφρική μιας και η γλωρίδα στις περιοχές αυτές επηρεάζεται από καλοκαιρινές βροχές.

Το μεσογειακό κλίμα είναι εύκρατο θερμό και η επίδρασή του είναι ευεργετική στην ανάπτυξη όλων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα μεσογειακά κλίματα χαρακτηρίζονται από ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και δροσερούς και υγρούς χειμώνες. Το θερινό κλίμα διαμορφώνεται από τη μετατόπιση της αντικυκλωνικής ράχης προς βορρά. Η μέση θερμοκρασία στις πιο θερμές εποχές ξεπερνά τους 25°C και οι χειμώνες είναι ήπιοι, με θερμοκρασίες που συνήθως ξεπερνούν τους 5°C.

Οι παραλιακές περιοχές και τα νησιά έχουν δροσερότερο καλοκαίρι από τα ενδότερα. Η άνοιξη θεωρείται κλιματικά ασταθής μεταβατική περίοδος που συνοδεύεται από συχνή εναλλαγή ομάδων ημερών με χαρακτηριστικά θέρους. Το φθινόπωρο είναι συνήθως μικρής διάρκειας και με κάπως απότομη και σταθερή έναρξη του χειμώνα. Παρατηρείται μεταβολή των θερμοκρασιακών συνθηκών από τα παράλια προς το εσωτερικό των περιοχών. Τα παράλια παρουσιάζουν μικρότερες θερινές και μεγαλύτερες χειμερινές θερμοκρασίες, σε σχέση με τις εσωτερικές περιοχές.

Μια πιο αναλυτική και λεπτομερής ταξινόμηση των ειδών μεσογειακού κλίματος που μπορούμε να εξετάσουμε για να κατανοήσουμε περαιτέρω το κλίμα, είναι ο δείκτης ξηρότητας *de Martonne*. Αποτελεί, όπως προαναφέρθηκε, μία μέθοδο κλιματικής ταξινόμησης με βάση το συνδυασμό των κλιματικών παραμέτρων και χωρίζει το μεσογειακό κλίμα σε τέσσερις υποκατηγορίες:

- *Ωκεάνιο/Πορτογαλικό Μεσογειακό Κλίμα*. Χαρακτηρίζεται από μικρή τιμή του ετήσιου θερμοκρασιακού εύρους και από θερινή ξηρασία. Το μέγιστο της βροχόπτωσης σημειώνεται στο τέλος του φθινοπώρου ή στις αρχές του χειμώνα. Επικρατεί στις παράκτιες περιοχές της Πορτογαλίας, του Μαρόκο, της Αλγερίας, της Τύνιδας και στα νησιά του Ατλαντικού Ωκεανού. Σε αυτήν την κατηγορία θα μπορούσαν να ενταχθούν και ορισμένες ακτές της Ισπανίας, τα δυτικά παράλια της Ιταλίας και το Ιόνιο Πέλαγος.

- *Ελληνικό/Ηπειρωτικό Μεσογειακό Κλίμα*. Χαρακτηρίζεται από τιμές του ημερήσιου και του ετήσιου θερμοκρασιακού εύρους μεγαλύτερες από αυτές της προηγούμενης κατηγορίας. Η διάρκεια της ξηρασίας είναι μεγαλύτερη, σε σύγκριση με αυτή του Ωκεάνιου Μεσογειακού κλίματος. Το μέγιστο της βροχόπτωσης σημειώνεται στο διάστημα Δεκεμβρίου – Ιανουαρίου. Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται το εσωτερικό της ελληνικής χερσονήσου, οι ανατολικές ακτές της Ελλάδας και οι δυτικές ακτές της Μικράς Ασίας.

- *Συριακό Μεσογειακό Κλίμα*. Κλίμα μεταβατικό μεταξύ του Ελληνικού και του Ερημικού κλίματος, που αποτελεί υποκατηγορία των ξηρών κλιμάτων και χαρακτηρίζεται από ισχυρές ημερήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασίας. Το Συριακό Μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από μικρή βροχόπτωση, μεγάλη θερινή ξηρασία και μεγάλες τιμές του ημερήσιου και του ετήσιου θερμοκρασιακού εύρους. Επικρατεί στη Συρία, το Λίβανο, την Αλγερία και το εσωτερικό της Μικράς Ασίας.

- *Μεσογειακό Κλίμα των Ετήσιων Ανέμων*. Κύριο χαρακτηριστικό της κατηγορίας αυτής είναι η πνοή των ετήσιων ανέμων κατά το θέρος. Χαρακτηρίζονται από ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια με χαμηλές βροχοπτώσεις. Στη διάρκεια του καλοκαιριού επικρατεί περίοδος ξηρασίας μεγάλης διάρκειας. Χαρακτηριστικό επίσης των κλιμάτων αυτών είναι οι ισχυροί άνεμοι.

Κεφάλαιο 2: Κλιματική Αλλαγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε τον όρο κλιματική αλλαγή, τις αιτίες και τις επιπτώσεις της στο κλίμα και την ανθρώπινη ζωή.

2.1 Ορισμός της κλιματικής αλλαγής

Με τον όρο “κλιματική αλλαγή” αναφερόμαστε στη μεταβολή του παγκόσμιου κλίματος και ειδικότερα σε μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που επεκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα.

Τέτοιου τύπου μεταβολές περιλαμβάνουν στατιστικά σημαντικές διακυμάνσεις ως προς τη μέση κατάσταση του κλίματος ή τη μεταβλητότητά του, που εκτείνονται σε βάθος χρόνου δεκαετιών ή περισσότερων ακόμα ετών. Οι κλιματικές αλλαγές οφείλονται σε φυσικές διαδικασίες, καθώς και σε ανθρώπινες δραστηριότητες με επιπτώσεις στο κλίμα, όπως η τροποποίηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας. Στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC) 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.

2.2 Αίτια και επιπτώσεις

Όταν ακούμε τον όρο κλιματική αλλαγή, το πρώτο πράγμα που μας έρχεται στο μυαλό είναι η «Θέρμανση της Γης» (Global Warming). Έχει διαπιστωθεί πως η αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο την τελευταία 50ετία είναι η μεγαλύτερη της χιλιετίας. Κατά τα τελευταία 150 χρόνια, η μέση θερμοκρασία έχει αυξηθεί κατά σχεδόν 0,8°C παγκοσμίως και σχεδόν 1°C στην Ευρώπη.

Τα βασικά αίτια της αλλαγής του κλίματος είναι τα ακόλουθα:

- **Η ρύπανση της ατμόσφαιρας, του εδάφους και του νερού.**

Με τον όρο “ρύπανση” αναφερόμαστε στην παρουσία στο περιβάλλον ρύπων (κάθε είδους ουσίας, θορύβου, ακτινοβολίας ή άλλων μορφών ενέργειας) σε τέτοια ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια που μπορούν να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα, ή υλικές ζημιές και γενικά να καταστήσουν το περιβάλλον ακατάλληλο για τις επιθυμητές χρήσεις του. Ρύπανση έχουμε

όταν παρατηρείται μεταβολή στη χημική σύσταση των βασικών στοιχείων του περιβάλλοντος, είτε αναφερόμαστε στον αέρα, στο νερό ή και στο έδαφος. Η ρύπανση της ατμόσφαιρας, του νερού και του εδάφους προκαλεί ανακατατάξεις στα οικοσυστήματα και μειώνει το μέγεθος των πιο ευαίσθητων στις συγκεκριμένες συνθήκες πληθυσμών.

Όταν μιλάμε για “μόλυνση”, αναφερόμαστε στη μορφή ρύπανσης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον ή δεικτών που υποδηλώνουν την πιθανότητα παρουσίας τέτοιων μικροοργανισμών.

Στη μεταβιομηχανική αστική Ευρώπη, η **ατμοσφαιρική ρύπανση** αποτελεί ένα διαρκές πρόβλημα που προκαλεί προβλήματα στη χλωρίδα και πανίδα, το έδαφος, στις ανθρώπινες κατασκευές και φυσικά, στην ανθρώπινη ζωή και υγεία. Το *φαινόμενο του θερμοκηπίου*, η *τρύπα του όζοντος*, το *νέφος αλάς* και η *όξινη βροχή* που θα εξεταστούν πιο λεπτομερώς παρακάτω οφείλονται σε μορφές ατμοσφαιρικής ρύπανσης .

Οι ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι η βιομηχανία, τα μέσα μεταφοράς, η καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οι βιομηχανικές διεργασίες και χρήση διαλυτών σε βιομηχανίες όπως αυτές των ορυκτών ή των χημικών, η γεωργία, η διαχείριση αποβλήτων αλλά και τα νοικοκυριά. Οι φυσικές πηγές ρύπανσης είναι οι ηφαιστειογενείς εκρήξεις, μεγάλες ποσότητες σκόνης που μεταφέρονται με τον αέρα (κονιορτός), εκνέφωση θαλάσσιου άλατος και εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από εργοστάσια. Μελέτες έχουν δείξει ότι σε μία σύγχρονη πόλη, οι βιομηχανικές εργασίες παντός καιρού ευθύνονται για το 50% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, τα μέσα μεταφοράς για το 35%, ενώ το υπόλοιπο 15% αναλογεί στα νοικοκυριά.

Τα *αιωρούμενα σωματίδια*, το *διοξείδιο του αζώτου* και το *τροποσφαιρικό όζον* αναγνωρίζονται κατά κανόνα ως οι τρεις σημαντικότεροι ρύποι από την άποψη των επιπτώσεων για την υγεία. Η μακροχρόνια έκθεση σε αυτούς τους ρύπους ενδέχεται να προκαλέσει επιπτώσεις κυμαινόμενης βαρύτητας για την υγεία, από προσβολή του αναπνευστικού συστήματος έως πρόωρο θάνατο. Περίπου 90% του ευρωπαϊκού αστικού πληθυσμού εκτίθεται σε συγκεντρώσεις ρύπων που υπερβαίνουν τα *όρια ποιότητας του αέρα* τα οποία κρίνονται επιβλαβή για την ανθρώπινη υγεία σύμφωνα με ορισμένες διατάξεις του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ποιότητα της ατμόσφαιρας, τις τιμές των ατμοσφαιρικών ρύπων και την προστασία της ανθρώπινης υγείας αλλά και του περιβάλλοντος.

Ρύπανση του εδάφους ονομάζουμε τη συγκέντρωση σε αυτό ρυπογόνων ουσιών σε τέτοιες ποσότητες που αλλοιώνουν τη σύσταση του, προκαλούν βλάβες στους οργανισμούς και διαταραχές στα φυσικά οικοσυστήματα. Αυτό μπορεί να συμβαίνει άμεσα ή έμμεσα και μπορεί η ρύπανση να προέκυψε πάρα πολύ καιρό πριν ή να βρίσκεται σε εξέλιξη ακριβώς αυτήν τη στιγμή. Συνιστά σοβαρό πρόβλημα όταν η γη χρησιμοποιείται για εργασία στο πλαίσιο της οποίας υπάρχει το ενδεχόμενο τα άτομα να εκτεθούν σε ρυπογόνες ουσίες του εδάφους. Είναι δύσκολο να αφαιρεθεί η ρύπανση του εδάφους και το κόστος αυτής της διαδικασίας είναι συχνά πολύ υψηλό. Οι διάφοροι ρύποι προέρχονται από διαφορετικές πηγές, αλλά, πιθανότατα, οι σημαντικότερες πηγές είναι οι προγενέστερες βιομηχανικές δραστηριότητες. Το απότοκο αυτών των δραστηριοτήτων είναι περιοχές με σοβαρή ρύπανση του εδάφους, κυρίως με μέταλλα, πύσσες και άλλες συναφείς ουσίες. Άλλη σημαντική πηγή είναι η στρατιωτική δραστηριότητα, μεταξύ άλλων σε χώρους εκπαίδευσης.

Τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση των φυτοφαρμάκων (παρασιτοκτόνων, εντομοκτόνων, αντιβιοτικών, αυξητικών ορμονών των φυτών, κ.ά.) παρουσιάζει τεράστια αύξηση με στόχο την αύξηση της απόδοσης της καλλιεργήσιμης γης. Η ολοένα και αυξανόμενη όμως χρήση τους αναδεικνύει τις αρνητικές επιπτώσεις της κατάχρησης, αφού τα περισσότερα είναι ιδιαίτερα τοξικές ενώσεις και εμφανίζουν μεγάλο βαθμό βιολογικής συσσώρευσης στους οργανισμούς. Η ρύπανση του εδάφους από τα φυτοφάρμακα, όπως συμφωνούν πολλοί ερευνητές, έχει προχωρήσει πια τόσο πολύ ώστε, ακόμα και αν σταματήσει σήμερα η χρήση τους, η επαναφορά του εδάφους στην κανονική του κατάσταση εκτός από χρόνο απαιτεί τεράστια χρηματικά ποσά και εκτεταμένα προγράμματα εξυγίανσης.

Τα στερεά απόβλητα, τόσο τα οικιακά όσο και τα βιομηχανικά, ρυπαίνουν το έδαφος με τις επικίνδυνες χημικές ενώσεις που περιέχουν ενώ με τη διάλυση και μεταφορά των ενώσεων αυτών οι ρύποι διασκορπίζονται σε μεγάλες αποστάσεις. Πολύ επικίνδυνα είναι τα στερεά απόβλητα που περιέχουν βαρέα μέταλλα όπως μόλυβδος (Pb), υδράργυρος (Hg), κάδμιο (Cd), ψευδάργυρος (Zn), χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), Αρσενικό (As). Η διάθεση των απορριμμάτων επίσης, ακόμα και των οικιακών, αποτελεί πάντα ένα μεγάλο ζήτημα για τη ρύπανση του εδάφους.

Με τον όρο **ρύπανση υδάτων** τέλος εννοούμε την οποιαδήποτε ανεπιθύμητη αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά του νερού των θαλασσών, λιμνών ή ποταμών, η οποία είναι ή μπορεί υπό προϋποθέσεις να γίνει ζημιογόνος για τον άνθρωπο, τους υπόλοιπους φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς αλλά και τις βιομηχανικές διαδικασίες και τις

συνθήκες ζωής. Η ρύπανση των υδάτων δημιουργείται με την απελευθέρωση σε λίμνες, ποτάμια και θάλασσες ουσιών οι οποίες είτε διαλύονται, είτε κατακάθονται στον πυθμένα.

Με την απελευθέρωση στο νερό ενέργειας υπό την μορφή θερμότητας ή ραδιενέργειας δημιουργείται η θερμική ρύπανση των υδάτων η οποία προκαλεί άνοδο στην θερμοκρασία του νερού. Ρύπανση των υδάτων είναι δυνατόν να δημιουργηθεί από μικροοργανισμούς των οικιακών αποβλήτων, από οργανικές ουσίες όπως το πετρέλαιο και τα προϊόντα του και από τοξικά μέταλλα.

Η βιομηχανική ανάπτυξη άρχισε με όλο και μεγαλύτερη απαίτηση για ενέργεια, πηγή της οποίας υπήρξε και το νερό. Βιομηχανικές διεργασίες, όπως η ψύξη και η πλύση, απαιτούν μεγαλύτερες ποσότητες νερού, ενώ ο αυξανόμενος πληθυσμός, ιδιαίτερα στις μεγάλες πόλεις, χρειάζεται άφθονο, καθαρό και υγιεινό νερό. Η βιομηχανική χρήση του νερού για ψύξη καταλήγει στη θερμική ρύπανση του νερού. Κατά τη θερμική ρύπανση, μειώνεται το διαλυμένο οξυγόνο στο νερό, αυξάνεται η τοξικότητα των χημικών ρυπαντών, επιταχύνεται ο ρυθμός των φυσιολογικών λειτουργιών στους οργανισμούς και συχνά καταλήγουν στο θάνατο.

Σοβαρότερο πρόβλημα αποτελεί η *χημική ρύπανση του νερού από βιομηχανικά απόβλητα, αστικά λύματα και γεωργικές απορροές.*

- Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η Γη εκπέμπει θερμική ακτινοβολία αντίστοιχη με μεγάλη μήκη κύματος. Η ατμόσφαιρα του πλανήτη διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στην ακτινοβολία αυτή, απορροφώντας έτσι περίπου το 71% της. Η ίδια η ατμόσφαιρα επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης. Η ατμόσφαιρα με αυτό τον τρόπο συμπεριφέρεται ως πηγή θερμότητας. Το φαινόμενο αυτό καθιστά τη γη κατοικήσιμη, αυξάνοντας τη μέση επιφανειακή θερμοκρασία της, που χωρίς το μηχανισμό αυτό θα ήταν παγκοσμίως και σε ετήσια βάση περίπου στους -18°C .

Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκαλείται από την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου, που είναι υπεύθυνα για την εκπομπή και απορρόφηση ενέργειας ακτινοβολίας μέσα στο εύρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα κύρια αέρια θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα της γης είναι ο υδρατμός, το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το όζον και το οξείδιο του αζώτου.

Παρά το γεγονός ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι φυσικό και απαραίτητο, παρατηρούνται αυξήσεις στη συγκέντρωση ορισμένων αερίων του στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας, ιδίως του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου, του υποξειδίου του αζώτου και φθοριούχων αερίων, αυξήσεις που έχουν ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του πλανήτη. Το διοξείδιο του άνθρακα που παράγεται από ανθρώπινες δραστηριότητες και το 2020 υπολογίστηκε πως βρίσκεται σε συγκέντρωση 48% πιο υψηλή από το προβιομηχανικό της επίπεδο (πριν το 1750), είναι ο κυριότερος παράγοντας που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη.

- **Η όξινη βροχή.**

Το νερό της βροχής είναι φυσικά όξινο λόγω της διάλυσης σε αυτό του διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Έτσι, όταν δεν υπάρχουν αέριοι ρύποι, η βροχή θα έπρεπε να έχει μια τιμή pH γύρω στο 5,6. Ωστόσο, από την αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης τα επίπεδα του pH της βροχής έχουν σημειώσει σημαντική πτώση. Υπεύθυνες για την αύξηση της οξύτητας είναι κυρίως οι εκπομπές διοξειδίου του θείου και οξειδίων του αζώτου που προέρχονται από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία και τις μεταφορές. Τα εκπεμπόμενα αέρια διαλύονται στην υγρασία της ατμόσφαιρας ή στο νερό της βροχής, σχηματίζοντας τα αντίστοιχα οξέα(θειικό και νιτρικό οξύ), με αποτέλεσμα να αυξάνουν την οξύτητά της. Υψηλές συγκεντρώσεις αυτών των οξέων μπορούν να καταστρέψουν τα χερσαία και τα υδάτινα οικοσυστήματα αλλά και να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στα υλικά. Η όξινη βροχή μπορεί να καταστρέψει τα δάση, να μειώσει τη γεωργική παραγωγή και να επιταχύνει την υποβάθμιση των κτιρίων και των μαρμάρινων μνημείων.

Το διοξείδιο του θείου και τα οξείδια του αζώτου προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων, την ηφαιστειακή δραστηριότητα, τις πυρκαγιές, την τήξη του όξινου πάγου, μια σειρά βιοχημικών διεργασιών που παράγει διμεθυλοσουλφίδιο που τελικά οξειδώνεται σε διοξείδιο του θείου και οξείδια του αζώτου και την αποικοδόμηση οργανικών ουσιών. Από τις παραπάνω αιτίες σχηματισμού της όξινης βροχής, κυριότερη θεωρείται η καύση των ορυκτών καυσίμων. Σήμερα, μόνο το μισό διοξείδιο του θείου της ατμόσφαιρας είναι φυσικό - για το υπόλοιπο μισό, ευθύνεται ο άνθρωπος.

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα που συνοδεύουν την όξινη βροχή είναι η υπέρβαση των εθνικών συνόρων. Συχνά οι χώρες που υφίστανται τις επιπτώσεις της όξινης βροχής δεν είναι εκείνες που προκάλεσαν την αρχική ρύπανση. Σύμφωνα με μελέτες, το 95% των

ποσοτήτων του θείου και του αζώτου που ρυπαίνει τα νορβηγικά οικοσυστήματα προέρχεται από κυρίως από τη Μεγάλη Βρετανία και τη Γερμανία.

- **Το νέφος.**

Ο τύπος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που ονομάστηκε «νέφος» άρχισε να εμφανίζεται την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης. Στις αναπτυγμένες χώρες οι περισσότεροι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές προέρχονται από την καύση ορυκτών καυσίμων στα εργοστάσια και στα οχήματα. Το Δεκέμβριο του 1952 συνέβη στο Λονδίνο το μεγαλύτερο περιστατικό ατμοσφαιρικής ρύπανσης από αιωρούμενα σωματίδια αιθάλης, αφού τόσο τα σπίτια όσο και οι βιομηχανίες έκαιγαν γαιάνθρακα. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες συντήρησαν ένα «νέφος» καπνιάς τέσσερις ημέρες πάνω από την πόλη. Υπολογίστηκε ότι πέθαναν πρόωρα πάνω από 4.000 άνθρωποι (σύμφωνα με άλλες μελέτες, 12.000) και άλλοι 100.000 παρουσίασαν προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος από την αιθαλομίχλη. Το φαινόμενο ονομάστηκε smog, από τις αγγλικές λέξεις smoke (καπνός) και fog (ομίχλη).

Αργότερα εμφανίστηκε το νέφος τύπου Λος Άντζελες, που πήρε το όνομά του από την περιοχή στην οποία παρατηρήθηκε πρώτη φορά, το οποίο σχηματίζεται με άλλον τρόπο και οφείλεται σε ποσοστό 80-88% στα αυτοκίνητα. Σε αυτή την περίπτωση μιλάμε για *φωτοχημικό νέφος*, μείγμα ρυπαντών που σχηματίζονται όταν αλληλοεπιδρούν λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Το φωτοχημικό νέφος είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε πόλεις όπου κυριαρχεί θερμό και ξηρό κλίμα, καθώς και μεγάλος αριθμός αυτοκινήτων. Η συχνότητα του νέφους εξαρτάται από το τοπικό κλίμα και την τοπογραφία, τον πληθυσμό, τη βιομηχανική ανάπτυξη, τη χρήση καυσίμων και τη θερμοκρασία.

Οι ρυπαντές που ευθύνονται για τη φωτοχημική ρύπανση είναι κυρίως το διοξείδιο του θείου, τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα αιωρούμενα σωματίδια, το όζον, ο μόλυβδος και ο αμίαντος.

- **Η ραδιενεργός ρύπανση.**

Ένα πυρηνικό ατύχημα σε πυρηνική εγκατάσταση, έχει σαν συνέπεια τη διαρροή ραδιενεργού υλικού στην ατμόσφαιρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι το πρώτο συστατικό του οικοσυστήματος που ρυπαίνεται. Η έκταση της ρύπανσης εξαρτάται από την πηγή που την προκάλεσε.

Μέσω του ατμοσφαιρικού αέρα τα ραδιενεργά άτομα μεταφέρονται σε περιοχές μακριά από την πυρηνική έκρηξη.

Η **ραδιενεργός ρύπανση** είναι η απόθεση ή η παρουσία ραδιενεργών ουσιών σε επιφάνειες ή εντός στερεών, υγρών ή αερίων όπου η παρουσία τους είναι ακούσια ή ανεπιθύμητη. Στην περίπτωση του ανθρώπινου σώματος, η ραδιενεργός ρύπανση περιλαμβάνει τόσο την εξωτερική ρύπανση του δέρματος, όσο και την εσωτερική ρύπανση, ανεξάρτητα από την οδό πρόσληψης. Τέτοια ρύπανση παρουσιάζει κίνδυνο εξαιτίας της ραδιενεργού αποδιέγερσης των ουσιών, οι οποίες εκπέμπουν ιοντίζουσα ακτινοβολία όπως σωματίδια άλφα ή βήτα σωματίδια ή ακτίνες γάμμα. Η ραδιενεργός ρύπανση μπορεί να προκληθεί από ποικίλες αιτίες, μπορεί να συμβεί λόγω απελευθέρωσης ραδιενεργών αερίων, υγρών ή σωματιδίων.

Το μεγαλύτερο μέρος των ραδιενεργών υλικών καταλήγει στο έδαφος. Από εκεί τα ραδιενεργά άτομα επηρεάζουν τα φυτά, τα ζώα και τον άνθρωπο. Η παραμονή των υλικών εκεί εξαρτάται από το χρόνο υποδιπλασιασμού τους και από το πόσο εύκολα απορροφώνται από το έδαφος.

Στη σύγχρονη εποχή, η κλιματική αλλαγή θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε πιο γενικό πλαίσιο, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής συνοψίζονται στις εξής:

- **Ακραία άνοδος της θερμοκρασίας.**

Την περίοδο 2011-2020 η παγκόσμια μέση θερμοκρασία ξεπέρασε τα προβιομηχανικά επίπεδα κατά 1,1 °C το 2019, με αποτέλεσμα η περίοδος να χαρακτηριστεί ως η θερμότερη δεκαετία που καταγράφηκε ποτέ. Η ανθρωπογενής υπερθέρμανση του πλανήτη αυξάνεται επί του παρόντος με ρυθμό 0,2 °C ανά δεκαετία. Επιστημονικές έρευνες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (ΔΕΑΚ) του ΟΗΕ, δείχνουν πως η θερμοκρασία της Γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1.4 - 5.8 °C τα επόμενα 80 χρόνια.

- **Ακραία άνοδος της στάθμης της θάλασσας, λιώσιμο των πάγων.**

Οι μετρήσεις της παλίρροιας δείχνουν ότι η παγκόσμια άνοδος της στάθμης της θάλασσας ξεκίνησε στις αρχές του 20ού αιώνα. Μεταξύ του 1900 και του 2017, η αύξηση της μέσης παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας εκτιμάται στα 16 με 21 εκατοστά. Τα ακριβέστερα δεδομένα που συλλέγονται από τις μετρήσεις δορυφορικών ραντάρ αποκαλύπτουν μια επιταχυνόμενη άνοδο 7,5 εκατοστά από το 1993 έως το 2017, κάτι το οποίο αντιστοιχεί σε περίπου 30 εκατοστά ανά αιώνα.

Αυτή η επιτάχυνση οφείλεται κυρίως στην κλιματική αλλαγή, η οποία οδηγεί στη *θερμική διαστολή του θαλασσινού νερού*, στην *κατάρρευση όγκων πάγου στους δύο πόλους* και την *τήξη των παγετώνων*. Οι επιστήμονες που μελετούν το κλίμα αναμένουν ότι ο ρυθμός της ανόδου θα επιταχυνθεί ακόμα περισσότερο κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, με τα τελευταία στατιστικά στοιχεία να αναφέρουν ότι η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται κατά 3,6 χιλιόμετρα ετησίως. Οι επιστήμονες προβλέπουν ότι εάν συνεχίσουν να λιώνουν οι πάγοι η στάθμη της θάλασσας θα ανεβεί κατά πολύ με αποτέλεσμα νησιά και πόλεις να βυθιστούν κάτω από το νερό.

- **Ακραία καιρικά φαινόμενα.**

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος επισημαίνει πως όλο και περισσότερο αντιμετώπιση με ακραία καιρικά φαινόμενα βρίσκεται η Ευρώπη, όπως έντονες και συχνές πλημμύρες, ξηρασίες, καταιγίδες και έντονα κύματα καύσωνα.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, σχετικά με τις τελευταίες τάσεις και προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή και τις επιπτώσεις της σε όλη την Ευρώπη, οι παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα ήδη έχουν άσχημες επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, την οικονομία, την ανθρώπινη υγεία και την ευημερία στην Ευρώπη. Ενδεικτικά, εκτιμάται ότι τις τρεις τελευταίες δεκαετίες τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν στοιχίσει στην Ευρώπη περισσότερα από 300 δισεκατομμύρια ευρώ, ενώ έχουν χαθεί περισσότερες από 85.000 ζωές.

- **Οξίνιση των ωκεανών.**

Η αλόγιστη εκμετάλλευση ορυκτών καυσίμων, η παραγωγή τσιμέντου, η γεωργία και η αποδάσωση ανέβασαν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα από 280 εκατομμύρια σε 380- 400 περίπου εκατομμύρια στην ατμόσφαιρα, αύξηση ύψους του 35-42%. Η απορρόφηση της ουσίας αυτής προκαλεί τη μείωση του pH του θαλασσινού νερού, επιφέροντας έτσι την οξίνιση των ωκεανών.

Στη χειρότερη θέση λόγω της οξίνισης βρίσκονται τα είδη που βασίζονται στη διαδικασία της ασβεστοποίησης για τη δημιουργία του σκελετού ή του κέλυφους τους, όπως το πλαγκτόν, που συνιστά τη βάση των τροφικών αλυσίδων και τα κοράλλια, η μείωση των οποίων προκαλούν αλυσιδωτές αντιδράσεις σε είδη που κατοικούσαν εκεί, οδηγώντας τα σε μαζικές μεταναστεύσεις και βάζοντας τα στη λίστα των ειδών υπό εξαφάνιση. Τα

προβλήματα αυτά θα έχουν αναπόφευκτα συνέπειες όχι μόνο στα υδρόβια οικοσυστήματα αλλά και σε αυτά της ξηράς και τέλος, μέχρι και στον άνθρωπο.

- **Απώλεια της βιοποικιλότητας.**

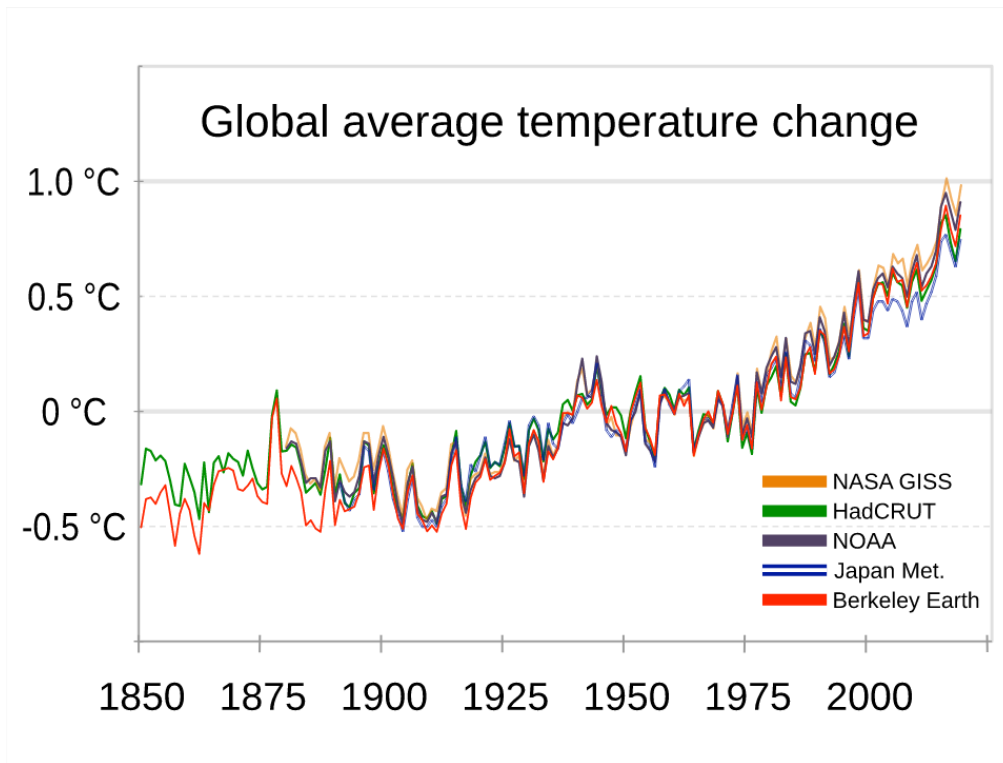
Ως βιοποικιλότητα ορίζεται η ποικιλία των έμβιων όντων στον πλανήτη γη. Περιλαμβάνει τον αριθμό των ειδών, τη γενετική ποικιλότητα και την αλληλεπίδραση όλων αυτών των οργανισμών σε σύνθετα οικοσυστήματα.

Σύμφωνα με τον ΟΗΕ, έως και ένα εκατομμύριο είδη πανίδας και χλωρίδας αναμένεται να βρεθούν στη λίστα των ειδών υπό εξαφάνιση εντός των επόμενων δεκαετιών. Ορισμένοι ερευνητές εκτιμούν ότι διανύουμε την έκτη μαζική εξαφάνιση των κυρίαρχων μορφών ζωής στην ιστορία της γης, με τις προγενέστερες μαζικές εξαφανίσεις να έχουν εξαλείψει μεταξύ του 60% και του 95% όλων των ειδών.

- **Προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία**

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας έχει χωρίσει τις επιπτώσεις που έχει η κλιματική αλλαγή στην υγεία σε τρεις κατηγορίες επιπτώσεων:

- Τις άμεσες, που είναι συνήθως αποτέλεσμα των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως θάνατοι από πολύ υψηλές θερμοκρασίες ή πλημμύρες.
- Τις έμμεσες, που προκαλούνται από περιβαλλοντικές αλλαγές και διαταραχές που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή, όπως η αυξανόμενη απειλή από ασθένειες που μεταφέρονται από έντομα και τρωκτικά.
- Τις επιπτώσεις που προκαλούνται σε πληθυσμούς που πλήττονται από την υποβάθμιση του περιβάλλοντος λόγω της κλιματικής αλλαγής, που μπορεί να είναι οικονομικά, διατροφικά, ψυχολογικά, επηρεάζοντας γενικές βασικές πτυχές της ανθρώπινης ζωής.



Εικόνα 2.1: Συσχέτιση συνόλων δεδομένων οργανικής θερμοκρασίας από διάφορες πηγές.

Κεφάλαιο 3: Ιστορία του Μεσογειακού Κλίματος

Παρακάτω θα εξετάσουμε την εξέλιξη του μεσογειακού κλίματος μέσα στους αιώνες, μελετώντας παλαιοκλιματικά στοιχεία και αλλαγές και εξετάζοντας τα σημαντικότερα κλιματικά γεγονότα που επηρέασαν και μορφοποίησαν το Μεσογειακό Κλίμα.

3.1 Παλαιοκλιματικά στοιχεία στη Μεσόγειο και την Ελλάδα

Με τη βοήθεια της επιστήμης της Παλαιοκλιματολογίας, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε και να συμβουλευτούμε ιστορικές έρευνες που μας βοηθούν να μελετήσουμε, να εξηγήσουμε και να προβλέψουμε τις επιπτώσεις της ανθρώπινης επίδρασης στο κλίμα. Η Παλαιοκλιματολογία περιλαμβάνει τη μελέτη του φλοιού της γης, των τοπίων, των απολιθωμάτων, της κατανομής των διαφόρων ισοτόπων στους ωκεανούς και άλλων τμημάτων του φυσικού περιβάλλοντος που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της ιστορίας των κλιματικών παραλλαγών στον πλανήτη.

Η κλιματική ιστορία του τελευταίου ενός εκατομμυρίου χρόνων του πλανήτη μας χαρακτηρίζεται από κλιματικούς κύκλους διάρκειας περίπου 100 χιλιάδων χρόνων, οι οποίοι διαμορφώνονται από συνδυασμό τριών αστρονομικών περιοδικοτήτων με περιόδους 20, 40 και 100 χιλιάδων ετών και από εσωτερικούς μηχανισμούς του κλιματικού συστήματος της Γης. Ο κάθε κλιματικός κύκλος αποτελείται από μια σύντομη, 10-30 χιλιάδες χρόνια, μεσοπαγετώδη περίοδο και μια παρατεταμένη παγετώδη περίοδο. Ο κλιματικός κύκλος που διανύουμε σήμερα πέρασε στη φάση της παγετώδους περιόδου, πριν από 110 χιλιάδες χρόνια, την οποία διαδέχθηκε η σημερινή μεσοπαγετώδης περίοδος, η γνωστή ως Ολόκαινος, πριν από 11,5 χιλιάδες χρόνια.

Τα πιο χαρακτηριστικά κλιματικά γεγονότα των τελευταίων αιώνων είναι η θερμή περίοδος του Μεσαίωνα (Medieval Warm Period) που ξεκίνησε γύρω στο 1000 μΧ, η «Μικρή Παγετώδης Εποχή» (Little Ice Age, 1500 - 1860 περίπου), όπως και τα μικρής διάρκειας ψυχρά γεγονότα Maunder Minimum, γνωστό και ως «ελάχιστο παρατεταμένο ηλιακό σημείο» (1645 - 1715 περίπου) και Spörer Minimum (1460 – 1550 περίπου). Το Maunder Minimum συγκεκριμένα σχετίζεται με ηφαιστειακή δραστηριότητα και εσωτερικές διακυμάνσεις και συνδέσεις με τον Βόρειο Ατλαντικό. Μεταξύ του 1500 και 1900 υπήρξε έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα στην Μεσόγειο από τα ηφαίστεια της Ιταλίας όπως Αίτνα, Βεζούβιος, Βουλκάνο και Στρόμπολι τα οποία δημιούργησαν τις λεγόμενες ξηρές

ομίχλες. Το πιο έντονο ηφαιστειακό επεισόδιο το οποίο επηρέασε όλο το βόρειο ημισφαίριο έλαβε χώρα στην Ισλανδία το 1783.

Από το τέλος του 19ου αιώνα αρχίζει η άνοδος της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με ρυθμό περίπου $0,7^{\circ}\text{C}$ ανά 100 χρόνια. Ένα σημαντικό μέρος αυτής της ανόδου, έχει αποδοθεί στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ιδιαίτερα η περιοχή της Μεσογείου έχει αναγνωριστεί ως περιοχή ευάλωτη στην ανθρωπογενή κλιματική αλλαγή. Εκτός από τις μεταβολές στη θερμοκρασία του αέρα, μεταβολές έχουμε επίσης και στις βροχοπτώσεις στην Ανατολική Μεσόγειο, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντική μείωση από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από βορρά προς νότο αλλά και μεγάλη διαφοροποίηση από περιοχή σε περιοχή, καθώς και έντονη μεταβλητότητα από έτος σε έτος. Όπως προκύπτει από τις υπάρχουσες μετρήσεις, κατά τον περασμένο αιώνα, οι βροχοπτώσεις μειώθηκαν κατά περίπου 20% στη Δυτική Ελλάδα και 10% στην Ανατολική Ελλάδα. Οι μειώσεις αυτές αποδίδονται κυρίως σε φυσικά αίτια γιατί μόνον κατά τις τελευταίες δεκαετίες η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και αυτό γίνεται με κλιματικές προσομοιώσεις.

Τους τελευταίους αιώνες δεδομένα θερμοκρασιών επιφανειακών υδάτων υψηλής ανάλυσης, ετήσια ή εποχιακά, δεν είναι διαθέσιμα στην περιοχή της Μεσογείου εξαιτίας της έλλειψης κατάλληλων δεικτών, όπως για παράδειγμα τα κοράλλια σε τροπικές-υποτροπικές θάλασσες. Τα υφαλογενή κοράλλια της Ερυθράς θάλασσας αποτελούν εξαίρεση. Οι παραπάνω θαλάσσιοι δείκτες προσφέρουν ανάλυση χαμηλότερη των 100-200 χρόνων με εξαίρεση περιοχές υψηλού ρυθμού ιζηματογένεσης όπως για παράδειγμα στην λεκάνη της νότιας Λεβαντίνης όπου η σύσταση των σταθερών ισοτόπων τρηματοφόρων δείχνει ξεκάθαρα την θερμή περίοδο του Μεσαίωνα και το Little Ice Age με ανάλυση 40-50 χρόνια για την τελευταία χιλιετία. Οι ερευνητές Kuniholm και Striker έχουν προβεί σε μεγάλο αριθμό δεντροχρονολογήσεων κυρίως στην Ελλάδα και Τουρκία με σκοπό την χρονολόγηση αρχαιολογικών θέσεων. Οι διάφορες μελέτες από δεδομένα δακτυλίων δέντρων της Τουρκίας έδειξαν ότι η διάρκεια ξηρών χρόνων εκτείνεται σε ένα με δυο χρόνια και σπάνια σε περισσότερα από τρία. Τα ξηρότερα έτη, από συνδυασμό μελετών, φαίνεται να υπήρξαν τα 1693, 1735, 1819, 1868, 1878, 1887 και 1893 στην λεκάνη της Ανατολικής Μεσογείου.

Η ανομοιογένεια και η μη συνεκτικότητα των παλαιοκλιματικών δεδομένων της Μεσογείου των τελευταίων 500 χρόνων, στηριζόμενα σε ενόργανες μετρήσεις των τελευταίων 150 χρόνων και σε έμμεσα δεδομένα μεταξύ των 300 και 500 χρόνων πριν, δεν μπορεί να οδηγήσει στην ασφαλή διαπίστωση ότι τα τελευταία 100 χρόνια χαρακτηρίζονται από

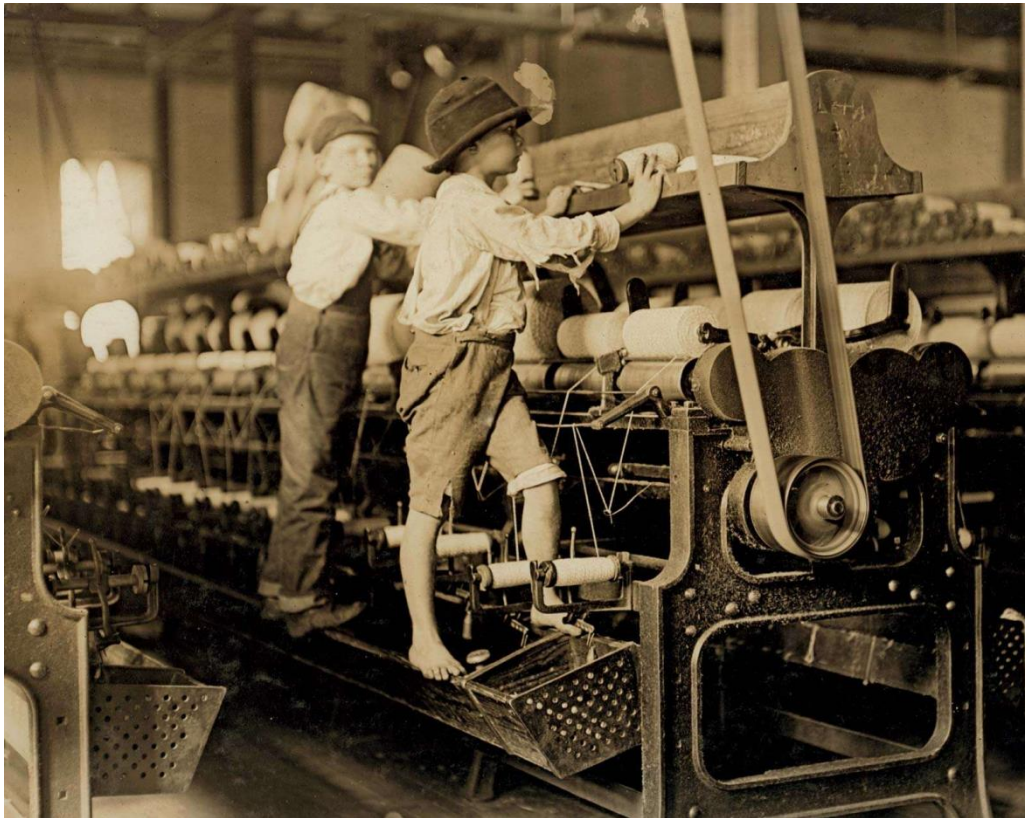
συχνότερα ακραία κλιματικά φαινόμενα σε σχέση με αυτά των προηγούμενων 400 χρόνων. Η παλαιοκλιματική ανασκόπηση των τελευταίων 21 χιλιάδων χρόνων για την Μεσόγειο δείχνει ότι ενώ οι τάσεις (θέρμανση/ψύξη) των κλιματικών μεταβολών είναι συνήθως όμοιες για όλες τις περιοχές, δεν ισχύει το ίδιο για το εύρος των θερμοκρασιακών μεταβολών ή τους ρυθμούς θερμοκρασιακής μεταβολής.

Το ίδιο σχήμα πιστοποιείται και στις πρόσφατες ενόργανες μετρήσεις θερμοκρασιών επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων όπου κατά την περίοδο θέρμανσης από το 1975 έως το 1990 η αύξηση θερμοκρασίας ήταν 0.8°C , 0.6°C και σχεδόν μηδενική για την δυτική Μεσόγειο, την Ιόνια θάλασσα και την θάλασσα της Λεβαντίνης αντίστοιχα. Αυτή η παρατήρηση υποδεικνύει ότι η αναμενόμενη αύξηση θερμοκρασίας, ανάλογα με τα υιοθετούμενα σενάρια, θα εκφραστεί με διαφορετική ένταση και διάρκεια σε κάθε περιοχή της Μεσογείου διότι κάθε υπολεκάνη έχει διαφορετικά υδρολογικά χαρακτηριστικά και κλιματικούς παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται.

Η Ανατολική Μεσόγειος παρουσιάζει μεγαλύτερο εποχικό θερμοκρασιακό εύρος των επιφανειακών θαλάσσιων υδάτων πιθανότατα εξαιτίας της σταθερά χαμηλότερης θερμοκρασίας των βαθιών υδάτων της σε σχέση με τις άλλες υπολεκάνες και παράλληλα επηρεάζεται περισσότερο από τους Ινδικούς μουσώνες σε αντίθεση, για παράδειγμα, με την Δυτική Μεσόγειο η οποία καθορίζεται περισσότερο από τις συνθήκες του Ατλαντικού. Βάση αυτών των δεδομένων, συμπεραίνουμε ότι τα χαρακτηριστικά της σημερινής θέρμανσης παρουσιάζουν υψηλό ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας δεδομένης της φάσης του κλιματικού κύκλου τον οποίο διανύουμε, χωρίς όμως να βρίσκονται εκτός του παρατηρούμενου εύρους, σε σχέση με αντίστοιχα εύρη των τελευταίων 21 χιλιάδων χρόνων. Η επίδραση του CO_2 στη σημερινή θέρμανση φαίνεται να αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα καθώς αυτός ο μεγάλος ρυθμός θέρμανσης δεν μπορεί να ερμηνευτεί ή να συσχετιστεί με συγκεκριμένα γεωλογικά γεγονότα π.χ. τροχιακοί παράμετροι της Γης, κατάρρευση των υδριτών μεθανίου, μεταβολή στην κυκλοφορία των ωκεάνιων ρευμάτων, ηφαιστειακή δραστηριότητα, μετακίνηση ηπείρων, μεταβολές στην ηλιακή δραστηριότητα, τα οποία αποτελούσαν αιτίες παγκόσμιας θέρμανσης στο γεωλογικό παρελθόν.

3.2 Ο ρόλος της Βιομηχανικής Επανάστασης στην κλιματική αλλαγή.

Η Βιομηχανική Επανάσταση ξεκίνησε στα τέλη του δέκατου όγδοου και στις αρχές του δέκατου ένατου αιώνα στη Μεγάλη Βρετανία, όταν η χειρωνακτική εργασία άρχισε να αντικαθίσταται από μηχανήματα που τροφοδοτούνταν από νέες πηγές ενέργειας. Το πρώτο σημάδι αυτής της αλλαγής ήταν η μηχανοποίηση των κλωστοϋφαντουργιών της Αγγλίας, η ανάπτυξη παραγωγής σιδήρου και η αυξανόμενη χρήση άνθρακα αντί ξύλου και νερού για θέρμανση, βιομηχανία και μεταφορά. Γύρω στο 1850, η ατμοηλεκτρική ενέργεια εφευρέθηκε ως τρόπος αποδοτικότερης χρήσης της ενέργειας του άνθρακα και σύντομα οι ατμομηχανές χρησιμοποιήθηκαν για την τροφοδοσία τρένων, πλοίων και βιομηχανικών μηχανημάτων όλων των ειδών. Αυτές οι εφευρέσεις εξαπλώθηκαν σε όλη την Ευρώπη, τις Ηνωμένες Πολιτείες και άλλες περιοχές, φέρνοντας τεράστιες αλλαγές στην κοινωνία και το εμπόριο. Αργότερα τον δέκατο ένατο αιώνα, οι επιστήμονες έμαθαν πώς να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και η ανακάλυψη του πετρελαίου οδήγησε στην εφεύρεση της μηχανής εσωτερικής καύσης, τεχνολογικές εξελίξεις που άλλαξαν περαιτέρω τον τρόπο ζωής και εργασίας των ανθρώπων σε όλο τον κόσμο.



Εικόνα 3.1: Βιβλιοθήκη του Κογκρέσου, Ουάσινγκτον DC

Γύρω στο 1850, εφευρέθηκε η ατμοηλεκτρική ενέργεια ως ένας τρόπος για την αποτελεσματικότερη χρήση της ενέργειας του άνθρακα, φέρνοντας τεράστιες αλλαγές στην κοινωνία και το εμπόριο. Μέχρι το τέλος του 20ου αιώνα, ο κόσμος εξαρτιόταν πλήρως και εξαντλούσε γρήγορα τα ορυκτά καύσιμα του πλανήτη - πόρους όπως ο άνθρακας, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο που σχηματίζονται από τα αποσυντεθειμένα υπολείμματα προϊστορικών φυτών και ζώων. Όπως εξηγεί ο Hillman, «*Τα ορυκτά καύσιμα περιέχουν την ενέργεια που αποθηκεύτηκε από τον ήλιο που χρειάστηκε εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια για να συσσωρευτεί, αλλά μέσα σε λίγες γενεές - μια απλή αναλαμπή της ζωής του πλανήτη μέχρι στιγμής - την καίμε*».

Το αποτέλεσμα αυτής της ταχείας καύσης των απολιθωμένων πόρων, πολλοί επιστήμονες πιστεύουν, είναι η αύξηση των συγκεντρώσεων αερίων του θερμοκηπίου που μπορεί να υπερθερμαίνουν τον πλανήτη. Οι επιστήμονες έχουν διαπιστώσει, για παράδειγμα, ότι οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα έχουν αυξηθεί από την αρχή της Βιομηχανικής Επανάστασης.

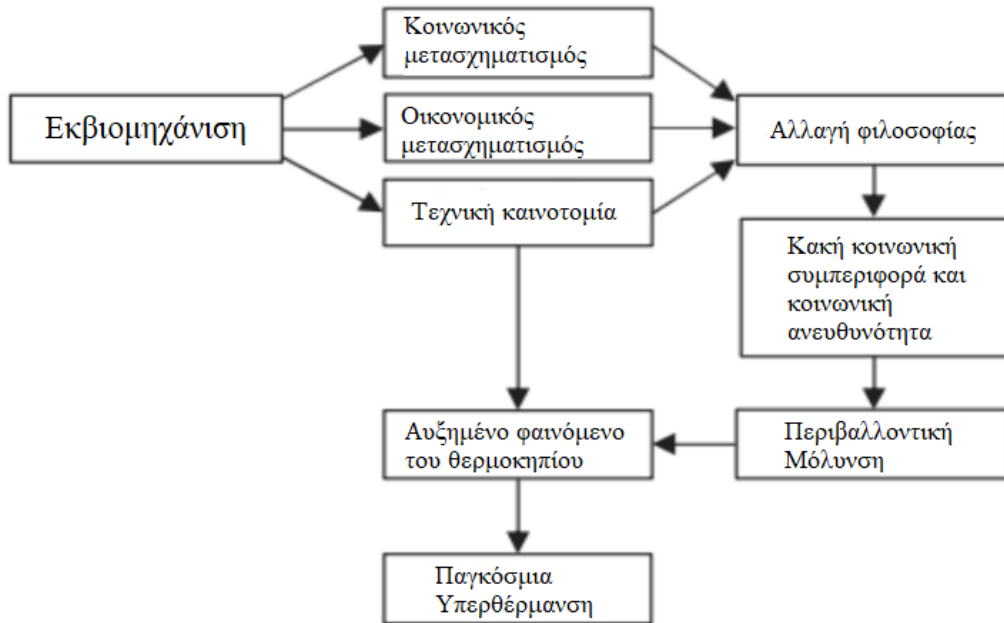
Το 1750, υπήρχαν 280 ppm διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αλλά μέχρι το 2005, τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα είχαν αυξηθεί στα 380 ppm, μια αύξηση πάνω από το ένα τρίτο. Και μεγάλο μέρος αυτής της αύξησης συνέβη τα τελευταία χρόνια, από το 1959, καθώς η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας έχει επεκταθεί δραματικά. Οι Ηνωμένες Πολιτείες είναι υπεύθυνες για σχεδόν το ένα τέταρτο των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η Κίνα είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπής αερίων. Άλλες χώρες με υψηλές εκπομπές περιλαμβάνουν μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ οι χαμηλότερες εκπομπές προέρχονται από διάφορα έθνη της Αφρικής.

Η κύρια πηγή εκπομπών θερμοκηπίου που παράγονται από τον άνθρωπο είναι η χρήση ορυκτών καυσίμων για τη βιομηχανία ενέργειας, τις μεταφορές, τη θέρμανση του σπιτιού, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το μαγείρεμα. Ωστόσο, οι εκπομπές άνθρακα αυξάνονται επίσης όταν τα δάση που απορροφούν άνθρακα κόβονται για να ανοίξουν χώρο για τις ανθρώπινες εξελίξεις και οι δασικές εκτάσεις, τα λιβάδια και τα λιβάδια μετατρέπονται σε γεωργικές εκτάσεις για τη γεωργία. Όπως εξηγεί ο καθηγητής γεωγραφίας Michael Pidwirny, «*τα αγροτικά οικοσυστήματα μπορούν να χωρέσουν 20 έως 100 φορές περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα ανά μονάδα επιφάνειας από τα γεωργικά συστήματα*». Μαζί, αυτές οι ανθρώπινες δραστηριότητες πιστεύεται ότι αντιπροσωπεύουν τουλάχιστον το

28% των συνολικών εκπομπών θερμοκηπίου της Γης, με το υπόλοιπο να παράγεται από φυσικές πηγές.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη αυξήθηκε σταδιακά λόγω των αερίων του θερμοκηπίου. Μπορεί να ταυτοποιηθεί αυτά τα αέρια όπως διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), μεθάνιο (CH_4), οξείδιο του αζώτου (N_2O), υδροφθοράνθρακες (HFC), υπερφθοράνθρακες (P.F.C.s), εξαφθοριούχο θείο (SF_6) και υδρατμοί. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως προαναφέρθηκε, είναι ένα φυσικό φαινόμενο. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η εκβιομηχάνιση οδηγούν σε υπερθέρμανση του πλανήτη και συνακόλουθες ανωμαλίες στην τοπική θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, τις βροχοπτώσεις, την υγρασία του εδάφους και το επίπεδο της θάλασσας. Μελέτες που αποκαλύπτουν τον ωκεανό έχουν μεγάλη συμβολή στον έλεγχο της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου, επειδή ο ωκεανός έχει μια αποθήκη διοξειδίου του άνθρακα και ελέγχει την κίνηση αυτού του αερίου προς και από την ατμόσφαιρα. Αυτό σημαίνει ότι ο ωκεανός αντιπροσωπεύει μια μεγάλη δεξαμενή για το CO_2 επειδή καλύπτει το 70% της επιφάνειας της γης. Ωστόσο, αυτό το φυσικό γεγονός γίνεται περιβαλλοντικό πρόβλημα λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι φυσικές ροές CO_2 μέσω της ατμόσφαιρας και οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η αποψίλωση των δασών απελευθερώνουν επίσης CO_2 στην ατμόσφαιρα.

Η βιομηχανική επανάσταση είχε διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου τους τελευταίους δύο αιώνες, επειδή οι ανθρώπινες δραστηριότητες οδήγησαν στη χρήση μηχανών και στη μηχανοποίηση διαδικασιών, οι οποίες παλαιότερα εκτελούνταν με το χέρι. Έτσι, οι τεχνολογικές καινοτομίες, η ταχεία μεταφορά οικονομιών, οι εδαφικές επεκτάσεις, η άνευ προηγουμένου αύξηση του πληθυσμού, η έκτακτη ανάγκη των αστικών περιοχών και ο μετασχηματισμός του παγκόσμιου επιστημονικού συστήματος οδηγούν στην αρχή της βιομηχανικής επανάστασης. Από τη βιομηχανική επανάσταση, οι άνθρωποι έχουν μεταναστεύσει κυρίως στις αστικές περιοχές και ως παρενέργεια, η αύξηση του πληθυσμού διευρύνεται γύρω από τις αστικές περιοχές. Εξαιτίας αυτού, οι γεωργικές, βιομηχανικές πρακτικές και η άντληση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα αυξάνονται τρομερά. Ως παρενέργεια, η αποψίλωση των δασών αυξάνεται λόγω της χρήσης γης για τη γεωργία και τις αστικές περιοχές, ενώ η καύση ορυκτών καυσίμων αυξάνεται για την επίτευξη ενεργειακών απαιτήσεων. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τη σύνδεση μεταξύ της εκβιομηχάνισης, της κοινωνικής συμπεριφοράς και της κλιματικής αλλαγής.



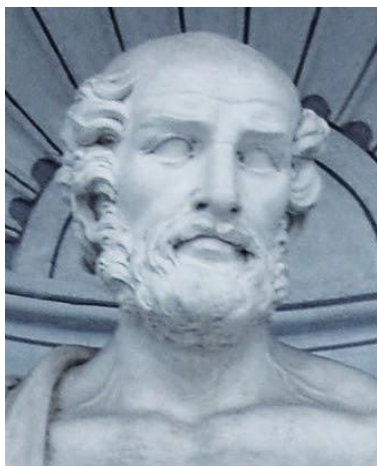
Εικόνα 3.2: Σύνδεση εκβιομηχάνισης - κοινωνικής συμπεριφοράς - υπερθέρμανσης του πλανήτη

Κεφάλαιο 4: Επιστήμη Κλιματικής Αλλαγής

Σε αυτό το κεφάλαιο, μελετάται η σύντομη ιστορία της επιστήμης της κλιματικής αλλαγής, από τις πρώτες υποψίες - ανιχνεύσεις μέχρι τα σημαντικά γεγονότα της εξέλιξης της στην σύγχρονη εποχή.

4.1 Οι πρώτες υποψίες-ανιχνεύσεις της κλιματικής αλλαγής

Από την αρχαιότητα, οι άνθρωποι υποψιάζονταν ότι το κλίμα μιας περιοχής θα μπορούσε να αλλάξει με την πάροδο των αιώνων. Για παράδειγμα, ο Θεόφραστος, ένας μαθητής του Αριστοτέλη, είπε πώς η αποξήρανση των ελών είχε κάνει μια συγκεκριμένη τοποθεσία πιο επιρρεπή στον παγετό.. Οι μελετητές της Αναγέννησης και αργότερα είδαν ότι η αποψίλωση των δασών, η άρδευση και η βοσκή είχαν αλλάξει τα εδάφη γύρω από τη Μεσόγειο από την αρχαιότητα. θεώρησαν εύλογο ότι αυτές οι ανθρώπινες παρεμβάσεις είχαν επηρεάσει τον τοπικό καιρό. Ο Βιτρούβιος, τον πρώτο αιώνα π.Χ., έγραψε για το κλίμα σε σχέση με την αρχιτεκτονική των κατοικιών και τον τρόπο επιλογής τοποθεσιών για πόλεις.



Εικόνα 4.1: Προτομή του Θεόφραστου

Η μετατροπή του 18ου και του 19ου αιώνα της Ανατολικής Βόρειας Αμερικής από δάσος σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις έφερε προτοφανείς αλλαγές στην ανθρώπινη ζωή. Από τις αρχές του 19ου αιώνα, πολλοί πίστευαν ότι ο μετασχηματισμός άλλαξε το κλίμα της περιοχής — πιθανώς προς το καλύτερο. Όταν οι αγρότες στην Αμερική, που ονομάστηκαν «sodbusters»,

κατέλαβαν τις Μεγάλες Πεδιάδες, υποστήριξαν ότι «η βροχή ακολουθεί το άροτρο» και θα μπορούσε ακόμη και να οδηγήσει σε μειωμένη βροχόπτωση. Οι Ευρωπαίοι ακαδημαϊκοί, πεπεισμένοι για την ανωτερότητα του πολιτισμού τους, δήλωσαν ότι οι Ανατολίτες της Αρχαίας Εγγύς Ανατολής μετέτρεψαν απρόσεκτα τα άλλοτε πλούσια εδάφη τους σε εξαθλιωμένες ερήμους.

Εν τω μεταξύ, οι εθνικές μετεωρολογικές υπηρεσίες είχαν αρχίσει να συντάσσουν μάζες αξιόπιστων παρατηρήσεων για τη θερμοκρασία, τις βροχοπτώσεις και τα παρόμοια. Όταν αναλύθηκαν αυτά τα στοιχεία, έδειξαν πολλές αυξήσεις και πτώσεις, αλλά όχι σταθερή μακροπρόθεσμη αλλαγή. Μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα, η επιστημονική γνώμη είχε στραφεί αποφασιστικά ενάντια σε κάθε πίστη στην ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα. Και όποιες κι αν ήταν οι περιφερειακές επιπτώσεις, λίγοι φαντάζονταν ότι οι άνθρωποι θα μπορούσαν να επηρεάσουν το κλίμα του πλανήτη συνολικά.

Το 1896 ο Σβάντε Αρρένιους χρησιμοποίησε τις παρατηρήσεις του Λάνγκλεϋ σχετικά με την αυξημένη υπέρυθη απορρόφηση, όπου οι ακτίνες της Σελήνης περνούν από την ατμόσφαιρα σε χαμηλή γωνία, έρχοντας σε επαφή με περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), για να εκτιμήσει το αποτέλεσμα ψύξης στην ατμόσφαιρα από μια μελλοντική μείωση CO₂. Συνειδητοποίησε ότι η ψυχρότερη ατμόσφαιρα θα συγκρατούσε λιγότερους υδρατμούς (ένα άλλο αέριο θερμοκηπίου) και υπολόγισε το πρόσθετο αποτέλεσμα ψύξης. Κατάλαβε επίσης ότι η ψύξη θα αύξανε το χιόνι και την κάλυψη πάγου σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, κάνοντας τον πλανήτη να αντανακλά περισσότερο φως του ήλιου και επομένως να κρυώσει περαιτέρω, όπως είχε υποθέσει ο Κρολ. Συνολικά, ο Αρρένιους υπολόγισε ότι η μείωση του CO₂ στο μισό θα αρκούσε για να προκαλέσει την εποχή του παγετώνα. Υπολόγισε περαιτέρω ότι ο διπλασιασμός του ατμοσφαιρικού CO₂ θα προκαλούσε συνολική θέρμανση 5-6 βαθμών Κελσίου.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1890, ο Σάμιουελ Λάνγκλεϊ μαζί με τον Φρανκ Βέρνι είχαν προσπαθήσει να προσδιορίσουν την επιφανειακή θερμοκρασία της Σελήνης μετρώντας την υπέρυθη ακτινοβολία που έφτανε από τη Σελήνη και έφτανε στη Γη. Με βάση τη γωνία της Σελήνης και τις μετρήσεις καθόρισαν πόσο CO₂ και υδρατμούς έπρεπε να περάσει η ακτινοβολία της Σελήνης για να φτάσει στην επιφάνεια της Γης, και διαπίστωσαν ότι ήταν λιγότερες οι ποσότητες όταν η Σελήνη ήταν χαμηλά στον ουρανό. Αυτό το αποτέλεσμα δεν προήλθε ως έκπληξη δεδομένου ότι ήταν γνωστή η απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας για δεκαετίες.

Επιπλέον, ο συνάδελφος του Αρρένιους Άρβιντ Χόγκμπομ προσπάθησε να ποσοτικοποιήσει τις φυσικές πηγές εκπομπών CO₂ για να κατανοήσει τον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα. Διαπίστωσε ότι η εκτιμώμενη παραγωγή άνθρακα από βιομηχανικές πηγές τη δεκαετία του 1890 (κυρίως καύση γαιάνθρακα) ήταν συγκρίσιμη με τις φυσικές πηγές. Ο Αρρένιους κατάλαβε ότι αυτή η ανθρώπινη εκπομπή άνθρακα θα οδηγούσε τελικά σε θέρμανση. Ωστόσο, λόγω του σχετικά χαμηλού ρυθμού παραγωγής CO₂ το 1896, πίστευε ότι η θέρμανση θα χρειαζόταν χιλιάδες χρόνια και περίμενε ότι θα ήταν επωφελής για την ανθρωπότητα.

Το 1899 ο Τόμας Τσάμπερλιν ανέπτυξε εκτενώς την ιδέα ότι οι αλλαγές στο κλίμα θα μπορούσαν να προκύψουν από αλλαγές στη συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα. Ο όρος «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για αυτήν την αύξηση της θερμοκρασίας ειπώθηκε από τον Τζον Πόντινγκ το 1909, πάνω στη συζήτηση για την επίδραση της ατμόσφαιρας στη θερμοκρασία της Γης και του Άρη.

4.2 Γένεση της επιστήμης της κλιματικής αλλαγής

Στις αρχές της δεκαετίας του 1970, το γεγονός ότι τα αεροζόλ αυξάνονταν παγκοσμίως και η παγκόσμια σειρά θερμοκρασιών έδειχνε ψύξη ενθάρρυνε τον Ρίντ Μπράισον και μερικούς άλλους ερευνητές να προειδοποιήσουν για την πιθανότητα σοβαρής ψύξης. Οι ανησυχίες αυτές ξεκίνησαν ένα νέο κύμα έρευνας για τους παράγοντες αυτής της παγκόσμιας ψύξης. Εν τω μεταξύ, τα νεότερα στοιχεία ότι η απαρχή των εποχών των παγετώνων καθορίστηκε από προβλέψιμους τροχιακούς κύκλους, υποδήλωναν ότι το κλίμα σταδιακά θα κρυώσει για χιλιάδες χρόνια. Αρκετές ομάδες επιστημόνων από αυτή τη χρονική περίοδο κατέληγαν στο συμπέρασμα ότι χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να προσδιοριστεί εάν ήταν πιθανή η θέρμανση ή η ψύξη, υποδεικνύοντας ότι δεν υπήρχε ακόμα συναίνεση. Ωστόσο, σε μια ανασκόπηση της επιστημονικής βιβλιογραφίας από το 1965 έως το 1979 υπήρχαν 7 άρθρα που προέβλεπαν την ψύξη και 44 που προέβλεπαν τη θέρμανση (ενώ πολλά άλλα άρθρα ήταν ουδέτερα). Η έρευνα για τη θέρμανση και τα αέρια του θερμοκηπίου ήταν πολύ περισσότερη, με σχεδόν 6 φορές περισσότερες μελέτες να προβλέπουν τη θέρμανση από την πρόβλεψη της ψύξης, υποδηλώνοντας ότι η ανησυχία μεταξύ των επιστημόνων ήταν σε μεγάλο βαθμό η υπερθέρμανση καθώς έστρεψαν την προσοχή τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Ο Τζον Σόγιερ δημοσίευσε τη μελέτη *Man-made Carbon Dioxide and the "Greenhouse" Effect* το 1972. Αναφερόταν περιληπτικά στη γνώση της επιστήμης εκείνη την εποχή, στην ανθρωπογενή απόδοση των αερίων του θερμοκηπίου, ευρήματα που εξακολουθούν να ισχύουν μέχρι σήμερα. Επιπλέον, προέβλεψε με ακρίβεια το ποσοστό της υπερθέρμανσης του πλανήτη για την περίοδο μεταξύ 1972 και 2000.

Μέχρι το 1975, οι Μάναμπι και Γουέδερλαντ είχαν αναπτύξει ένα τρισδιάστατο μοντέλο παγκόσμιου κλίματος που έδωσε μια σχεδόν ακριβή αναπαράσταση του τρέχοντος κλίματος. Ο διπλασιασμός του CO₂ στην ατμόσφαιρα του μοντέλου έδωσε περίπου 2°C αύξηση στην παγκόσμια θερμοκρασία. Αρκετά άλλα είδη υπολογιστικών μοντέλων έδωσαν παρόμοια αποτελέσματα: δεν υπήρχε μοντέλο που να έδινε κάτι που έμοιαζε με το πραγματικό κλίμα και να μην έχει αύξηση της θερμοκρασίας με την αύξηση της συγκέντρωσης CO₂.

Η Παγκόσμια Διάσκεψη για το Κλίμα το 1979 (12 έως 23 Φεβρουαρίου) του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού κατέληξε στο συμπέρασμα «φαίνεται εύλογο ότι μια αυξημένη ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα μπορεί να συμβάλει στη σταδιακή θέρμανση της χαμηλότερης ατμόσφαιρας, ειδικά σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη [...] Είναι πιθανό κάποια αποτελέσματα σε περιφερειακή και παγκόσμια κλίμακα να είναι ανιχνεύσιμα πριν από το τέλος αυτού του αιώνα και να γίνουν σημαντικά πριν από τα μέσα του επόμενου αιώνα».

Τον Ιούλιο του 1979, το Εθνικό Συμβούλιο Έρευνας των Ηνωμένων Πολιτειών δημοσίευσε μια έκθεση καταλήγοντας (εν μέρει): «Όταν υποτίθεται ότι το περιεχόμενο του CO₂ στην ατμόσφαιρα διπλασιάζεται και επιτυγχάνεται στατιστική θερμική ισορροπία, οι πιο ρεαλιστικές προσπάθειες μοντελοποίησης προβλέπουν μια υπερθέρμανση του πλανήτη μεταξύ 2°C και 3,5°C, με μεγαλύτερες αυξήσεις σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη. [...] Έχουμε δοκιμάσει, αλλά δεν μπορέσαμε να βρούμε υποτιμημένες φυσικές επιδράσεις, οι οποίες θα μπορούσαν να μειώσουν την τρέχουσα εκτιμώμενη υπερθέρμανση του πλανήτη, λόγω του διπλασιασμού του ατμοσφαιρικού CO₂, σε αμελητέες ποσότητες ή να τις αντιστρέψουν πλήρως.»

4.3 Η επιστήμη της κλιματικής αλλαγής, 1982 μέχρι σήμερα

Το 1973 αναφέρθηκε ότι οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Το 1975 ο Τζέιμς Λόβλοκ διαπίστωσε ότι ένα μόριο CFC

θα μπορούσε να είναι 10.000 φορές πιο αποτελεσματικό στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα, καθιστώντας τους CFC δυνητικά σημαντικούς παρά τις πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις τους στην ατμόσφαιρα. Ενώ οι περισσότερες πρώιμες εργασίες για τους CFC επικεντρώθηκαν στον ρόλο τους στην εξάντληση του όζοντος, το 1985 ο Ραμανθάν απέδειξε ότι οι CFC μαζί με το μεθάνιο και άλλα ιχνοστοιχεία θα μπορούσαν να έχουν σχεδόν εξίσου σημαντική κλιματική επίδραση με τις αυξήσεις του CO₂. Με άλλα λόγια, η υπερθέρμανση του πλανήτη φαινόταν να πλησιάζει σε πολύ πιο σύντομο χρονικό διάστημα από ό,τι αρχικά πίστευαν.

Το 1985, σε μια κοινή διάσκεψη τριών βασικών οργανισμών (UNEP / WMO / ICSU) προέκυψε ως συμπέρασμα ότι τα αέρια του θερμοκηπίου αναμένεται να προκαλέσουν σημαντική άνοδο της θερμοκρασίας τον επόμενο αιώνα και ότι κάποιου είδους άνοδος είναι αναπόφευκτη.

Τον Ιούνιο του 1988, ο Τζέιμς Χάνσεν έκανε μια από τις πρώτες εκτιμήσεις ότι η αυξανόμενη θέρμανση που προκλήθηκε από την ανθρώπινη δράση είχε ήδη επηρεάσει μετρίως το παγκόσμιο κλίμα. Λίγο αργότερα, σε ένα παγκόσμιο συνέδριο, το οποίο συγκέντρωσε εκατοντάδες επιστήμονες στο Τορόντο, προέκυψε ως συμπέρασμα ότι οι αλλαγές στην ατμόσφαιρα λόγω της ανθρώπινης ρύπανσης αντιπροσωπεύουν μια σημαντική απειλή για τη διεθνή ασφάλεια και έχουν ήδη βλαβερές συνέπειες σε πολλά μέρη του πλανήτη, ενώ θα ήταν θεμιτό αν ως το 2005 η ανθρωπότητα κατάφερνε να μειώσει τις εκπομπές κατά περίπου 20% κάτω του επιπέδου του 1988.

Τη δεκαετία του 1980 σημειώθηκε σημαντική πρόοδος κατά των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η τρύπα του όζοντος μετριάστηκε από τη Σύμβαση της Βιέννης (1985) και το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987). Η όξινη βροχή ρυθμίστηκε κυρίως σε εθνικό και περιφερειακό επίπεδο.

Το 1988, ο Παγκόσμιος Μετεωρολογικός Οργανισμός δημιούργησε τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) με την υποστήριξη των Ηνωμένων Εθνών. Η IPCC συνεχίζει το έργο της μέχρι σήμερα, και εκδίδει μια σειρά εκθέσεων αξιολόγησης και συμπληρωματικών εκθέσεων που περιγράφουν την κατάσταση της επιστημονικής κατανόησης τη στιγμή που η κάθε έκθεση προετοιμάζεται. Οι επιστημονικές εξελίξεις κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου συνοψίζονται περίπου μία φορά κάθε πέντε έως έξι χρόνια στις εκθέσεις αξιολόγησης της IPCC που δημοσιεύονται κατά σειρά το 1990 (πρώτη έκθεση

αξιολόγησης), 1995 (δεύτερη έκθεση αξιολόγησης), 2001 (τρίτη έκθεση αξιολόγησης), 2007 (τέταρτη έκθεση αξιολόγησης) και 2013/2014 (πέμπτη έκθεση αξιολόγησης).

Από τη δεκαετία του 1990, η έρευνα για την κλιματική αλλαγή έχει επεκταθεί και αναπτυχθεί, συνδέοντας πολλούς τομείς όπως οι ατμοσφαιρικές επιστήμες, η αριθμητική μοντελοποίηση, οι επιστήμες συμπεριφοράς, η γεωλογία, η οικονομία και η ανθρώπινη ασφάλεια.

Κεφάλαιο 5: Κλιματική αλλαγή στη Μεσόγειο τα τελευταία χρόνια

5.1 Μεσόγειος

Η περιοχή της Μεσογείου είναι μια περιοχή που διαρκώς εξελίσσεται και μεταβάλλεται λόγω της ανθρώπινης επίδρασης, είτε αναφερόμαστε στην ανθρωπογενή μεταβολή του φυσικού περιβάλλοντος, την διαρκή αύξηση του πληθυσμού και την επέκταση της βιομηχανίας, ή τη συνεχή ανάπτυξη των παράκτιων πόλεων. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται από τον τουρισμό που προσελκύουν οι ελκυστικές παράλιες περιοχές της Μεσογείου.

Η Μεσόγειος Θάλασσα εξακολουθεί να αποτελεί σημαντικό ταξιδιωτικό και εμπορικό πέρασμα, αν και οι Μεσογειακές χώρες διαφέρουν πολύ σε οικονομικό επίπεδο αλλά και όσον αφορά την κοινωνική ανάπτυξη. Παρά το γεγονός ότι οι χώρες της νότιας ακτής της Μεσογείου έχουν κάνει εξαιρετική αναπτυξιακή πρόοδο, εξακολουθούν να υπάρχουν έντονες διαφορές ανάμεσα στη βόρεια και νότια ακτή και προβλήματα όπως άνιση κατανομή των πόρων, μαζικές μεταναστεύσεις και συγκρούσεις.

Η Λεκάνη της Μεσογείου χαρακτηρίζεται για τον πλούτο και τη διαφορετικότητα των τοπίων της, που έχουν φάσμα από υποτροπικές ερήμους μέχρι εύκρατες περιοχές. Διαθέτει πλούσια βιοποικιλότητα, μιας και η Θάλασσα της φιλοξενεί το 4% με 18% όλων των αναγνωρισμένων θαλάσσιων ειδών, κάτι που είναι σημαντικό δεδομένου του ότι η Μεσόγειος Θάλασσα καλύπτει μόλις το 0,82% της παγκόσμιας επιφάνειας των ωκεανών.

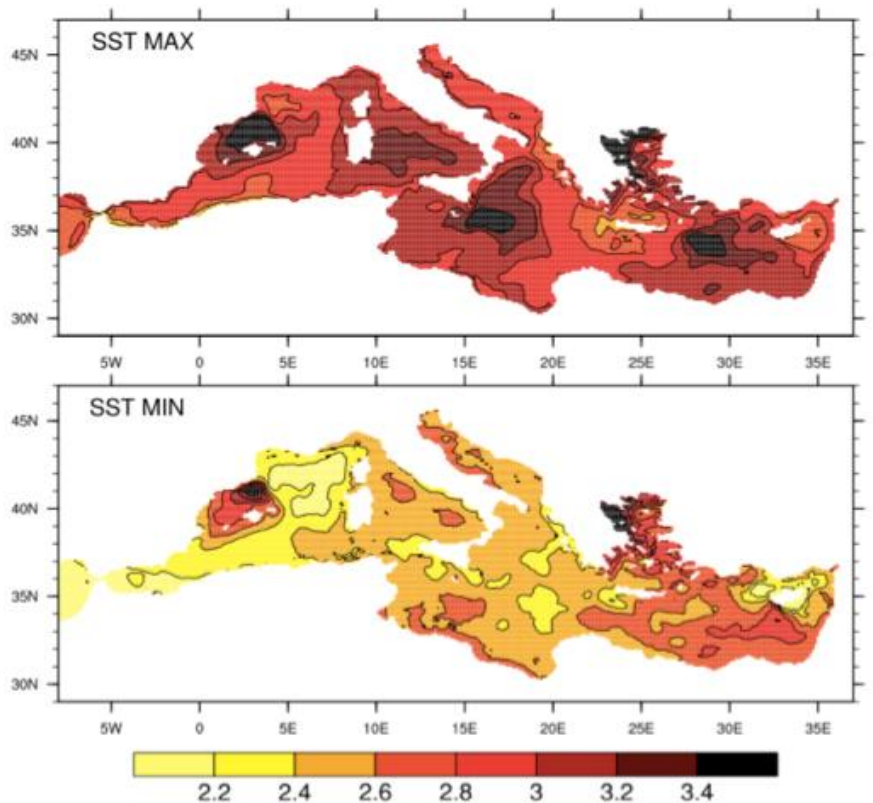
Είναι γνωστό πως η βιοποικιλότητα αυτή απειλείται από τα αποτελέσματα της ανθρωπογενούς επίδρασης στην περιοχή. Επιπλέον, η περιοχή της Μεσογείου εκτίθεται σε διάφορους φυσικούς κινδύνους, όπως σεισμούς, εκρήξεις ηφαιστείων, πλημμύρες, πυρκαγιές ή ξηρασία, φυσικά φαινόμενα που η κλιματική αλλαγή έχει καταστήσει περισσότερο επικίνδυνα και απρόβλεπτα. Κρίνοντας με βάση τις παγκόσμιες προβλέψεις για την εξέλιξη της κλιματικής αλλαγής, έχει διαπιστωθεί πως η Λεκάνη της Μεσογείου ταξινομείται στις περιοχές που έχουν επηρεαστεί σημαντικά.

Οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες της περιοχής είναι τώρα 1,4° C υψηλότερες από την περίοδο 1880-1899, περίπου 0.4°C περισσότερο από το μέσο όρο των θερμοκρασιών που παρατηρούνται γενικά στον πλανήτη, ειδικά τους θερινούς μήνες. Ανάλογα με το κλίμα της κάθε περιοχής και την εποχή, αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας από 2 σε 6° C έως το 2100 στη Μεσόγειο. Τα γεγονότα υψηλής θερμοκρασίας και τα φαινόμενα καύσωνα είναι

πιθανό να γίνουν πιο συχνά ή/και πιο ακραία. Ακόμα και αν η μελλοντική υπερθέρμανση δεν ξεπεράσει τους 2°C, παραμένοντας έτσι εντός των ορίων-στόχων που θεσπίστηκαν με τη *Συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή*, συμφωνία στο πλαίσιο της Σύμβασης Πλαισίου των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή, που ασχολείται με την μείωση των εκπομπών αερίων, την προσαρμογή και τις οικονομικές της λεπτομέρειες, οι θερινές βροχοπτώσεις κινδυνεύουν να μειωθούν περίπου 10 με 30% σε κάποιες περιοχές, χειροτερεύοντας έτσι υπάρχουσες περιπτώσεις λειψυδρίας και μειώνοντας τη γεωργική παραγωγή, ειδικά σε νοτιότερες χώρες.

Την περίοδο 1945-2000 η στάθμη της Θάλασσας της Μεσογείου γνώρισε άνοδο με ρυθμό $0,7 \pm 0,2\text{mm}/\text{έτος}$. Η άνοδος της στάθμης κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες εκτιμήθηκε στα περίπου 3 cm/δεκαετία. Η μελλοντική συνολική μέση άνοδος της στάθμης της θάλασσας στη Μεσόγειο εκτιμάται πως θα κυμαίνεται μεταξύ 9,8 και 25,6 εκατοστά έως το 2040-2050. Η άνοδος θερμοκρασίας της επιφάνειας της Θάλασσας της Μεσογείου υπολογίζεται σήμερα σε 0,4°C/δεκαετία για την περίοδο 1985-2006. Όσον αφορά τις προβλέψεις για το μέλλον, οι Βαλεαρίδες Νήσοι, το βορειοδυτικό Ιόνιο, το Αιγαίο και η Λεβαντική Θάλασσα έχουν προσδιοριστεί ως οι περιοχές που θα έχουν τη μεγαλύτερη αύξηση στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας. Η οξίνιση της Θάλασσας είναι ήδη ανιχνεύσιμη.

Αναλύσεις των μακροπρόθεσμων τάσεων στην εξεταζόμενη περιοχή δείχνουν πως οι ετήσιες μέσες συνθήκες τείνουν να είναι θερμότερες και ξηρότερες. Η συχνότητα και η ένταση των ξηρασιών έχουν αυξηθεί σημαντικά στη Μεσόγειο από το 1950. Η αύξηση της χρονικής διάρκειας της ξηρασίας είναι κάτι το αναμενόμενο και η μείωση των βροχοπτώσεων, ειδικά το καλοκαίρι και με σημαντικές διαφορές ανάλογα με την περιοχή.



Εικόνα 5.1 Προβλεπόμενες ελάχιστες και μέγιστες αλλαγές στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας για την περίοδο 2070-2099, σε σύγκριση με τα στοιχεία της περιόδου 1961-1990. Οι Βαlearίδες Νήσοι, το βορειοδυτικό Ιόνιο, το Αιγαίο και η Θάλασσα του Λεβάντε έχουν αναγνωριστεί ως οι περιοχές που θα έχουν τη μεγαλύτερη αύξηση στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας.

5.2 Ανάλυση επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο ανά κατηγορία

5.2.1 Ραδιενέργεια και σύννεφα

Τα μακροπρόθεσμα αρχεία ηλιακής ακτινοβολίας που πάρθηκαν σε ευρέως διαδεδομένες τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο δείχνουν πολυδεκαετικές παραλλαγές, που χαρακτηρίζονται με μείωση της επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας από την δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 1980, γνωστή και ως «παγκόσμια εξασθένηση». Αυτό το μοτίβο θαμπώματος/φωτεινότητας παρατηρείται επίσης στην περιοχή της Μεσογείου τόσο σε συνθήκες συννεφιάς αλλά και καθαρού ουρανού τεκμηριωμένο με πολλούς επίγειους τρόπους και δορυφόρους παρατήρησης μετά από προσεκτική αξιολόγηση της ποιότητας των δεδομένων και ομογενοποίηση, καθώς και προσομοιώσεις κλίματος. Η επιφανειακή ηλιακή

ακτινοβολία εκτιμάται σε προσομοιώσεις κλιματικού μοντέλου μεταξύ $-3,5$ και $-5,2 \text{ W m}^{-2}$ ανά δεκαετία για την περίοδο του 1953-1968, έναντι της περιόδου λάμψης μεταξύ $+0,9$ και $+4,6 \text{ W/m}^{-2}$ ανά δεκαετία σε 1989-2004 και $2,3 \text{ W m}^{-2}$ ανά δεκαετία το 1980-2012.

Μείωση της κάλυψης νέφους του $0,63\%$ ανά δεκαετία από τη δεκαετία του 1970 ήταν επίσης ανιχνεύσιμη από διαφορετικά σύνολα δεδομένων παρατηρήσεων στην Μεσογειακή περιοχή. Τα σύννεφα μπορεί επίσης να έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην προηγούμενη τάση μεταβολής της επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας, τουλάχιστον τοπικά. Πιο δυνατές θετικές τάσεις ανιχνεύονται στην επιφανειακή ηλιακή ακτινοβολία την άνοιξη στη λεκάνη της δυτικής Μεσογείου, κάτι το οποίο εξηγείται από τη μείωση του οπτικού βάρους του νέφους για αυτήν την εποχή πάνω από αυτή τη λεκάνη. Παρά τη μέση θετική τάση μεταβολής της επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας που παρατηρείται πάνω από την ανατολική λεκάνη, υπάρχει μεγαλύτερη αβεβαιότητα λόγω της έλλειψης παρατηρήσεων τόσο των νεφών όσο και των αερολυμάτων.

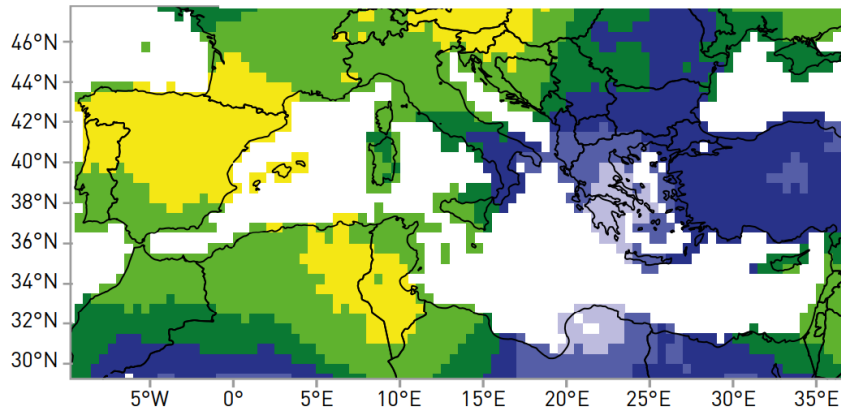
5.2.2 Θερμοκρασία

Η ηλιακή ισχύς και οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις έχουν παρατηρηθεί να έχουν ισχυρή επίδραση στη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας της Μεσογείου τους τελευταίους αιώνες. Μια μελέτη της θερμοκρασίας του καλοκαιριού από τη ρωμαϊκή εποχή δείχνει ότι η μέση θερμοκρασία στην Ευρώπη του 20ου αιώνα (συμπεριλαμβανομένου του βόρειου τμήματος της λεκάνης της Μεσογείου) δεν ήταν σημαντικά ανεβασμένη σε σύγκριση με τη θερμοκρασία από μερικούς προηγούμενους αιώνες. Οι πρόσφατες κλιματικές τάσεις είναι σαφείς, ιδιαίτερα μετά τη δεκαετία του 1980. Τις τελευταίες δεκαετίες, σύμφωνα με διαφορετικούς τύπους παρατηρήσεων, έχουν εντοπιστεί σημαντικές ανοδικές τάσεις της τάξης των $0,1-0,5^\circ\text{C}$ ανά δεκαετία. Επιπλέον, για τμήματα της Μεσογειακής λεκάνης, υπάρχουν κάποιες ενδείξεις ότι το εύρος της ημερήσιας θερμοκρασίας έχει επίσης αλλάξει.

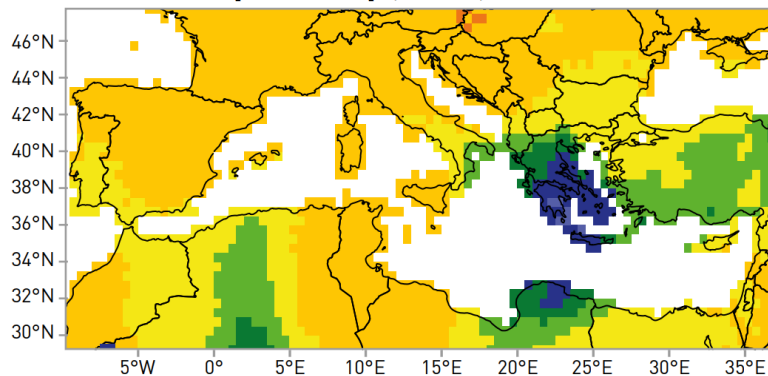
Εκτός από τις μέσες τιμές, τα ακραία θερμά και ψυχρά έχουν γίνει επίσης θερμότερα, ενώ συγκεκριμένα υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι τα κύματα καύσωνα έχουν γίνει πιο συχνά και σοβαρά. Διάφοροι κλιματικοί δείκτες δείχνουν σημαντικές αυξητικές τάσεις των χαρακτηριστικών συμβάντων ακραίας ζέστης (π.χ. διάρκεια, συχνότητα και ένταση). Ο αριθμός των ζεστών και τροπικών νυχτών έχει επίσης αυξηθεί στις περισσότερες χώρες της Μεσογείου, όπως η Ιβηρική, η βόρεια Αφρική, η Ιταλία, η Μάλτα, η Ελλάδα, η Ανατολία και το Λεβάντε. Ορισμένα τμήματα της περιοχής της Μεσογείου επηρεάστηκαν από μερικά από τα πιο σοβαρά καιρικά φαινόμενα που έσπασαν τα ρεκόρ της τελευταίας δεκαετίας, που

σχετίζονται κυρίως με τις ακραίες ζέστες του καλοκαιριού. Παρακάτω θα δούμε τις αλλαγές των προβλέψεων στις ετήσιες τάσης αλλαγής θερμοκρασίας από το 1901 μέχρι και σήμερα ανά χρονολογίες.

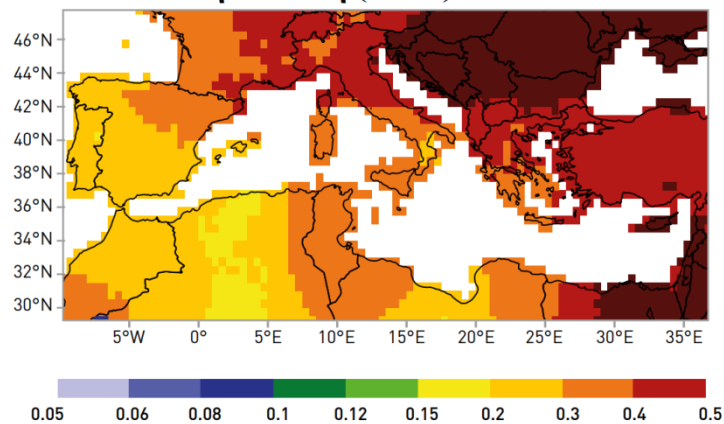
Ετήσια τάση (°C 10) 1901 - 2018



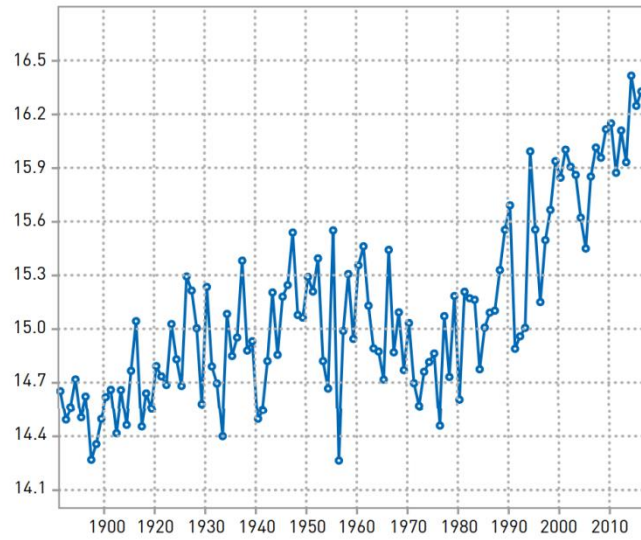
Ετήσια τάση (°C 10) 1950 - 2018



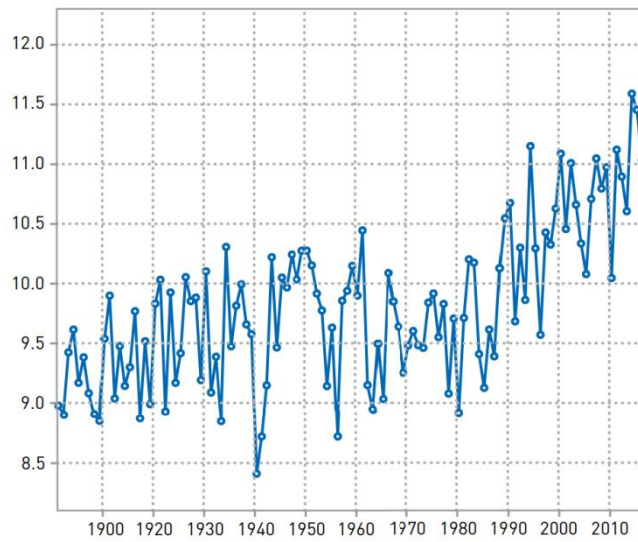
Ετήσια τάση (°C 10) 1980 - 2018



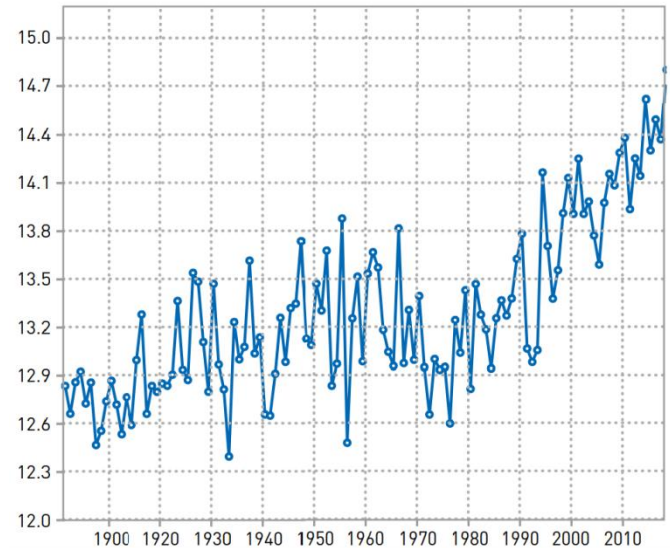
Εικόνες 5.2, 5.3, 5.4: Προβλέψεις τάσης αλλαγής της θερμοκρασίας το 1901, 1950, 1980



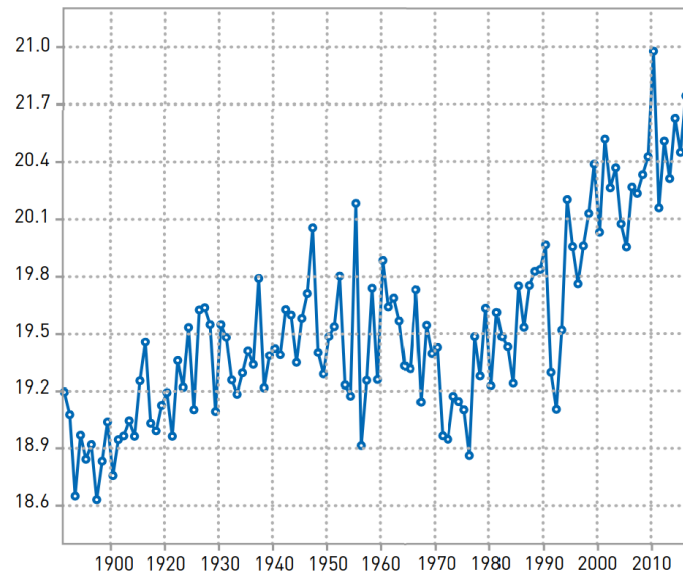
Γράφημα 5.1: Μέση ετήσια θερμοκρασία Λεκάνης της Μεσογείου



Γράφημα 5.2: Μέση ετήσια θερμοκρασία Βόρειας Μεσογείου



Γράφημα 5.3: Μέση ετήσια θερμοκρασία Κεντρικής Μεσογείου



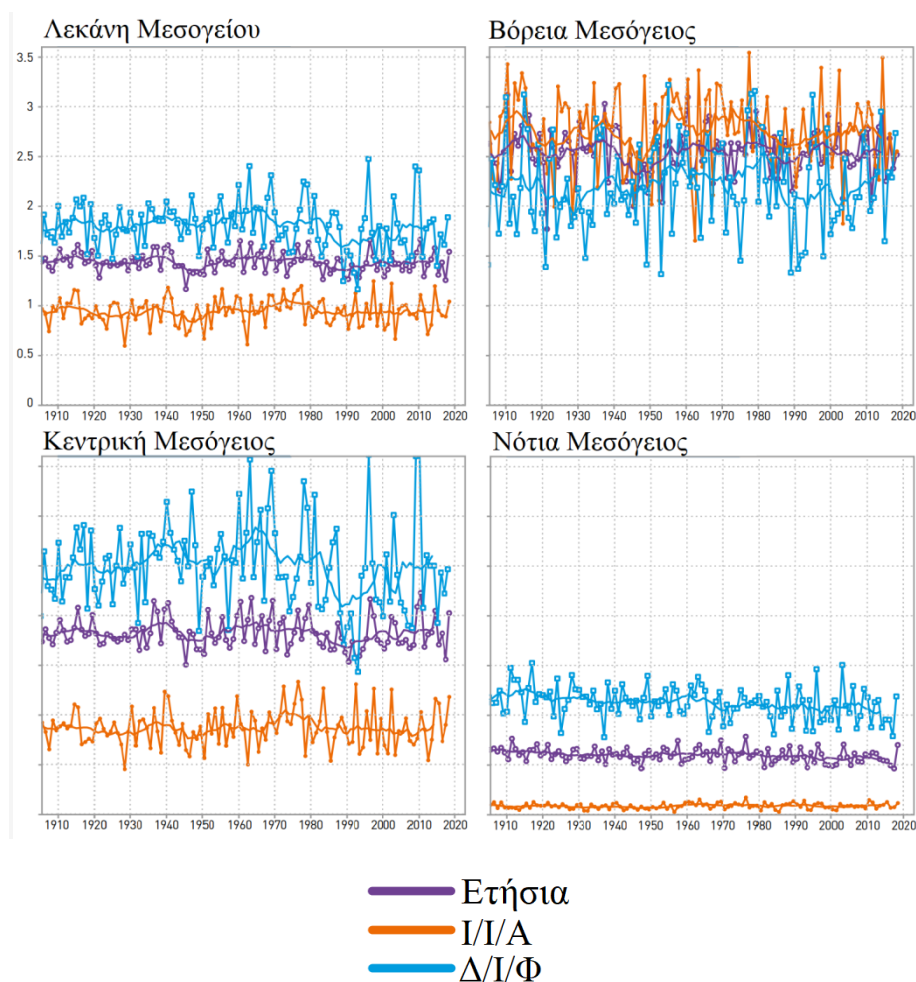
Γράφημα 5.4: Μέση ετήσια θερμοκρασία Νότιας Μεσογείου

5.2.3 Βροχόπτωση/Κατακρήμνιση

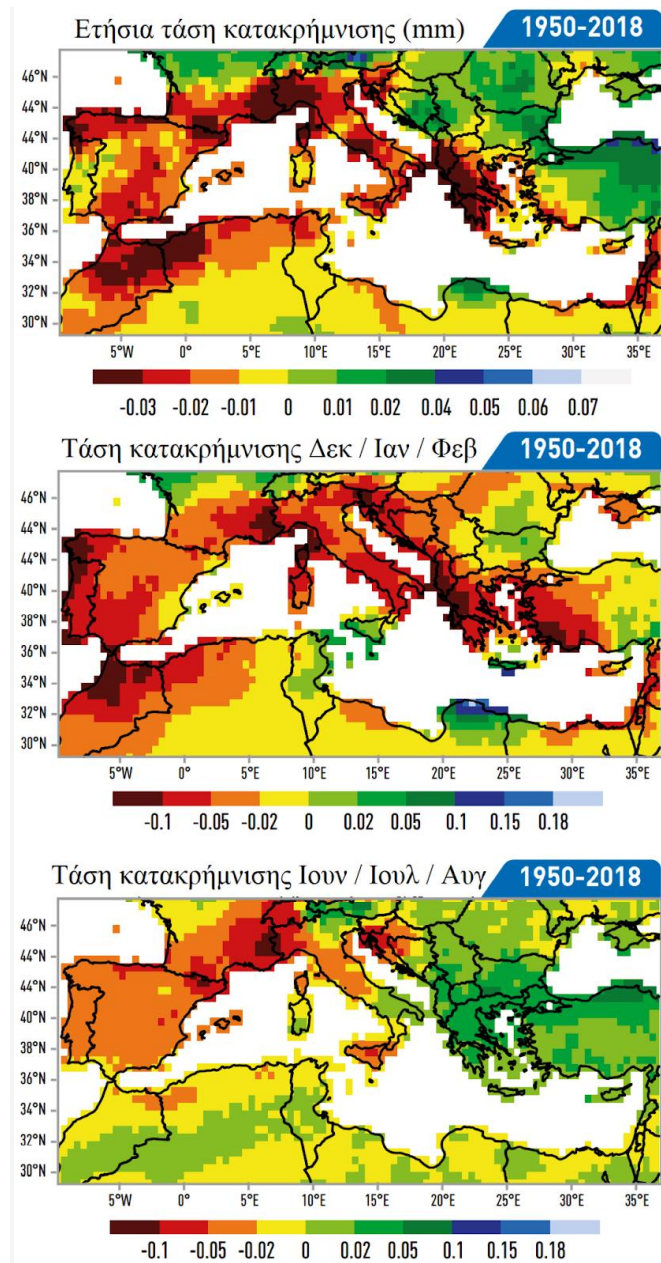
Οι παρατηρούμενες τάσεις μεταβολής βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια ή σε τμήματα του 20ου αιώνα μέχρι σήμερα, που καλύπτουν ολόκληρη ή τμήματα της λεκάνης της Μεσογείου, είναι διαθέσιμες σε πλέγμα από διάφορες πηγές.

Η παρατηρούμενη τάση βροχόπτωσης παρουσιάζει έντονη χωρική μεταβλητότητα και εξαρτάται από τη χρονική περίοδο και την εξεταζόμενη εποχή. Για παράδειγμα, η περίοδος 1950-2018 δείχνει μια επικρατούσα πτωτική τάση στο μεγαλύτερο μέρος της Μεσογειακής Λεκάνης των ετήσιων και χειμερινών βροχοπτώσεων, η οποία αντιστρέφεται σε μεγάλα τμήματα της λεκάνης αν λάβουμε υπόψη μόνο την περίοδο 1980-2018. Αυτό οφείλεται στην αξιοσημείωτη πολυδεκαετή μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων στη Μεσόγειο, η οποία μπορεί να κρύψει τις τάσεις που προκαλούνται από τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

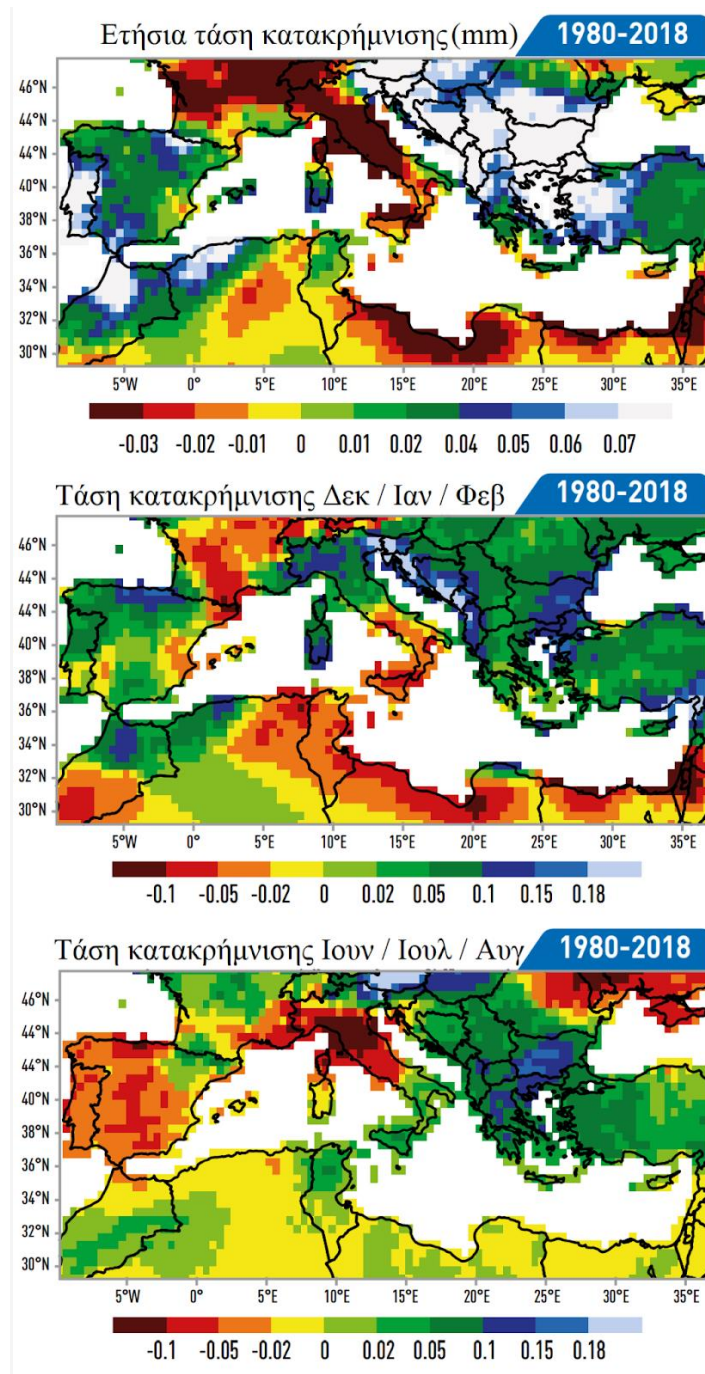
Η πιο εμφανής μεταβολή είναι η μείωση των χειμερινών βροχοπτώσεων στο κεντρικό και νότιο τμήμα της λεκάνης από το δεύτερο μισό του 20ού αιώνα.



Γραφήματα 5.5, 5.6, 5.7, 5.8: Ετήσιος/Μηνιαίος Μέσος Όρος Κατακρήμισης κατά τα χρόνια



Εικόνα 5.5: Ετήσια και μηνιαία πρόβλεψη τάσεων κατακρήμνισης / βροχόπτωσης 1950 – 2018



Εικόνα 5.6: τήσια και μηνιαία πρόβλεψη τάσεων κατακρήμισης / βροχόπτωσης 1980 – 2018

5.2.4 Εξάτμιση, απώλειες νερού σε θάλασσα και γη

Η εξάτμιση στη Μεσόγειο δεν προκαλεί μόνο υγρασία τοπικά, αλλά έχει επίσης ως αποτέλεσμα μια καθαρή εξαγωγή νερού σε γειτονικές περιοχές, κυρίως νότια και ανατολικά. Η Μεσόγειος Θάλασσα είναι η κυρίαρχη περιφερειακή πηγή εξάτμισης και οι αλλαγές στην εξάτμιση της Μεσογείου επηρεάζουν το θαλασσινό νερό, το αλάτι και την θερμότητα. Η μεγάλης κλίμακας εσωτερική μεταβλητότητα του κλίματος και η αναγκαστική παγκόσμια

αλλαγή από τα αέρια του θερμοκηπίου υπήρξαν οι κύριοι οδηγοί των αλλαγών της μεσογειακής εξάτμισης κατά τον 20ο αιώνα και τον 21ο αιώνα, ενώ οι τοπικές διαδικασίες έχουν δράσει για να ρυθμίσουν αυτές τις επιπτώσεις. Συνολικά, η καθαρή απώλεια επιφανειακών υδάτων έχει αυξηθεί στο μεγαλύτερο μέρος της επιφάνειας της Μεσογείου, κυρίως λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων την περίοδο 1960-1990 και της έντονης αύξησης της εξάτμισης από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 λόγω τοπικής θέρμανσης.

Η απόρριψη γλυκού νερού λόγω της απορροής του ποταμού έχει επίσης μειωθεί. Οι προβλεπόμενες περιφερειακές τάσεις μεταβολής θέρμανσης υποδηλώνουν συνεχιζόμενες αυξήσεις της εξάτμισης στη Μεσόγειο Θάλασσα, ξήρανση του εδάφους στις νότιες περιοχές κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και καθαρή περιφερειακή απώλεια νερού.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, υπάρχει μια σημαντική αύξηση της εξάτμισης (0,1-0,2 mm ημέρα/δεκαετία) με μια τάση προς υψηλότερους ρυθμούς αύξησης κατά τη δεκαετία του 1990. Μεγάλο μέρος της αύξησης της εξάτμισης από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 ήταν στις αρχές του χειμώνα, ειδικά στη Θάλασσα της Λιγουρίας, την Αδριατική Θάλασσα και τη νοτιοανατολική Μεσόγειο. Η αύξηση της εξάτμισης είχε ως αποτέλεσμα έναν ρυθμό αύξησης των ροών γλυκού νερού κατά την περίοδο 1979-2006 που εκτιμάται στο εύρος των 0,1-0,3 mm ημέρα/δεκαετία. Οι αυξήσεις στις θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας έχουν οδηγήσει πρωτίστως αυτές τις αλλαγές εξάτμισης μέσω αλλαγών στην κλίση της επιφανειακής υγρασίας. Ο εκτιμώμενος μεσογειακός μέσος ρυθμός μεταβολής της εξάτμισης σε σχέση με τη θέρμανση είναι περίπου 0,7 mm/ημέρα / K (ή 25% K) κατά την περίοδο 1958-2006.

Για τη στεριά που περιβάλλει τη Μεσόγειο Θάλασσα, οι προηγούμενες αλλαγές της εξατμισοδιαπνοής εξαρτώνται από την περιοχή και την εποχή και ακολουθούν σε μεγάλο βαθμό τις τάσεις βροχοπτώσεων, καθώς η διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας είναι πρωταρχικός περιοριστικός παράγοντας. Οι αυξανόμενοι περιορισμοί της υγρασίας του εδάφους φαίνεται ότι οδήγησαν την πρόσφατη παγκόσμια μείωση της εξατμισοδιαπνοής και τις αυξημένες τάσεις ξηρασίας στην περιοχή της Μεσογείου.

5.2.5 Κρυόσφαιρα

Μετά την κορύφωση της «Μικρής Παγετώδους Εποχής» που συζητήθηκε παραπάνω, η αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα οδήγησε σε δραματική μείωση της

έκτασης και του όγκου των παγετώνων στα ψηλά βουνά της Μεσογείου. Σύντομες αναστροφές παγετώνων παρατηρήθηκαν τις δεκαετίες 1890, 1920, 1970 και 1980. Ο ρυθμός αποπαγώνωσης γενικά επιταχύνθηκε τις τελευταίες δεκαετίες, αν και τα μοτίβα υποχώρησης των παγετώνων ήταν πολύπλοκα λόγω της ευαισθησίας τους σε διαφορετικά κλιματικά καθεστώτα. Καθώς ο παγετώνας υποχωρεί σε κυψελωτά τοιχώματα, κυριαρχείται περισσότερο από τοπικούς τοποκλιματικούς ελέγχους, ιδιαίτερα χιονοστιβάδες. Ωστόσο, έχει ήδη σημειωθεί πλήρης απώλεια παγετώνων σε ορισμένες οροσειρές χαμηλού γεωγραφικού πλάτους, συνοδευόμενη από μικρότερη διάρκεια εποχικής χιονοκάλυψης.

Η αύξηση της θερμοκρασίας οδήγησε σε μετατόπιση των περιπαγετωτικών διεργασιών σε υψηλότερα υψόμετρα καθώς και σε υποβάθμιση του μόνιμου παγετού των βουνών σε περιβάλλοντα με ψηλά βουνά. Στη δυτική και κεντρική Μεσόγειο, μόνιμα παγωμένο έδαφος βρίσκεται σπάνια κάτω από τα 2.500μ. Η ζώνη μόνιμου παγετού των Άλπεων ανιχνεύεται πάνω από 2.630 μέτρα στις βόρειες πλευρές και 2.800 μέτρα στις νότιες πλευρές και στα Πυρηναία, πάνω από 2.400 μέτρα στις νότιες Άλπεις, πάνω από ~2.350 μέτρα στο βουνό Ρίλα και ~2.700 μέτρα στον Όλυμπο και πάνω από 3.800 μέτρα στη βορειοανατολική Τουρκία και την κεντρική Ανατολία. Δεν υπάρχει ζώνη μόνιμου παγετού στα ψηλότερα βουνά της νότιας Ευρώπης (Σιέρα Νεβάδα) και της βόρειας Αφρικής (Άτλας), όπου μόνιμες συνθήκες εξαιρετικά χαμηλής θερμοκρασίας βρίσκονται μόνο με τη μορφή μεμονωμένων κηλίδων στα υψηλότερα υψόμετρα στα 3.000-3.100 μέτρα και στα 3.800 μέτρα, αντίστοιχα. Ορισμένες κλιματικές συνθήκες (δηλαδή μειωμένη χιονοκάλυψη) μπορούν να ευνοήσουν την παρουσία τμημάτων μόνιμου παγετού σε σχετικά χαμηλά υψόμετρα στα Κεντρικά Απέννινα ή από λιθολογικές συνθήκες (π.χ. ηφαιστειακά ιζήματα, καρστική λιθολογία), όπως ανιχνεύεται στο υψηλότερο ενεργό ευρωπαϊκό ηφαίστειο (Βουνό Αίτνα) σε υψόμετρα άνω των 2.900 μέτρων ή σε βουνά που κυριαρχούν από ασβεστόλιθο σε όλη τη Μεσόγειο.

5.2.6 Αλλαγές σε Θαλάσσια Ύδατα

Υπάρχουν πολλαπλές ενδείξεις ότι οι υδάτινες μάζες της Μεσογείου γίνονται θερμότερες και οι μάζες των βαθέων υδάτων πιο αλμυρές. Αυτός ο ισχυρισμός υποστηρίζεται τόσο από άμεσες μετρήσεις όσο και από αριθμητικές προσομοιώσεις. Από τη δεκαετία του 1980 η θερμοκρασία του ανώτερου στρώματος του νερού έχει αυξηθεί καθώς και η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, με επιτάχυνση από τη δεκαετία του 1990. Από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, ο ρυθμός θέρμανσης της επιφάνειας της θάλασσας κυμαίνεται μεταξύ

+0,29 και +0,44°C ανά δεκαετία κατά μέσο όρο σε ολόκληρη τη Μεσόγειο Θάλασσα, ανάλογα με την περίοδο μελέτης και τα σύνολα δεδομένων αναφοράς. Την περίοδο 2000-2017 σε σχέση με το 1980-1999, όλες οι περιοχές της Μεσογείου εμφανίζουν θετική ετήσια μέση ανωμαλία θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας τουλάχιστον +0,2°C. Η θέρμανση της επιφάνειας της θάλασσας δεν ήταν ομοιόμορφη, αλλά κυρίως διτροπική με ισχυρότερες τάσεις στην ανατολική λεκάνη, όπου ορισμένες περιοχές θερμάνθηκαν κατά +1,2°C. Τοπικά μέρη στη λεκάνη της θάλασσας της Λεβαντίνης έχουν θερμανθεί 50% πιο γρήγορα από τον μέσο όρο της Μεσογείου, ενώ ένα σημείο στο Ιόνιο Πέλαγος έχει θερμανθεί 50% λιγότερο από το μέσο όρο της άνοδο θερμοκρασίας που έχει παρατηρηθεί στην υπόλοιπη λεκάνη της Μεσογείου. Να σημειωθεί ότι τα κλιματικά μοντέλα επί του παρόντος υποτιμούν την παρατηρούμενη άνοδο θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας.

Στη Μεσόγειο Θάλασσα, οι περίοδοι ασυνήθιστα ζεστής επιφάνειας της θάλασσας, που ονομάζονται επίσης «θαλάσσια κύματα καύσωνα», έχουν γίνει πιο συχνές, πιο έντονες και γεωγραφικά πιο εκτεταμένες τις τελευταίες δεκαετίες. Τα πιο σοβαρά θαλάσσια κύματα καύσωνα που εντοπίστηκαν από το 1982 είναι το 2003, το 2012, το 2015 και το 2017. Επιπλέον, 14 θαλάσσια κύματα καύσωνα παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετούς περιόδου 2008-2017, ενώ μόνο 2 παρατηρήθηκαν κατά τη διάρκεια της περιόδου 1982-1991.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 η θερμοκρασία και η αλατότητα του Λεβαντινού Ενδιάμεσου Νερού (LIW) αυξήθηκε κατά 0,53 ° C και 0,13 psu, δηλαδή, με ρυθμούς 0,024°C/έτος και 0,006 psu/έτος, αντίστοιχα. Τέτοιες τάσεις είναι τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους μεγαλύτερες από αυτές που αναφέρονται για το ενδιάμεσο στρώμα του παγκόσμιου ωκεανού. Τα βαθιά νερά της δυτικής λεκάνης αποδεικνύονται ότι αύξησαν σταδιακά τη θερμοκρασία και την αλατότητά τους από τη δεκαετία του 1950, με επιτάχυνση μετά τα μέσα της δεκαετίας του 1980 και ακόμη ισχυρότερο ρυθμό από το 2005.

Οι αλλαγές στα χαρακτηριστικά της μεσογειακής υδατικής μάζας έχουν το άγγιγμα τους και στο νερό που εκβάλλει από τη Μεσόγειο Θάλασσα μέσω του Στενού του Γιβραλτάρ. Οι παρατηρήσεις που συλλέγονται από το 2004 δείχνουν θετική τάση στη θερμοκρασία και την αλατότητα $7,7 \times 10^{-3}$ °C/έτος και $0,63 \times 10^{-3}$ psu/έτος, αντίστοιχα.

5.2.7 Επίπεδο Θαλάσσης

Κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα, ακτομετρητές γύρω από τη Μεσόγειο έχουν καταγράψει άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Μόλις διορθωθούν τα δεδομένα του παλιρροιακού μετρητή για την κάθετη κίνηση της ξηράς, η τάση της στάθμης της θάλασσας είναι πολύ συνεπής μεταξύ των τοποθεσιών που είναι $\sim 1,4$ mm/έτος. Αυτή η τάση υπερτίθεται σε διαχρονική και ανά δεκαετία μεταβλητότητα που μπορεί προσωρινά να συγκαλύψει την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το πιο σαφές παράδειγμα είναι η περίοδος 1960-1980 κατά την οποία η στάθμη της θάλασσας της Μεσογείου παρουσίασε πτωτική τάση λόγω υψηλότερης από τη συνηθισμένη ατμοσφαιρική πίεση. Μετά από αυτή την περίοδο, η ατμοσφαιρική πίεση επέστρεψε στις συνηθισμένες τιμές και η στάθμη της θάλασσας συνέχισε να ακολουθεί την παγκόσμια εξέλιξη.

Για την πιο πρόσφατη περίοδο, κατά την οποία η στάθμη της θάλασσας παρακολούθηθηκε με δορυφορική υψομετρία (1993-2018), η τάση της στάθμης της θάλασσας της Μεσογείου αυξήθηκε έως και $2,8 \pm 0,1$ mm/έτος, σύμφωνα με την παγκόσμια τάση της στάθμης της θάλασσας ($3,1 \pm 0,4$ mm/έτος). Η άνοδος σε παγκόσμια κλίμακα είναι κυρίως το αποτέλεσμα ενός συνδυασμού θερμικής διαστολής νερού και τήξης χερσαίου πάγου. Κατά τον 20ο αιώνα και οι δύο παράγοντες συνέβαλαν εξίσου, αν και τις τελευταίες δεκαετίες κυριαρχεί το λιώσιμο των παγετώνων. Οι αναλύσεις των δεδομένων παλίρροιας έχουν αποκαλύψει μια αύξηση στο μέγεθος και τη διάρκεια των ακραίων γεγονότων της στάθμης της θάλασσας στην περιοχή κατά τις τελευταίες δεκαετίες, που προκαλούνται από την άνοδο της σχετικής μέσης στάθμης της θάλασσας. Γενικά, τα αρχεία παρατήρησης κυμάτων είναι πολύ σύντομα για την αξιολόγηση των τάσεων πολλών δεκαετιών, με εξαίρεση τη Βόρεια Αδριατική Θάλασσα, όπου μία από τις μεγαλύτερες σειρές οργάνων παγκοσμίως (1979 έως σήμερα) δείχνει αύξηση στον αριθμό των καταγίδων, αλλά μείωση στα ακραία ύψη κυμάτων.

Κεφάλαιο 6: Το μέλλον της κλιματικής αλλαγής στη Μεσόγειο

6.1 Κλιματική αλλαγή σε μελλοντικό χαρακτήρα

Καθώς οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν τη Λεκάνη της Μεσογείου περισσότερο από ποτέ, επιστήμονες παγκοσμίως δημιούργησαν μια εικόνα προσομοίωσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των περιβαλλοντικών προβλημάτων στην περιοχή, ώστε να οδηγηθούν σε όσο το δυνατόν πιο ακριβείς αποφάσεις για την αντιμετώπιση των μελλοντικών προβλημάτων.

Ο ρυθμός εξέλιξης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής όπως αύξηση της θερμοκρασίας και παρατήρηση ακραίων καιρικών φαινομένων στη Μεσόγειο ξεπερνάει τους ρυθμούς που έχουν παρατηρηθεί σε μεγάλο τμήμα του υπόλοιπου πλανήτη, όπως προαναφέρθηκε. Η κλιματική αλλαγή έχει προωθήσει την πιο γρήγορη και επιθετική εξέλιξη περιβαλλοντικών προβλημάτων που προκλήθηκαν από τον εκμοντερνισμό και την εξέλιξη της ανθρώπινης βιομηχανίας, όπως είναι η αστικοποίηση, η γεωργία, η συνεχής μόλυνση της ατμόσφαιρας, του νερού και του εδάφους και η απώλεια της βιοποικιλότητας.

Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής και μόνο, οι ανάγκες ύδρευσης της περιοχής προβλέπεται να σημειώσουν αύξηση της τάξης 4 με 18% μέχρι το τέλος του αιώνα. Ο διαρκώς αυξανόμενος ανθρώπινος πληθυσμός μπορεί να σπρώξει την άνοδο αυτή στα 22-74%. Ο τουρισμός, νέες επιχειρήσεις και η αστικοποίηση μπορεί να χειροτερέψουν και τη ρύπανση των υδάτων.

Η οξίνιση των ωκεανών, οι ισχυροί προβλεπόμενοι καύσωνες σε συνδυασμό με ξηρασία και οι ανθρωπογενείς επιδράσεις στο έδαφος θα επηρεάσουν και τα φυσικά οικοσυστήματα, διακινδυνεύοντας τη βιοποικιλότητα αλλά και την αλιεία.

Η παραγωγή τροφής από τη γεωργία και την αλιεία στην περιοχή της Μεσογείου έχει επίσης πληγεί από τις κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές αλλαγές. Αυτό σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο άνθρωπος στρέφεται περισσότερο στην κτηνοτροφία, οι νοτιότερες χώρες δε θα μπορούν να βασιστούν στο εγχώριο εμπόρευμα και θα πρέπει να στραφούν στην εισαγωγή τροφίμων.

Οι έντονοι, πολυάριθμοι προβλεπόμενοι καύσωνες και η μόλυνση του οικοσυστήματος που με τη σειρά της αυξάνει τον κίνδυνο καρδιαγγειακών και αναπνευστικών νοσημάτων αλλά και την εξάπλωση εντόμων και τρωκτικών που φέρουν ασθένειες απειλούν τη δημόσια υγεία.

Σε πολιτικά ασταθείς χώρες, η περιβαλλοντική αλλαγή θα επιφέρει συγκρούσεις, μαζικές μεταναστεύσεις, ακόμα και λοιμό που επιφέρουν την αύξηση κοινωνικο-οικονομικών προβλημάτων παγκόσμια.

6.2 Ανάλυση προβλέψεων επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής ανά κατηγορία

6.2.1 Ραδιενέργεια και σύννεφα

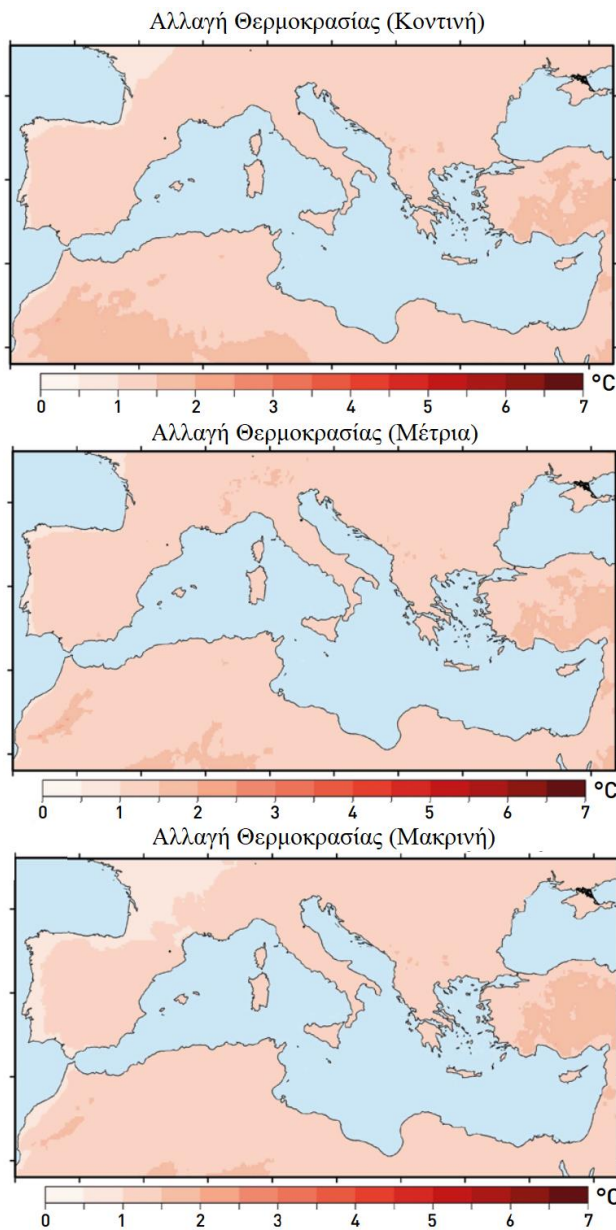
Βάση επιστημονικών προβλέψεων, τα ανθρωπογενή φορτία αερολυμάτων στη Μεσόγειο αναμένεται να συνεχίσουν να μειώνονται λόγω των μειώσεων των ανθρωπογενών εκπομπών στην Ευρώπη. Η μείωση αναμένεται να είναι πιο έντονη στο εγγύς μέλλον με μια ανωμαλία οπτικού βάθους αερολύματος μεταξύ -0,12 και -0,03 (εύρος αβεβαιότητας 5-95%) για την περίοδο 2040-2059 σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1980-1999 και θα επιβραδύνει στο απώτερο μέλλον (μεταξύ -0,18 και -0,04, 2080-2099 έναντι 1980-1999). Η εξέλιξη των φυσικών αερολυμάτων είναι πιο αβέβαιη, λόγω της τρέχουσας άγνωστης μελλοντικής εξέλιξης της σκόνης της ερήμου. Η συνολική νέφωση αναμένεται επίσης να μειωθεί κατά τον 21ο αιώνα στη Μεσόγειο. Η αναμενόμενη ανωμαλία στη νέφωση για τα μέσα του 21ου αιώνα κυμαίνεται από -4,9 έως -0,2% στο RCP8.5 (εύρος αβεβαιότητας 5-95%), λόγω της δυσκολίας των μοντέλων να αποτυπώσουν τη χωρική μεταβλητότητα της εξέλιξης της νεφέλωσης. Η επιφανειακή ηλιακή ακτινοβολία αναμένεται να συνεχίσει να αυξάνεται τον 21ο αιώνα, ιδιαίτερα στο εγγύς μέλλον. Αυτή η αύξηση της μελλοντικής επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας ενισχύεται από μια αναμενόμενη μείωση της νεφοκάλυψης, παρά την αντισταθμιστική επίδραση της αυξημένης απορρόφησης σε συνθήκες καθαρού ουρανού λόγω της υψηλότερης περιεκτικότητας σε υδρατμούς στην ατμόσφαιρα.

6.2.2 Θερμοκρασία

Μελέτες που έχουν γίνει στο παρελθόν έχουν διαπιστώσει πως η περιοχή της Λεκάνης της Μεσογείου είναι μία περιοχή που θα πληγεί σοβαρά από την κλιματική αλλαγή. Σύνολα προσομοιώσεων κλίματος πολλαπλών μοντέλων υποδεικνύουν ότι η ευρεία υπερθέρμανση θα συμβεί σχεδόν σίγουρα στη Μεσόγειο τον 21ο αιώνα, ωστόσο, τα κλιματικά μοντέλα μπορεί να υπερτιμούν τις πραγματικές τιμές σε θερμές και ξηρές συνθήκες. Σε χερσαίες περιοχές, υπολογίζεται πως θα παρατηρηθεί μια ισχυρή και σημαντική θέρμανση της τάξης των 0,9-5,6 ° C (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1980-1999). Η στιβαρότητα και η σημασία του κλιματικού σήματος είναι πολύ υψηλότερη για τη θερμοκρασία του αέρα και όχι για άλλες μεταβλητές όπως η βροχόπτωση. Υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις και γενική

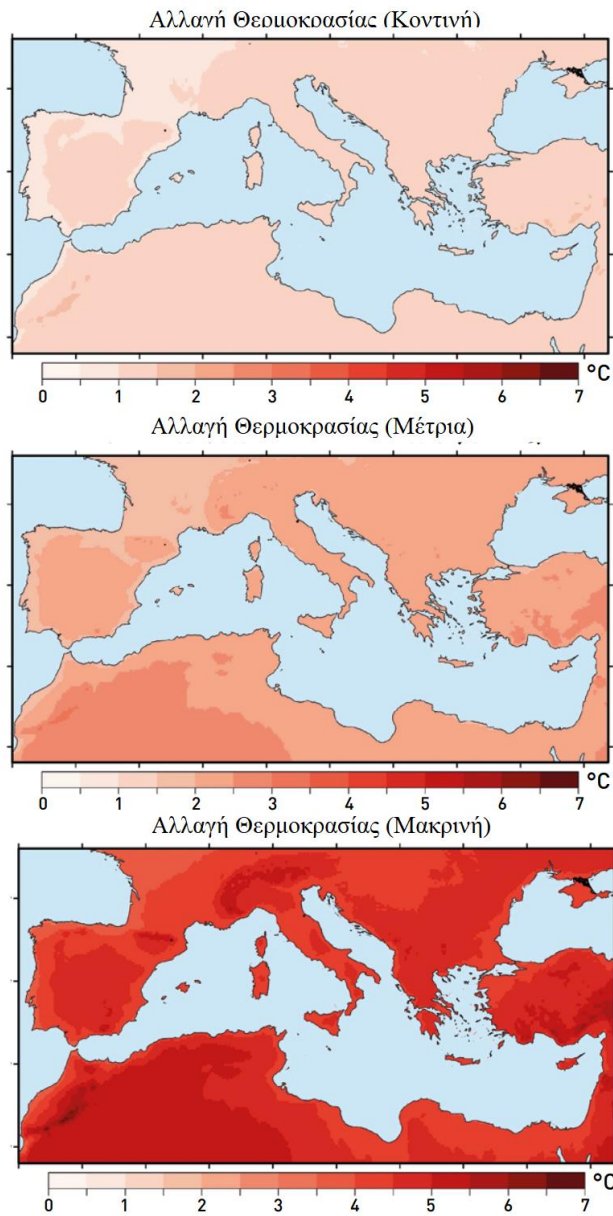
επιστημονική συναίνεση ότι η άνοδος θερμοκρασίας θα συνεχιστεί γρηγορότερα από τον παγκόσμιο μέσο όρο και θα υπερβεί τη μέση παγκόσμια αξία κατά 20% ετησίως στη λεκάνη της Μεσογείου και 50% το καλοκαίρι. Οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας αναμένεται να αυξηθούν περισσότερο από τις νυχτερινές θερμοκρασίες, υποδηλώνοντας αύξηση του εύρους του εύρους ημερήσιων θερμοκρασιών.

Η ένταση της ακραίας θερμοκρασίας προβλέπεται να αυξηθεί ταχύτερα από την ένταση των πιο μέτριων θερμοκρασιών στο ηπειρωτικό εσωτερικό λόγω τέτοιων αυξήσεων στη μεταβλητότητα της θερμοκρασίας. Οι προβλεπόμενες αλλαγές στους δείκτες ακραίων θερμοκρασιών υποδηλώνουν ότι η συχνότητα και η σοβαρότητα των κυμάτων καύσωνα θα αυξηθούν. Σύμφωνα με προβλέψεις για ένα σενάριο business-as-usual, η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία του καλοκαιριού αναμένεται να αυξηθεί έως και 7°C έως το τέλος του 21ου αιώνα σε σύγκριση με το πρόσφατο παρελθόν. Εκτός από τις θερμότερες μέγιστες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας, τμήματα της Μεσογείου πιθανότατα θα αντιμετωπίσουν αύξηση άνω του 60% στον αριθμό των τροπικών νυχτών. Η αύξηση των ακραίων θερμοκρασιών θα είναι δραματική ιδιαίτερα το καλοκαίρι και με 4°C υπερθέρμανση του πλανήτη σχεδόν όλες τις νύχτες θα είναι ζεστές και δεν θα υπάρχουν κρύες μέρες.



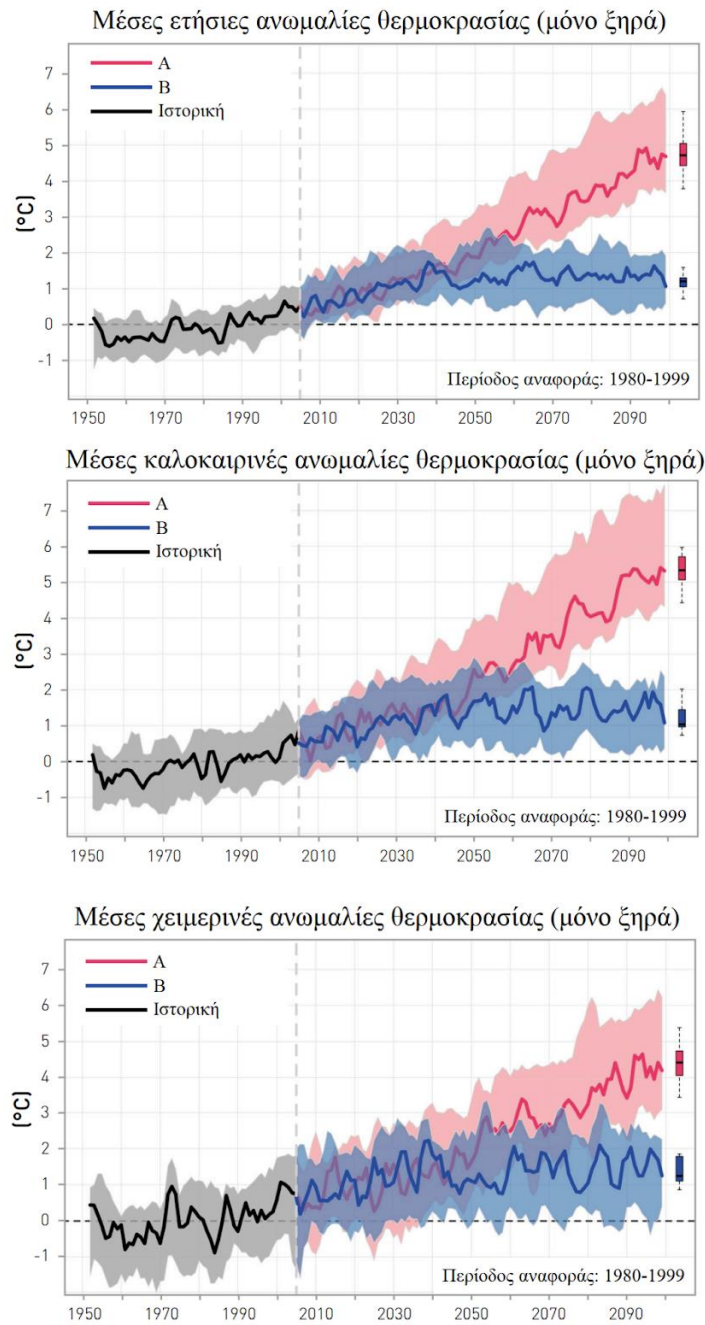
Κοντινή: 2020-2039
Μέτρια: 2040-2059
Μακρινή: 2080-2099

Εικόνες 6.1, 6.2, 6.3: Προβλεπόμενες αλλαγές στην ετήσια θερμοκρασία. (Δεδομένα 1989-1999)



Κοντινή: 2020-2039
 Μέτρια: 2040-2059
 Μακρινή: 2080-2099

Εικόνες 6.4, 6.5, 6.6: Προβλεπόμενες αλλαγές στην ετήσια θερμοκρασία. (Δεδομένα 2001-2018)



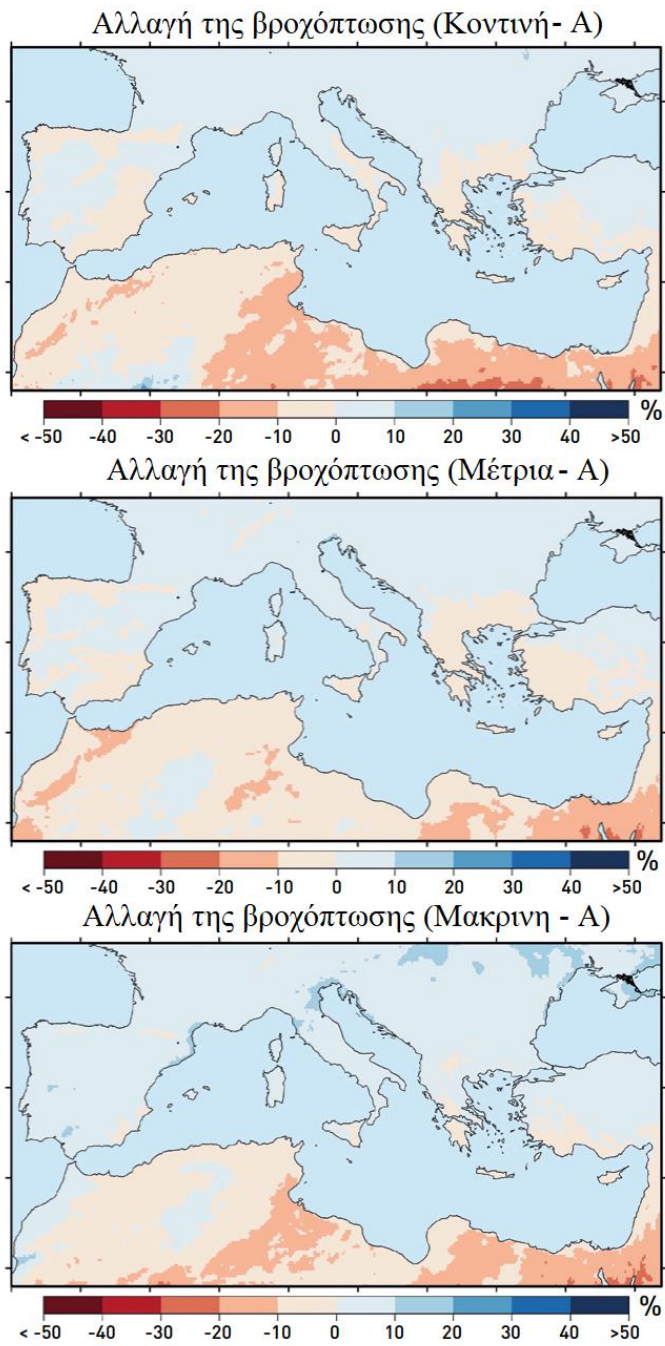
Γραφήματα 6.1, 6.2, 6.3: Προβλέψεις θερμικών ανωμαλιών (A: Προβλεψη βάση δεδομένων 2001-2018, B : Πρόβλεψη βάση δεδομένων 1988-1999)

6.2.3 Βροχόπτωση/Κατακρήμιση

Οι επιστημονικές προβλέψεις για το κομμάτι των βροχοπτώσεων είναι μάλλον οικτρές, αφού θεωρούν πως θα επικρατήσει μια κυρίαρχη ξήρανση σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου τις θερμές εποχές, στις περισσότερες κεντρικές και νότιες περιοχές, μαζί με διαβροχή στις

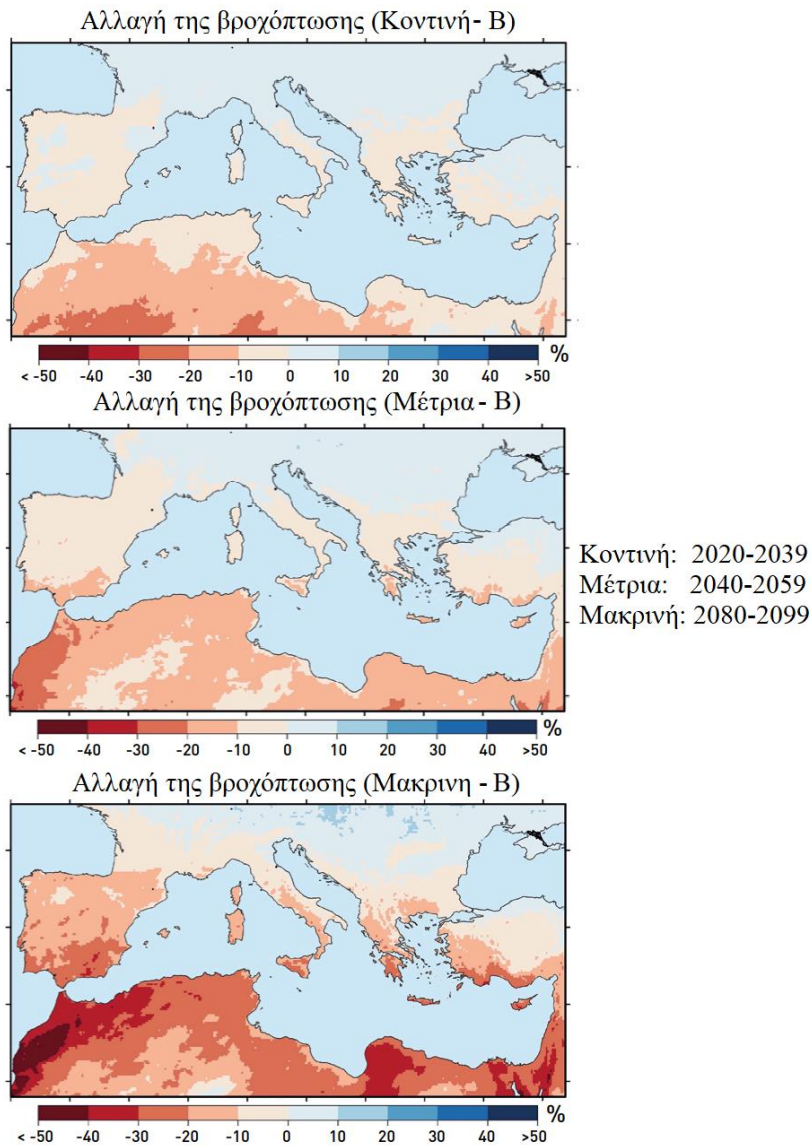
βορειότερες περιοχές (π.χ. Άλπεις) τη χειμερινή περίοδο. Γενικά, τα μοτίβα της αλλαγής εντείνονται σε μέγεθος από το εγγύς μέλλον στο μακρινό μέλλον και από τα σενάρια χαμηλών έως υψηλών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, δηλαδή εντείνονται ως αποτέλεσμα της ανθρωπογενούς επίδρασης και της επακόλουθης υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ως αποτέλεσμα, για παράδειγμα, σε μεσογειακή κλίμακα, το σύνολο αποδίδει μια μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης στην περιοχή της Μεσογείου περίπου 4% ανά βαθμό υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Λαμβάνοντας υπόψη ένα εύρος υπερθέρμανσης του πλανήτη 0,9-5,6°C στο τέλος του 21ου αιώνα (σε σχέση με την περίοδο αναφοράς 1980-1999) και μια μείωση 4% ανά βαθμό υπερθέρμανσης του πλανήτη, αυτό δίνει μια μείωση μεταξύ 4 και 22% για τη Μεσογειακή ετήσια βροχόπτωση (στην ξηρά).



Κοντινή: 2020-2039
Μέτρια: 2040-2059
Μακρινή: 2080-2099

Εικόνες 6.7, 6.8, 6.9: Πρόβλεψη αλλαγής βροχόπτωσης (%) (Δεδομένα 1989-1999)



Εικόνες 6.10, 6.11, 6.12: Πρόβλεψη αλλαγής βροχόπτωσης (%) (Δεδομένα 2001-2018)

6.2.4 Εξάτμιση, απώλειες νερού σε θάλασσα και γη

Η μελλοντική εξέλιξη των φυσικών χαρακτηριστικών της Μεσογείου Θάλασσας συνδέεται στενά με την εξέλιξη των ανταλλαγών αέρος-θάλασσας και ξηράς-θάλασσας νερού και θερμότητας. Για τη Μεσόγειο Θάλασσα, η καθαρή απώλεια επιφανειακών υδάτων από τη θάλασσα αποτελείται από το συνδυασμό της εξάτμισης πάνω από τη θάλασσα, της βροχόπτωσης στη θάλασσα, της απορροής του ποταμού και του δείκτη μεταφοράς του Στενού του Βοσπόρου. Αύξηση της καθαρής απώλειας επιφανειακών υδάτων από τη θάλασσα αναμένεται στο μέλλον λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων και της απορροής των ποταμών και της αύξησης της εξάτμισης. Σε σχέση με τον 20ο αιώνα, η αύξηση αυτή

κυμαίνεται από +8 έως +35% για τα μέσα του 21ου αιώνα (2020-2049) και από +20 έως +60% στο τέλος του 21ου αιώνα (2070-2099). Στο έδαφος, οι προβολές εξάτμισης και διαπνοής παρουσιάζουν μικτές αλλαγές, με αύξηση του χειμώνα λόγω βροχοπτώσεων στις βόρειες περιοχές και μείωση το καλοκαίρι σε πολλές χερσαίες περιοχές, ιδιαίτερα στην Ισπανία, τη δυτική Βόρεια Αφρική και την Τουρκία. Η αύξηση της εξατμισοδιαπνοής θα οφείλεται επίσης στην αύξηση της ατμοσφαιρικής ζήτησης εξάτμισης. Αυτές οι αλλαγές εξατμισοδιαπνοής έχουν συνδεθεί με μια προβλεπόμενη προς βορρά επέκταση του μεσογειακού τύπου εδάφους και τις περιφερειακές επιφανειακές αλλαγές βλάστησης.

Αλλαγές στη βροχοπτώση και την εξάτμιση γράφουν πως στην λεκάνη της Μεσογείου θα υπάρξουν αλλαγές στην εμφάνιση ξηρασίας. Οι ξηρασίες μπορεί να είναι διαφορετικών τύπων, όπως μετεωρολογική, υδρολογική και γεωργική ξηρασία, η οποία συχνά μπορεί να είναι δύσκολο να διαχωριστεί. Εδώ εστιάζουμε στη μετεωρολογική ξηρασία, που ουσιαστικά μετριέται με δείκτες μηνιαίων, εποχιακών έως και ετήσιων ελλειμμάτων βροχοπτώσεων, όπως ο δείκτης βροχοπτώσεων (PI) ή ο τυποποιημένος δείκτης βροχοπτώσεων (SPI). Η λεκάνη της Μεσογείου, επηρεάζεται από τα συχνά επεισόδια ξηρασίας λόγω της έντονης ετήσιας μεταβλητότητας των βροχοπτώσεων σε αυτήν την περιοχή, και μια τάση προς ξηρότερες συνθήκες και αυξημένη μετεωρολογική ξηρασία μετά τη δεκαετία του 1970 στη λεκάνη της Μεσογείου βρέθηκε με βάση τις αναλύσεις των παρατηρήσεων.

Όσον αφορά τις προβλέψεις, δεδομένου ότι οι περισσότερες προσομοιώσεις μοντέλων υποδεικνύουν μια τάση προς ξηρότερες συνθήκες στη Μεσόγειο, ειδικά στη θερμή περίοδο και στις νότιες περιοχές, αναμένεται ότι η συχνότητα και η ένταση της μετεωρολογικής ξηρασίας θα αυξηθεί σε θερμότερα κλίματα. Αυτό έχει επιβεβαιωθεί από εκτενείς αναλύσεις προβλέψεων βροχοπτώσεων με παγκόσμια και περιφερειακά κλιματικά μοντέλα.

6.2.5 Κρυόσφαιρα

Οι ορεινοί παγετώνες στην περιοχή της Μεσογείου προβλέπεται να συνεχίσουν να χάνουν μάζα τον 21ο αιώνα έως ότου εξαφανιστούν πλήρως οι περισσότεροι ορεινοί παγετώνες μέχρι το τέλος του αιώνα. Μια πρόσφατη άσκηση προβολής πολλαπλών μοντέλων υποδεικνύει ότι οι σχετικές απώλειες όγκου μέχρι το 2100 (μέσος όρος εκτελέσεων μοντέλου ± 1 τυπική απόκλιση) είναι της τάξης του $69 \pm 19\%$ για τα δεδομένα 1989-1999(A) και $93 \pm 10\%$ για τα δεδομένα 2001-2018(B). Αυτό δείχνει ότι, ακόμη και σε σενάρια με έντονη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, μόνο οι παγετώνες στο υψηλότερο υψόμετρο θα

διατηρηθούν στο τέλος του 21ου αιώνα. Για τα μέσα του αιώνα, οι αλλαγές εξαρτώνται πολύ λιγότερο από το σενάριο του κλίματος, με μειώσεις της τάξης του $50 \pm 20\%$ για το A και $60 \pm 20\%$ για το B.

Στην περιοχή της Μεσογείου, ο μόνιμος παγετός βρίσκεται μόνο στα βουνά, συχνά αποσπασματικά και περιορίζεται σε περιοχές με απόκρημνη τοπογραφία, συμπεριλαμβανομένων των βράχων. Σε αντίθεση με την κάλυψη του παγετώνα και του χιονιού, οι κλιματικές προβολές του εδάφους θερμικού καθεστώτος δεν έχουν πραγματοποιηθεί με ολοκληρωμένο τρόπο, χρησιμοποιώντας έναν καταρράκτη κλιματικών μοντέλων και μοντέλων κρούσης. Τα στοιχεία προέρχονται από μελέτες μικρής κλίμακας, αλλά όλες οι μελέτες δείχνουν αυξημένη απόψυξη του πάγου σε ορεινά περιβάλλοντα, μετά από αλλαγές θερμοκρασίας του επιφανειακού αέρα. Οι μελλοντικές αλλαγές στον μόνιμο παγετό του βουνού έχουν σημαντικές επιπτώσεις για φυσικούς κινδύνους (αστάθειες πλαγιών).

6.2.6 Αλλαγές σε Θαλάσσια Ύδατα

Η μελλοντική εξέλιξη των φυσικών χαρακτηριστικών της Μεσογείου Θάλασσας συνδέεται στενά με την εξέλιξη των ανταλλαγών αέρος-θάλασσας και ξηράς-θάλασσας νερού και θερμότητας. Για τη Μεσόγειο Θάλασσα, η καθαρή απώλεια επιφανειακών υδάτων από τη θάλασσα αποτελείται από το συνδυασμό της εξάτμισης πάνω από τη θάλασσα, της βροχόπτωσης στη θάλασσα, της απορροής του ποταμού και του δείκτη μεταφοράς του Στενού του Βοσπόρου. Η καθαρή επιφανειακή απώλεια θερμότητας από τη θάλασσα αποτελείται από την ακτινοβολία βραχέων κυμάτων, την ακτινοβολία μακρών κυμάτων, τη λανθάνουσα θερμότητα και τις αισθητές ροές θερμότητας. Εκτός από τις αλλαγές στην ακτινοβολία, η μελλοντική εξέλιξη των φυσικών χαρακτηριστικών της Μεσογείου Θάλασσας σχετίζεται στενά με την εξέλιξη των άλλων ροών θερμότητας αέρα-θαλάσσης. Υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες, η καθαρή απώλεια θερμότητας από την επιφάνεια της Μεσογείου (δηλαδή το άθροισμα της ακτινοβολίας βραχέων κυμάτων, της ακτινοβολίας μεγάλων κυμάτων, της λανθάνουσας θερμότητας και των αισθητών ροών θερμότητας) είναι θετική, που σημαίνει ότι η θάλασσα χάνει θερμότητα από την επιφάνειά της για μεγάλο χρονικό διάστημα. Στο μέλλον, η καθαρή απώλεια θερμότητας από την επιφάνεια της θάλασσας αναμένεται να μειωθεί.

Συνοψίζοντας, αναμένεται αύξηση της καθαρής απώλειας επιφανειακών υδάτων από τη θάλασσα λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων και της απορροής των ποταμών και της αύξησης της εξάτμισης, όπως επίσης και μείωση της καθαρής θερμικής απώλειας θερμότητας από τη θάλασσα επειδή η αύξηση των βραχυκυμάτων, του καθαρού μακρού κύματος και της λογικής θερμότητας θα κυριαρχήσουν στην αύξηση της λανθάνουσας απώλειας θερμότητας. Συγκεκριμένα, αυτό σημαίνει ότι, από τα μέσα του 21ου αιώνα, ορισμένα μοντέλα προβλέπουν ότι η ατμόσφαιρα θα μπορούσε, κατά μέσο όρο, να θερμάνει τη Μεσόγειο Θάλασσα αντί να την δροσίσει στο σημερινό κλίμα.

Οι μελλοντικές αλλαγές στην ισχύ του ανέμου πάνω από τη θάλασσα πιθανότατα θα παραμείνουν χαμηλές ακόμα και στο τέλος του 21ου αιώνα σε απαισιόδοξα σενάρια.

6.2.7 Επίπεδο Θαλάσσης

Η μοντελοποίηση των μελλοντικών μεταβολών της μέσης στάθμης της θάλασσας της Μεσογείου δεν είναι απλή. Με την αδρή χωρική τους ανάλυση, τα σημερινά παγκόσμια κλιματικά μοντέλα δεν είναι σε θέση να αναπαράγουν τις περιφερειακές διεργασίες στη λεκάνη, αν και είναι πιο κατάλληλα για να αναπαραστήσουν τη σύνδεση με τον παγκόσμιο ωκεανό. Αντίθετα, τα περιφερειακά κλιματικά μοντέλα μπορούν να συλλάβουν μέρος της περιφερειακής μεταβλητότητας, αλλά συνήθως δεν έχουν σχεδιαστεί για να αναπαράγουν τη σύνδεση με τον παγκόσμιο ωκεανό, και έτσι λείπει ένα βασικό μέρος της μεταβλητότητας. Επομένως, οι προβλέψεις για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας που βασίζονται αποκλειστικά σε ΠΚΜ έχουν παραλείψει αυτό το στοιχείο και πρέπει να ληφθούν υπόψη μόνο για τα περιφερειακά πρότυπα, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν τοπικές χωρικές αποκλίσεις από τον μέσο όρο της λεκάνης έως και +10 cm.

Συμπερασματικά, ο υπολογισμός όλων των συνιστωσών δείχνει ότι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας της Μεσογείου θα είναι κοντά στον βορειοανατολικό Ατλαντικό, όπου η μελλοντική στάθμη της θάλασσας θα είναι παρόμοια (διαφορά μικρότερη από 5%) με την παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας, επειδή οι περιφερειακές διαφορές που προκαλούνται από τις αλλαγές στην η κυκλοφορία και η μαζική αναδιανομή σχεδόν αλληλοαντισταθμίζονται. Αυτό οδηγεί στην εκτίμηση ότι η μέση στάθμη της λεκάνης της θάλασσας θα είναι πιθανότατα 37-90 cm υψηλότερη από ό,τι στα τέλη του 20ου αιώνα, με μια μικρή πιθανότητα να είναι πάνω από 110 cm. Οι κύριες συνεισφορές στις αλλαγές της

μέσης στάθμης της λεκάνης της θάλασσας προέρχονται από την τήξη των χερσαίων πάγων και τη δυναμική του βορειοανατολικού Ατλαντικού.

6.2.8 Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή θέτει σε κίνδυνο την προστασία και βελτίωση της ανθρώπινης υγείας και ευημερίας και δεν μπορεί πλέον να θεωρείται απλώς ένα περιβαλλοντικό ή αναπτυξιακό ζήτημα. Εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής η θερμοκρασία ανεβαίνει, η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται, οι πάγοι λιώνουν και η τυπολογία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων αλλάζει. Παρατηρούνται ακραία καιρικά φαινόμενα, μείωση του ατμοσφαιρικού όζοντος, αλλαγές στο οικοσύστημα λόγω της απώλειας της βιοποικιλότητας, αλλαγές στα υδρολογικά συστήματα και υποβάθμιση του εδάφους.

Λόγω των επιστημονικών προβλέψεων πως, η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος οδηγεί με μαθηματική ακρίβεια σε δραστικές αλλαγές σε ευαίσθητα οικοσυστήματα της γης, συνεπάγεται η ανάγκη για άμεση ανάληψη δράσης για το μετριασμό και την προσαρμογή στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Η Λεκάνη της Μεσογείου αλλάζει και θα συνεχίσει να αλλάζει δραματικά και η έλλειψη ευαισθητοποίησης και ζωτικής πληροφόρησης των πολιτών, των κυβερνήσεων, των ιδιωτικών και δημόσιων φορέων κάθε είδους θα επιφέρει καταστροφικά αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

[1] National Oceanic and Atmospheric Administration, «Global and regional sea level rise scenarios for the US» 2017, Διαθέσιμο: <https://tidesandcurrents.noaa.gov>

[2] World Health Organization, «Ambient (outdoor) air pollution» 2020, Διαθέσιμο: <https://who.int>

[3] Douglas Galbi, «Industrial Revolution», 1997, Διαθέσιμο: <https://curlie.org/>

[4] Education Scotland, «Weather & Climate Change: Climates around the world», 2016, Διαθέσιμο: <https://education.scot.gov>

[5] Critchfield, H.J. «Criteria for classification of major climatic types in modified Köppen system », 1983. Διαθέσιμο: <https://web.archive.org/>

[6] *Encyclopædia Britannica*, «Mediterranean Sea», 2020, Διαθέσιμο: <https://britannica.com/>

[7] Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα (ΤΕΙ) Καβάλας «_Κατάταξη και περιγραφή κλιμάτων γενικά.» Διαθέσιμο: [http:// geo.auth.gr](http://geo.auth.gr)

[8] Andersen, S.O. and K.M. Sarma, *Protecting the Ozone Layer: The United Nations History*, 2020 Earthscan Press

[9] Γκίκας Ι., «Ραδιενεργός ρύπανση, επιπτώσεις στον άνθρωπο και στο περιβάλλον. Παρέμβαση σε κατάσταση ραδιολογικών και πυρηνικών ατυχημάτων, προσέγγιση για την αντιμετώπιση των συνεπειών τους. Μελέτη περίπτωσης.», Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας, Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών «Διαχείριση Αποβλήτων», Διπλωματική Εργασία, 2019, Διαθέσιμο: <https://apothesis.eap.gr>

[10] Βασιλάκης Ε., Παπανικολάου Δ., Παπανικολάου Μ., «Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, Μεταβολές της Στάθμης της Θάλασσας και Επιπτώσεις στις Ακτές», Τράπεζα Ελλάδος, Διαθέσιμο: <https://www.bankofgreece.gr>

[11] Δαλέζιος Ν., «Αγροκλιματολογία», Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράματα και Βοηθήματα, 2015, Διαθέσιμο: repository.kallipos.gr

[12] Εθνικός Οργανισμός Δημόσιας Υγείας, «Κλιματική Αλλαγή: Είμαστε στο παρά πέντε;», 2010, Διαθέσιμο: <https://eody.gov.gr/>

[13] Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, «ΟΔΗΓΙΑ 2004/107/ΕΚ ΤΟΥ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟΥ ΚΟΙΝΟΒΟΥΛΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΥΜΒΟΥΛΙΟΥ», 2004, Διαθέσιμο: <https://eur-lex.europa.eu>

[14] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Αίτια της Κλιματικής Αλλαγής», Climate Action, Επίσημος Ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Διαθέσιμο: <https://ec.europa.eu/>

[15] Ευρωπαϊκός Οργανισμός, «Ατμοσφαιρική Ρύπανση», 2021, Διαθέσιμο: <https://www.eea.europa.eu/>

[16] Η Μεσόγειός Μας, «Πολιτισμοί της Μεσογείου», Διαθέσιμο: imesogeiosmas.weebly.com

[17] Θεοδωρακάκης Μ, «Ρύπανση», Εγκυκλοπαίδεια του Περιβάλλοντος για Νέους, Τόμος 5, National Geographic, 2013, Διαθέσιμο: <https://www.inedivim.gr/>

[18] Ευρωπαϊκή Επιτροπή, «Αίτια της Κλιματικής Αλλαγής», Climate Action, Επίσημος Ιστότοπος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Διαθέσιμο: <https://ec.europa.eu/>

[19] Μαλανδράκης Γ., «Όξινη Βροχή», Σημειώσεις για το μάθημα Υ304-«Περιβαλλοντική Εκπαίδευση», Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Παιδαγωγική Σχολή Φλώρινας, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, 2012, Διαθέσιμο: <https://eclass.uowm.gr/>

[20] Μετεωρολογία δικτύου, «Παλαιοκλιματολογία», Διαθέσιμο: <https://www.meteorologiaenred.com/>

[21] Μπαλαφούτης Χ., «Γενική Κλιματολογία, Κλίμα Μεσογείου και Ελλάδας», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Διαθέσιμο: <http://www.geo.auth.gr/>

[22] Παπανικολάου Δ., Παπανικολάου Μ., Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, «Παλαιοκλιματικές Αλλαγές», Τράπεζα της Ελλάδος, 2011, Διαθέσιμο: <https://www.bankofgreece.gr>

[23] Σαλονικίδης Γ., «Γεωμορφολογικός Χάρτης της Μεσογείου», 2018, Διαθέσιμο: <https://e-geografia.eduportal.gr/>

[24] Τράπεζα Πληροφοριών Νομοθεσίας, «Κοινή Υπουργική Απόφαση Η.Π. 22306/1075/Ε103/2007 - ΦΕΚ 920/Β/8-6-2007 2007», Διαθέσιμο: <https://www.e-nomothesia.gr>

[25] Χατζηγιαννάκου Μ., «Προβλεπόμενες Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής. Τι μας Επιφυλάσσει το Μέλλον. Οικονομικές επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής.», Πανεπιστήμιο Πειραιά, 10^{ος} Κύκλος Σπουδών Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών στη Ναυτιλία, 2013, Διαθέσιμο: <https://dione.lib.unipi.gr>

[26] Cramer W., Guiot J., Marini, K., (eds), Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, «Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report» , MedeCC, 2020, Διαθέσιμο: <https://www.medecc.org/>

[27] Gildemeister H., «Τι είναι το Μεσογειακό Κλίμα», Σύλλογος Μεσογειακής Κηπουρικής, Διαθέσιμο: <https://www.mediterraneangardensocietygreece.org/>

[28] Kibblewhite M., «Συνέντευξη — Ρύπανση του εδάφους: η κληρονομιά της βιομηχανοποίησης που προκαλεί ανησυχία», Πανεπιστήμιο Cranfield, Bedford, Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος, 2019

[29] Mediterranean Experts on Climate and Environmental Change, «Climate and environmental change in the Mediterranean – main facts», MedeCC, Διαθέσιμο: <https://www.medecc.org/>

[30] Wayback Machine, «Science – Ozone Basics», 2008, Διαθέσιμο: <https://web.archive.org/>