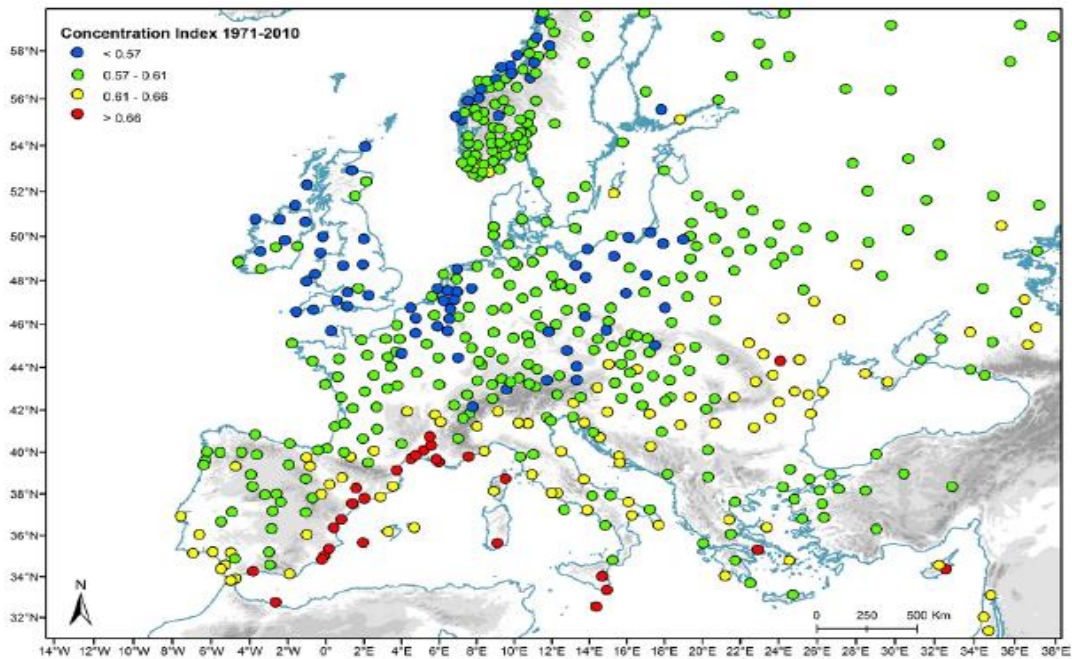


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΕΥΡΩΠΑΙΚΟ ΧΩΡΟ



Επιβλέπων Καθηγητής: Δανάς Γεώργιος

Όνομα Φοιτητή: Κονσολάκης Θεοδόσιος

A.M: 3397

Χειμερινό Εξάμηνο 2018

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δανάς Γεώργιος

ΘΕΜΑ: Κατανομή βροχοπτώσεων στον ευρωπαϊκό χώρο

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: Κονσολάκης Θεοδόσιος
Α.Γ.Μ: 3397

Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:
Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότητα</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<i>1</i>				
<i>2</i>				
<i>3</i>				
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ :

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Εισαγωγή.....	5
Κεφάλαιο 1: Παγκόσμια Θέρμανση- Φαινόμενο του Θερμοκηπίου	6
1.1 Παγκόσμια Θέρμανση.....	6
1.2 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	8
1.3 Παράγοντες ενίσχυσης φαινομένου του Θερμοκηπίου.....	10
Κεφάλαιο 2: Κλίμα	12
2.1 Το κλίμα στο πλανήτη μας.....	12
2.2 Κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη	12
2.3 Μεταβολή του κλίματος λόγω ανθρώπινης παρέμβασης	14
2.4 Στοιχεία αλλαγής κλιματικής μεταβολής στον ευρωπαϊκό χώρο	15
Κεφάλαιο 3: Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου	17
3.1 Επιπτώσεις των Κλιματικών Αλλαγών και του της ανθρώπινης παρέμβασης στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου.....	17
3.2 Άνοδος της μέση στάθμης του νερού.....	17
3.2.1 Μέση Στάθμη θάλασσας/ωκεανών	17
3.2.2 Παράγοντες αύξησης της Μέση Στάθμης θαλασσών	19
3.3 Αύξηση των βροχοπτώσεων	21
Κεφάλαιο 4: Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στην Ευρώπη.....	22
4.1 Η κλιματική αλλαγή στον Ευρωπαϊκό χώρο.....	22
4.2 Μελλοντικές προβλέψεις για την αλλαγή του κλίματος.....	23
Κεφάλαιο 5: Βροχοπτώσεις στον ευρωπαϊκό χώρο	25
5.1 Δημιουργία του φαινομένου της βροχόπτωσης	25
5.2 Διαδικασίες βροχοπτώσεων	26
5.2.1 Συστήματα μεταφοράς	27
5.2.2 Στρωματοειδή συστήματα.....	28
Σχήμα 9. Τροπικός κυκλώνας. Το σχήμα αυτό απεικονίζει τον τροπικό κυκλώνα που προκύπτει από την μίξη της ψυχρής αέριας μάζας με την αντίστοιχη θερμή. Η θερμή αέρια μάζα υπερισχύει της αντίστοιχης ψυχρής με αποτέλεσμα την δημιουργία του συγκεκριμένου σύννεφου(κυκλώνας)[Πηγή: Ahrens, 2007]	29
5.2.3 Ορογραφικά συστήματα	29
5.3 Μέθοδοι εκτίμησης των βροχοπτώσεων.....	30

5.3.1 Εισαγωγή.....	30
5.3.2 Μετρητές βροχοπτώσεων.....	30
5.3.3 Εκτιμητές καιρού με χρήση ραντάρ.....	32
5.3.4 Μέθοδοι εκτίμησης βροχοπτώσεων με χρήση δορυφόρων	33
5.3.5 Μέθοδοι εκτίμησης στο ορατό και στο υπεριώδες φάσμα.....	34
5.3.6 Μέθοδοι απόδοσης δεικτών στα σύννεφα	35
5.3.7 Μέθοδοι εκτίμησης με βάση την ιστορία	35
5.3.8 Οι πρότυπες τεχνικές σύννεφων	36
5.4 Βροχοπτώσεις στον ευρωπαϊκό χώρο από το 1971-2010	37
5.4.1 Εισαγωγή και περιγραφή μεθόδου ανάλυσης	37
5.4.2 Αποτελέσματα της μεθόδου CI.....	38
5.4.3 Τάσεις στην καθημερινή συγκέντρωση βροχοπτώσεων.....	42
5.4.4 Συμπεράσματα	45
Κατάλογος Σχημάτων-Πινάκων	47
Ξενόγλωση Βιβλιογραφία.....	49
Ελληνική Βιβλιογραφία	51

Περίληψη

Είναι γνωστό ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου από την αρχαιότητα αποτέλεσε την προϋπόθεση για να υπάρξει ζωή στον πλανήτη αυτόν. Ωστόσο η έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα έχει προκαλέσει την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας. Αυτή η επιβάρυνση οφείλεται στην συνεχή καύση ουσιών που παράγουν αέρια προϊόντα όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), οξείδιο του αζώτου (NO) και άλλα παράγωγα, με αποτέλεσμα να προκαλούν την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, η οποία με την σειρά της προκαλεί φαινόμενα όπως το λιώσιμο των πάγων, έντονες βροχοπτώσεις, πλημμύρες, ξηρασία και άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν το κλίμα κάθε ηπείρου και τις συνθήκες ζωής των ανθρώπων. Οπότε στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάμε σε τι βαθμό έχει ή όχι επηρεαστεί η κατανομή των βροχοπτώσεων στον ευρωπαϊκό χώρο και πιο ειδικά για την περίοδο 1971-2010.

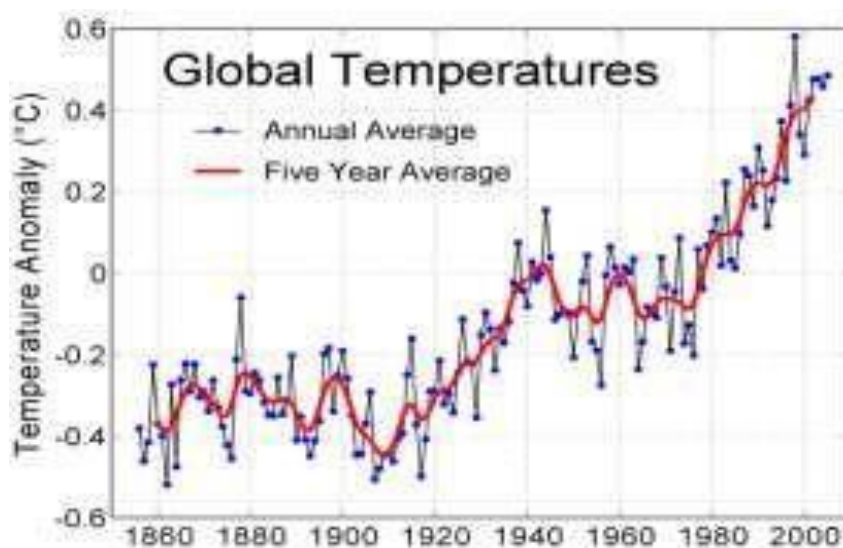
Εισαγωγή

Το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα εργασία είναι η κατανομή των βροχοπτώσεων στον ευρωπαϊκό χώρο και πιο συγκεκριμένα για την περίοδο 1971-2010. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην παγκόσμια θέρμανση του πλανήτη. Συγκεκριμένα δίνεται ο ορισμός του και αναφέρονται συνοπτικά ορισμένες μελέτες που καταδεικνύουν την αύξηση της θερμοκρασίας τις τελευταίες δεκαετίες και ορισμένες συνέπειες του φαινομένου. Μάλιστα περιγράφεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου και γίνεται αναφορά στους παράγοντες που ενισχύουν το φαινόμενο αυτό. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το κλίμα της Γής και το πως έχει επηρεαστεί από τους ανθρώπους. Επίσης γίνεται παράθεση στοιχείων που καταδεικνύουν την ανθρώπινη παρεμβατικότητα στην συνεχιζόμενη μόλυνση της ευρωπαϊκής ατμόσφαιρας. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στο πλανήτη. Ειδικά γίνεται εκτενής περιγραφή στο φαινόμενο της ανόδου της θερμοκρασίας και την αύξηση των βροχοπτώσεων. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται λεπτομερής παράθεση των πιο σημαντικών στοιχείων που περιλαμβάνει η έκθεση του 2012 [Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012'] όπως είναι οι επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στον ευρωπαϊκό χώρο. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των βροχοπτώσεων στον ευρωπαϊκό χώρο. Δηλαδή στο πως δημιουργούνται οι βροχοπτώσεις, με τι μέσα και μεθόδους εκτιμώνται και καταλήγει στην παράθεση των συμπερασμάτων από την ανάλυση των βροχοπτώσεων για τον ευρωπαϊκό χώρο για το χρονικό διάστημα 1971-2010.

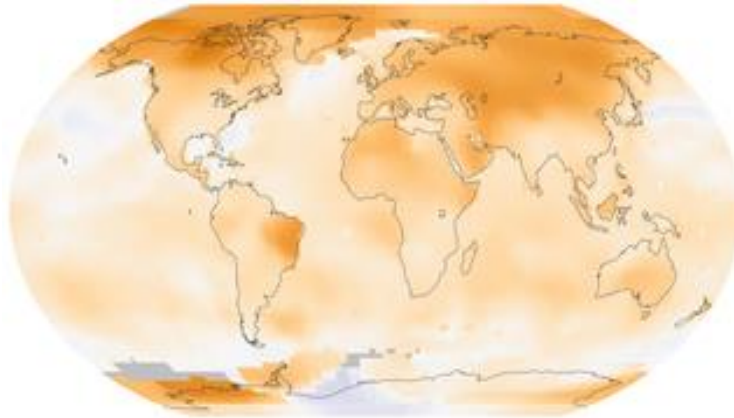
Κεφάλαιο 1: Παγκόσμια Θέρμανση- Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

1.1 Παγκόσμια Θέρμανση

Η έννοια **παγκόσμια θέρμανση** (global warming) δηλώνει μια περίπτωση κλιματικής αλλαγής και έχει να κάνει με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης και των ωκεανών. Η έννοια αυτή είναι εν γένει ουδέτερη ως προς τα αίτια που προκαλούν την θέρμανση του πλανήτη, εντούτοις έχει επικρατήσει να υπονοεί την ανθρώπινη παρέμβαση. Συχνά αποδίδεται με τους εξής όρους σαν παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας ή υπερθέρμανση του πλανήτη ενώ αρκετές φορές ταυτίζεται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου που αποτελεί έναν μηχανισμό που προκαλεί το φαινόμενο παγκόσμιας θέρμανσης[[Global_warming www.en.wikipedia.org/wiki/](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Global_warming)Μάλιστα σύμφωνα με την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) η μέση θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά $0,6^{\circ}\text{C}$ από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα και η θερμοκρασιακή αυτή αύξηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στις ανθρώπινες δραστηριότητες των τελευταίων 60 ετών (Σχήματα 1, 2)[IPCC,2001].



Σχήμα 1.Μεταβολή μέσης Θερμοκρασίας για τα έτη 1860-2000[Πηγή: Climatic Research Unit of the University of East Anglia and the Hadley Centre of the UK Meteorological Office,2012]



Σχήμα 2. Παγκόσμιος χάρτης απεικόνισης της θερμοκρασίας ανά δεκαετία από το 1951-2014 [Πηγή :Global_warming <http://en.wikipedia.org/wiki/>]

Επιπλέον σύμφωνα με τις επιστημονικές έρευνες της IPCC η θερμοκρασία της Γης ενδέχεται να αυξηθεί κατά 1,4 – 5,8 °C εντός των ετών 1990 και 2100[IPCC].Μάλιστα μια αύξηση κατά 5,8°C μπορεί να αποδειχθεί άκρως επικίνδυνη. Επίσης τα τελευταία ένα εκατομμύριο χρόνια έχει διαπιστωθεί ότι η διαφορά της μέγιστης μέσης θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης από την ελάχιστη θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της, δεν ξεπερνούσε τους 7⁰C. Η οποία μέγιστη αυτή διαφορά των 7⁰C έλαβε χώρα σε μία περίοδο διάρκειας 50.000 ετών και όχι μόνο σε 110 χρόνια, όπως έχει προβλεφθεί. (1990-2100)[Μπινιάρης,2006].

Οι συνέπειες μιας τέτοιας ενδεχόμενης αύξησης της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα να προκαλούνται κάποια άλλα φαινόμενα. Τέτοια φαινόμενα είναι η αύξηση της στάθμης των θαλασσών λόγω του λιώσιμου των πάγων, η δημιουργία ακραίων καιρικών φαινομένων όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις, οι πλημμύρες που είναι άμεσο αποτέλεσμα αυτών και οι κυκλώνες. Φαινόμενα που θέτουν σε άμεσο κίνδυνο τόσο την ανθρώπινη ζωή όσο και εκείνη των ζώων. Αναμένεται ότι το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης θα αυξήσει την ένταση και την συχνότητα όλων των προαναφερόμενων φαινομένων, χωρίς όμως να μπορούμε να συνδέσουμε κάθε επιμέρους φαινόμενο ως άμεσο αποτέλεσμα της, παρά μόνο ως έμμεσο. Τα τελευταία 40 χρόνια η αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης έχει μεγάλη σχέση με το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Greenhouse effect). Φαινόμενο που διαρκώς εντείνεται και ενισχύεται λόγω των αδιάκοπων ανθρωπίνων δραστηριοτήτων[Μπινιάρης,2006].

1.2 Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Greenhouse effect) είναι ένα φυσικό φαινόμενο και η αρχή που το διέπει είναι γνωστή. Το φαινόμενο αυτό μελετήθηκε για πρώτη φορά το 1824 από τον Γάλλο φυσικό και μαθηματικό Fourier, ενώ μελετήθηκε σε βάθος από τον Σουηδό χημικό Arrhenius το 1896. [Jerald L. Schnoor,2003].

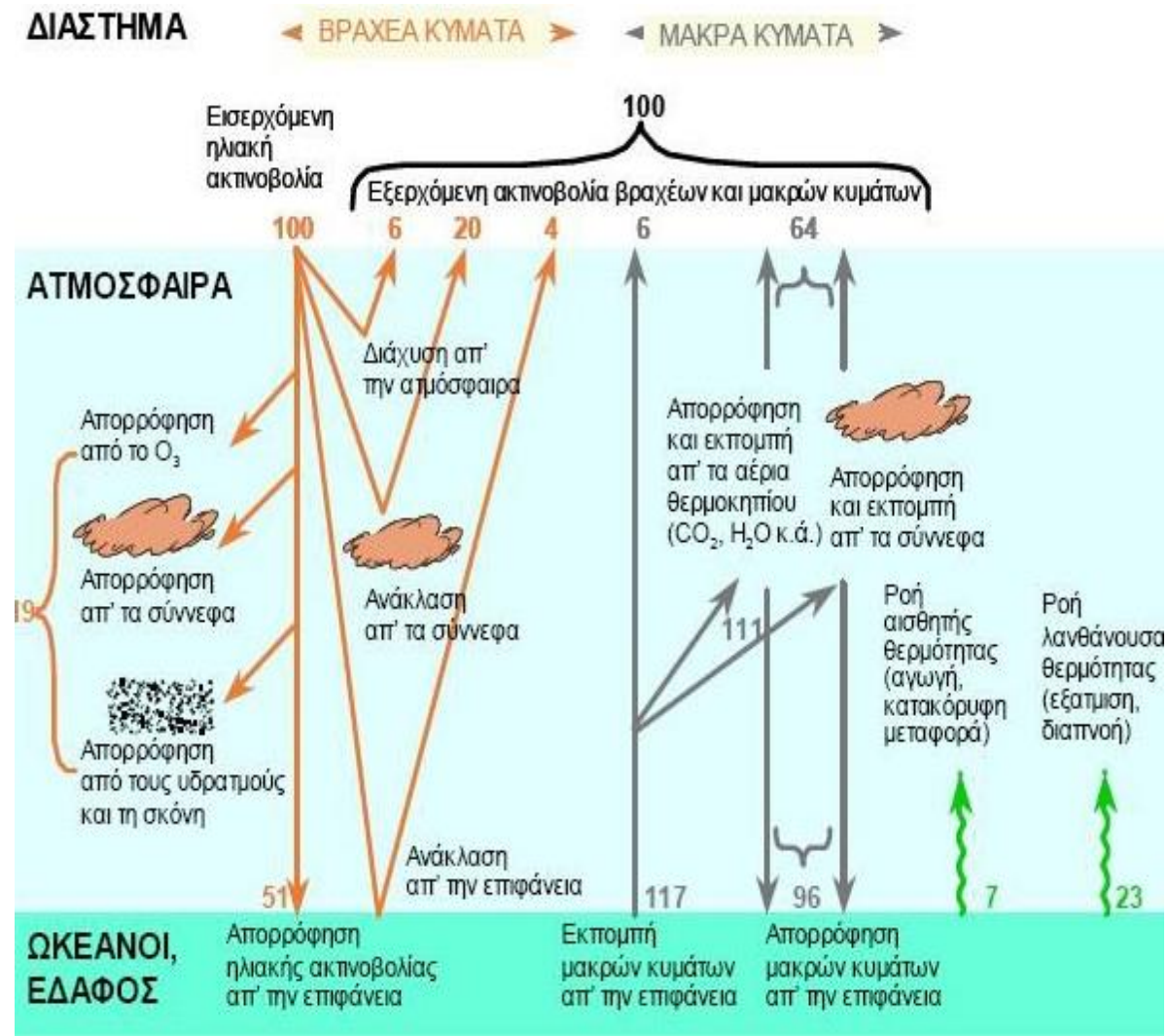
Στο σχήμα 3 απεικονίζουμε σχηματικά την ενεργειακή κατάσταση της γης και της ατμόσφαιρας. Συγκεκριμένα από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, μόνο περίπου το 51% εισέρχεται στην ατμόσφαιρα, προσκρούει στην επιφάνεια της γης και απορροφάται. Ποσοστό της τάξης του 21% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας αντανακλάται από τα σύννεφα και την ομίχλη. Μάλιστα κατά την διάρκεια που η ενέργεια της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στη γη και απορροφάται, τότε λαμβάνει χώρα αύξηση της θερμοκρασίας και η ενέργεια 'επιστρέφει' πίσω στην ατμόσφαιρα, σύμφωνα με το νόμο των Stefan-Boltzmann, που ισχύει για την ακτινοβολία του μέλανος σώματος. [Μπινιάρης 2006, Jerald L. Schnoor 2003].

Τελικά η συνολική ενέργεια που απορροφά η γή (70%) επιστρέφει στην ατμόσφαιρα και αντιστοιχεί σε μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Ωστόσο οι υδρατμοί, τα σύννεφα, το διοξείδιο του άνθρακα και άλλα αέρια της ατμόσφαιρας απορροφούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από το έδαφος και προκαλούν το γνωστό σε όλους μας φαινόμενο του θερμοκηπίου.[Jerald L. Schnoor,2003]

Το μεγαλύτερο ποσοστό του φαινομένου του θερμοκηπίου, οφείλεται σε φυσικά αίτια όπως είναι τα σύννεφα, οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα δεν προέρχεται από την επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους λόγω των βιομηχανικών μονάδων. Όλα αυτά τα αέρια-στοιχεία είναι απαραίτητα γιατί χωρίς αυτά η γη θα ήταν πολύ κρύα και δεν θα μπορούσε να επιβιώσουν οι έμβιοι οργανισμοί καθώς και οι άνθρωποι.Ενδεικτικό είναι ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία του πλανήτη γη είναι 150⁰C με την παρουσία των αέριων στοιχείων, ενώ χωρίς αυτά θα ήταν 180⁰C[Jerald L. Schnoor,2003]

Άρα τα προαναφερθέντα αέρια της ατμόσφαιρας απορροφώντας τη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει η γη, θερμαίνονται με αποτέλεσμα με την σειρά τους να εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις. Οπότε ένα τμήμα αυτής της ακτινοβολίας φτάνει πίσω στη γη θερμαίνοντας την. Όλη αυτή η διαδικασία ονομάζεται «φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου» καθώς υπήρχε από το μακρύ παρελθόν που όμως επιβαρύνθηκε λόγω της

ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκάλεσε και που προκαλεί συνεχώς ο άνθρωπος [Εύκολα κανείς καταλαβαίνει γιατί το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την διατήρηση της ζωής πάνω στον πλανήτη γη [Jerald L. Schnoor,2003].



Σχήμα 3. Εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και εν συνεχεία θερμαίνει την ατμόσφαιρα. Ένα τμήμα της επιστρέφει πίσω και το υπόλοιπο εκπέμπεται ως εξερχόμενη υπέρυθη ακτινοβολία. [Πηγή: Κουτσογιάννης Δ., “Ατμόσφαιρα και κλίμα, Άνθρωπος και Περιβάλλον στον 21ο αιώνα, Τα κρίσιμα Προβλήματα”, 1,6 σελίδες, Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Γουλιανδρή, Αθήνα 2003]

1.3 Παράγοντες ενίσχυσης φαινομένου του Θερμοκηπίου

Αναφέραμε στο προηγούμενο εδάφιο ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι κατά βάση φυσικό φαινόμενο που ωστόσο ενισχύεται από τις δραστηριότητες των ανθρώπων. Οι δραστηριότητες αυτές προκαλούν την μόλυνση του ατμοσφαιρικού αέρα καθώς αυξάνουν την συγκέντρωση των αέριων ουσιών που προϋπάρχουν και προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και στην παραγωγή επιπρόσθετων χημικών ενώσεων όπως είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's). [Μπινιάρης,2003]

Το φαινόμενο της αύξησης της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας της γης ή κοντά στην επιφάνεια της οφείλεται επί το πλείστον στην ανθρωπογενή εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου, για αυτό και ονομάζεται ανθρωπογενές ή πρόσθετο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στην ουσία το πραγματικό πρόβλημα που έχει να αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα είναι το φαινόμενο αυτό που αρκετές φορές αποκαλείται για λόγους συντομίας και ως φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ειδικότερα τα τελευταία χρόνια, έχουν παρατηρηθεί και καταγραφεί μια ολοένα αυξανόμενη συγκέντρωση των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, με την περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα να ξεχωρίζει μιάς και η αύξηση της συγκέντρωσης του έφτασε από τα τέλη του 18^{ου} αιώνα μέχρι και τα τέλη του 20^{ου} αιώνα(1750-1998) το 31%!Είναι αξιοσημείωτο ότι τα ¾ της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα οφείλεται κατά κύριο λόγο στην χρήση ορυκτών καυσίμων. Στο πίνακα 1 παρουσιάζονται τα αέρια και οι συγκεντρώσεις τους τα έτη 1750 και 1998 αντίστοιχα μαζί με την αύξηση που σημείωσαν. [Μπινιάρης,2003].

Αέριο	Επίπεδα 1998	Αύξηση από το 1750	Ποσοστό αύξησης
Διοξείδιο του άνθρακα	365 ppm	87 ppm	31%
Μεθάνιο	1,745 ppb	1,045 ppb	150%
Οξείδιο του Αζώτου	314 ppb	44 ppb	16%
CFC-11 (CFCl ₃)	268ppt	268ppt	
CFC-12 (CF ₂ Cl ₂)	533ppt	533ppt	
CFC-13 (CClF ₃)	4ppt	4ppt	
CFC-113 (C ₂ F ₃ Cl ₃)	84ppt	84ppt	
CFC-114 (C ₂ F ₄ Cl ₂)	15ppt	15ppt	
CFC-115 (C ₂ F ₅ Cl)	7ppt	7ppt	

Πίνακας 1. Απεικόνιση τιμών συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου [Πηγή ICPP 2001]

Γενικά οποιαδήποτε μεταβολή στις συγκεντρώσεις αυτών των αερίων του θερμοκηπίου έχουν σαν αντίκτυπο την διατάραξη των ποσοστών ενέργειας που θα απορροφήσει το περιβάλλον με αποτέλεσμα να προκαλείται ανοδική μεταβολή της θερμοκρασίας και ως εκ τούτου κλιματικές αλλαγές ανά την υφήλιο. **[ICPP 2001]**

Η δυνατότητα μιας παγκόσμιας θέρμανσης λαμβάνει υπόψιν τις διαφορετικές ιδιότητες της απορρόφησης της ακτινοβολίας των αερίων μαζί με τη διάρκεια ζωής τους στην γήινη ατμόσφαιρα. Οι αυξήσεις περιεκτικότητας των αερίων προέρχονται από τη διαφορά μεταξύ των διαδικασιών εκπομπής και διοχέτευσης. Όμως λόγω της μεγάλης χρονικής διάρκειας εκπομπής των περισσότερων αερίων και των υπάρχουσών περιεκτικότητων των αερίων του θερμοκηπίου, οδηγούν την γή σε μια καινούργια κατάσταση ολοένα αυξανόμενης θερμότητας που θα κρατήσει και θα διατηρηθεί για αιώνες. Οπότε είναι επιτακτική η ανάγκη για ουσιαστική και άμεση μείωση των σημερινών επιπέδων εκπομπής αερίων, της τάξης του 60%, που είναι αναγκαία για να σταθεροποιηθεί η ακτινοβολούμενη επίδραση αυτών των αερίων και συνεπώς να σταθεροποιηθεί το παγκόσμιο κλίμα (IPCC 1990) **[William J. Makofske, Eric F.Karlin,1997]**.

Κεφάλαιο 2: Κλίμα

2.1 Το κλίμα στο πλανήτη μας

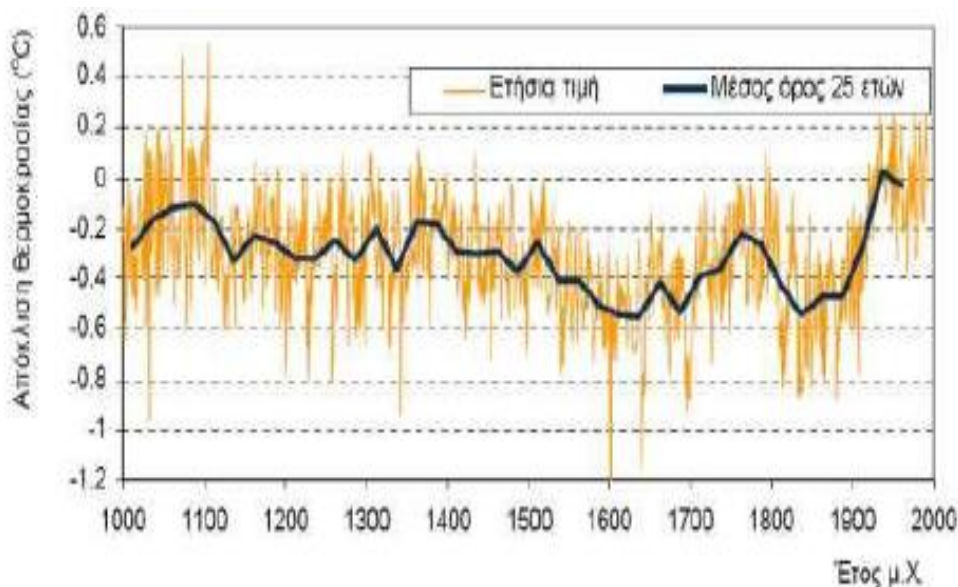
Ως γνωστόν το κλίμα στην Γη είναι η συνισταμένη των μέσων τιμών των διαφόρων στοιχείων που ορίζουν τον καιρό, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, οι βροχές, οι άνεμοι, το χιόνι καθώς και ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι τυφώνες, οι καταιγίδες κ.λπ. Τα φαινόμενα αυτά είναι αποτέλεσμα των εκδηλώσεων των κινήσεων και των μεταβολών του κατώτερου στρώματος της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρας) που αλληλεπιδρούν με ποικίλες φυσικοχημικές διεργασίες, τη δράση των ζωντανών οργανισμών και περιστατικά που λαμβάνουν χώρα όπως είναι οι εκρήξεις των ηφαιστείων. Σε όλο αυτό το σύστημα καθοριστικό ρόλο παίζει η ηλιακή ενέργεια που παγιδεύεται στην ατμόσφαιρα. Οπότε, η ισχυροποίηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, που σημαίνει περισσότερη ενέργεια στην ατμόσφαιρα, δεν συνεπάγεται μόνο άνοδο της θερμοκρασίας αλλά και ευρύτερη διατάραξη του κλίματος του πλανήτη [Δουκάκης Ε.,2005].

2.2 Κλιματικές αλλαγές στον πλανήτη

Είναι παραδεκτό ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούν να προκαλέσουν μεταβολές στο κλίμα, ωστόσο είναι γνωστό πως το κλίμα του πλανήτη μπορεί να αλλάξει και χωρίς την μεσολάβηση του ανθρώπου. Από την Ιστορία είμαστε σε θέση να ξέρουμε ότι τα πρώτα χρόνια υπήρχαν οι ψυχρές περίοδοι (εποχή των παγετώνων), κατά την οποία περίοδο τεράστιες εκτάσεις γης στο βόρειο ημισφαίριο καλύπτονταν από τεράστια στρώματα πάγου. Η πιο πρόσφατη εποχή των παγετώνων κορυφώθηκε πριν από 20.000 χρόνια, παρόλο που υπήρχαν και άλλες περίοδοι παγετώνων στην ιστορία της γης. Στα τελευταία δε 5 εκατομμύρια χρόνια, η ιστορία του κλίματος χαρακτηρίζεται από εναλλαγή των εποχών των παγετώνων με θερμές περιόδους σαν αυτή που διανύουμε σήμερα. Ακόμα υπάρχουν περίοδοι στην ιστορία του κλίματος [Κουτσογιάννης,2003].

Σήμερα είναι διαπιστωμένο ότι το κλίμα δεν είναι σταθερό σε ένα τόπο αλλά μεταβάλλεται συνεχώς και σε όλες τις χρονικές κλίμακες. Όμως, οι μετρήσεις που έχουμε για τη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και άλλα στοιχεία του κλίματος δεν ξεκινούν παρά τον 17ο αιώνα σε λίγες περιπτώσεις, και μόνο τον 20ο αιώνα έχουν διαδοθεί ευρέως. Ενδεικτικά στο σχήμα 4,

παρουσιάζουμε ένα ανακατασκευασμένο δείγμα θερμοκρασιών για τα τελευταία χίλια χρόνια, όπου κανείς εύκολα μπορεί να παρατηρήσει ότι οι θερμοκρασίες έχουν υψηλές τιμές τον 11^ο αιώνα και την σημερινή εποχή που διανύουμε, ενώ τον 16^ο-17^ο αιώνα οι τιμές των θερμοκρασιών είναι πολύ χαμηλές.[Κουτσογιάννης,2003]



Σχήμα 4. Ανακατασκευασμένο δείγμα τιμών θερμοκρασίας του Βόρειου Ημισφαιρίου [Πηγή: Jones, P. D. (1998), High-resolution paleoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures. *Holocene* 8(4), 455–471.]

Τέλος από τα παραπάνω προκύπτει η ανάγκη κατανόησης του πώς και γιατί το κλίμα έχει αλλάξει τα τελευταία 50 χρόνια. Ένα θέμα που αποτελεί θέμα προς συζήτηση για ποικίλους λόγους. Ένας τέτοιος λόγος είναι η ανίχνευση και η καταγραφή των επιπτώσεων που παρατηρούνται ανά την υφήλιο και που οφείλονται στις κλιματικές αλλαγές και τα οποία δεδομένα μπορούν να αποτελούν την βάση για μελλοντικές προβλέψεις αλλαγής κλίματος. Επιπλέον ένας ακόμη λόγος είναι η διερεύνηση της αδυναμίας της κοινωνίας στη τωρινή μεταβλητότητα κλίματος και στις μελλοντικές αλλαγές του. Η Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης της Έκθεσης Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) συνοψίζει τα αυξανόμενα αποδεικτικά στοιχεία παρατήρησης της κλιματικής αλλαγής

κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40-50 ετών καθώς επίσης σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους.
[Jones, P. D.. (1998)]

2.3 Μεταβολή του κλίματος λόγω ανθρώπινης παρέμβασης

Απο τις αρχές του 20ου αιώνα το κλίμα της γης έχει παρουσιάσει σημαντική σταδιακή συνολική θέρμανση κατά περίπου 0.7°C σε παγκόσμιο επίπεδο, ενώ στην Ευρώπη η αύξηση αυτή ανέρχεται στους 0.95°C [State of the Climate]. Το μεγαλύτερο ποσοστό της αύξησης αυτής έχει παρατηρηθεί σε δύο περιόδους, του 20^{ου} αιώνα. Για τα διαστήματα 1910-45 και από το 1975 μέχρι και σήμερα. Πιο αναλυτικά ο ρυθμός θέρμανσης έχει ιδιαίτερα αυξηθεί ήδη από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 καθώς έχουν διαπιστωθεί ότι τα θερμά έτη, οκτώ στο σύνολο τους, έχουν παρατηρηθεί και καταγραφεί στην ιστορία, και κάνουν την εμφάνιση τους κατά την δεκαετία του 1980 [World Meteorological Organization].

Με καταγραφές της Έκθεσης Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (ICPP) διαπιστώθηκε ότι η δεκαετία του 1990 ήταν η θερμότερη της χιλιετίας για το βόρειο ημισφαίριο [ICCP,2001]. Μάλιστα οι θερινές θερμοκρασίες των τελευταίων δεκαετιών, στο βόρειο ημισφαίριο, ήταν οι υψηλότερες των έξι, για τους τελευταίους αιώνες. Το 1999, με βάση επίσημες πηγές ήταν το πέμπτο πιο θερμό έτος που έχει ποτέ καταγραφεί στην ιστορία, με θερμοκρασία 0.33°C μεγαλύτερη από τη μέση τιμή της περιόδου 1961-90 [ICCP,2001]. Η μικρή μείωση στη μέση θερμοκρασία που παρατηρήθηκε το 1999, σε σχέση με το 1998, αποδίδεται στην παράλληλη εμφάνιση του φαινόμενου La Nina στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό κατά τα τέλη του 1998. Ωστόσο κανένα έτος στα χρονικά με παράλληλη εμφάνιση του La Nina δεν ήταν τόσο θερμό όσο το 1999 [Ακύλας Ε.,Λυκούδης Σ.,Λάλας,2005].

Οι παραπάνω αλλαγές θεωρούνται ασυνήθιστες τόσο όσον αφορά στο μέγεθος όσο και στην ταχύτητα της συντελούμενης μεταβολής. Αυτό γιατί η άνοδος της θερμοκρασίας ξεπερνά κατά πολύ όλες τις φυσικές μεταβολές του κλίματος των τελευταίων 1000 ετών ενώ εκτιμάται ότι η θερμοκρασία θα αυξηθεί ακόμη περισσότερο στο μέλλον [ICCP 2001]

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η φυσική μεταβλητότητα του κλίματος δεν μπορεί από μόνη της να ερμηνεύσει την παρατηρούμενη ένταση της θέρμανσης. Ωστόσο, προκύπτουν ολοένα και περισσότερες επιστημονικές ενδείξεις που συνηγορούν στο ότι το μεγαλύτερο μέρος της παρατηρούμενης ανόδου της θερμοκρασίας, οφείλεται κατά κύριο λόγο σε ανθρωπογενείς

μορφές μόλυνσης και πιο συγκεκριμένα στην αυξημένη εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου [Ακύλας Ε.,Λυκούδης Σ.,Λάλας,2005].

2.4 Στοιχεία αλλαγής κλιματικής μεταβολής στον ευρωπαϊκό χώρο

Η θέρμανση του παγκόσμιου κλίματος είναι γενικά παραδεκτό, σαν γεγονός καθώς προκύπτει από παρατηρήσεις λόγω των αυξήσεων των μέσων τιμών θερμοκρασία του αέρα και των ωκεανών, της εκτεταμένης τήξης χιονιού και πάγου και της ανόδου της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας. Γενικά έχουν παρατηρηθεί πολυάριθμες μακροχρόνιες κλιματικές αλλαγές σε κλίμακα ηπείρου, περιφέρειας και ωκεανού. Αυτές περιλαμβάνουν εκτεταμένες αλλαγές στην ποσότητα των βροχοπτώσεων, την αλατότητα των ωκεανών, την κατανομή των αερίων μαζών και τα ακραία καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των καυσώνων και των εντάσεων των τροπικών κυκλώνων [Μπινιάρης 2006].

Στον ευρωπαϊκό χώρο, έχει παρατηρηθεί και καταγραφεί μια εκτίμηση της μεταβολής του κλίματος της Μεσογείου, που μελετήθηκε και παρουσιάστηκε από ερευνητές στο διεθνές πρόγραμμα MedClimar του 2006 [P. Lionello and P. Malanotte-Rizzoli, P. Alpert, V. Artal, 2006]. Στη δημοσίευση αυτή παρέχεται λεπτομερή ανάλυση της Μεσογειακής μεταβλητότητας του κλίματος κατά τη διάρκεια των τελευταίων αιώνων και εξετάζει τις σχέσεις με ατμοσφαιρικά συστήματα διακύμανσης όπως το El Nino (ENSO) και η Περιοδική Μεταβολή στο Βόρειο Ατλαντικό (NAO). Το κύριο αποτέλεσμα της συγκεκριμένης ανάλυσης είναι ότι τα τελευταία 40-50 χρόνια είναι ότι η αύξηση της θερμοκρασίας περιλαμβάνει την συχνότερη εμφάνιση ακραίων υψηλών θερμοκρασιών και λιγότερων ακραίων χαμηλών θερμοκρασιών σε όλες τις περιοχές της Μεσογείου - εκτός από περιοχές που ανήκουν στην ανατολική Μεσόγειο. Όσον αφορά τις επιπτώσεις στον άνθρωπο, οι καταγεγραμμένες τιμές υψηλών θερμοκρασιών αποτελούν τη σημαντικότερη ανησυχία, ειδικά μετά από το θερμό καλοκαίρι του 2003 που ήταν το θερμότερο των τελευταίων πεντακοσίων ετών στο μεγαλύτερο μέρος της λεκάνης της Μεσογείου [Lionello and P. Malanotte-Rizzoli, P. Alpert, V. Artal ,2006].

Η γενικότερη τάση που επικρατεί στη Μεσόγειο είναι αυτής της μείωσης της βροχόπτωσης σε όλες τις εποχές κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών που παρατηρείται τόσο στα χαμηλότερα επίπεδα βροχοπτώσεων όσο και στις μεγαλύτερες περιόδους ξηρασίας. Οι

παρατηρηθείσες αλλαγές δεν είναι πάντα στατιστικά σημαντικές, καθώς οφείλεται στο γεγονός ότι μπορεί εν μέρει να είναι το αποτέλεσμα της μεγάλης διαχρονικής μεταβλητότητας βροχοπτώσεων σε αυτή την περιοχή. Επιπλέον η χωρική και εποχιακή κατανομή της κλιματικής αλλαγής είναι επίσης πολύπλοκη. Για παράδειγμα, υπάρχουν στοιχεία αυξανόμενων βροχοπτώσεων την άνοιξη στους κόλπους της Γένοβας και της Λυών. Οι μειωμένες καταγεγραμμένες τιμές των χειμερινών βροχοπτώσεων στη βόρεια και δυτική Μεσόγειο έχουν αποδειχθεί ότι συνδέονται με το σύστημα NAO. Η τάση προς θετικότερες τιμές δεικτών NAO τα τελευταία χρόνια συνδέεται με τις χαμηλότερες βροχοπτώσεις στη Μεσόγειο και τις υψηλότερες βροχοπτώσεις σε ολόκληρη τη βορειοδυτική Ευρώπη (Σχήμα 5)[**Lionello and P. Malanotte-Rizzoli, P. Alpert, V. Artal ,2006**]



Σχήμα 5. Απεικόνιση σημείων της Ευρώπης όπου συναντάται το φαινόμενο των έντονων βροχοπτώσεων (κοκκινοί κύκλοι) και περιοχών όπου οι βροχοπτώσεις είναι ασθενείς. [Πηγή :P. Lionello and P. Malanotte-Rizzoli, P. Alpert, V. Artal'' Mediterranean CLImate VARIability and predictability project'']

Κεφάλαιο 3: Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου

3.1 Επιπτώσεις των Κλιματικών Αλλαγών και του της ανθρώπινης παρέμβασης στο φαινόμενο του Θερμοκηπίου

Οι συνολικές συνέπειες του φαινομένου του θερμοκηπίου, που συνεχώς επιβαρύνεται λόγω της συνεχιζόμενης ατμοσφαιρικής ρύπανσης, είναι δύσκολο να προβλεφθούν καθώς το γεγονός ότι η άνοδος της θερμοκρασίας συνδέεται με παράγοντες που ο ρόλος τους δεν είναι πλήρως Ορισμένες από τις πιο σημαντικές συνέπειες είναι που προκαλεί είναι:

- Η Άνοδος της στάθμης της θάλασσας
- Η Όξυνση των ακραίων καιρικών φαινομένων
- Η Αύξηση της εξάτμισης του νερού από θάλασσες και ωκεανούς και της δημιουργίας έντονων βροχοπτώσεων.
- Η Επίδραση στο παγκόσμιο κλίμα μέσω της μετακίνησης των ζωνών βροχοπτώσεων από τον Ισημερινό προς Βορρά και ερημοποίηση του κάτω τμήματος της εύκρατης ζώνης
- Οι Κίνδυνοι που δημιουργούνται για τα οικοσυστήματα και τη βιοποικιλότητα.
- Οι επιπτώσεις που προκαλούνται στους τομείς της παραγωγής τροφής και της γεωργίας κατά κύριο λόγο στις αναπτυσσόμενες χώρες με ανεπαρκείς υποδομές.
- Οι Επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων
- Η ερημοποίηση περιοχών του πλανήτη [Δουκάκης Ε.,2005].

3.2 Άνοδος της μέση στάθμης του νερού

3.2.1 Μέση Στάθμη θάλασσας/ωκεανών

Μια χαρακτηριστική συνέπεια που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου, είναι η συνεχόμενη άνοδος της στάθμης των θαλασσών ή των ωκεανών. Είναι γνωστό, βάση μελετών ότι ο σχηματισμός των ωκεανών και της ατμόσφαιρας συνέβη παράλληλα με τον σχηματισμό της γης. Η σημερινή εικόνα που παρουσιάζει η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας οφείλεται σε συγκεκριμένες μεταβολές, που η προέλευση τους βρίσκεται δισεκατομμύρια χρόνια πριν, το χρονικό διάστημα που σχηματιζόταν η γη. Μάλιστα η τελευταία και ισχυρή αλλαγή στη στάθμη έλαβε χώρα πριν από 6.000 χρόνια και η οποία συνέβαλε στον σημερινό καθορισμό της τωρινής

ακτογραμμής, ενώ αλλαγές μικρού βεληνεκούς που έλαβαν χώρα και η ταυτόχρονη δράση άλλων φυσικών διεργασιών, προκάλεσαν λιγότερο αλλά ισχυρές μετατοπίσεις σ'αυτήν. [Δουκάκης Ε.,2005].

Έχει διαπιστωθεί ότι η επιφάνεια της θάλασσας είναι μία επιφάνεια που διαρκώς αλλάζει με δυναμικό τρόπο, καθώς οι αλλαγές στο επίπεδο της λαμβάνουν χώρα όχι μόνο ανά τους αιώνες και τις δεκαετίες, αλλά μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα σε ώρες ή λεπτά. Αν κανείς μελετήσει το θέμα από άποψη γεωλογίας διαπιστώνει ότι το επίπεδο της θάλασσας είναι ένα επίπεδο ισορροπίας . Από θεωρητική άποψη, οι ωκεάνιες λεκάνες επικοινωνούν μεταξύ τους, οπότε υπάρχει ένα παγκόσμιο μέσο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας. [Δουκάκης Ε.,2005]

Η επιφάνεια των ωκεανών παρουσιάζει λιγότερη σταθερότητα από την τοπογραφική επιφάνεια λόγω ποικίλων παραγόντων και διαρκώς μεταβάλλεται διαρκώς με το χρόνο. Οπότε για το παραπάνω λόγο χρησιμοποιείται η έννοια της Μέσης Στάθμης της Θάλασσας (Μ.Σ.Θ), ως πιο ακίνητη επιφάνεια. Οπότε η Μέση Στάθμη της Θάλασσας αποτελεί τον μέσο όρο των στιγμιαίων σταθμών της θάλασσας για μία μεγάλη χρονική περίοδο. Συνήθως, σαν Μέση Στάθμη Θάλασσας λαμβάνεται ο μέσος όρος των ωριαίων υψών κατά το χρονικό διάστημα ενός έτους, καθώς περιέχεται όλος ο αριθμός των επιδράσεων των έλξεων Ήλιου και σελήνης, που ο μέσος όρος τους θα είναι μηδέν, και η ανάλυση προσδιορίζεται από την ανάλυση παλιρροιογραφικών στοιχείων τοπικών σταθμών μέτρησης με ακρίβεια ± 1 cm.[Δουκάκης Ε.,2005].

Οι καταγραφές των τιμών της Μέσης Θάλασσας, γίνονται με την χρήση ειδικών οργάνων. Τα ειδικά αυτά όργανα είναι οι παλιρροιογράφοι και τα παλιρροιόμετρα. Από άποψη θεωρητική και μόνο ένα αρχείο καταγραφών των υψών της θάλασσας σε μια συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί θεμελιώδη βάση για τον προσδιορισμό της Μ.Σ.Θ., με την προϋπόθεση ότι είναι συνεχές και έχει διάρκεια περίπου 20 χρόνια. Έτσι είναι δυνατή η εξάλειψη των διαφορών στα ύψη των παλιρροιών που προκαλούν οι επιδράσεις του Ήλιου και της Σελήνης. Σε παγκόσμια κλίμακα η Μέση Στάθμη Θάλασσας καταγράφεται με τη χρήση των τεχνητών δορυφόρων με ακρίβεια λίγων εκατοστών. Ακόμα η ύπαρξη των μετεωρολογικών δορυφόρων συμβάλλει σημαντικά στην παρατήρηση των μετατοπίσεων των ωκεανών και των φυσικών διαταραχών που λαμβάνουν χώρα σε αυτούς [Δουκάκης Ε.,2005].

3.2.2 Παράγοντες αύξησης της Μέση Στάθμης θαλασσών

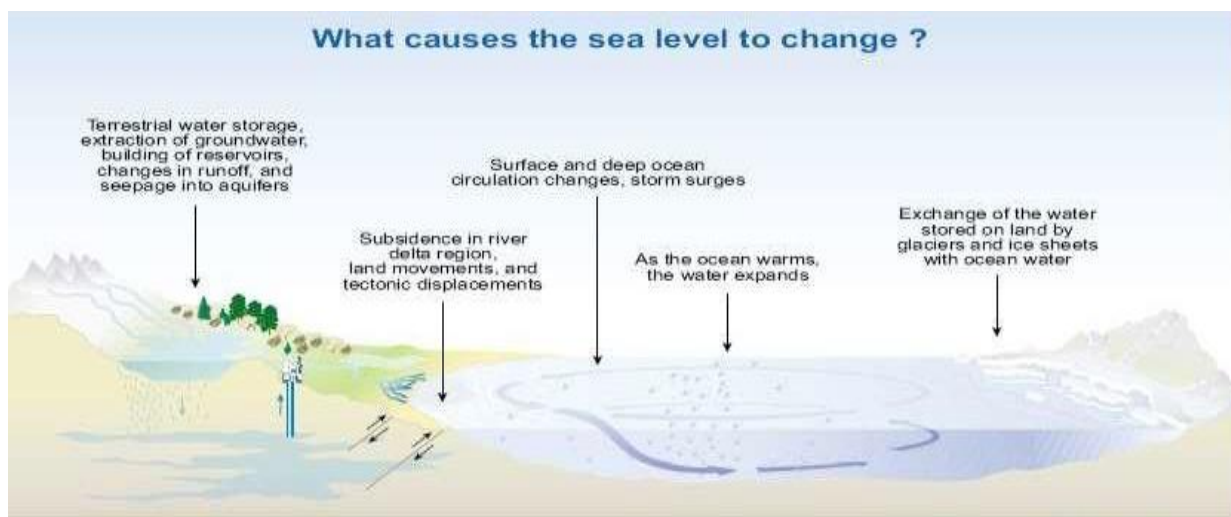
Οι μεταβολές που έχουν συμβεί στο παρελθόν ή λαμβάνουν χώρα και προκαλούν την αύξηση της στάθμης της θάλασσας ποικίλουν καθώς και τα φυσικά φαινόμενα που οδηγούν σε αυτές. Οπότε μπορούμε να διακρίνουμε τις όποιες μεταβολές σε αυτές που έλαβαν χώρα στο παρελθόν με αρκετά μεγάλη διάρκεια και σε αυτές με μικρότερη ένταση και διάρκεια [Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ.,2005].

Νωρίτερα σε προηγούμενο εδάφιο αναφέραμε ότι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις που έχει προκαλέσει η θέρμανση του κλίματος λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου. Σε παγκόσμιο επίπεδο, το φαινόμενο αυτό είναι σε θέση να απειλήσει ολόκληρες χώρες που βρίσκονται στα παράλια ή σε νησιά. Παράγοντες που είναι άρρηκτα δεμένοι με την κλιματική αλλαγή και προκαλούν την άνοδο της στάθμης της θάλασσας είναι: α) η τήξη των πάγων και η β) θερμική διαστολή του νερού [Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ.,2005].

Η τήξη των πάγων των ορεινών όγκων είναι ο πρώτος και σημαντικός παράγοντας που συμβάλει στην αύξηση της ανόδου της θερμοκρασίας, που προκαλείται από την μόλυνση και ταυτόχρονη θέρμανση του κλίματος [ICPP, 2001a]. Συγκεκριμένα οι πάγοι των Πόλων έχουν συγκεντρωμένο το 99% του ολικού γλυκού νερού της Γη και σε περίπτωση που θα έλιωναν θα οδηγούσαν σε άνοδο της επιφάνειας της θάλασσας κατά 68 μέτρα. Συγκεκριμένα 61μέτρα προέρχονται από τους πάγους της Ανταρκτικής και 7 μέτρα από την συμβολή αυτών από τη Γροιλανδία [Jerald L. Schnoor,2003]. Ωστόσο η πραγματική συνεισφορά τους στην παρατηρούμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας των ωκεανών είναι απροσδιόριστη καθώς οι δυσκολίες συγκέντρωσης πληροφοριών είναι δύσκολη. Στον Νότιο Πόλο οι μεταβολές του των στρωμάτων πάγου οφείλονται κατά βάση σε τήξη της βάσης των παγετώνων και στην αποκόλληση των παγόβουνων διότι οι θερμοκρασίες είναι αρκετά χαμηλές με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται πολύ μικρή έκταση επιφανειακής τήξης. Ενώ η επιφανειακή τήξη των πάγων στο Βόρειο Πόλο (Γροιλανδία) λόγω της διαρκώς μεταβολής του κλίματος είναι σημαντική. Συνολικά η περιοχή της Γροιλανδία έχει εκτιμηθεί ότι συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην παγκόσμια άνοδο της στάθμης των θαλασσών από την περιοχή της Ανταρκτικής με βάση μελέτες της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος [ICPP 2001a, Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ.,2003]

Αν θεωρήσουμε ότι η μάζα των ωκεανών εία σταθερή, τότε ο όγκος των ωκεάνιων υδάτων, και οπότε η στάθμη της θάλασσας, θα εξαρτώνται από τις μεταβολές της πυκνότητας του νερού. Εν συνεχεία η πυκνότητα με τη σειρά της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αλατότητα και την θερμοκρασία που θεωρείται υπεύθυνη για το περισσότερο από το 90% της διαστολής του όγκου των ωκεανών σε παγκόσμιο επίπεδο. Οπότε καθώς το κλίμα γίνεται πιο θερμό η πυκνότητα των υδάτων των ωκεανών μειώνεται ο δε όγκος τους αυξάνεται και επειδή οι διαδικασίες εξισορρόπησης της θερμικής διαστολής από τόπο σε τόπο είναι πολύ αργές σε περιπτώσεις απότομων κλιματικών μεταβολών ο ρυθμός μεταβολής της στάθμης της θάλασσας ενδέχεται να αυξηθεί σε κάποιες περιοχές πιο γρήγορα από κάποιες άλλες.[**Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ.,2003**]

Εκτός από τους παραπάνω παράγοντες ,υπάρχουν και άλλοι που συμβάλουν στη αύξηση της θαλάσσιας στάθμη. Τέτοιος παράγοντας είναι η μεσολάβηση του ανθρώπου λόγω της παρέμβασης του στα υδάτινους πόρους της ξηράς τόσο υπόγεια όσο και επιφανειακά,. Ενώ σε τοπικό επίπεδο σημαντικές είναι οι γεωλογικές κινήσεις, η εναπόθεση ιζημάτων στον πυθμένα καθώς και αλλαγές στους ανέμους και τα θαλάσσια ρεύματα. Μετρήσεις της θαλάσσιας στάθμης είναι διαθέσιμες σε διάφορα σημεία της Ευρώπης κάνοντας αρκετά αξιόπιστη τη μελέτη των τάσεων ανόδου της θαλάσσιας στάθμης σε επίπεδο ηπείρου, ενώ από την δεκαετία του 1990, υπάρχουν και δορυφορικές μετρήσεις από δορυφόρους παγκόσμιας κάλυψης. Τέλος στο σχήμα 6 παρουσιάζουμε τους παράγοντες που προκαλούν την άνοδο της στάθμης των θαλασσών και των ωκεανών.[**Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ. 2003, Brochier F. and E. Ramieri,2001**].



Σχήμα 6. Παράγοντες που προκαλούν την άνοδο της στάθμης των νερών. [Πηγή: Brochier F. and E. Ramieri, "Climate Change Impacts on the Mediterranean Coastal Zones, Fondazione Eni Enrico Mattei" Nota di Lavoro 27.2001, 2001]

3.3 Αύξηση των βροχοπτώσεων

Μια επιπλέον συνέπεια που προκαλεί η θέρμανση του κλίματος και κατά συνέπεια το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι η αύξηση των βροχοπτώσεων. Συγκεκριμένα η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας που λαμβάνει χώρα κοντά στην επιφάνεια της γης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της εξάτμισης του νερού και την αύξηση του μέσου όρου του 'ύψους' των βροχοπτώσεων. Το ύψος της βροχής περιγράφει την ποσότητα του νερού που πέφτει από την βροχή και είναι το ύψος στο οποίο θα έφτανε η στάθμη του νερού της βροχής πάνω από μια οριζόντια επιφάνεια εφόσον το νερό δεν απορροφούνταν από το έδαφος και δεν υφίστατο την διαδικασία της εξάτμισης. Με βάση υπολογισμούς της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος, έχει προβλεφθεί ότι όταν οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) αυξηθούν αρκετά λαμβάνοντας διπλάσιες τιμές από τις αντίστοιχες της δεκαετίας του 1990, πρόβλεψη που αν επιβεβαιωθεί θα λάβει χώρα το 2069, οι τιμές του μέσου ύψους των βροχών θα έχουν αυξηθεί σε ποσοστό 10-15%. Το πρόβλημα της αύξησης του μέσου ύψους της βροχής είναι ότι θα υπάρξουν τόποι όπου οι τιμές του ύψους της βροχής θα είναι ακόμα μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες τιμές ή περιοχές με ύψη πολύ μικρότερα από τα προαναφερθέντα ποσοστά [Μπινιάρης, 2006]

Το πρόβλημα με την αύξηση του μέσου ύψους της βροχής κατά 10-15% είναι ότι θα υπάρξουν περιοχές που το ύψος της βροχής θα είναι ακόμη μεγαλύτερο απ' αυτό το ποσοστό και άλλες περιοχές, που θα υπάρξει μείωση σε σχέση με το 1990 [Μπινιάρης, 2006]

Με βάση μαθηματικά μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί από τους ερευνητές αποδεικνύουν ότι στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη το μέσο ύψος των βροχοπτώσεων είναι μεγαλύτερο ενώ στα μεσαία βόρεια γεωγραφικά πλάτη το μέσο ύψος των βροχοπτώσεων θα είναι μεγαλύτερο το χειμώνα και μικρότερο το καλοκαίρι. Αυτό μπορεί να επιβεβαιωθεί από το γεγονός, ότι η ξηρασία τα καλοκαίρια στην περιοχή της μεσογείου μετατοπίζεται σιγά σιγά προς το βορρά με αποτέλεσμα στη Νότιο Γερμανία να βρέχει λιγότερο τα καλοκαίρια. [Μπινιάρης, 2006]

Κεφάλαιο 4: Επιπτώσεις του φαινομένου του θερμοκηπίου στην Ευρώπη

4.1 Η κλιματική αλλαγή στον Ευρωπαϊκό χώρο

Με βάση την έκθεση του 2012 ‘**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**’, έχει παρατηρηθεί από τους επιστήμονες γενικότερη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας σε ολόκληρη την Ευρώπη, καθώς και επίσης σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων στις νότιες περιοχές και αντίστοιχη αύξηση των βροχοπτώσεων στη Βόρεια Ευρώπη. Μάλιστα το στρώμα πάγου του Βόρειου Πόλου (Γροιλανδία), οι θαλάσσιοι πάγοι της Αρκτικής και αρκετοί παγετώνες της Ευρώπης συνεχώς λιώνουν ενώ η θερμοκρασία των περισσότερων μονίμως παγωμένων εδαφών έχει αυξηθεί με αποτέλεσμα οι χιονοκαλύψεις να μειώνονται αισθητά.

[Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012]

Τα τελευταία χρόνια, έχουμε την εμφάνιση έντονων καιρικών φαινομένων όπως έντονοι καύσωνες, πλημμύρες και παρατεταμένη ξηρασία. Φαινόμενα που έχουν προκαλέσει σημαντικές ζημιές στην Ευρώπη. Αν και απαιτούνται περισσότερα στοιχεία ώστε να προσδιοριστεί ο βαθμός συμβολής της κλιματικής αλλαγής στην τάση αυτή, η συνεχόμενη και διαρκώς αυξανόμενη ανθρώπινη δραστηριότητα σε περιοχές που είναι εκτεθειμένες σε τέτοιους κινδύνους παίζει καθοριστικό ρόλο. Η ολοένα μεταβολή του κλίματος στο μέλλον αναμένεται με βάση προβλέψεις να ενισχύει την ευπάθεια των περιοχών αυτών, διότι τα ακραία αυτά καιρικά φαινόμενα αναμένεται να γίνουν εντονότερα και συχνότερα. Μάλιστα με την ίδια έκθεση, οι ζημιές θα συνεχίσουν να αυξάνονται, εφόσον οι ευρωπαϊκές χώρες δεν μπορούν να προσαρμοστούν[**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**

Επιπλέον με βάση την ίδια έκθεση, πολλές χώρες δεν μπορούν να προσαρμοστούν με τον ίδιο τρόπο στις κλιματικές αλλαγές λόγω της έντονης οικονομικής ανισότητας που επικρατεί στην Ευρώπη. Μάλιστα οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής ενδέχεται να εντείνουν σε μεγάλο βαθμό την όποια ανισότητα υπάρχει. Η εκτελεστική διευθύντρια του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος είχε αναφέρει το εξής: ‘‘Η αλλαγή του κλίματος αποτελεί γεγονός σε όλο τον κόσμο, και η έκταση και ταχύτητα της αλλαγής γίνονται ακόμη πιο εμφανείς. Αυτό σημαίνει ότι κάθε τμήμα της οικονομίας, συμπεριλαμβανομένων των νοικοκυριών πρέπει να προσαρμοστεί καθώς επίσης και να μειώσει τις εκπομπές»[**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]

4.2 Μελλοντικές προβλέψεις για την αλλαγή του κλίματος

Με βάση μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι η δεκαετία 2001–2011 έχει καταγραφεί ως η θερμότερη στην Ευρώπη. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία στις χερσαίες περιοχές της Ευρώπης είχε αυξηθεί κατά 1,3° C σε σχέση με τα μέσα επίπεδα της προ-βιομηχανικής εποχής. Επιπλέον οι προβλέψεις διαφόρων μοντέλων έχουν δείξει ότι η θερμοκρασία στην Ευρώπη μπορεί να αυξηθεί προς το τέλος του 21ου αιώνα κατά 2,5–4° C σε σύγκριση με τη μέση θερμοκρασία της περιόδου 1961–1990 [**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]

Είχε παρατηρηθεί ότι οι καύσωνες είχαν ενταθεί τόσο σε διάρκεια όσο και σε συχνότητα, προκαλώντας τον θάνατο σε εκατοντάδες ανθρώπους εκείνης της περιόδου. Με βάση την έκθεση του 2012, έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι εάν οι κοινωνίες δεν μπορέσουν να προσαρμοστούν, η προβλεπόμενη αύξηση των καυσώνων μπορεί να επιφέρει αύξηση στον αριθμό των θανάτων στα επόμενα χρόνια που θα ακολουθήσουν. Ωστόσο, υπάρχει η πρόβλεψη ότι ο αριθμός των θανάτων λόγω ψύχους προβλέπεται να μειωθούν σε πολλές χώρες. **Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**

Επιπρόσθετα με την έκθεση του 2012, έχει καταγραφεί σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων στις νότιες περιοχές και αύξηση τους στη Βόρεια Ευρώπη [**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]. Μια τάση που αναμένεται να συνεχιστεί. Ακόμα η μεταβολή του κλίματος προβλέπεται να προκαλέσει αύξηση στις πλημμύρες των ποταμών ιδιαίτερα στη Βόρεια Ευρώπη διότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες ενισχύουν τον υδρολογικό κύκλο. Ωστόσο σε αυτό το σημείο είναι δύσκολο να καθοριστεί η επίδραση της αλλαγής του κλίματος στα καταγεγραμμένα στοιχεία πλημμυρών του παρελθόντος. Στην Νότια Ευρώπη έχει κάνει την εμφάνιση της η έντονη ξηρασία των ποταμών. Φαινόμενο που διαρκώς γίνεται συχνότερο και σοβαρότερο. Υπάρχει η πρόβλεψη ότι οι ελάχιστες ποτάμιες πρόκειται να μειωθούν σε μεγάλο βαθμό κυρίως κατά τις θερινές περιόδους στη Νότια Ευρώπη, αλλά και σε πολλές άλλες περιοχές της Ευρώπης, σταδιακά. [**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]

Λόγω του λιώσιμου των πάγων στους Πόλους και των παγετώνων στις Άλπεις η στάθμη των θαλασσών συνεχώς αυξάνεται πράγμα που σημαίνει ότι ο κίνδυνος πλημμυρών των παράκτιων περιοχών και όχι μόνο της Ευρώπης να αυξάνεται. Τον 20ο αιώνα η μέση τιμή της θαλάσσιας

στάθμης παγκοσμίως αυξήθηκε με ρυθμό 1,7 χιλιοστά ανά έτος, φτάνοντας τα 3 χιλιοστά ανά έτος τις τελευταίες δεκαετίες. Οι προβλέψεις για το μέλλον συνεχώς ποικίλλουν σε σημαντικό βαθμό, όμως είναι πιθανό η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης να είναι μεγαλύτερη τον 21ο αιώνα σε σχέση με τον 20ό. Ωστόσο θα πρέπει να τονιστεί ότι η άνοδος του ύψους της στάθμης της θάλασσας διαφέρει στις ευρωπαϊκές ακτές, λόγω πολλών παραγόντων όπως είναι π.χ. η τοπική μετακίνηση του εδάφους. Στη έκθεση αναφέρεται ότι εκτός από τις επιπτώσεις στην υγεία που προκαλεί η μεταβολή του κλίματος μέσω της αύξησης θερμοκρασίας υπάρχουν κι άλλες εξίσου σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία καθώς η μεταβολή των κλιματικών συνθηκών συμβάλουν συνήθως στη μετάδοση ορισμένων ασθενειών [**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]

Επίσης πολλοί επιστήμονες έχουν καταγράψει και διαπιστώσει εκτεταμένες μεταβολές στα χαρακτηριστικά φυτών και ζώων. Συγκεκριμένα, τα φυτά ανθίζουν νωρίτερα ενώ νωρίτερα εμφανίζεται επίσης η άνθιση του φυτοπλαγκτού και του ζωοπλαγκτού στο γλυκό νερό. Πολλά ζώα και φυτά μετακινούνται βορειότερα ή σε περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο διότι ανεβαίνει με αύξοντα ρυθμό η θερμοκρασία των οικοτόπων τους. Ωστόσο ο ρυθμός μετανάστευσης πολλών ειδών είναι αντιστρόφως ανάλογος της ταχύτητας που παρουσιάζει η αλλαγή του κλίματος. Οπότε τα είδη αυτά ενδέχεται στο απώτερο μέλλον να αντιμετωπίσουν τον κίνδυνο εξαφάνισης [**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]

Σε ορισμένες περιοχές της Νότιας Ευρώπης η διαθεσιμότητα των υδάτων για χρήση στον γεωργικό τομέα μπορεί να περιοριστεί, ενώ σε άλλες περιοχές οι συνθήκες βλάστησης μπορεί να βελτιωθούν. Η δε περίοδος βλάστησης αρκετών καλλιεργειών στην Ευρώπη έχει παραταθεί, κάτι που προβλέπεται να συνεχιστεί, παράλληλα με την εξάπλωση καλλιεργειών θερινής περιόδου σε πιο βόρειες περιοχές. Ωστόσο υπάρχει πρόβλεψη ότι η απόδοση κάποιων καλλιεργειών θα μειωθεί λόγω των κυμάτων καύσωνα και ξηρασίας που εμφανίζονται στην Κεντρική και Νότια Ευρώπη [**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]

Ακόμα όσο η θερμοκρασία κινείται ανοδικά, μειώνεται επίσης η ζήτηση για θέρμανση, γεγονός που συμβάλλει στην εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, αυτό θα πρέπει να εξισορροπηθεί με την υψηλότερη ζήτηση ενέργειας για ψύξη στη διάρκεια των θερμότερων καλοκαιριών.

Τέλος η έκθεση του 2012 αναφέρει ότι τα προηγούμενα χρόνια οι τιμές των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου όπως είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το μονοξείδιο του αζώτου εκτινάχθηκαν σε τεράστια ύψη. Αξιοσημείωτο είναι ότι η συγκέντρωση διοξειδίου

του άνθρακα στην ατμόσφαιρα σημείωσε αύξηση 140% που είναι πολύ υψηλότερη από τα προβιομηχανικά επίπεδα του έτους 1750[**Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012**]

Κεφάλαιο 5: Βροχοπτώσεις στον ευρωπαϊκό χώρο

5.1 Δημιουργία του φαινομένου της βροχόπτωσης

Για την παραγωγή των βροχοπτώσεων μια σειρά από τέσσερις διαδικασίες πρέπει να λάβουν χώρα. Αυτές είναι η ψύξη στη θερμοκρασία σημείου υγροποίησης, η συμπύκνωση του υδρατμού, η δημιουργία των σταγονιδίων και η εισαγωγή του υδρατμού (**Dingman, 1994**). Ο αέρας που περιέχει το υδρατμό πρέπει να ψυχθεί στο σημείο υγροποίησης του μέσω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς ή των αδιαβατικών διαδικασιών. Η διαδικασία συμπύκνωσης απαιτεί την παρουσία των πυρήνων συμπύκνωσης σύννεφων (CCN) στους οποίους λαμβάνει χώρα η συμπύκνωση για να διαμορφώσει τα σταγονίδια σύννεφων. Τα CCN μπορεί να είναι αερολύματα, σκόνη, ηφαιστειακά υλικά, καπνός, δασικές πυρκαγιές ή άλατα θάλασσας. Τα σταγονίδια σύννεφων έχουν μια διάμετρο που κυμαίνεται από 0.001 έως 0.2mm. Για να πέσουν οι βροχοπτώσεις από τα σύννεφα στη γη, μερικά από τα σταγονίδια πρέπει να αυξηθούν ως προς το μέγεθος έτσι ώστε η ταχύτητα πτώσης τους να υπερβαίνει το ποσοστό ανόδου προκειμένου να καταφέρνουν να επιζούν της εξάτμισης καθώς πέφτουν. Τα σταγονίδια σύννεφων αυξάνονται σε μέγεθος με εκείνων των σταγόνων βροχής με διάμετρο 0.4 έως 4 mm ή και μεγαλύτερο. [**Ahrens, 2007**]

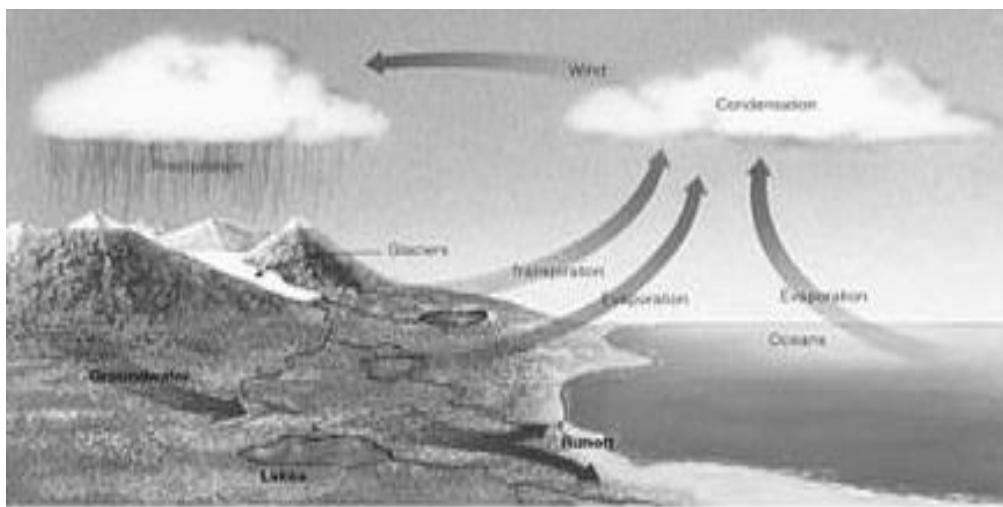
Τα σταγονίδια των σύννεφων συνεχίζουν να αυξάνουν ως προς το μέγεθος λόγω της συμπύκνωσης του υδρατμού. Μπορούν επίσης να αυξηθούν όταν συγκρούονται το ένα με το άλλο κατά την διάρκεια της πτώσης και όταν συνενώνονται. Αυτή η πιθανότητα συγχώνευσης αυξάνεται πολύ γρήγορα με το μέγεθος σταγονιδίων. Καθώς στα σύννεφα όπου ισχύει η συνθήκη ότι $r_e > 14\mu\text{m}$ (r_e : droplet effective radius), όπου η ακτίνα αυτή εκφράζει την σταθμισμένη μέση τιμή του μεγέθους των σταγονιδίων του σύννεφου., συμβάλει στην γρήγορη συνένωση των σταγόνων του σύννεφου με τις σταγόνες βροχής και εν συνεχεία οδηγούν στον

γρήγορο σχηματισμό των βροχοπτώσεων. Σύμφωνα με τον Gray απαιτούνται αρκετά εκατομμύρια σταγονίδια σύννεφων για να κάνουν μια σταγόνα βροχής [Gray,1973].

Οι δορυφορικές μετρήσεις μπορούν να ανιχνεύσουν « r_e » (όπου $r_e = \langle r^3 \rangle / \langle r^2 \rangle$, με r να είναι η ακτίνα των σταγονιδίων σύννεφων στον μετρούμενο όγκο μέτρησης. Η πιθανότητα της σύγκρουσης και της μετέπειτα συνένωσης κατά την διάρκεια της πτώσης των σταγονιδίων της βροχής με εκείνα του σύννεφου είναι πολύ μικρή, όταν $r_e < 12 \mu\text{m}$. Πράγμα που συνεπάγεται ότι οι σταγόνες βροχής να μην μπορούν να λάβουν την τελική τους μορφή λόγω του παραπάνω μηχανισμού και ταυτοχρόνως να μην πραγματοποιείται εντός του χρόνου ζωής του σύννεφου. [Rosenfield & Gutman, 1994].

5.2 Διαδικασίες βροχοπτώσεων

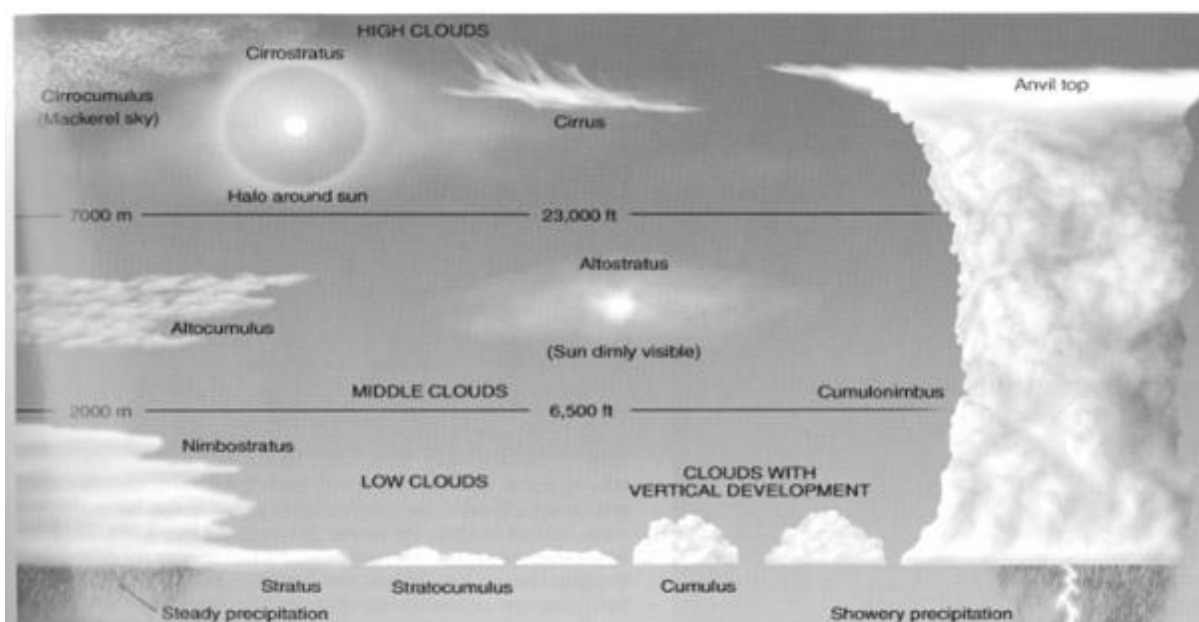
Οι βροχοπτώσεις εμφανίζονται όταν υγρός αέρας ανεβαίνει στην ατμόσφαιρα, ψύχεται και συμπυκνώνεται για να διαμορφώσει τα σταγονίδια σύννεφων. Τα σύννεφα σχηματίζονται από τη συμπύκνωση της νερού που έχει εξατμιστεί και κινείται ανοδικά από την επιφάνεια των θαλασσών ή που οδηγείται από τον αέρα στην ατμόσφαιρα μέσω των διαδικασιών της εξατμίσσης, της εξαχνώσης και της εφίδρωσης όπως απεικονίζονται στο σχήμα 7. Το ποσοστό με το οποίο ο αέρας δροσίζει ή θερμαίνει εξαρτάται από τη κατάσταση υγρασίας του αέρα. Στην περίπτωση που ο αέρας είναι ξηρός, ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας είναι $1^\circ\text{C}/100\text{m}$ και ονομάζεται ξηρός αδιαβατικός ρυθμός (Dry Adiabatic Rate, DAR). Εάν ο αέρας είναι κορεσμένος, ο ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας είναι $0.6^\circ\text{C}/100\text{m}$ και ονομάζεται κορεσμένος αδιαβατικός ρυθμός (Saturated Adiabatic Rate, SAR). Αντίθετα από το DAR που είναι σταθερό, το SAR μεταβάλλεται με την υγρασία του αέρα. Η διαφορά στους δύο ρυθμούς οφείλεται στην απελευθέρωση της λανθάνουσας θερμότητας κατά τη διάρκεια της συμπύκνωσης που μειώνει το ρυθμό ψύξης. Οι διαδικασίες-συστήματα που συμβάλουν στην καθοδήγηση του υδρατμού στην ατμόσφαιρα και στην μετέπειτα συμπύκνωση είναι η διαδικασία της μεταφοράς, τα στρωματοειδή συστήματα (stratiform systems) και τα ορογραφικά συστήματα (orographic systems) [Ahrens,2007].



Σχήμα 7. Υδρολογικός κύκλος [Πηγή: Arhens,2007]

5.2.1 Συστήματα μεταφοράς

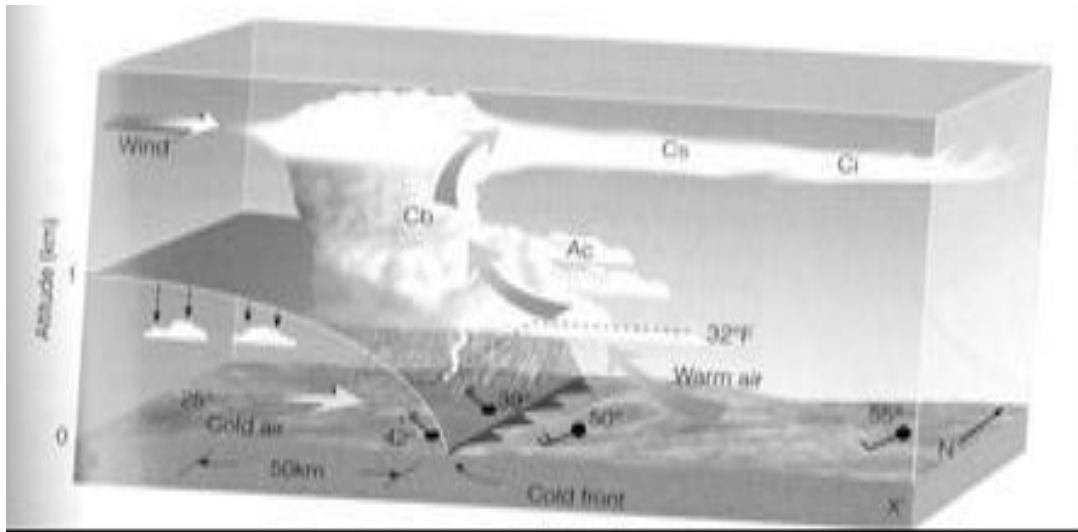
Το σύστημα μεταφοράς εμφανίζεται όταν η γήινη επιφάνεια βρεθεί σε μια υγρή ατμόσφαιρα, και οπότε γίνεται πιο θερμή από το περιβάλλον της, με αποτέλεσμα να κινείται προς τα πάνω. Αυτή η διαδικασία μεταφοράς εμφανίζεται από τα σύννεφα-μεταφοράς όπως είναι οι Σωρειτομελανίες (cumulonimbus) (σχήμα 8). Το σχήμα 8 παρουσιάζει μια γενικευμένη απεικόνιση των βασικών τύπων σύννεφων βασισμένο στο ύψος τους επάνω από την επιφάνεια της γής και σε κάθετη ανάπτυξη. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τρεις διαφορετικοί τύποι σύννεφων. Τα χαμηλά σύννεφα βρίσκονται στο κατώτατο σημείο και απέχουν από την επιφάνεια έως 2000m. Το δεξιό σύννεφο απεικονίζει τους Σωρειτομελανίες, με την αντίστοιχη κορυφή να επεκτείνεται στα υψηλά σύννεφα. Τα μέσα σύννεφα είναι στη μέση με ύψος 7000 μ και τα υψηλά σύννεφα εκτείνονται ακόμη περισσότερο σε μεγαλύτερα ύψη όπως είναι οι θυσάνοι. Ο τρόπος που 'πέφτει' η βροχή έχει πανομοιότυπη εικόνα με το ντούς στα μπάνια καθώς η πυκνότητα των σταγονιδίων μεταβάλλεται με γρήγορους ρυθμούς σε μια ορισμένη περιοχή για έναν σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, λόγω του περιορισμένου οριζόντιου μεγέθους του. Αυτός ο τύπος διαδικασίας είναι κοινός στους τροπικές ζώνες λόγω της έντονης θέρμανσης που προκαλείται από τον ήλιο [Ahrens, 2007]



Σχήμα 8. Ύψη διαφόρων ειδών σύννεφου 1 [Πηγή: Ahrens, 2007]

5.2.2 Στρωματοειδή συστήματα

Οι στρωματοειδείς βροχοπτώσεις (stratiform rainfalls) προκαλούνται από τα μετωπικά συστήματα που περιβάλλουν τους πρόσθετους τροπικούς κυκλώνες ή χαμηλότατα σημεία αυτών τους οποίους δημιουργούν όταν ο θερμός και συνάμα τροπικός αέρας συναντά πιο ψυχρό πολικό αέρα (Σχήμα 9). Παράδειγμα στρωματοειδούς σύννεφου είναι ο σωρειτομελανίας (Nimbostratus) όπως φαίνεται στο Σχήμα 8. Όταν μάζες αέρα με διαφορετική πυκνότητα (χαρακτηριστικά υγρασίας και θερμοκρασίας) συναντιούνται, η διεπιφάνεια μεταξύ των δύο ονομάζεται μέτωπο. Ο θερμότερος αέρας αναγκάζεται να κινηθεί ανοδικά και εάν οι συνθήκες επιτρέπουν την διαδικασία της μεταφοράς να γίνει κορεσμένη τότε έχουμε την δημιουργία των βροχοπτώσεων. Εν συνεχεία οι βροχοπτώσεις μπορούν να ενισχύσουν την αντίθεση θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος ενός μετωπικού ορίου. Ανάλογα ποια αέρια μάζα αέρα υπερισχύει της άλλης έχουμε την δημιουργία διαφορετικών μετωπικών συστημάτων π.χ. κρύο μέτωπο και θερμό μέτωπο [Brutsaert, 2005]. Αυτά τα καιρικά συστήματα συναντούνται συνήθως σε εύκρατες περιοχές π.χ. περιοχές μέσου γεωγραφικού πλάτους όπως είναι η βοριοδυτική Ευρώπη.

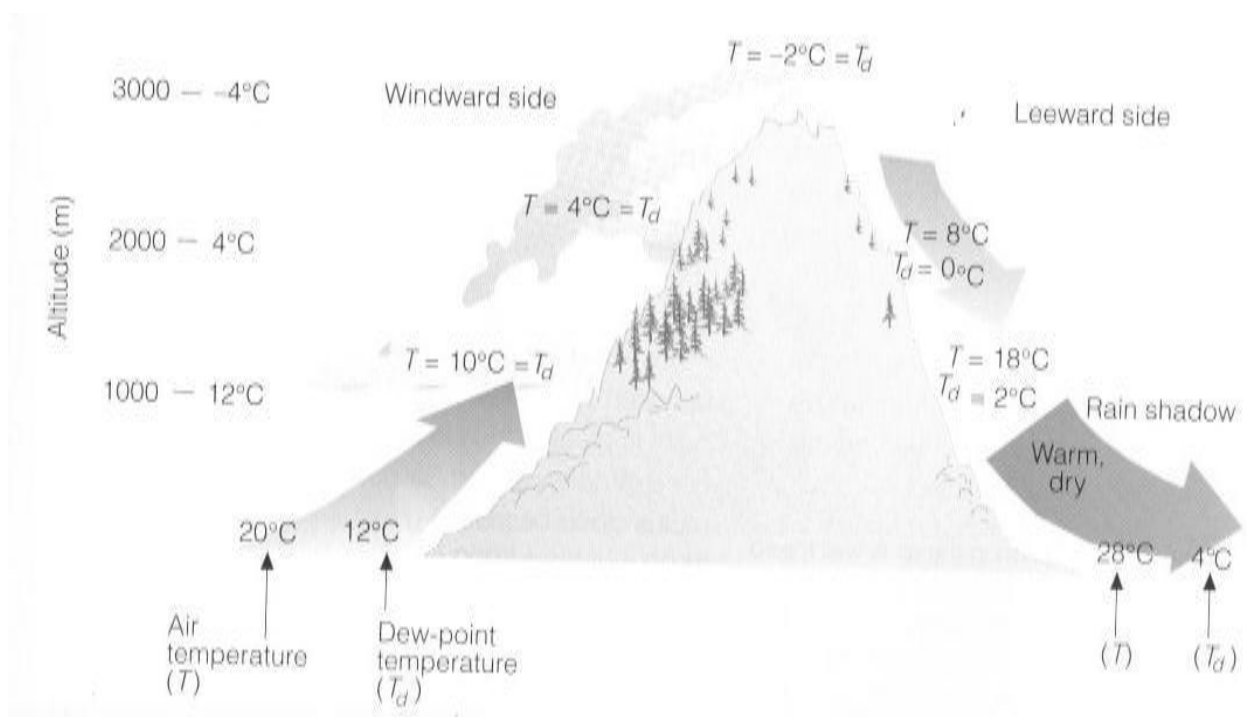


Σχήμα 9. Τροπικός κυκλώνας

Σχήμα 9. Τροπικός κυκλώνας. Το σχήμα αυτό απεικονίζει τον τροπικό κυκλώνα που προκύπτει από την μίξη της ψυχρής αερίας μάζας με την αντίστοιχη θερμή. Η θερμή αερία μάζα υπερισχύει της αντίστοιχης ψυχρής με αποτέλεσμα την δημιουργία του συγκεκριμένου σύννεφου (κυκλώνας) [Πηγή: Ahrens, 2007]

5.2.3 Ορογραφικά συστήματα

Οι ορογραφικές βροχοπτώσεις (orographic rainfall) (σχήμα 10) εμφανίζονται όταν αναγκάζονται οι μάζες του αέρα ωθούμενοι από τους δυνατούς ανέμους προς την πλευρά των υψηλών σχηματισμών εδάφους, όπως είναι τα μεγάλα βουνά (όρη). Ο αέρας που κινείται ανοδικά ψύχεται και συμπυκνώνεται προκειμένου να σχηματίσει τα σταγονίδια σύννεφων που εν συνεχεία αυξάνονται και πέφτουν ως βροχή [Ahrens, 2007]. Πολλές υδρολογικές και οικολογικές μελέτες αναγνωρίζουν τη σπουδαιότητα της χρονικής και χωρικής μεταβλητότητας των βροχοπτώσεων, [Bindlish & Barros, 2000] ειδικά στις ορεινές περιοχές λόγω της σύνθετης τοπογραφίας και της επίδρασης του ανάγλυφου των βουνών που οδηγούν σε περισσότερες βροχοπτώσεις κόντρα στην διεύθυνση του αέρα, σε λιγότερες προς τη διεύθυνση του ανέμου και σε περισσότερες βροχοπτώσεις σε μεγαλύτερα ύψη (Barros & Lettenmaier, 1993), (Barros & Lettenmaier, 1994) από αντίστοιχα χαμηλά. Οι δε μετρητές (gauges) δεν μπορούν να καταγράψουν μετρήσεις στα μεγάλα ύψη, διότι εγκαθίστανται συνήθως σε περιοχές με πιο χαμηλά ύψη [Huade & John, 2005].



Σχήμα 10. Σχηματισμός βροχόπτωσης στην αντίθετη διεύθυνση σε σχέση με την φορά του ανέμου (windward side) [Πηγή: Ahrens, 2007]

5.3 Μέθοδοι εκτίμησης των βροχοπτώσεων

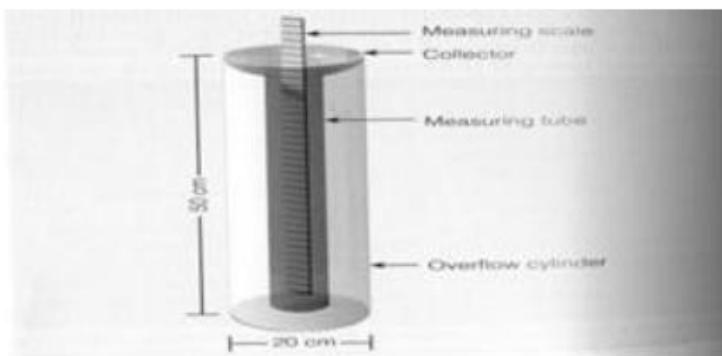
5.3.1 Εισαγωγή

Οι αρχικές πηγές πληροφόρησης για τις βροχοπτώσεις είναι επιτόπιες μέσω της χρήσης ειδικών οργάνων μετρήσεων (gauges) και μέσω της διαδικασίας της τηλεπισκόπησης, δηλαδή της χρήσης δορυφόρων. Στις επόμενα εδάφια θα παρουσιαστούν από τις πιο σημαντικές μεθόδους εκτίμησης της βροχής.

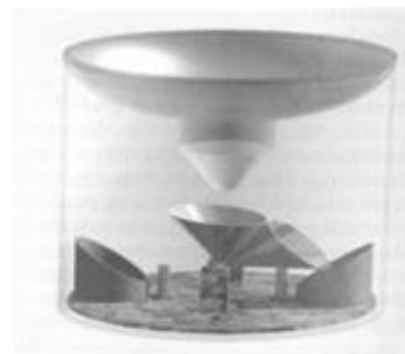
5.3.2 Μετρητές βροχοπτώσεων

Από πολύ παλιά οι μετρητές βροχής χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του ρυθμού των βροχοπτώσεων. Ο τυποποιημένος τρόπος εκτίμησης των βροχοπτώσεων ή των χιονοπτώσεων είναι ο τυποποιημένος μετρητής βροχής (rain gauge) (σχήμα 11), που καλύπτεται από

100χιλιοστά (4 ίντσες) πλαστικού και 200 χιλ. (8 ίντσες) προσμίξεις μετάλλων. Ο εσωτερικός κύλινδρος γεμίζει από 25 χιλιοστά(1 ίντσα) βροχής, με την υπερχειλίση να οδηγείται στον εξωτερικό κύλινδρο. Αφότου γεμίσει ο εσωτερικός κύλινδρος, το ποσό που περιέχεται μέσα εκκενώνεται, και εν συνεχεία γεμίζει με το υπόλοιπο ποσό βροχόπτωσης που βρίσκεται στον εξωτερικό κύλινδρο, μέχρις ότου να τελειώσει όλο το νερό στον εξωτερικό κύλινδρο,. Η διαδικασία αυτή τελειώνει όταν αδειάσει ο εξωτερικός. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η χοάνη και ο εσωτερικός κύλινδρος αφαιρούνται για να επιτρέψουν στο χιόνι και το χαλάζι να συλλεχθούν εύκολα μέσα στον εξωτερικό κύλινδρο. Μόλις το χιόνι ή ο πάγος έχουν αποθηκευτεί εν συνεχεία, μεταφέρονται εσωτερικά του μετρητή ώστε να λειώσουν. Η δε μορφή των μετρητών ποικίλει, από τα σχετικά πυκνά δίκτυα των αναπτυγμένων χωρών στους αραιά διανεμημένους μετρητές στις αναπτυσσόμενες περιοχές [Ahrens, 2007].



(α)



(β)

Σχήμα 11.Συσκευές μέτρησης βροχοπτώσεων.(α) τυπικός μετρητής βροχής. (β)μετρητής με αιχμή (tipping) [Πηγή:Ahrens, 2007]

Η χρήση των μετρητών στους ωκεανούς είναι σχεδόν ανύπαρκτη [Prigent, 2010]. Τα δίκτυα μετρητών βροχής είναι αραιά και τα διαθέσιμα στοιχεία ανεπαρκή για να μπορέσουν να λάβουν ακριβείς πληροφορίες για την χωρική κατανομή των βροχοπτώσεων. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τις περιοχές βουνών, όπου η πολυπλοκότητα της κατανομής των βροχοπτώσεων συνδέεται με τις δυσκολίες μέτρησης (Sotillo, Ramis, Romero, Alonso, & Homar, 2003).Οι εφαρμογές μοντέλων σε τομείς όπως είναι η οικολογική ανάλυση, οι αριθμητικές καιρικές προβλέψεις και γενικότερα οι υδρολογικοί τομείς απαιτούν δεδομένα που να περιγράφουν την χωρική κατανομή

των βροχοπτώσεων, πληροφορίες που δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν με την χρήση των απλών μετρητών βροχής.

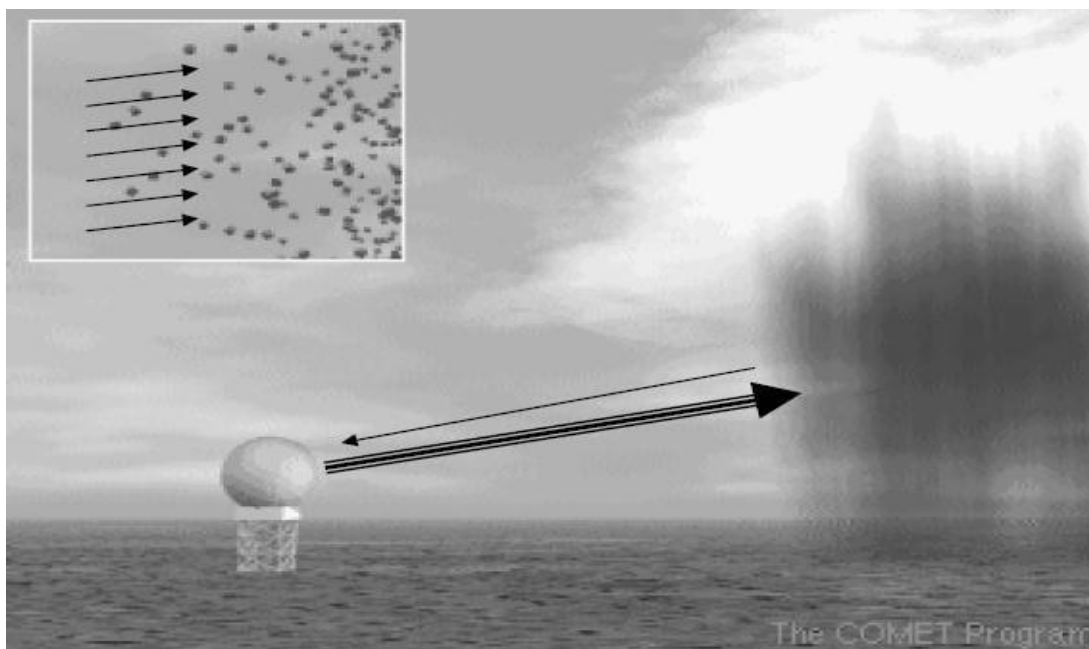
5.3.3 Εκτιμητές καιρού με χρήση ραντάρ

Το ραντάρ (radar Radio Detection And Ranging) χρησιμοποιείται από τις μετεωρολογικές υπηρεσίες για να συγκεντρώνει πληροφορίες για τις βροχοπτώσεις (Σχήμα 12). Η μονάδα ραντάρ αποτελείται από μια συσκευή αποστολής σημάτων (μεταδότη) και έναν δέκτη. Ο μεταδότης αποστέλλει μήνυμα με την μορφή παλμών μικροκυμάτων. Όταν αυτοί οι σφυγμοί συναντήσουν κατά την διάδοσή τους έναν στόχο (βροχή ή πάγο) ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται προς τα πίσω και καταγράφεται στο δέκτη ως εικόνα ή ηχώ. Το ραντάρ μπορεί να παρέχει εκτιμήσεις βροχοπτώσεων για μικρά διαστήματα διάρκειας 5 λεπτών με χωρική ανάλυση 1 km² και με σχετική εμβέλεια 200 χλμ. Η εκτίμηση του παράγοντα ανακλαστικότητας (Z) υπολογίζεται από την εξίσωση ραντάρ (Σχέση 1) και καλείται ισοδύναμη ανακλαστικότητα και χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το ποσοστό βροχής μέσω της ανακλαστικότητας [Maidment, 1993].

$$R = aZ^b \quad (1)$$

Όπου, οι παράμετροι α και β είναι συναρτήσεις του τύπου βροχής, R είναι το ποσοστό βροχής σε χιλιοστά (mm), και το Z είναι η ανακλαστικότητα (reflection) του ραντάρ.

Οι εκτιμήσεις των βροχοπτώσεων με ραντάρ έναντι των μετρήσεων με τους μετρητές βροχής μας παρέχουν δεδομένα υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης [AghaKouchak, Habib, & Bardossy, 2010]. Έχουν χρησιμοποιηθεί μαζί με τους μετρητές βροχής συνήθως σε αναπτυγμένες χώρες όπως είναι η Ευρώπη και η Αμερική ωστόσο πολλά μέρη όπως είναι οι ωκεανοί παραμένουν ακόμα χωρίς αυτούς τους εκτιμητές. Ο μετασχηματισμός της μετρούμενης ανακλαστικότητας του ραντάρ σε ποσοστά βροχοπτώσεων παρουσιάζει ιδιαίτερη δυσκολία στην ακρίβεια των τιμών ανακλαστικότητας καθώς μπορούν να επηρεαστούν από πολλούς παράγοντες όπως είναι, ο φραγμός ακτίνων και το πρόβλημα της βαθμολόγησης. Η ακτίνα ραντάρ αυξάνεται σε ύψος όσο απομακρύνεται από το ραντάρ οδηγώντας σε λάθη που συνδέονται με τις αβεβαιότητες με μορφή του προφίλ ανακλαστικότητας μεταξύ του ύψους της δέσμης του ραντάρ και της επιφάνειας. Με αποτέλεσμα να οδηγεί στη μη σωστή ανίχνευση των βροχοπτώσεων (Kitchen & Jackson, 1993).



Σχήμα 12. Ραντάρ καιρού [Πηγή: COMET 2000]

5.3.4 Μέθοδοι εκτίμησης βροχοπτώσεων με χρήση δορυφόρων

Η ανισοκατανομή των μετρητών βροχής και των καιρικών ραντάρ και η σχετική έλλειψη μετρήσεων των βροχοπτώσεων πέρα από τους ωκεανούς έχουν περιορίσει σημαντικά τη χρήση παγκόσμιων και τοπικών στοιχείων. Οι βροχοπτώσεις είναι μια από τις ποσότητες που μεταβάλλεται στο χώρο και το χρόνο. Οι μετρήσεις των βροχοπτώσεων από το διάστημα στηρίζονται στην ερμηνεία της ηλιακής ακτινοβολίας που σκεδάζεται ή εκπέμπεται από τα σύννεφα, τις βροχοπτώσεις, και ανιχνεύεται από τα δορυφορικά όργανα σε διάφορες φασματικές περιοχές. Με βάση την θεωρία του Mie η αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα μόρια σύννεφων και των βροχοπτώσεων εξαρτάται έντονα από την σύνθεση και το μέγεθος τους, όπως περιγράφεται από τη θεωρία Mie [Brutsaert, 2005]. Επομένως, η μεταβολή στις μακροφυσικές ιδιότητες των σύννεφων και την ένταση βροχής θα οδηγούσαν σε ουσιαστικές αλλαγές στη μετρούμενη ακτινοβολία από τον δορυφόρο που προέρχεται από το σύννεφο βροχής και ως εκ τούτου από τις βροχοπτώσεις. Οι Levizzani, Amorati, και Meneguzzo, περιέγραψαν διάφορες μεθόδους εκτίμησης των βροχοπτώσεων, με την χρήση δορυφόρων στην έρευνά τους για τις μετρήσεις βροχοπτώσεων με χρήση πολλαπλών αισθητήρων (Multiple-Sensor Rainfall

Measurements και την πρόβλεψη πλημμυρών (Flood Forecasting) [Levizzani, και λοιποί., 2002].

5.3.5 Μέθοδοι εκτίμησης στο ορατό και στο υπεριώδες φάσμα

Διάφορες μελέτες έχουν γίνει για την χρήση του ορατού (VIS) (0.4-0.7 μm) και του υπέρυθρου (IR) (10.5 - 12.5 μm) καναλιού του ηλιακού φάσματος. Οι Barrete & Martin (1981) ταξινόμησαν τις μεθόδους εκτίμησης βροχοπτώσεων στις κατηγορίες απόδοσης δεικτών στα σύννεφα (cloud-indexing), ιστορία της ζωής του φάσματος,(spectral life history) και το σύννεφο βασισμένο σε μοντέλο (cloud model based).Κάθε μια από τις κατηγορίες τονίζει μια ιδιαίτερη πτυχή των ιδιοτήτων φυσικής των σύννεφων χρησιμοποιώντας τα δορυφορικά δεδομένα.Επίσης υπάρχει ο αλγόριθμος PP-VNIR που είναι ένας άλλος αλγόριθμος που βασίζεται στην ανάκτηση στοιχείων VIS και IR μέσω του αλγορίθμου CPP για να ανιχνεύσει και να ανακτήσει το ποσοστό βροχής [Roebeling & Holleman, 2009]. Έχει το χαρακτηριστικό ότι περιορίζεται στις πρωινές εκτιμήσεις.

Η τεχνική αυτόματης εκτίμησης (AE) χρησιμοποίησε το IR 11 γεωστατικό λειτουργικό περιβαλλοντικό δορυφόρο(Geostationary Operational Environmental Satellite ,GOES) που λαμβάνει πληροφορίες από το αμερικανικό δίκτυο για τις εφαρμογές που έχουν να κάνουν με πρόβλεψη ξαφνικών πλημμυρών(flash flood forecasting), και αριθμητική μοντελοποίηση(numerical modeling). Η ανάκτηση των δεδομένων των βροχοπτώσεων εκτελείται μέσω μιας στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων των ραντάρ που προέρχονται από στιγμιαίες εκτιμήσεις βροχοπτώσεων και των δορυφορικών δεδομένων που τα τελευταία προέρχονται από το υπέρυθρο φάσμα θερμοκρασιών των σύννεφων. Στη συνέχεια ένας αναδρομικός νόμος δύναμης υπολογίζεται μεταξύ του υπέρυθρου φάσματος μέγιστης θερμοκρασίας σύννεφων και των δεδομένων του ραντάρ.Έπειτα οι εκτιμήσεις των βροχοπτώσεων ρυθμίζονται για τα διαφορετικές περιοχές υγρασίας χρησιμοποιώντας πληροφορίες του Εθνικού κέντρου για τις περιβαλλοντικές προβλέψεις (National Centre for Environmental Predictions,NCEP) [Vicente et al. (1998)].

Τέλος το μειονέκτημα των τεχνικών VIS/IR είναι ότι οι παρατηρήσεις αφορούν τα χαρακτηριστικά του προφίλ του σύννεφου και λιγότερο έχουν να κάνουν με την βροχή που

φθάνει στην επιφάνεια της γης. Κατά συνέπεια, αυτές οι τεχνικές υπολογίζουν την βροχοπτώση στη βάση του σύννεφου, η οποία εξακολουθεί να μπορεί ακόμα εν μέρει να εξατμιστεί μεταξύ της βάσης του σύννεφου και της επιφάνειας της γης [Vicente et al. (1998)]

5.3.6 Μέθοδοι απόδοσης δεικτών στα σύννεφα

Οι τεχνικές απόδοσης δεικτών στα σύννεφα (cloud indexing) ορίζουν ένα επίπεδο ποσοστού βροχής σε κάθε τύπο σύννεφων που έχει προσδιοριστεί με βάση στα δορυφορικά στοιχεία. Ο Arkin το 1979 μας παρείχε την απλούστερη και συνήθως χρησιμοποιημένη μέθοδο που ονομάστηκε δείκτης βροχοπτώσεων (GPI) κατά τη διάρκεια του παγκόσμιου ερευνητικού προγράμματος ατμόσφαιρας (GARP). Η μέθοδος διαχωρίζει μέρος της περιοχής του υπέρυθρου φάσματος που έχει θερμοκρασία κάτω από 235 Kelvin, αφού έχει θέσει νωρίτερα ένα σταθερό ποσοστό βροχής. Σε επόμενη μελέτη του οι Arkin & Meisner (1987) ορίζουν σε αυτές τις περιοχές ένα σταθερό ποσοστό βροχής 3 mm/hr. Μάλιστα το παγκόσμιο πρόγραμμα έρευνας κλίματος (World Climate Research Programme, WCRP) χρησιμοποίησε τη παραπάνω μέθοδο για 5 ημέρες σε έναν μήνα για να μπορέσουν να εκτιμήσουν τις βροχοπτώσεις παγκοσμίως. [Huffman 1997]

Τέλος ο παράγοντας που περιορίζει σημαντικά αυτήν την προσέγγιση είναι οι θύσανοι που βρίσκονται σε χαμηλές θερμοκρασίες αλλά δεν προκαλούν το φαινόμενο των βροχοπτώσεων, με συνέπεια να εκδηλώνουν χαμηλότερα βέλτιστα κατώφλια υπέρυθρου φάσματος. [Huffman 1997].

5.3.7 Μέθοδοι εκτίμησης με βάση την ιστορία

Η τεχνική ιστορίας ζωής (Life-History technique) βασίζεται στην προϋπόθεση ότι η χρονική συμπεριφορά των σύννεφων όπως απεικονίζονται στις δορυφορικές εικόνες και η αντίστοιχη ηχώ των ραντάρ προσεγγίζουν το απλό μοντέλο, όπου ισχύει ότι τα σύννεφα και οι ήχοι των ραντάρ αυξάνονται μέχρι ένα μέγιστο μέγεθος και έπειτα αποσυντίθενται. Η τεχνική αυτή περιγράφεται στην σχέση μεταξύ της περιοχής των σύννεφων όπως απεικονίζονται μέσω δορυφόρου και των ογκομετρικών βροχοπτώσεων που καταφθάνουν στην επιφάνεια [Griffith., 1978] όπως φαίνεται στην σχέση 2.

$$R_v = \left[I_j < \frac{A_e}{A_m} > j A_{mj} \Delta t \sum_{t=1}^N a_i b_i \right] 10^3 (2)$$

όπου R_v είναι ο όγκος βροχής για ένα δεδομένο σύννεφο σε μια εικόνα, με μονάδα μέτρησης m^3 , το I είναι ποσοστό βροχοπτώσεων και μετράται σε mm/hr, το A_e είναι περιοχή που φτάνει η ηχώ, σε km^2 , A_m είναι η μέγιστη περιοχή που μπορεί να καταλάβει το σύννεφο κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. το τ είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ διαδοχικών δορυφορικών εικόνων σε ώρες, το i είναι ο δείκτης εύρους θερμοκρασιών, j είναι ο όρος που είναι συνάρτηση του κύκλου ζωής, το a είναι ένα μέρος του σύννεφου που καλύπτεται από ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, το β είναι ένας σταθμισμένος συντελεστής για ένα συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών, το N είναι ο πλήθος του εύρους των θερμοκρασιών, και 10^3 είναι ένας παράγοντας που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των μονάδων από το m^2 σε m^3 [Griffith., 1978]

5.3.8 Οι πρότυπες τεχνικές σύννεφων

Οι πρότυπες τεχνικές σύννεφων (cloud model based) εισάγουν τη φυσική των σύννεφων στη διαδικασία ανάκτησης για μια ποσοτική βελτίωση βασισμένη στην αρχή μιας καλύτερης κατανόησης των φυσικών ιδιοτήτων των διαδικασιών σχηματισμού βροχής. Οι Adler & Negri, (1984) ανέπτυξαν ένα μονοδιάστατο πρότυπο σύννεφων που σχετίζει την μέγιστη θερμοκρασία σύννεφων με το ποσοστό βροχής και την περιοχή βροχής. Η τεχνική αυτή ονομάζεται εκ μεταφοράς στρωματοειδής τεχνική (Convective Stratiform Technique, CST). Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε για να σκιαγραφήσει τα στρωματοειδή σύννεφα μέσω των ιδιοτήτων των σύννεφων που προήλθαν από πληροφορίες των δορυφόρων. Για να επιτευχθεί αυτό μια παράμετρος κλίσεων υπολογίστηκε για κάθε ελάχιστη θερμοκρασία (T_{min}) [Levizzani, 2002]. Η παράμετρος ορίζεται ως:

$$S = \bar{T}_{1-6} - T_{min} (3)$$

Όπου S είναι η παράμετρος κλίσης, \bar{T}_{1-6} είναι η μέση θερμοκρασία των έξι πλησιέστερων εικονοστοιχείων. Αν T_{min} είναι εντοπισμένο στη θέση (i,j) τότε

$$\bar{T}_{1-6} = (T_{i-2,j} + T_{i-1,j} + T_{i+1,j} + T_{i+2,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1})/6 \quad (4)$$

όπου το i και το j αναφέρονται στη θέση του εικονοστοιχείου για το οποίο οι Adler και Negri (1988) καθιέρωσαν έναν εμπειρικό τύπο για να κάνουν διακρίσεις λεπτών θυσάνων στο επίπεδο θερμοκρασίας/ κλίσης χρησιμοποιώντας δεδομένα του ραντάρ και των δορυφόρων. Καθόρισαν δηλαδή μια γραμμή διαχωρισμού έτσι ώστε εάν το T_{min} και η αντίστοιχη κλίση είναι στα αριστερά της γραμμής αυτής, η θέση T_{min} να ταξινομείται αυτόματα στην κατηγορία των λεπτών θυσάνων. Σε περιπτώσεις που η κλίση λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές τότε αναφερόμαστε σε ταξινομήσεις που ανήκουν στην κατηγορία των καταιγίδων (thunderstorm) [Adler και Negri, 1988].

5.4 Βροχοπτώσεις στον ευρωπαϊκό χώρο από το 1971-2010

5.4.1 Εισαγωγή και περιγραφή μεθόδου ανάλυσης

Οι Cortesi, Gonzales-Hidalgo, Brunetti, Martin-Vide, το 2011 ανέλυσαν δεδομένα συγκέντρωσης βροχοπτώσεων για τον ευρωπαϊκό χώρο για το διάστημα 1971-2010. Τα δεδομένα που έλαβαν προερχόντουσαν από την βάση δεδομένων της ECA (European Climate Assessment) και είναι 530 τιμές στο σύνολο τους, και περιλαμβάνουν σχεδόν όλη την Ευρώπη. Αναφέρονται σε καθημερινές τιμές βροχοπτώσεων για όλα τα έτη από το 1971-2010 [Cortesi 2012]. Για την μελέτη των καθημερινών τιμών των βροχοπτώσεων (Concentration Index) σε ολόκληρη την Ευρώπη χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης συγκέντρωσης (CI) που προτάθηκε από Martin-Vide (2004). ο CI βασίζεται στο γεγονός ότι η συμβολή των καθημερινών βροχοπτώσεων στο συνολικό ποσό μπορεί να περιγραφεί καλά από μια αρνητική εκθετική διανομή. Η μέθοδος αποτελείται από τη συνάθροιση των καθημερινών γεγονότων βροχόπτωσης σε ολοένα αυξανόμενες κατηγορίες και μπορεί να καθορίσει την σχετική επίδραση των διαφορετικών κατηγοριών της σταδιακά συσσωρευμένης βροχόπτωσης. Η μεταβλητή Y , X είναι μεταβλητές που είναι συναρτήσεις του συσσωρευμένου ποσοστού βροχερών ημερών όπως φαίνονται στις ακόλουθες εξισώσεις: [Cortesi 2012]

$$Y_j = 100 \frac{\sum_{i=1}^j p_i}{\sum_{j=1}^N p_j}, \quad X_j = 100 \frac{\sum_{i=1}^j n_i}{\sum_{j=1}^N n_j} \quad (5)$$

όπου τα p_i και το N_i είναι η πτώση και ο αριθμός βροχερών ημερών που ανήκουν στην κατηγορία(i-category), και το N είναι ο συνολικός αριθμός κατηγοριών. Τα παραπάνω ποσοστά σχετίζονται με τις εκθετικές καμπύλες, που ονομάζονται κανονικοποιημένες καμπύλες βροχοπτώσεων, οπότε η παραπάνω μέθοδος μπορεί να βελτιωθεί με την αντικατάσταση των εμπειρικών αυτών γραμμών με τις συγκεκριμένες εκθετικές καμπύλες. Οι Riehl (1949) έδειξε ότι οι συναρτήσεις Y_j, X_j μπορούν να συνδεθούν μέσω της παρακάτω εξίσωσης:

$$\hat{Y} = a\hat{X} e^{b\hat{X}} \quad (6)$$

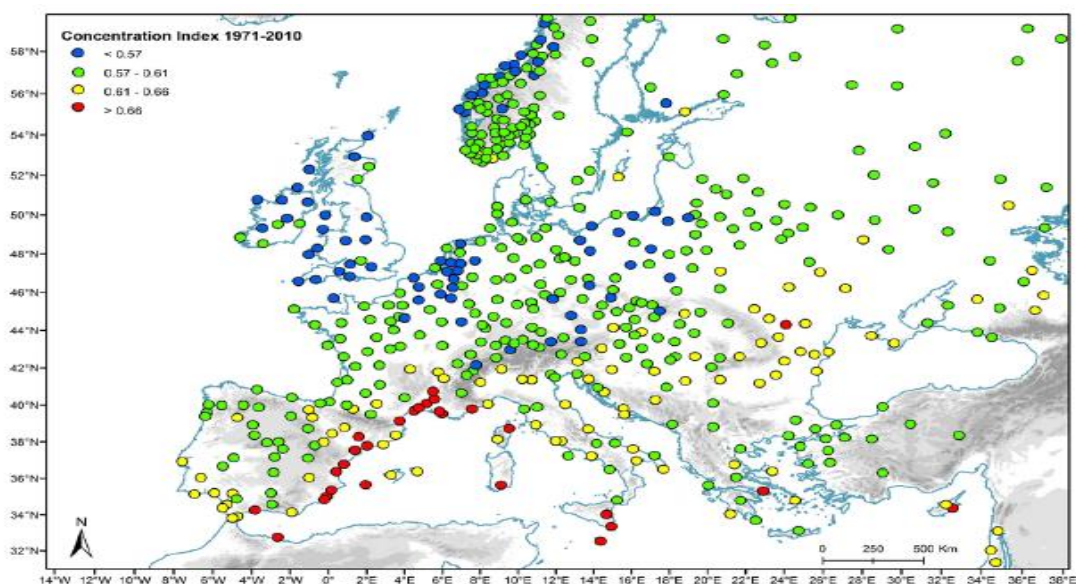
5.4.2 Αποτελέσματα της μεθόδου CI

Από την στατιστική ανάλυση διαπιστώθηκε ότι το εύρος τιμών των δεικτών CI κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0.51 και 0.72, καθώς περιλαμβάνουν όλη την Ευρώπη από τα βορειοδυτικά έως τα νοτιοανατολικά (Σχήμα 13). Η μέγιστη τιμή βρέθηκε για την πόλη Περπινιάν (Perpignian) της Γαλλίας, ενώ αντίστοιχα η χαμηλότερη υπολογίστηκε στη πόλη Kirkwall του Ηνωμένου Βασιλείου. Οι υψηλότερες ετήσιες τιμές καθημερινής συγκέντρωσης των βροχοπτώσεων ανιχνεύθηκαν στη δυτική λεκάνη της Μεσογείου (κατά μήκος των ισπανικών και των γαλλικών μεσογειακών ακτών) και τη Σικελία, και οι αμέσως επόμενες μεγαλύτερες ετήσιες τιμές βρέθηκαν γύρω από τη Μαύρη Θάλασσα, ειδικά στη Ρουμανία, τη Μολδαβία και τη δυτική Ουκρανία. Ενώ οι χώρες που παρουσίασαν χαμηλές τιμές δείκτες ήταν οι χώρες της Νορβηγίας, της Μεγάλης Βρετανίας, της Ιρλανδίας, των Κάτω Χωρών και της Δανίας. Κατά συνέπεια, υπάρχει ένα είδος «διπόλου» με τους ‘πόλους’ να βρίσκονται γύρω από τη Βόρεια Θάλασσα και τη δυτική λεκάνη της Μεσογείου. Η ισχυρότερη βαθμιαία μεταβολή του δείκτη εμφανίζεται μεταξύ του βόρειου και του νότιου μέρους της Γαλλίας και μεταξύ της βορειοδυτικής και νοτιοανατολικής Ισπανίας [Cortesi 2012]

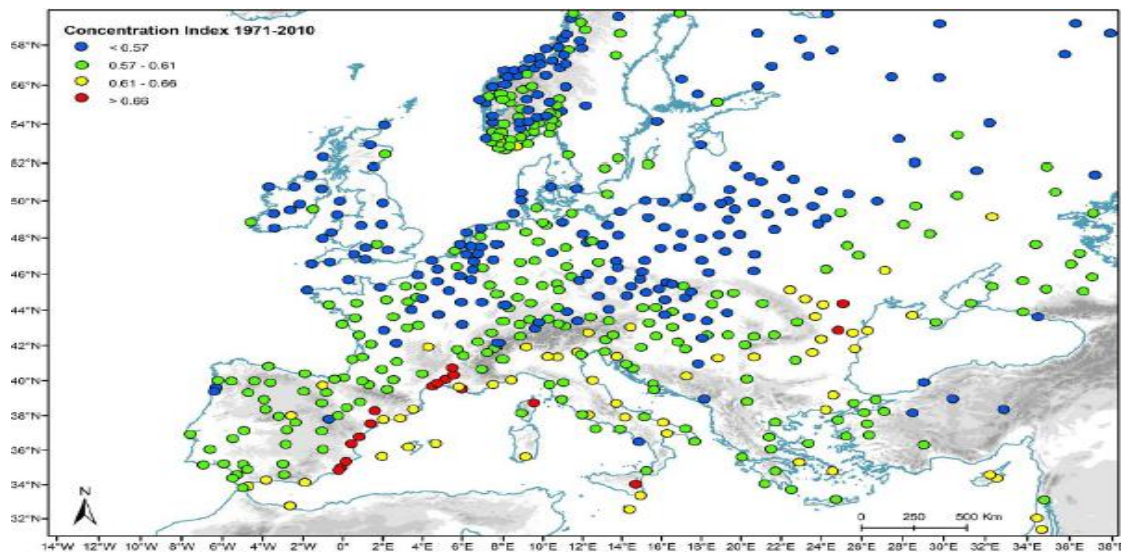
Οι εποχιακές τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0.48 το χειμώνα (Orskoh, Νορβηγία) στην τιμή 0.88 κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (Luqa, Μάλτα), με 95% των τιμών να κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0.55 έως 0.67. Οι χωρικές μεταβολές για το χειμώνα, την άνοιξη και το φθινόπωρο είναι παρόμοιες με το ετήσιο δείκτη συγκέντρωσης που κινείται με ανοδικό ρυθμό από τα βορειοδυτικά στο νοτιοανατολικά, ενώ οι θερινοί δείκτες μεταβάλλονται αυξητικά από τον Βορρά στο Νότο (σχήματα 14, 15, 16, 17). Εύκολα κανείς μπορεί να διαπιστώσει την ύπαρξη ενός είδος διπόλου μεταξύ των περιοχών της βορείου θάλασσας και την δυτικής

μεσογείου .Οι διαφορές μεταξύ των διαφόρων εποχών του εκάστοτε έτους είναι ξεκάθαρη ιδιαίτερα για τις περιοχές της Ιβηρικής χερσονήσου και της Δυτικής Γαλλίας [Cortesi 2012]

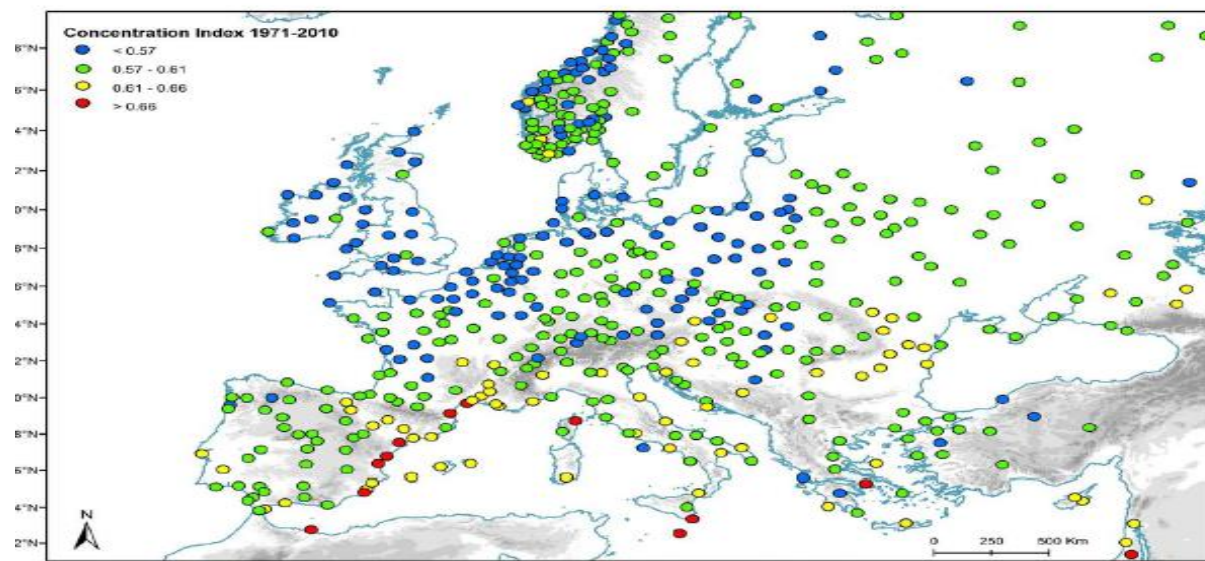
Ο συντελεστής συσχέτισης Pearson (ρ) για το μέσο όρο τιμών των βροχερών ημερών είναι -0.68 και, συμπίπτει με τη μείωση του πλήθους των βροχερών ημερών μεταξύ του βόρειου και του νότιου τμήματος της Ευρώπης. Η τιμή του συντελεστή συσχέτισης (r) ανάμεσα στην μέση ετήσια βροχόπτωση και τον ετήσιο δείκτη CI λαμβάνει την τιμή -0.31 . Αυτό το τελευταίο αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο καθώς η ετήσια βροχόπτωση δεν αποτελεί ξεκάθαρη ένδειξη ότι οι ημέρες των βροχοπτώσεων έχουν μειωθεί, επειδή παρόμοιες ετήσιες τιμές βροχοπτώσεων θα μπορούσαν να επιτευχθούν με διαφορετικές καθημερινές κατανομές βροχοπτώσεων[Cortesi 2012]



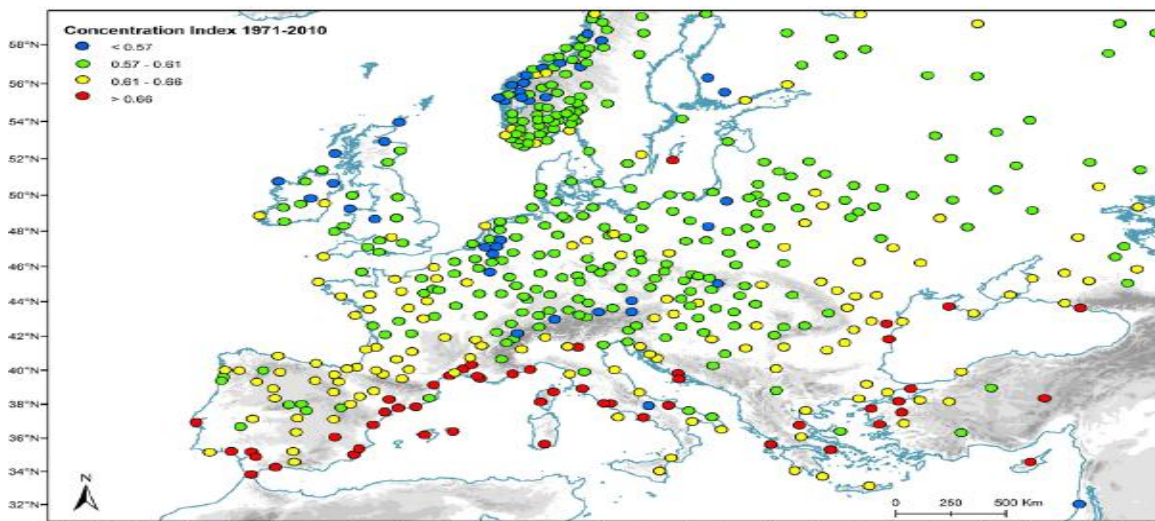
Σχήμα 13. Ετήσιες τιμές κατανομής του δείκτη CI. Οι μπλε κουκίδες απεικονίζουν τιμές του δείκτη CI μικρότερες από 0.57, (μπλε σημεία),Οι πράσινες κουκίδες απεικονίζουν τιμές του δείκτη στο διάστημα (0.57,0.61),οι κίτρινες κουκίδες απεικονίζουν τιμές του CI στο διάστημα (0.62,0.66),οι κόκκινες κουκίδες απεικονίζουν τιμές του CI από 0.67 και πάνω [Πηγή Cortesi ,Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010,2012]



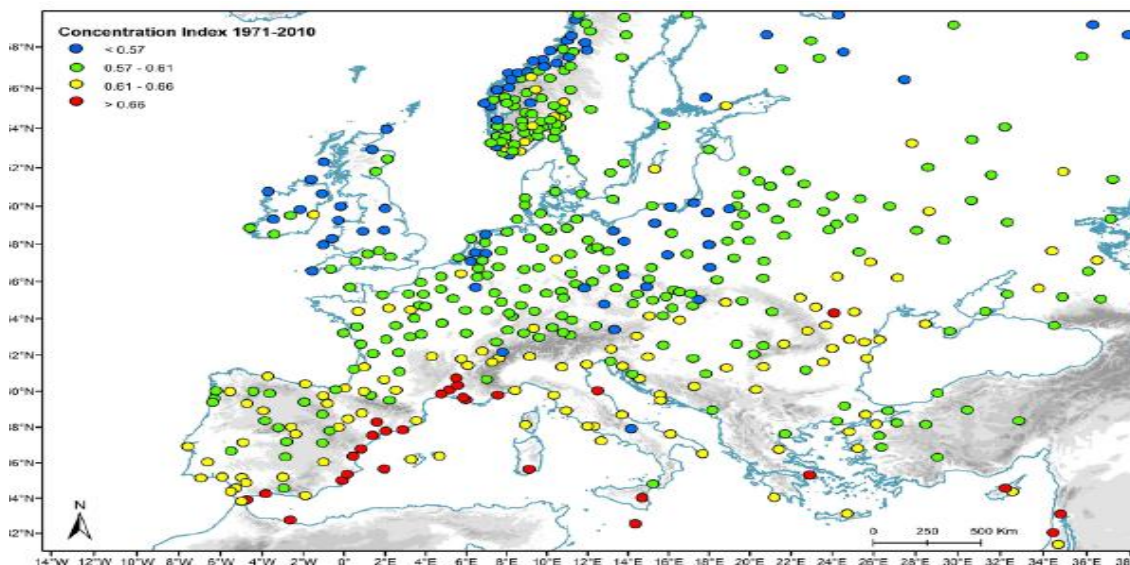
Σχήμα 14. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI για την εποχή του Χειμώνα. Οι μπλε κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη CI μικρότερες από 0.57, (μπλε σημεία), Οι πράσινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές στο διάστημα (0.57,0.61), οι κίτρινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του CI στο διάστημα (0.62,0.66), οι κόκκινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του CI από 0.67 και πάνω. [Πηγή Cortesi , Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010,2012]



Σχήμα 15. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI για την εποχή της Άνοιξης. Οι μπλε κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη CI μικρότερες από 0.57, Οι πράσινες κουκίδες αντιστοιχούν τιμές στο διάστημα (0.57,0.61), οι κίτρινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του CI στο διάστημα (0.62,0.66), οι κόκκινες κουκίδες απεικονίζουν τιμές του CI από 0.67 και πάνω. [Πηγή: Cortesi, Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010,2012]



Σχήμα 16. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI για την εποχή του Καλοκαιριού. Οι μπλέ κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη CI που είναι μικρότερες από 0.57, Οι πράσινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές που βρίσκονται στο διάστημα (0.57,0.61), οι κίτρινες κουκίδες αντιστοιχούν τιμές του CI που ανήκουν στο διάστημα (0.62,0.66), οι κόκκινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του CI από 0.67 και πάνω. [Πηγή Cortesi, , Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010,2012,]



Σχήμα 17. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI για την εποχή του φθινοπώρου. Οι μπλέ κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του δείκτη CI μικρότερες από 0.57, Οι πράσινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές στο διάστημα (0.57,0.61), οι κίτρινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του CI στο διάστημα (0.62,0.66), οι κόκκινες κουκίδες αντιστοιχούν σε τιμές του CI από 0.67 και πάνω. [Πηγή Cortesi, .Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010,2012]

5.4.3 Τάσεις στην καθημερινή συγκέντρωση βροχοπτώσεων

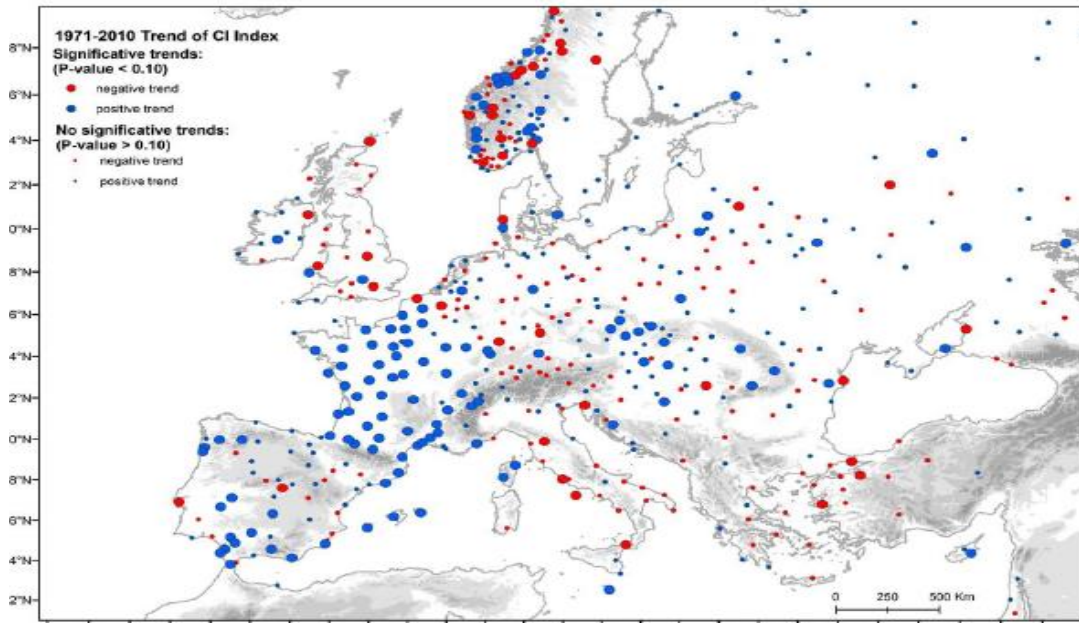
Τα αποτελέσματα των αναλύσεων τάσης (trends) παρουσιάζονται αναλυτικά στον πίνακα 2. Η τάση του δείκτη συγκέντρωσης CI είναι κατά κύριο λόγο θετική σε ετήσια και εποχιακή κλίμακα, αλλά το επίπεδο σπουδαιότητας είναι πολύ χαμηλό. Σε εποχιακό επίπεδο μόνο το 6.8% των σταθμών δίνουν μια αρνητική σημαντική τάση που μεταβάλλεται μεταξύ των τιμών 4.5% και 6.0%, ενώ το ποσοστό των σταθμών που σημειώνουν σημαντική θετική τάση είναι αρκετά μεγαλύτερο από εκείνους που παρουσιάζουν αρνητική. Η διαφορετική χωρική κατανομή των τάσεων υποδηλώνουν την ανομοιογένεια που παρουσιάζει η Ευρώπη (Σχήμα 18). Γενικά η ανατολική Ευρώπη έχει λιγότερους σταθμούς καταγραφής που παρουσιάζουν σημαντική τάση (θετική ή αρνητική) σε σχέση με εκείνους που έχει η Δυτική Ευρώπη. Βροχοπτώσεων [Cortesi 2012].

Όσον αφορά την εποχιακή ανάλυση δεν προκύπτει ότι υπάρχει κάποιο μοντέλο που ακολουθείται (Σχήματα 19, 20, 21 και 22). Εντούτοις, σε ετήσια, χειμερινή και φθινοπωρινή κλίμακα, το ποσοστό των σταθμών με σημαντικές θετικές τάσεις είναι υψηλότερο από το αντίστοιχο ποσοστό εκείνων με σημαντικές αρνητικές τάσεις. Ενώ τις περιόδους της άνοιξης και το καλοκαίρι οι διαφορές τάσης είναι ελάχιστες. [Cortesi 2012]

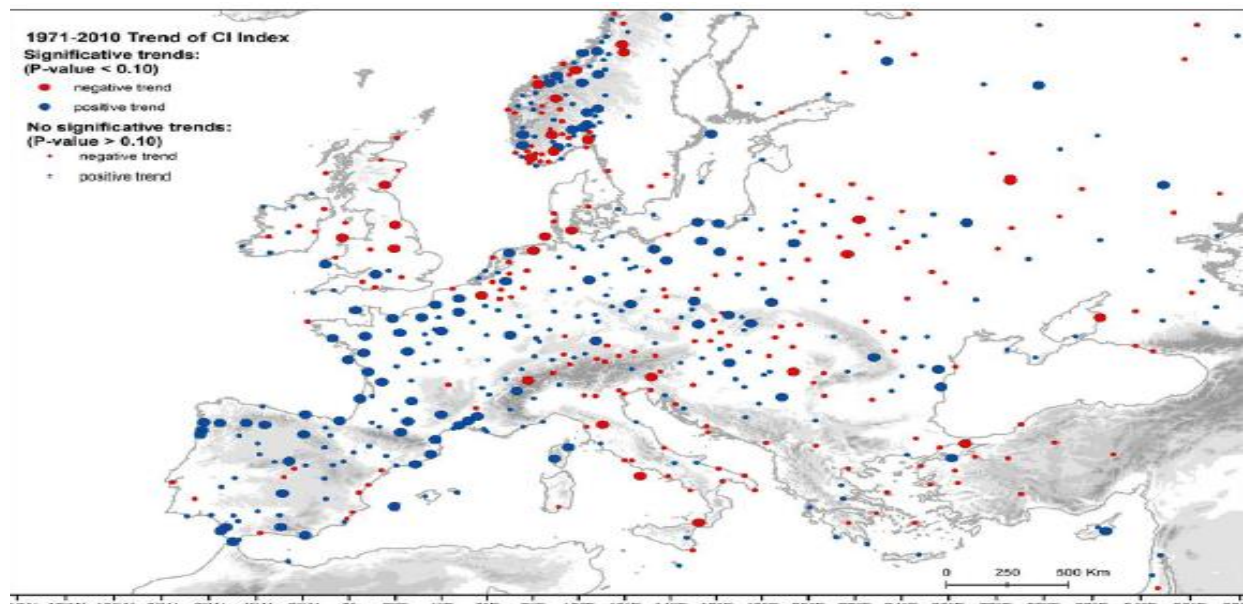
Τέλος σε τοπική κλίμακα, είναι ενδιαφέρον να τονιστεί ότι η Γαλλία παρουσιάζει μια γενική θετική τάση σε ετήσια και σε εποχιακή κλίμακα. Στη Νορβηγία, υπάρχουν σταθμοί που παρουσιάζουν σημαντική ετήσια αύξηση στο CI κατά μήκος της δυτικής ακτής, σε ετήσια και σε τοπική κλίμακα. Ενώ υπάρχουν άλλοι σταθμοί που παρουσιάζουν σημαντική μείωση στο εσωτερικό της χώρας και κατά μήκος της νότιας γραμμής. [Cortesi 2012]

		Year	Winter	Spring	Summer	Autumn
Number of series by trend signal	Negative	200	212	302	215(*)	172
	Positive	330	318	228	285	358
Number of series with significant trend	Negative	36	28	32	26	24
	Positive	126	95	72	70	100
Percentage of series with significant trend	Negative	6.8%	5.3%	6.0%	4.9%	4.5%
	Positive	23.8%	17.9%	13.6%	13.2%	18.9%

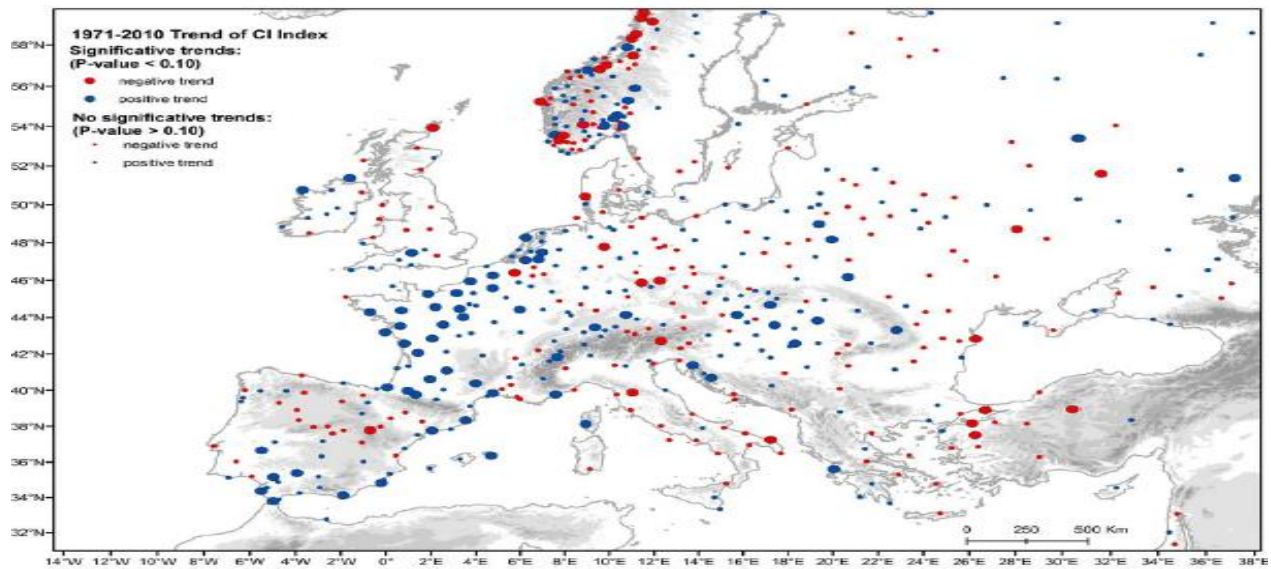
Πίνακας 2. Πίνακας ανάλυσης τάσεων (trend) τιμών δείκτη CI. Απεικόνιση πλήθους σταθμών με αρνητική ή θετική τάση με επίπεδο σπουδαιότητας ($p < 0.10$) [Πηγή : Cortesi Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010]



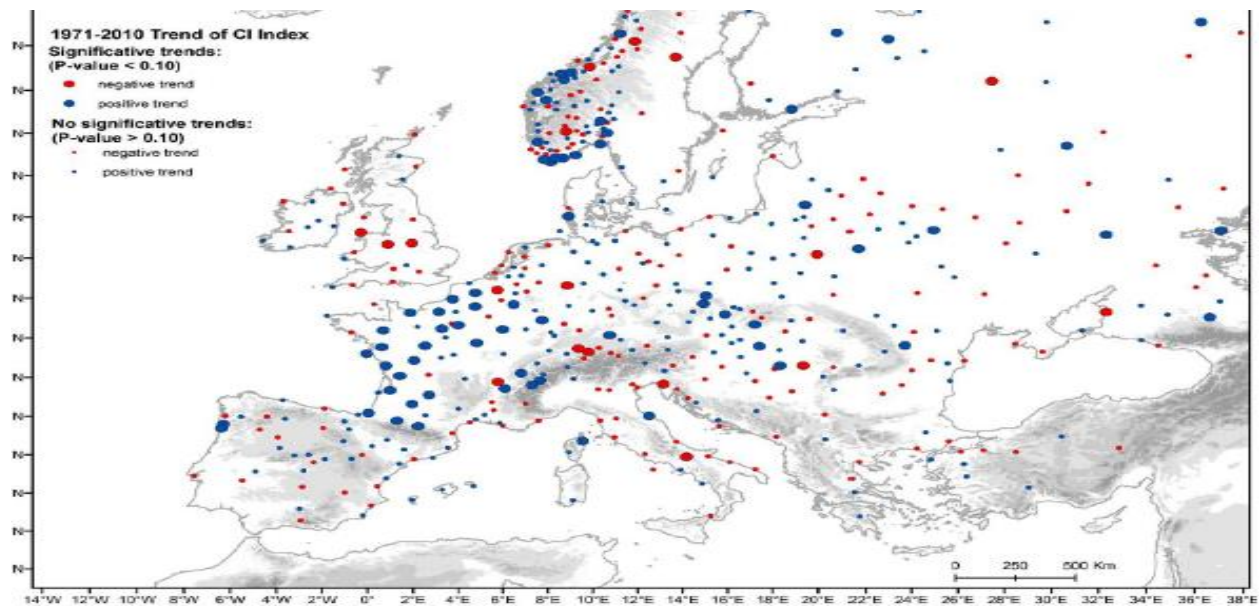
Σχήμα 18.Ετήσια κατανομή των τιμών τάσης του δείκτη(CI). Οι θετικές τάσεις αναπαρίστανται με μπλέ κουκίδες, ενώ οι αρνητικές τάσεις με κόκκινες κουκίδες.Οι μεγάλες κουκίδες(θετικές η αρνητικές) αναπαριστούν σημαντικές τάσεις ($p < 0.10$), ενώ οι μπλέ κουκίδες μικρές τάσεις[Πηγή Cortesi Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010,2012]



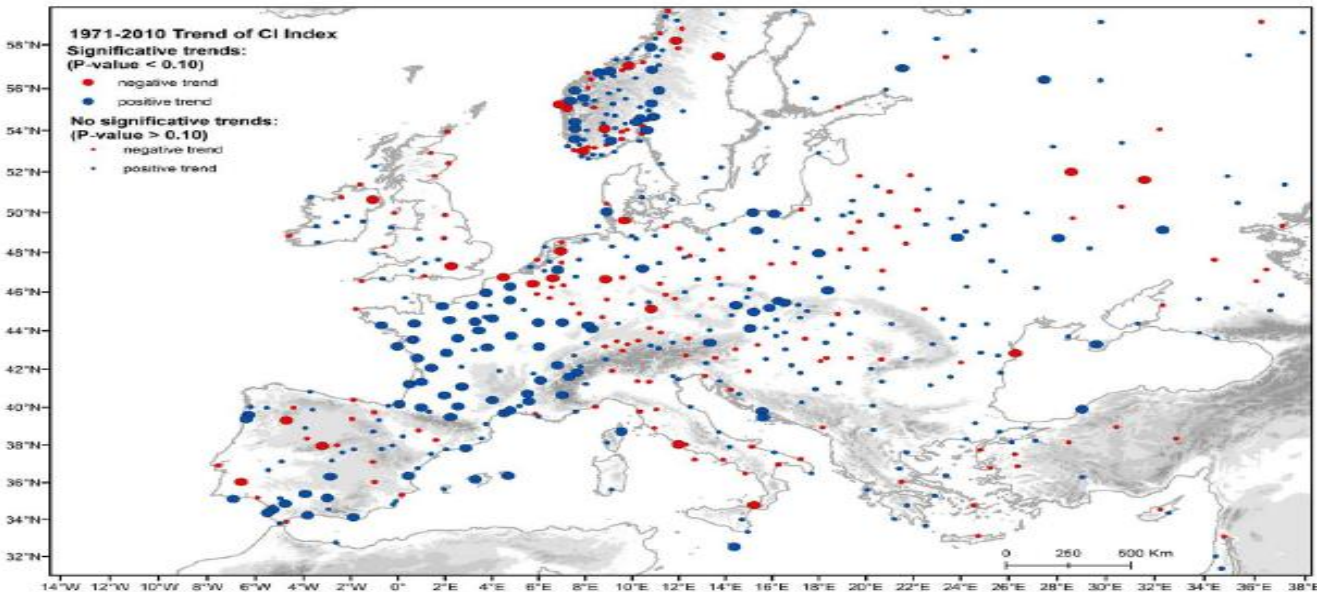
Σχήμα 19.Απεικόνιση των τιμών κατανομής τάσης του δείκτη συγκέντρωσης (CI) τον χειμώνα. Οι θετικές τάσεις αναπαρίστανται με μπλέ κουκίδες, ενώ οι αρνητικές τάσεις με κόκκινες κουκίδες.Οι μεγάλες κουκίδες (θετικές η αρνητικές) αναπαριστούν σημαντικές τάσεις ($p < 0.10$), ενώ οι μπλέ κουκίδες μικρές τάσεις[Πηγή : N. Cortesi ,Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010,2012]



Σχήμα 20. Απεικόνιση των τιμών κατανομής της τάσης του δείκτη συγκέντρωσης CI την άνοιξη. Οι θετικές τάσεις αναπαρίστανται με μπλέ κουκίδες, ενώ οι αρνητικές τάσεις με κόκκινες κουκίδες. Οι μεγάλες κουκίδες (κόκκινες ή μπλέ) αναπαριστούν σημαντικές τάσεις ($p < 0.10$), ενώ οι μπλέ κουκίδες μικρές τάσεις [Πηγή Cortesi Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010, 2012]



Σχήμα 21. Απεικόνιση των τιμών κατανομής της τάσης του δείκτη συγκέντρωσης (CI) το καλοκαίρι. Οι τιμές θετικής τάσης αναπαρίστανται με μπλέ κουκίδες, ενώ οι αρνητικές τάσεις με κόκκινες κουκίδες. Οι μεγάλες κουκίδες (κόκκινες ή μπλέ) αναπαριστούν σημαντικές τάσεις ($p < 0.10$), ενώ οι μπλέ κουκίδες μικρές τάσεις [Πηγή Cortesi Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010, 2012]



Σχήμα 22. Απεικόνιση των τιμών κατανομής της τάσης του δείκτη συγκέντρωσης (CI) το φθινόπωρο Οι θετικές τάσεις αναπαρίστανται με μπλέ κουκίδες, ενώ οι αρνητικές τάσεις με κόκκινες κουκίδες. Οι μεγάλες κουκίδες (θετικές ή αρνητικές) αναπαριστούν σημαντικές τάσεις ($p < 0.10$), ενώ οι μπλέ κουκίδες μικρές τάσεις [Πηγή Cortesi Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010, 2012]

5.4.4 Συμπεράσματα

Οι αναλύσεις της καθημερινής συγκέντρωσης βροχοπτώσεων σε ολόκληρη την Ευρώπη κατά τη διάρκεια των ετών 1971-2010 σε ένα ογκώδες σύνολο δεδομένων έδειξαν ότι υπάρχει ένα μοντέλο κατανομής των δεικτών συγκέντρωσης που λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές στα βορειοδυτικά της Ευρώπης και τις υψηλότερες τιμές στα νότιοανατολικά της. Μάλιστα οι μέγιστες καθημερινές τιμές συγκέντρωσης (CI) καταγράφονται στην περιοχή της δυτικής λεκάνης της Μεσογείου, κατά μήκος της ανατολικής ακτογραμμής της Ισπανίας της Γαλλίας, ενώ οι μικρότερες τιμές συναντούνται στην Σκανδιναβική Χερσόνησο. [Cortesi 2012]

Επιπλέον μπορούμε να πούμε ότι ο δείκτης συγκέντρωσης βροχοπτώσεων (CI) εκπροσωπεί τους διαφορετικούς τύπους κλίματος, καθώς λαμβάνει τις χαμηλότερες τιμές σε περιοχές που είναι δίπλα στον Ατλαντικό ωκεανό (βορειοδυτική ακτή της Ευρώπης) και καταλήγει να λαμβάνει τις μεγαλύτερες στην περιοχή της Μεσογείου, όπου έχουμε έντονες βροχοπτώσεις.

Επίσης προκύπτει το συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει κάποιο μοντέλο που να ακολουθούν οι τάσεις (trends) τόσο σε ετήσια όσο και σε εποχιακή κλίμακα. [Cortesi 2012]

Τέλος το γενικότερο και το πιο σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι η ημερήσια κατανομή βροχοπτώσεων δεν έχει μεταβληθεί καθόλου στον ευρωπαϊκό χώρο κατά το χρονικό διάστημα 1971-2010.[**Cortesi 2012**]

Κατάλογος Σχημάτων-Πινάκων

Σχήμα 1.Μεταβολή μέσης Θερμοκρασίας για τα έτη 1860-2000	6
Σχήμα 2. Παγκόσμιος χάρτης απεικόνισης της θερμοκρασίας ανα δεκαετία από το1951-2014. 7	7
Σχήμα 3.Εισερχόμενη ακτινοβολία που απορροφάται από την επιφάνεια της Γης και εν συνεχεία θερμαίνει την ατμόσφαιρα. Ένα τμήμα της επιστρέφει πίσω και το υπόλοιπο εκπέμπεται ως εξερχόμενη υπεύθρη ακτινοβολία	9
Πίνακας 1. Απεικόνιση τιμών συγκέντρωσης αέριων του θερμοκηπίου	10
Σχήμα 4.Ανακατασκευασμένο δείγμα τιμών θερμοκρασίας του Βορείου Ημισφαιρίου	13
Σχήμα 5.Απεικόνιση περιοχών της Ευρώπης όπου συναντάται το φαινόμενο των έντονων βροχοπτώσεων (κόκκινοι κύκλοι) και περιοχών όπου οι βροχοπτώσεις είναι ασθενείς.....	16
Σχήμα 6.Παράγοντες που προκαλούν την άνοδο της στάθμης των νερών.....	21
Σχήμα 7. Υδρολογικός κύκλος	27
Σχήμα 8.Υψη διαφόρων ειδών σύννεφου	28
Σχήμα 9.Τροπικός κυκλώνας.Το σχήμα αυτό απεικονίζει τον τροπικό κυκλώνα που προκύπτει από την μίξη της ης ψυχρής αέριας μάζας με την αντίστοιχη θερμή. Η θερμή αέρια μάζα υπερισχύει της αντίστοιχης ψυχρής με αποτέλεσμα την δημιουργία του συγκεκριμένου σύννεφου(κυκλώνας).....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Σχήμα 10.Σχηματισμός βροχόπτωσης στην αντίθετη διεύθυνση σε σχέση με την φορά του ανέμου(windward side).....	30

Σχήμα 11.Συσκευές μέτρησης βροχοπτώσεων 1(a) τυπικός μετρητής βροχής. (β)μετρητής με αιχμή (tipping)	31
Σχήμα 12. Ραντάρ καιρού	33
Σχήμα 13. Ετήσιες τιμές κατανομής του δείκτη CI.	39
Σχήμα 14. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI την εποχή του Χειμώνα.....	40
Σχήμα 15. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI την εποχή της Άνοιξης	40
Σχήμα 16. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI την εποχή του Καλοκαιριού.....	41
Σχήμα 17. Τιμές της κατανομής του δείκτη CI την εποχή του φθινοπώρου	41
Πίνακας 2. Πίνακας ανάλυσης τάσεων (trend) του δείκτη CI.Απεικόνιση πλήθους σταθμών με αρνητική η θετική τάση με επίπεδο σπουδαιότητας ($p < 0.10$)	42
Σχήμα 18. Ετήσια κατανομή των τιμών τάσης του δείκτη(CI).....	43
Σχήμα 19. Απεικόνιση των τιμών κατανομής τάσης του δείκτη συγκέντρωσης (CI) τον χειμώνα	43
Σχήμα 20.Απεικόνιση των τιμών κατανομής τάσης του δείκτη συγκέντρωσης CI την άνοιξη. .	44
Σχήμα 21. Απεικόνιση των τιμών κατανομής τάσης του δείκτη συγκέντρωσης CI το καλοκαίρι..	44
Σχήμα 22.Απεικόνιση των τιμών κατανομής τάσης του δείκτη συγκέντρωσης CI το φθινόπωρο	45

Ξενογλώσση Βιβλιογραφία

- Adler, R. F., & Negri, A. J. (1988). A satellite IR technique to estimate tropical convective and stratiform rainfall.’’ J. Appl. Meteorol., 27, 30– 51
- Arkin, P. A., & Meisner, B. N. (1987). ‘‘The relationship between large -scale convective rainfall and cold cloud over the Western Hemisphere during 1982-84’’. Mon.Wea.Rev., 115, 51-74
- AghaKouchak, A., Habib, E., & Bardossy, A. (2010). ‘‘Modeling Radar Rainfall Estimation Uncertainties.’’ Journal of Hydrologic Engineering, 15(4), 265-274
- Ahrens, C. D. (2007). ‘‘Meteorology Today : An Introduction to Weather, Climate, and the Environment’’ (eighth edition ed.). Australia: Thomson
- Bindlish, R., & Barros, A. P. (2000) ‘‘Disaggregation of rainfall for one-way coupling of atmospheric and hydrologic models in regions of complex terrain.’’ Global Planet. Change, 25, 111-132.
- Brochier F. and E. Ramieri, ‘‘Climate Change Impacts on the Mediterranean Coastal Zones, Fondazione Eni Enrico Mattei’’ Nota di Lavoro 27.2001, 2001
- Brutsaert, W. (2005). ‘‘ Hydrology. An Introduction’’. Cambridge: Cambridge University Press
- Bulletin of the American Meteorological ‘‘Society State of the Climate in 2014’’, Vol. 96, No. 7, July 2015
- Climate-impacts-and-vulnerability-2012//www.eea.europa.eu/publications
- Climatic Research Unit of the University of East Anglia and the Hadley Centre of the UK Meteorological Office, 2012
- COMET. (2000). Radar. Retrieved 13/02/2011, from //www.everythingweather.com/weather-radar/principles.shtml
- Cortesi et al.: ‘‘ Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010’’, Natural Hazards and Earth System Sciences,2012
- Dingman, S. L. (1994). ‘‘Physical Hydrology’’. Upper Saddle River: Prentice Hall
- Global_warming <http://en.wikipedia.org/wiki/>
- Gray, D. M. (Ed.). (1973). ‘‘Handbook on the principles of hydrology : a general text with special emphasis directed to Canadian conditions in the discussions, applications and presentation of data.’’ Huntington: Water Information Center
- Griffith, C. G., Woodley, W. L., Grube, P. G., Martin, D. W., Stout, J., & Sikdar, D. N. (1978). ‘‘Rain estimation from geosynchronous satellite imagery-visible and infrared studies’’. Mon. Weather Rev., 106, 1153–1171
- Huade, G., & John, I. W. (2005). ‘‘ Geostatistical Mapping of Precipitation Incorporating Autosearched Effects of Terrain and Climatic Characteristics’’,Journal of hydrometeorology, 6, 1018

- Huffman, G. J., Adler, R. F., Arkin, P., Chang, A., Ferraro, R., Gruber, A., et al. (1997). “The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) combined precipitation data set”. *Bull.Am.Meteorolo.Soc.*, 78, 5-20
- IPCC (2001) http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/007.html
- (ICPP)<https://el.wikipedia.org/wiki/ICPP>
- Jerald L. Schnoor, “Περιβαλλοντικά Μοντέλα ,Τύχη και μεταφορά Ρύπων στον Αέρα, Νερό και Έδαφος”, μετάφραση από Γκέκας Χ., 2003
- Jones, P. D., et al. (1998), “High-resolution paleoclimatic records for the last millennium: interpretation, integration and comparison with General Circulation Model control-run temperatures. “ *Holocene* 8(4), 455–471.
- Kitchen, M., & Jackson, P. M. (1993). “Weather radar performance at long range-Simulated and observed.” *J. Appl. Meteorol.*, 32, 975–98
- Levizzani, V., Amorati, R., & Meneguzzo, F. (2002). “A review of satellite-based rainfall estimation methods. European Commission Project”, Music report (EVKI-CT-2000-00058., 66 pp
- Maidment, D. R. (Ed.). (1993). “Handbook of hydrology New York”: MacGraw-Hill
- Martin-Vide, J.: ‘ ‘Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain’, *Int. J. Climatol.*, 24, 959–971, 2004.
- P. Lionello and P. Malanotte-Rizzoli, P. Alpert, V. Artal” Mediterranean CLimate Variability and predictability project”, 2006
- Riehl, H.: ‘ ‘Some aspects of Hawaiian rainfall,’’ *BAMS*, 30, 76–187, 1949.
- Roebeling, R. A., & Holleman, I. (2009). SEVIRI “rainfall retrieval and validation using weather radar observations”. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 114.
- Rosenfield, D., & Gutman, G. (1994). “Retrieving microphysical properties near the tops of potential rain clouds by multi spectral analysis of AVHRR data.” *J.atmos.*, 34, 259–283.
- Sotillo, M. G., Ramis, C., Romero, R., Alonso, S., & Homar, V. (2003). “ Role of orography in the spatial distribution of precipitation over the Spanish Mediterranean zone”. *Climate Res.* 23, 247–261
- Vicente, G. A., Scofield, R. A., & Menzel, W. P. (1998). ‘ ‘The operational GOES infrared rainfall estimation technique. American Meteorological Society’’, 79(9), 1883-1898
- William J. Makofske, Eric F. Karlin, “Τεχνολογία και Παγκόσμια Περιβαλλοντικά Προβλήματα”, μετάφραση από Μαρία Ταλαντοπούλου , 1997
- World Meteorological Organization “ Commision for Climatology”, Geneva, 4–14 August 1997
- Xoplaki E, Casty C et al. “Mediterranean climate variability over the last centuries: A review”, 2006

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ακύλας Ε., Λυκούδης Σ., Λάλας Δ., “Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Κλιματική Αλλαγή στον Ελλαδικό χώρο”, Ανάλυση 2005
- Δουκάκης Ε., “Ανάπτυξη Παράκτιας Ζώνης”, Αθήνα, 2005
- Κουτσογιάννης Δ., “ Ατμόσφαιρα και κλίμα, Άνθρωπος και Περιβάλλον στον 21ο αιώνα, Τα κρίσιμα Προβλήματα”, 1,6 σελίδες, Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Γουλιανδρή, Αθήνα 2003
- Μπινιάρης Σ., “Το Περιβάλλον Ρύπανση και Προστασία”, 2006