

**ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ 21^Ο ΑΙΩΝΑ**

**ΧΑΡΒΑΛΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
Διπλωματούχος Τοπογράφος Μηχανικός**

Αθήνα, Ιούλιος 2011

**ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΤΗΣ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ 21^Ο ΑΙΩΝΑ**

**ΧΑΡΒΑΛΙΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
Διπλωματούχος Τοπογράφος Μηχανικός**

Επιβλέπων καθηγητής : ΚΑΤΣΑΦΑΔΟΣ ΠΕΤΡΟΣ

Αθήνα, Ιούλιος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, στο τμήμα Γεωγραφίας στα πλαίσια του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών με τίτλο «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου».

Συγγράφοντας τον πρόλογο της διπλωματικής μου εργασίας, αισθάνομαι ιδιαίτερα τυχερός λόγω της δυνατότητας να εκφράσω γραπτώς όλες μου τις σκέψεις, ειδικά τώρα που οδεύω στην ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την εξεταστική επιτροπή, η οποία με έκρινε κατάλληλο για την παρακολούθηση του μεταπτυχιακού προγράμματος του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου. Ευχαριστώ θερμά τον Λέκτορα κύριο Πέτρο Κατσαφάδο, ο οποίος ήταν πολύτιμος σύμβουλος κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και επόπτης της διπλωματικής μου εργασίας. Μου αφιέρωσε πολύτιμο χρόνο και με στήριξε σε όλη την προσπάθειά μου.

Σεβασμό και ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κύριο Σακκή Βασίλειο για την πολύτιμη βοήθεια του και τις εύστοχες παρατηρήσεις του κατά την εκπόνηση της εργασίας αυτής.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου για την βοήθεια που μου προσέφερε.

Περίληψη

Στην εργασία αυτή θα αναλυθούν αρχικά θέματα που αφορούν γενικότερα το κλίμα(τόσο και στη Μεσόγειο, όσο και στην Ελλάδα), την αλλαγή του κλίματος διαχρονικά και πώς αυτή επηρεάζει μεταβλητές, όπως η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η ατμοσφαιρική πίεση. Στη συνέχεια θα γίνει εκτενής αναφορά στα σενάρια που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ανάλυση της πιθανής αλλαγής κλίματος, των επιδράσεών τους και των δυνατοτήτων να μετριαστεί η αλλαγή κλίματος. Θα γίνει επίσης αναφορά στα κλιματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα, δηλαδή μαθηματικών μοντέλων που θα μπορούν να αναπαραστήσουν την εξέλιξη του κλίματος, έτσι ώστε να εξηγούν τις αλλαγές του παρελθόντος και να προβλέπουν το κλίμα του μέλλοντος. Στη συνέχεια θα γίνει η ανάλυση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία αυτή και θα γίνει ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Θα γίνει αναλυτική αναφορά στα χαρακτηριστικά των μεταβλητών που μελετώνται, στα δύο μοντέλα που επιλέχθηκαν τελικά για την επεξεργασία των δεδομένων και τέλος θα δημιουργηθούν χάρτες με οπτικά αποτελέσματα της διακύμανσης των μεταβλητών για τρία μελλοντικά χρονικά διαστήματα και πίνακες με τις μέσες μηνιαίες τιμές των μελλοντικών μεταβολών των μεταβλητών της θερμοκρασίας της βροχόπτωσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Τέλος θα αναφερθούν χρήσιμα και σημαντικά συμπεράσματα που προκύπτουν μελετώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν και συγκρίνοντάς τα μεταξύ τους.

Summary

In this work, initial subjects will be analyzed that concern more generally the climate (not only in Mediterranean, but in Greece also), the change of climate diachronically and how this influences variables, as the temperature, the precipitation and the atmospheric pressure. Afterwards, extensive report will be done in the scripts that have been used widely analysis of likely change of climate, their effects and possibilities is moderated the change of climate. A report will be done also in the climatic models that are used today, that is to say mathematic models that might represent the development of climate, so as to they explain the changes of past and they forecast the climate of future. Afterwards, the analysis of methodology will be done that was used in this project and an analysis of results will be done that resulted. An analytic report will be done in the characteristics of variables that are studied, in the two models that were selected finally for the treatment given and finally, charts will be created with optical results of fluctuation of variables for three future time intervals and tables with the medium monthly values of future changes of variables of temperature, precipitation and atmospheric pressure. Finally, some useful and important conclusions will be reported.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. Εισαγωγή.....	1
2. Κλίμα – Κλιματική Αλλαγή	11
2.1. Ο καιρός και το κλίμα	11
2.1.1. Παράγοντες διαμόρφωσης του κλίματος.....	12
2.1.1.1. Ισορροπία Ακτινοβολιών : Ηλιακή και Γήινη Ακτινοβολία.....	13
2.1.1.2. Εισαγωγή στην φύση της ακτινοβολίας	14
2.1.1.3. Παγκόσμιο Ισοζύγιο Ακτινοβολιών	17
2.2. Κλιματικές αλλαγές στην τελευταία χιλιετία	18
2.3. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	21
2.3.1. Περιγραφή του φαινομένου	23
2.3.2. Οι συνέπειες του θερμοκηπίου	24
2.3.3. Οι πρώτες ενδείξεις	25
2.3.4. Οι ενδείξεις για την Βιόσφαιρα και τον άνθρωπο	27
2.3.5. Οι πρωταίτιοι	28
2.3.6. Προτάσεις για την ελάττωση και την αποφυγή του φαινομένου	31
2.3.6.1. Τι θα έπρεπε να γίνει πραγματικά και τι προτείνουν οι πρωταίτιοι	31
2.3.6.2. Πυρηνική Σύντηξη ως λύση για το φαινόμενο του θερμοκηπίου	34
2.3.6.3. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ως ένας βασικός παράγοντας για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου	35
2.3.6.4. Κίνηση των Ελλήνων πολιτών για την ελάττωση του φαινομένου του θερμοκηπίου	37

2.4. Θερμοκηπικά αέρια	39
2.4.1. Πηγές Εκπομπής των αερίων	44
2.4.2. Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων.....	45
2.5. Κλιματική Αλλαγή	46
2.5.1. Αίτια αλλαγής του κλίματος	47
2.5.2. Συνέπειες αλλαγής του κλίματος	51
2.5.2.1. Πλανήτη	51
2.5.2.2. Ευρώπη	61
2.5.2.3. Ελλάδα	63
2.5.2.4. Ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα.....	64
2.5.2.5. Το Φαινόμενο El Nino	66
2.5.2.6. Στάθμη της Θάλασσας	68
2.5.2.7. Υδάτινοι πόροι	71

3. Σενάρια εκπομπών SRES (Special Report on Emission Scenarios) IPCC.....74

3.1. Ιστορική αναδρομή	74
3.2. Κατασκευή σεναρίων εκπομπών SRES.....	75
3.2.1. Αβεβαιότητες στην ανάλυση σεναρίων	77
3.3. Περιγραφή των σεναρίων SRES	78

4. Διαχείριση Δεδομένων – Ανάπτυξη

Μεθοδολογίας.....83

4.1. Περιγραφή δεδομένων83

4.2. Κλιματικά Μοντέλα και Χαρακτηριστικά τους83

4.2.1. Τα κλιματικά μοντέλα83

4.2.2. Περιγραφή κλιματικών μοντέλων85

4.2.3. Τα μοντέλα GCMs και τα όριά τους92

4.2.4. Οι εκτιμήσεις των κλιματικών μοντέλων94

4.2.5. Επιφυλάξεις για τα αποτελέσματα των κλιματικών μοντέλων97

4.3. Αξιοπιστία και αβεβαιότητες των κλιματικών μοντέλων και σεναρίων στην εκτίμηση μελλοντικών κλιματικών αλλαγών.....100

4.3.1. Μοντέλο NCAR - CCSM3.....102

5. Μεθοδολογία και Ανάλυση Αποτελεσμάτων138

5.1. Γενικά138

5.2. Προγνωστικά μοντέλα.....138

5.3. Μεταβλητές139

5.3.1. Μεθοδολογία της επεξεργασίας των χαρτών139

5.3.2. Θερμοκρασία139

5.3.2.1. Μεταβολή της θερμοκρασίας από το CCSM3.....139

5.3.2.2. Μεταβολή της θερμοκρασίας από το HADGEM1.....145

5.3.3. Βροχόπτωση149

5.3.3.1. Μεταβολή της Βροχόπτωσης από το CCSM3.....149

5.3.3.2. Μεταβολή της Βροχόπτωσης από το HADGEM1.....	157
5.3.4. Ατμοσφαιρική Πίεση	162
5.3.4.1. Μεταβολή της Ατμοσφαιρική Πίεσης από το CCSM3.....	163
5.3.4.2. Μεταβολή της Ατμοσφαιρική Πίεσης από το HADGEM1.....	169

6. Συμπεράσματα.....	175
----------------------	-----

7. Βιβλιογραφία.....	
----------------------	--

2. Εισαγωγή

Το κλιματικό σύστημα είναι ένα σύνθετο σύστημα αλληλεπιδράσεων, που αποτελείται από την ατμόσφαιρα, την επιφάνεια της γης, τα χιόνια και τους πάγους, τους ωκεανούς, τα λοιπά επιφανειακά και υπόγεια νερά των ηπείρων και τους ζωντανούς οργανισμού (IPCC, 2007a).

Η ατμοσφαιρική διάσταση του κλιματικού συστήματος είναι συνήθως αυτή που χαρακτηρίζει το κλίμα, το οποίο ορίζεται ως η σύνθεση των στοιχείων του καιρού για ένα μακρύ χρονικό διάστημα (Κουτσογιάννης, 1998). Το κλίμα περιγράφεται συνήθως με τη χρήση του μέσου όρου και της μεταβλητότητας της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων και των ανέμων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, που κυμαίνεται από λίγους μήνες έως εκατομμύρια χρόνια (μια συνηθισμένη περίοδος είναι τα 30 χρόνια) (IPCC, 2007a).

Το κλιματικό σύστημα εξελίσσεται κάτω από την επίδραση της εσωτερικής του δυναμικής και εξαιτίας αλλαγών σε διάφορους εξωτερικούς παράγοντες που επηρεάζουν το κλίμα (IPCC, 2007a). Ως *κλιματική αλλαγή* ορίζεται μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. χρησιμοποιώντας στατιστικές δοκιμές) από τις αλλαγές στο μέσο όρο ή/και τη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του, και που υπάρχει για μια εκτεταμένη περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα με την πάροδο του χρόνου, που οφείλεται είτε στη φυσική μεταβλητότητα είτε στις δραστηριότητες του ανθρώπου (IPCC, 2007d).

Οι εγκυρότερες και πιο αξιόπιστες εκθέσεις για την κλιματική αλλαγή έχουν δημοσιευτεί από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), η οποία ιδρύθηκε το 1988 από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (World Meteorological Organization - WMO) και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος (United Nations Environment Programme - UNEP) του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών. Ο σκοπός της επιτροπής είναι η αξιολόγηση της ήδη υπάρχουσας επιστημονικής γνώσης για τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών, καθώς και η αξιολόγηση των συνεπειών των κλιματικών μεταβολών που προέρχονται από ανθρώπινη δραστηριότητα, μελετώντας πιθανές πολιτικές και δράσεις για την αντιμετώπιση των ενδεχόμενων κινδύνων.

Το 2007 η IPCC δημοσίευσε την Τέταρτη Έκθεση Αξιολόγησης (IPCC Fourth Assessment Report-4AR) για την κλιματική αλλαγή. Οι επιστήμονες εργάστηκαν σε τρεις ομάδες, όσοι και οι τόμοι της Έκθεσης:

- Πρώτη Ομάδα Εργασίας - Working Group I (WGI): «The Physical Science Basis». Περιέχει τα επιστημονικά δεδομένα της κλιματικής αλλαγής και σύνδεσή της με ανθρωπίνες δραστηριότητες, καθώς και εκτιμήσεις της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής.
- Δεύτερη Ομάδα Εργασίας - Working Group II (WGII): «Impacts, Adaptation and Vulnerability». Περιγράφει τις επιπτώσεις εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, εκτιμά την τρωτότητα του φυσικού περιβάλλοντος και των ανθρωπινων κοινωνιών και αξιολογεί πιθανά μέτρα πρόληψης και προσαρμογής.
- Τρίτη Ομάδα Εργασίας - Working Group III (WGIII): «Mitigation of Climate Change». Εξετάζεται η δυνατότητα μετριασμού και αποφυγής των κλιματικών αλλαγών, με εκτίμηση του σχετικού οικονομικού κόστους.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, τόσο φυσικοί όσο και ανθρωπογενείς, οι οποίοι προσδιορίζουν το κλίμα της γης. Κατά βάση, το κλίμα είναι το αποτέλεσμα της απορρόφησης και της αναδιανομής της ηλιακής ακτινοβολίας από το σύστημα ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας-γης. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την ενέργεια η οποία κινεί τα καιρικά φαινόμενα και διαμορφώνει το κλίμα. Περίπου το ένα τρίτο της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τις διαφορετικές συνιστώσες του κλιματικού συστήματος: την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την ξηρά και τις διάφορες μορφές ζωής. Εκτός από την ανακλώμενη, μικρού μήκους κύματος, ηλιακή ακτινοβολία, η γη εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία προς το διάστημα.

Η λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην εξερχόμενη ακτινοβολία και την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προσδιορίζει το παγκόσμιο κλίμα. Οποιαδήποτε αλλαγή στους παράγοντες που επιδρούν τόσο στην εισερχόμενη όσο και την εξερχόμενη ακτινοβολία ή στον μηχανισμό αναδιανομής της ενέργειας οδηγούν σε αλλαγή του κλίματος.

Η γη λαμβάνει πρακτικά όλη την ενέργειά της από τον ήλιο με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή η ακτινοβολία απορροφάται, ανακλάται και σκεδάζεται από την επιφάνεια της γης, τον ωκεανό και την ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία που απορροφάται μετασχηματίζεται σε θερμότητα και άλλες μορφές ενέργειας και τελικά επιστρέφει στο διάστημα σαν μικρότερης θερμοκρασίας γήινη ακτινοβολία. Είναι λοιπόν φανερό ότι η ακτινοβολία είναι θεμελιώδους σημασίας για την αλληλεπίδραση ατμόσφαιρας - ωκεανού. Υπάρχει τεράστια βιβλιογραφία που αφορά το αντικείμενο. Εδώ θα γίνει αναφορά στην εισαγωγή βασικών εννοιών και θα δοθεί προσοχή στις εφαρμογές στη διεπιφάνεια αέρα-θάλασσας.

Η θερμοκρασία είναι μια βασική κλιματική μεταβλητή διότι είναι το μέτρο της ενέργειας που οφείλεται στις κινήσεις των μορίων. Για να γίνει αντιληπτό πώς διατηρείται η θερμοκρασία, πρέπει να κατανοηθεί η ενεργειακή ισορροπία όπως διατυπώνεται επίσημα από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα. Η βασική παγκόσμια ισορροπία ενέργειας της γης είναι μεταξύ της ενέργειας που έρχεται από τον ήλιο και της ενέργειας που επιστρέφει στο διάστημα από την εκπομπή ακτινοβολίας της γης. Η παραγωγή ενέργειας στο εσωτερικό της γης έχει μια αμελητέα επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας συμβαίνει κυρίως στην επιφάνεια της γης ενώ η περισσότερη από την εκπομπή στο διάστημα προέρχεται από την ατμόσφαιρα. Επειδή η γήινη ατμόσφαιρα απορροφά και εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία πολύ αποτελεσματικά, η επιφάνεια της γης είναι πολύ πιο θερμή από ότι θα ήταν αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Όταν ολοκληρωθεί για ένα χρόνο, περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται κοντά στον ισημερινό από ότι κοντά στους πόλους. Η μεταφορά ενέργειας από την ατμόσφαιρα και τον ωκεανό προς τους πόλους μειώνουν την επίδραση αυτής της βαθμίδας θέρμανσης στην επιφανειακή θερμοκρασία. Σημαντικό μέρος του χαρακτήρα της εξέλιξης της γης και του κλίματός της έχει προσδιοριστεί από την θέση της στο ηλιακό μας σύστημα.

Το κλίμα της γης εμφανίζει και φυσικές μεταβολές, οι οποίες δυσκολεύουν την αναγνώριση των μεταβολών που οφείλονται στην επίδραση του ανθρώπου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, στο παρελθόν, να αμφισβητηθούν οι ενδείξεις που υπήρχαν για αλλαγή του κλίματος. Παρ' όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια υπάρχει συμφωνία μεταξύ των επιστημόνων ότι το κλίμα της γης άρχισε ήδη να προσαρμόζεται στα υψηλά επίπεδα των θερμοκηπικών αερίων, τα οποία οφείλονται στις ανθρωπογενείς εκπομπές των προηγούμενων ετών.

Το κλίμα παρουσιάζει, και θα παρουσιάζει για πάντα, αποκλίσεις που οφείλονται σε φυσικά αίτια. Οι φυσικές αυτές αιτίες συμπεριλαμβάνουν τις ανεπαίσθητες μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, τις ηφαιστειακές εκρήξεις, οι οποίες μπορούν να καλύψουν τη γη με σκόνη που αντανάκλα την ηλιακή θερμότητα στο διάστημα, καθώς και τις φυσικές αποκλίσεις του ίδιου του κλιματικού συστήματος.

Το κλίμα όμως παρουσιάζει αποκλίσεις που οφείλονται σε ανθρωπογενή αίτια με την υποβάθμιση των βιότοπων των άλλων οργανισμών. Θάνατος των δασών σημαίνει εξαφάνιση των ζώων που ζουν σ' αυτά και μείωση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας. Τα ποτάμια, οι λίμνες και οι θάλασσες έγιναν οι χώροι απόθεσης αποβλήτων του ανθρώπου αποκτώντας τοξικές ουσίες που σκοτώνουν τους υδρόβιους οργανισμούς. Τα φυτά της ξηράς δηλητηριάζονται από τα τοξικά αέρια, τα περισσότερα από τα οποία είναι δηλητήρια και για τα ανθρώπινα όντα, προκαλώντας άμεσες επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα ή επιδρώντας στα κύτταρα για τη δημιουργία καρκίνων.

Τα λιπάσματα μεταφέρονται με τα νερά στις λίμνες και στις θάλασσες και προκαλούν υπερβολική αύξηση των φυτών, σήψη και θάνατο των ψαριών. Τέλος, τα εντομοκτόνα χωρίς να σκοτώνουν όλα τα έντομα, μπαίνουν στα φυτά από κει στα ζώα και ξαναγυρίζουν με το κρέας και το γάλα τους στον άνθρωπο. Πολλοί επιστήμονες, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, έχουν πια καταλάβει το μονόδρομο που ακολουθεί η ανθρωπότητα προς την αυτοκαταστροφή και την έχουν προειδοποιήσει για τον κίνδυνο που την απειλεί. Και πολλοί άνθρωποι έχουν καταλάβει το πρόβλημα και οργανώνονται για την αντιμετώπισή του. Όλα αυτά βέβαια έχουν πολλή αρνητική επίδραση και στην αλλαγή του κλίματος που παρατηρείται ειδικά τις τελευταίες δεκαετίες και πιο συγκεκριμένα από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα.

Η υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται να «πάρει την εκδίκηση» της από τον άνθρωπο στον μέγιστο βαθμό μετά το 2012, οπότε και αναμένεται τα μισά έτη από την πενταετία που θα ακολουθήσει να είναι θερμότερα από το 1998, τη θερμότερη χρονιά που έχει ποτέ καταγραφεί σε παγκόσμιο επίπεδο, όπου η μέση παγκόσμια θερμοκρασία ήταν 14,54 βαθμούς Κελσίου. Στα ανησυχητικά αυτά συμπεράσματα κατέληξαν ειδικοί της βρετανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Met Office, δίνοντας για πρώτη φορά μέσω δημοσίευσής τους στο τεύχος της επιθεώρησης «Science» μια σαφή εικόνα για το τι πρόκειται να ζήσει η ανθρωπότητα τα επόμενα χρόνια (Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2002).

Προκειμένου να καταλήξουν στις προβλέψεις τους, οι ειδικοί δημιούργησαν μοντέλα το οποίο λαμβάνουν υπόψη τους φυσικά φαινόμενα όπως το El Nino στον Ειρηνικό Ωκεανό, αλλά και άλλες παραμέτρους σχετικά με την ωκεάνια κυκλοφορία και τη θερμοκρασία. Τα Μοντέλα, που είναι μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models -GCMs), κοινά αποκαλούμενα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα, είναι αριθμητικά μοντέλα που προσομοιώνουν τις φυσικές διαδικασίες στην ατμόσφαιρα, τον ωκεανό, την κρυόσφαιρα και την επιφάνεια του εδάφους, βασιζόμενα στους νόμους διατήρησης της ορμής, της μάζας, της ολικής ενέργειας και της ποσότητας των υδρατμών.

Τα μοντέλα αυτά είναι τα πιο προηγμένα διαθέσιμα εργαλεία για την προσομοίωση της απόκρισης του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος στις αυξανόμενες συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου. Ενώ απλούστερα μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης για να παρέχουν παγκόσμιες ή τοπικές μέσες εκτιμήσεις της απόκρισης του κλίματος, μόνο τα Παγκόσμια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, ενδεχομένως από κοινού με τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν γεωγραφικά και φυσικά συνεπείς εκτιμήσεις της τοπικής αλλαγής του κλίματος, που απαιτούνται στις μελέτες επιπτώσεων (impact studies). Μία από τις προβλέψεις τους είναι ότι μέχρι το 2014 η θερμοκρασία θα ανέβει κατά

0,4 βαθμούς Κελσίου με βάση τη θερμοκρασία του 2004 (Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2002).

Ο Douglas Smith και οι συνεργάτες του στο Κέντρο Κλιματικών Αλλαγών Hadley προβλέπουν μέσω της ανάλυσης του συγκεκριμένου μοντέλου ότι τα επόμενα τρία ή τέσσερα χρόνια δεν θα εμφανιστεί σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας, παρά τη γενική πρόβλεψη που δείχνει αύξηση σε ορίζοντα δεκαετίας. Τα πιο σημαντικά προβλήματα θα ξεκινήσουν μετά το 2012, αναφέρουν οι ειδικοί. Ως τότε οι φυσικές δυνάμεις θα αντισταθμίζουν ως έναν βαθμό την υπερθέρμανση που προκαλεί η ανθρώπινη δραστηριότητα - όπως η καύση ορυκτών καυσίμων που οδηγεί σε έκλυση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα συμβάλλοντας στην επιδείνωση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Οι ερευνητές έλεγξαν την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα του μοντέλου τους μελετώντας παλαιότερες προβλέψεις που είχαν γίνει από τους επιστήμονες, οι οποίες πήγαιναν πίσω στο 1982. Προσπάθησαν να δουν τι είχε αναφερθεί στις προβλέψεις και τι ακριβώς συνέβη τελικά. Είδαν ότι η μελέτη των φυσικών μεταβολών των ωκεάνιων ρευμάτων καθώς και της θερμοκρασίας έδινε μια σαφή εικόνα για το τι πρόκειται να συμβεί. Το μοντέλο αυτό διαφέρει στο ότι δεν λαμβάνει υπόψη του μόνο τις κλιματικές αλλαγές που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως τα περισσότερα υπάρχοντα μοντέλα. "Σε μια 100ετή κλίμακα η κύρια αλλαγή θα προέρχεται από τα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία θα κυριαρχήσουν επί της φυσικής μεταβλητότητας, ωστόσο τα επόμενα 10 χρόνια η φυσική εσωτερική τάση αλλαγών αναμένεται να έχει τη σημαντικότερη επίδραση", ανέφερε ο Douglas Smith. "Σε μια 10-ετή χρονική κλίμακα, και η φυσική εσωτερική μεταβλητότητα και οι ενδείξεις της παγκόσμιας θέρμανσης (από τις προκληθείσες από τον άνθρωπο αλλαγές του κλίματος) είναι σημαντικές, μάλιστα κοιτάζοντας προς το 2100, θα κυριαρχήσει η παγκόσμια θέρμανση."

Η πιο πρόσφατη αξιολόγηση από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), ανέφερε ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα είναι "πολύ πιθανό" να αναγκάσει τον κόσμο να θερμανθεί, και πρόβλεψε ότι η παγκόσμια μέση θερμοκρασία πιθανώς θα αυξηθεί κατά 1.8-4.0 βαθμούς Κελσίου μέχρι το τέλος του αιώνα. "Είναι το ίδιο μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε στις προβλέψεις της πιο πρόσφατης έκθεσης της IPCC για τον ερχόμενο αιώνα, αλλά η διαφορά μεταξύ μας είναι ότι αρχίζει από την πραγματική παρατηρηθείσα κατάσταση του ωκεανού και της ατμόσφαιρας", εξηγεί ο Δρ Smith, επικεφαλής συντάκτης της ανακοίνωσης. (Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2002)

"Τα αέρια του θερμοκηπίου και τα αερολύματα συμπεριλαμβάνονται επίσης στη μελέτη, αλλά συν τοις άλλοις αυτή προσπαθεί να προβλέψει πραγματικά οποιαδήποτε φυσική μεταβλητότητα. Αρχίζουμε με την παρούσα κατάσταση του

ωκεανού, και προσπαθούμε να προβλέψουμε πώς πρόκειται να εξελιχθεί", συμπλήρωσε(Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2001).

Σε δεύτερη μελέτη σχετικά με τις κλιματικές αλλαγές που δημοσιεύεται στο δικτυακό έντυπο «Science Express» αμερικανοί ερευνητές αναφέρουν ότι η αιθάλη που παράγεται από τη βιομηχανία αλλά και από τις πυρκαγιές των δασών έχει δραματική επίδραση στο κλίμα της Αρκτικής - η επίδραση αυτή φαίνεται να ξεκινά μάλιστα μετά τη βιομηχανική επανάσταση. Η ρύπανση εξαιτίας της βιομηχανίας⁵ οδήγησε σε επταπλάσια αύξηση αιθάλης στο χιόνι της Αρκτικής στα τέλη του 19ου και στις αρχές του 20ού αιώνα, τονίζουν επιστήμονες από το Ινστιτούτο Desert Research. Η αιθάλη μειώνει την αντανάκλαστικότητα του χιονιού και του πάγου, με αποτέλεσμα η επιφάνεια της Γης να απορροφά περισσότερη ηλιακή ενέργεια. Έτσι προκαλείται πρόωρο λιώσιμο του χιονιού και ως εκ τούτου υπερθέρμανση στην Αρκτική(Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2002).

Η μετεωρολογική υπηρεσία της Ελβετίας σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Βέρνης, μελετώντας στοιχεία από το 1880 μέχρι σήμερα, διαπίστωσε μια ανησυχητική αύξηση των ημερών με καύσωνα και των ακραίων θερμοκρασιών στην Ευρώπη. Στην έρευνα που δημοσιεύθηκε η επιστημονική ομάδα συμπέρανε ότι προηγούμενες αναλύσεις των καθημερινών θερμοκρασιών από 54 μετεωρολογικούς σταθμούς σε όλη την Ευρώπη είχαν υποτιμήσει τη διάρκεια των καυσώνων σε ποσοστό ως και 30%: Έτσι, παρατήρησαν ότι τα κύματα του καύσωνα είναι συχνότερα και εντονότερα σήμερα. Παλαιότερα θεωρούσαν οι ειδικοί ότι οι καύσωνες παρουσιάζονταν μόνο στο νότο της Ευρώπης, αλλά πλέον αναθεωρούν την άποψη αυτή, καθώς οι ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες που καταγράφονται σε βορειότερες χώρες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των θανάτων που οφείλονται άμεσα ή έμμεσα από την υπερβολική ζέστη. Επιπλέον, η διάρκεια των καιρικών αυτών φαινομένων έχει σχεδόν τριπλασιαστεί τα τελευταία 100 χρόνια.

Είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι αν και οι καύσωνες είχαν διάρκεια μόλις μιάμισης μέρας το 1880, σήμερα έχουν διάρκεια τριών ή τεσσάρων ημερών, ενώ δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις που διαρκούν ακόμα περισσότερο και φτάνουν μέχρι και τις 13 μέρες. Οι μετρήσεις καταδεικνύουν ότι το κλίμα στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού μεταβάλλεται πλέον ξαφνικά και οι θεομηνίες αποτελούν στοιχείο της καθημερινότητας, καθώς δεν είναι σπάνιο το φαινόμενο μια περιοχή να πλήττεται διαδοχικά από καύσωνα και στη συνέχεια από ασυνήθιστες για την εποχή καταρρακτώδεις βροχές(Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2002).

Ένα στοιχείο που συνέτεινε στη σύγχυση σχετικά με τη διάρκεια και την ένταση των ημερών με καύσωνα ήταν οι ανακριβείς μετρήσεις που λαμβάνονταν από μετεωρολογικούς σταθμούς. Τα επιστημονικά όργανα που καταγράφουν τη

θερμοκρασία πρέπει να προφυλάσσονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και από τη θερμότητα του εδάφους, γιατί σε αντίθετη περίπτωση παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις από τις πραγματικές τιμές. Αφενός καταγράφονται υψηλότερες θερμοκρασίες και αφετέρου η μακροπρόθεσμη μελέτη των στοιχείων αυτών έδειχνε μικρότερη ποσοστιαία αύξησή τους. Όπως λένε οι ειδικοί οι ακραίες θερμοκρασίες, οι απότομες κλιματικές μεταβολές και τα πρωτόγνωρα καιρικά φαινόμενα θα είναι ο κανόνας και όχι η εξαίρεση. Γι αυτό είναι επιτακτική πλέον η ανάγκη να παρθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα για να μετριάσουμε τον αρνητικό αντίκτυπο των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στη φύση(Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2001).

Σε μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε από το Παρατηρητήριο Κλιματικών Αλλαγών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας στη χώρα μας από 7 έως 10 βαθμούς Κελσίου και μείωση των βροχοπτώσεων κατά 30% έως 40%, για την περίοδο 2071 - 2100(Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2002).

Η έρευνα του ΕΑΑ για την τελευταία τριακονταετία του 21ου αιώνα στηρίχτηκε σε περιοχικές κλιματικές προσομοιώσεις, κάτι που πραγματοποιείται για πρώτη φορά από ελληνικό επιστημονικό φορέα. Η τοπική αλλαγή του κλίματος επηρεάζεται πολύ από τοπικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως η ορεογραφία, τα οποία δεν προσομοιώνονται ικανοποιητικά στα παγκόσμια μοντέλα λόγω της μικρότερης χωρικής ανάλυσής τους. Χάρη στην εξέλιξη των μοντέλων και την καλύτερη κατανόηση των φυσικών διαδικασιών του κλιματικού συστήματος είναι πλέον δυνατή η εκτίμηση της τοπικής κλιματικής αλλαγής σε πολλές περιοχές του κόσμου. Χρησιμοποιώντας ως βάση τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας για την απόκτηση πιο λεπτομερειακών δεδομένων. Οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας χωρίζονται σε δυναμικές, χρησιμοποιώντας τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), και σε στατιστικές-εμπειρικές μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούν τις παρατηρούμενες σχέσεις ανάμεσα στη μεγάλη κλίμακας κυκλοφορία (ανεξάρτητες μεταβλητές) και στο τοπικό κλίμα (εξαρτημένες μεταβλητές) (Τολικά, 2005).

Συγκεκριμένα προβλέπεται ότι η μέση μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο 2071-2100, σε σχέση με τις τιμές της περιόδου 1961-1990, για το μήνα Ιούλιο αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά σε ολόκληρη την περιοχή, κυρίως όμως σε χώρες των Βαλκανίων όπου η μέση μέγιστη θερμοκρασία θα αυξηθεί έως και 12 βαθμούς Κελσίου. Στις νότιες περιοχές της Ελλάδας - και στην Αττική - Ελλάδα η άνοδος θα είναι της τάξης των 7-8 βαθμών, ενώ στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα η άνοδος θα κυμαίνεται μεταξύ 8-10 βαθμών. Αλλά και στην ελάχιστη θερμοκρασία προβλέπεται

αύξηση της μέσης τιμής σε ολόκληρη την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου, κυρίως όμως σε χώρες των Βαλκανίων όπου η μέση ελάχιστη θερμοκρασία για το μήνα Ιούλιο θα αυξηθεί έως και 9 βαθμούς. Στην Ελλάδα η άνοδος θα είναι της τάξης των 6-7 βαθμών στις νότιες περιοχές, ενώ στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα η αύξηση θα κυμανθεί μεταξύ 7-8 βαθμών (Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2001).

Δυσοίωνες είναι οι προβλέψεις της περιβαλλοντικής οργάνωσης Greenpeace, μετά την αποτυχία της Συνόδου της Κοπεγχάγης, όπου κάνει λόγο για αύξηση μέχρι 3 βαθμούς Κελσίου της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας μέχρι το 2050. Η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη, θα έχει καταστροφικές συνέπειες στο περιβάλλον. Ενδεικτικά θα λιώσουν οι παγετώνες των Ιμαλαΐων, θα σβηστεί από τον χάρτη το 80% των τροπικών δασών του Αμαζονίου, θα πολλαπλασιαστούν οι πλημμύρες, ενώ 3,2 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν θα έχουν εύκολη πρόσβαση σε καθαρό νερό. Ο Βόρειος Πόλος θα είναι σύντομα πλεύσιμος τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ σε 40 χρόνια, εάν αυξηθεί κατά 3 βαθμούς Κελσίου η μέση θερμοκρασία, θα χαθεί το 1/3 των παγετώνων του Θιβέτ. Ο πληθυσμός της Γης δεν θα έχει επαρκή πρόσβαση σε καθαρό νερό, θα αυξηθεί από 1 δισ. σε 3,2 δισ. ανθρώπους, ενώ άλλα διακόσια έως εξακόσια εκατ. άνθρωποι θα κινδυνεύσουν να πεθάνουν από την πείνα. Ακόμα, θα κινδυνεύσει περίπου το 1/3 των ειδών και θα εξαφανιστεί το 15% έως το 40% των ενδημικών ειδών, στα σημεία με τη μεγαλύτερη βιοποικιλότητα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη θα έχει ως συνέπεια την έξαρση επιδημιών και ασθενειών. Τρία δισεκατομμύρια άνθρωποι θα προσβληθούν από δάγκειο πυρετό και δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι θα νοσήσουν από ελονοσία, εκτιμά ο Ρομπέρτο Μπερτολίνι, διευθυντής του Κέντρου Υγείας και Περιβάλλοντος του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας. Στη Βόρεια Αμερική θα αυξηθούν κατά 70% οι επικίνδυνες μέρες με χαμηλό όζον και στην ΕΕ υπολογίζεται ότι θα αυξηθούν ετησίως οι θάνατοι κατά 86,000 εξαιτίας της ανόδου της θερμοκρασίας. Επίσης θα αυξηθούν τα φαινόμενα ξηρασίας και καυσώνων (Ένωση Ελλήνων Φυσικών, 2001).

Σχετικά με τη μεταβολή της βροχόπτωσης για τους μήνες Δεκέμβριο και Ιούλιο τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τον Δεκέμβριο, που είναι ο βροχερότερος μήνας σήμερα στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, η μείωση των βροχοπτώσεων θα είναι σημαντική κυρίως πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές της Αν. Μεσογείου, αλλά και στη Δυτική Ελλάδα, όπου η μέση βροχόπτωση την περίοδο 2071-2100 θα κυμαίνεται περίπου στο 60%-70% της σημερινής βροχόπτωσης. Στη Βορειοανατολική Ελλάδα, στα νησιά του Ανατολικού Αιγαίου και στην Κρήτη η μείωση αναμένεται μικρότερη. Τον Ιούλιο η μείωση των βροχοπτώσεων θα είναι πολύ σημαντική κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα, αλλά και σε όλη την περιοχή των Βαλκανίων. Η μέση βροχόπτωση στις περιοχές αυτές την περίοδο 2071-2100 θα κυμαίνεται περίπου στο 20%-30% της

σημερινής βροχόπτωσης. Η μείωση των βροχοπτώσεων θα είναι επίσης πολύ σημαντική σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, όπου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρούνται σήμερα σημαντικά φαινόμενα καταιγίδων. Στη Νότια Ελλάδα η μείωση των βροχοπτώσεων θα είναι επίσης μεγάλη, αλλά ως γνωστό οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από ελάχιστες βροχοπτώσεις τους καλοκαιρινούς μήνες ακόμη και σήμερα.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις αποτέλεσαν τη βάση για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης εργασίας. Αναφορές και παρόμοιες έρευνες που πραγματοποιήθηκαν από άλλους ερευνητές και επιστήμονες πάνω στο θέμα που μελετάται βοήθησαν στο να αναπτυχθεί η εργασία αυτή πιο εύστοχα και πιο αναλυτικά. Ήταν η βάση για να επικεντρωθεί η εργασία πιο σωστά στα θέματα τα οποία αναλύθηκαν. Κατά συνέπεια οι στόχοι της εργασίας διαμορφώθηκαν αναλόγως και αναλύονται παρακάτω.

Στόχοι της εργασίας αυτής είναι:

- 1) Μελέτη της κλιματικής αλλαγής για την περιοχή της Αν. Μεσογείου με βάση τα αποτελέσματα κλιματικών προσομοιώσεων από μοντέλα παγκόσμιας κυκλοφορίας
- 2) Διερεύνηση των μεταβολών της Θερμοκρασίας, Βροχόπτωσης, Ατμοσφαιρικής Πίεσης στην περιοχή

Στο Κεφάλαιο 2 θα αναπτυχθούν βασικές έννοιες του κλίματος και του καιρού. Θα αναλυθούν επίσης οι βασικές αιτίες, καθώς επίσης και οι συνέπειες της αλλαγής του κλίματος. Στο Κεφάλαιο 3 θα αναπτυχθούν τα σενάρια που έχουν δημιουργηθεί για την ανάλυση της πιθανής αλλαγής κλίματος, των επιδράσεών τους και των δυνατοτήτων να μετριαστεί η αλλαγή κλίματος. Στο Κεφάλαιο 4 θα αναπτυχθούν τα βασικά χαρακτηριστικά των μοντέλων παγκόσμιας κυκλοφορίας που θα αναλυθούν στην παρούσα εργασία. Στο Κεφάλαιο 5 θα γίνει ανάλυση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση αυτής της μελέτης και επίσης θα γίνει λεπτομερής ανάλυση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε και της επεξεργασίας των δεδομένων. Τέλος θα παρουσιαστούν χάρτες που θα απεικονίζουν τα αποτελέσματα των δεδομένων που επεξεργάστηκαν. Στο κεφάλαιο 6 θα αναπτυχθούν τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

2. Κλίμα – Κλιματική Αλλαγή

2.1. Ο καιρός και το κλίμα

Με τον όρο *καιρός* απεικονίζεται η κατάσταση της ατμόσφαιρας κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Σε αντιδιαστολή με το κλίμα, ο καιρός αναφέρεται στις βραχυχρόνιες μεταβολές της ατμόσφαιρας οι οποίες συμβαίνουν σε χρονικές κλίμακες από λίγα λεπτά ως λίγες εβδομάδες. Το κλίμα από την άλλη πλευρά αποτελεί τη σύνθεση του καιρού σε μία περιοχή, τον μέσο καιρό. Ορίζεται από το σύνολο των στατιστικών πληροφοριών οι οποίες περιγράφουν τις μεταβολές του καιρού σε μια περιοχή για κάποιο μεγάλο χρονικό διάστημα (τυπικά οι κλιματικές περίοδοι οι οποίες χρησιμοποιούνται για να προσδιοριστεί το κλίμα μιας περιοχής εκτείνονται σε τριάντα χρόνια)(Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

Καιρός είναι μια χιονοθύελλα. Τα ήπια καθώς και τα βίαια φαινόμενα που εμφανίζονται μια μέρα στην ατμόσφαιρα είναι επίσης καιρός. Από την άλλη πλευρά, μια περιοχή η οποία δεν δέχεται μεγάλες ποσότητες βροχής λέμε ότι έχει ξηρό κλίμα. Το μεσογειακό κλίμα χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες και θερμά και ξηρά καλοκαίρια.

Τα κύρια μετεωρολογικά στοιχεία που χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε τον καιρό είναι τα παρακάτω:

- η ατμοσφαιρική πίεση,
- η θερμοκρασία του αέρα,
- η υγρασία του αέρα, και,
- η κίνηση του αέρα (άνεμος).

Υπάρχει ακόμα μια σειρά από μετεωρολογικά στοιχεία τα οποία, αν και είναι πολύ σημαντικά, εξαρτώνται γενικά από τα κύρια στοιχεία. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται τα παρακάτω:

- η νέφωση,
- ο υετός (βροχή, χιόνι, χαλάζι),
- η ορατότητα κτλ

Η μέτρηση των παραπάνω μετεωρολογικών στοιχείων βοηθάει να οριστεί ο καιρός που επικρατεί κάποια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Όταν οι μετρήσεις συνεχίζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα τότε είναι εφικτό να αναλυθεί στατιστικά το πειραματικό υλικό και να υπολογιστεί το κλίμα της περιοχής των μετρήσεων (J. Alishon, 2004).

2.1.1. Παράγοντες διαμόρφωσης του κλίματος

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες, τόσο φυσικοί όσο και ανθρωπογενείς, οι οποίοι προσδιορίζουν το κλίμα της γης. Κατά βάση, το κλίμα είναι το αποτέλεσμα της απορρόφησης και της αναδιανομής της ηλιακής ακτινοβολίας από το σύστημα ατμόσφαιρας-υδρόσφαιρας-γης. Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει την ενέργεια η οποία κινεί τα καιρικά φαινόμενα και διαμορφώνει το κλίμα. Περίπου το ένα τρίτο της ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται πίσω στο διάστημα ενώ το υπόλοιπο απορροφάται από τις διαφορετικές συνιστώσες του κλιματικού συστήματος: την ατμόσφαιρα, τους ωκεανούς, την ξηρά και τις διάφορες μορφές ζωής. Εκτός από την ανακλώμενη, μικρού μήκους κύματος, ηλιακή ακτινοβολία, η γη εκπέμπει υπέρυθη ακτινοβολία προς το διάστημα.

Η λεπτή ισορροπία ανάμεσα στην εξερχόμενη ακτινοβολία και την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία προσδιορίζει το παγκόσμιο κλίμα. Οποιαδήποτε αλλαγή στους παράγοντες που επιδρούν τόσο στην εισερχόμενη όσο και την εξερχόμενη ακτινοβολία ή στον μηχανισμό αναδιανομής της ενέργειας οδηγούν σε αλλαγή του κλίματος.

Οι παράγοντες αυτοί συνοψίζονται παρακάτω:

➤ Ηλιακή ακτινοβολία

Οι μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία φθάνει στη γη, μπορεί να οφείλονται τόσο στην ηλιακή δραστηριότητα (κυρίως στον ενδεκαετή κύκλο των κηλίδων) όσο και σε βραδείες μεταβολές της γεωμετρίας της τροχιάς της γης, συμπεριλαμβανομένων και αλλαγών στην κλίση του άξονα της γης (χρονικές κλίμακες δεκάδων χιλιάδων ετών).

➤ Ατμοσφαιρική σύσταση

Η αλλαγή της σύστασης της ατμόσφαιρας οδηγεί σε αλλαγή του κλίματος κυρίως μέσα από δύο διαφορετικούς μηχανισμούς. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο θα αναλύσουμε λεπτομερέστερα στο επόμενο κεφάλαιο, οφείλεται στις εκπομπές κάποιων αερίων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το μεθάνιο, τα οποία περιορίζουν τις απώλειες ακτινοβολίας προς το διάστημα. Αντίθετη είναι η δράση των αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία εκπέμπονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές και τα οποία αντανakλούν ή/και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. Χαρακτηριστικά μπορεί να αναφερθούν οι εκρήξεις ηφαιστείων, οι οποίες εκτοξεύουν μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να παραμείνουν εκεί για πολλά χρόνια οδηγώντας σε μια ψύξη της κατώτερης ατμόσφαιρας, ιδιαίτερα αισθητή στο ημισφαίριο στο οποίο έγινε η έκρηξη.

➤ Αλλαγές στη χρήση γης

Οι άνθρωποι αντικαθιστούν δάση με καλλιεργημένες εκτάσεις ή ακόμα βλάστηση με τσιμέντο ή άσφαλτο επηρεάζοντας τον τρόπο που η επιφάνεια της γης απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνει την ατμόσφαιρα. Αυτές οι επεμβάσεις επηρεάζουν επίσης τα υδρολογικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής και κατ' επέκταση και τις βροχοπτώσεις.

2.1.1.1. Ισορροπία Ακτινοβολιών : Ηλιακή και Γήινη Ακτινοβολία

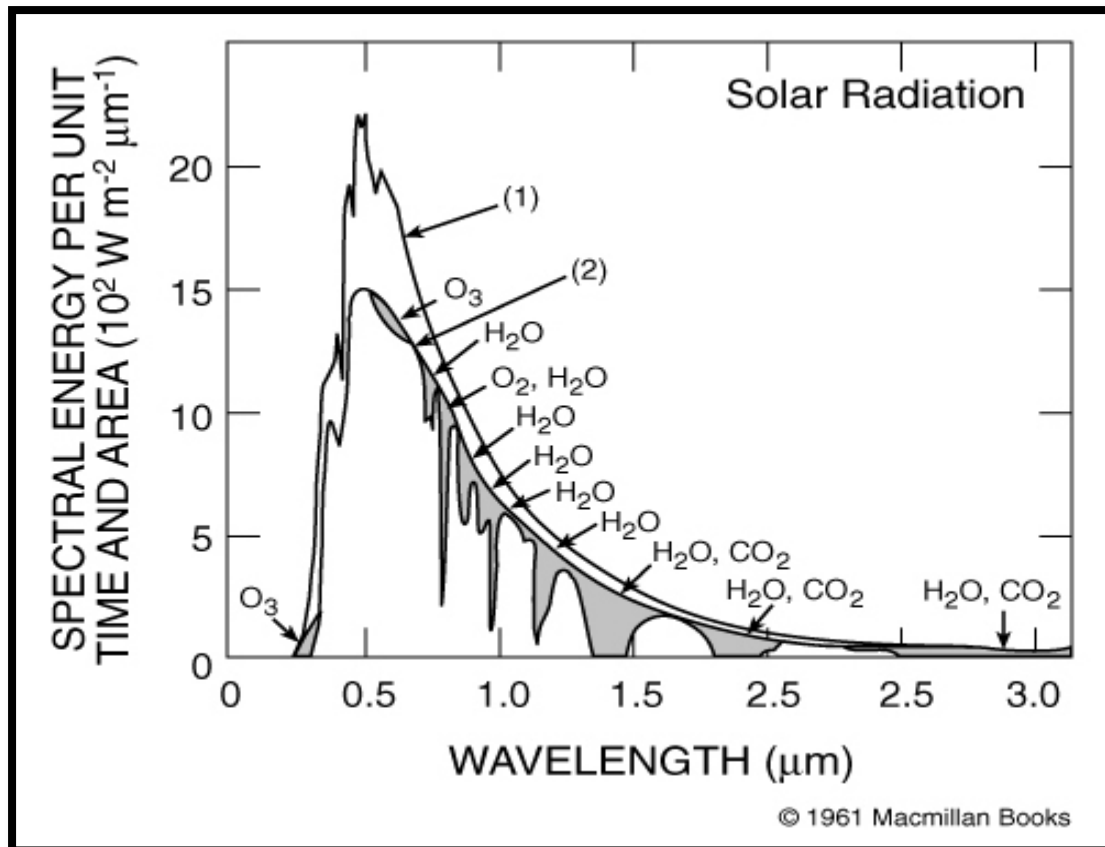
Η γη λαμβάνει πρακτικά όλη την ενέργειά της από τον ήλιο με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή η ακτινοβολία απορροφάται, ανακλάται και σκεδάζεται από την επιφάνεια της γης, τον ωκεανό και την ατμόσφαιρα. Η ακτινοβολία που απορροφάται μετασχηματίζεται σε θερμότητα και άλλες μορφές ενέργειας και τελικά επιστρέφει στο διάστημα σαν μικρότερης θερμοκρασίας γήινη ακτινοβολία. Είναι λοιπόν φανερό ότι η ακτινοβολία είναι θεμελιώδους σημασίας για την αλληλεπίδραση ατμόσφαιρας - ωκεανού. Υπάρχει τεράστια βιβλιογραφία που αφορά το αντικείμενο. Εδώ θα γίνει αναφορά στην εισαγωγή βασικών εννοιών και θα δοθεί προσοχή στις εφαρμογές στη διεπιφάνεια αέρα-θάλασσας.

Η θερμοκρασία είναι μια βασική κλιματική μεταβλητή διότι είναι το μέτρο της ενέργειας που οφείλεται στις κινήσεις των μορίων. Για να γίνει αντιληπτό πώς διατηρείται η θερμοκρασία, πρέπει να κατανοηθεί η ενεργειακή ισορροπία όπως διατυπώνεται επίσημα από το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα. Η βασική παγκόσμια ισορροπία ενέργειας της γης είναι μεταξύ της ενέργειας που έρχεται από τον ήλιο και

της ενέργειας που επιστρέφει στο διάστημα από την εκπομπή ακτινοβολίας της γης. Η παραγωγή ενέργειας στο εσωτερικό της γης έχει μια αμελητέα επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο. Η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας συμβαίνει κυρίως στην επιφάνεια της γης ενώ η περισσότερη από την εκπομπή στο διάστημα προέρχεται από την ατμόσφαιρα. Επειδή η γήινη ατμόσφαιρα απορροφά και εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία πολύ αποτελεσματικά, η επιφάνεια της γης είναι πολύ πιο θερμή από ότι θα ήταν αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα. Όταν ολοκληρωθεί για ένα χρόνο, περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται κοντά στον ισημερινό από ότι κοντά στους πόλους. Η μεταφορά ενέργειας από την ατμόσφαιρα και τον ωκεανό προς τους πόλους μειώνουν την επίδραση αυτής της βαθμίδας θέρμανσης στην επιφανειακή θερμοκρασία. Σημαντικό μέρος του χαρακτήρα της εξέλιξης της γης και του κλίματός της έχει προσδιοριστεί από την θέση της στο ηλιακό μας σύστημα.

2.1.1.2. Εισαγωγή στην φύση της ακτινοβολίας

Οι κύριες πηγές και καταβόθρες ενέργειας της γης συνολικά είναι η ηλιακή και η γήινη ακτινοβολία αντίστοιχα. Η ενέργεια μεταδίδεται με τη μορφή κύματος με την ταχύτητα του φωτός. Χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος διάδοσης λ ή από τη συχνότητα ν τα οποία σχετίζονται σύμφωνα με τη σχέση $\lambda\nu=c$. Η ενέργεια που εκπέμπεται, μεταφέρεται ή απορροφάται από ένα σώμα με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σπάνια είναι «μονοχρωματική», δηλαδή ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος. Συνήθως αποτελείται από ένα σύνολο ανεξάρτητων μονοχρωματικών ακτινοβολιών που βρίσκονται σε διάστημα $\alpha < \lambda < \beta$ με $\alpha > 0$. Η κατανομή της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ως συνάρτηση του μήκους κύματος στο διάστημα (α, β) ονομάζεται φάσμα. Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο έχει μήκος κύματος από 10^{-14} έως 10^{10}m και συχνότητες από 10^{22} έως 10^{-2} s^{-1} , δηλαδή η ηλιακή ακτινοβολία καλύπτει όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα από ακτίνες γάμμα και ακτίνες χ , μέσω υπεριώδους, ορατής, και υπέρυθρης ακτινοβολίας μέχρι τα μικροκύματα και τα ραδιοφωνικά κύματα. Παρόλα αυτά, το σημαντικότερο μέρος του φάσματος που σχετίζεται με την διάδοση της ενέργειας με ακτινοβολία στο κλιματικό σύστημα βρίσκεται μεταξύ του υπεριώδους και του υπέρυθρου όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1.

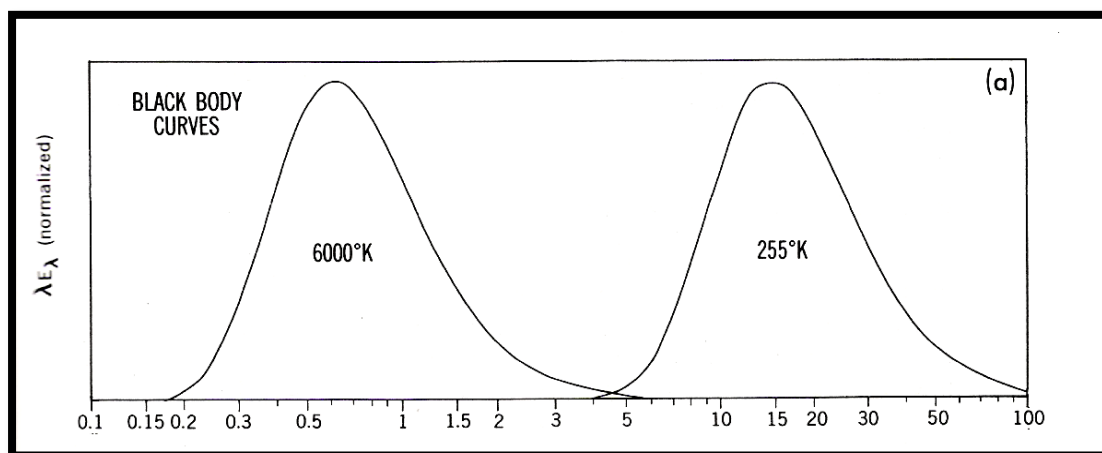


Σχήμα 2.1: Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή της ατμόσφαιρας (καμπύλη 1) και στην επιφάνεια της θάλασσας (καμπύλη 2) για μέσες ατμοσφαιρικές συνθήκες και για ήλιο στο ζενίθ. Οι γραμμοσκιασμένες περιοχές αντιστοιχούν στην απορρόφηση από διάφορα ατμοσφαιρικά αέρια. Η μη γραμμοσκιασμένη περιοχή μεταξύ των δύο καμπύλων αντιστοιχεί στο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που σκεδάζεται προς τα πίσω από τον αέρα, τους υδρατμούς, τη σκόνη και τα αεροζόλ και ανακλάται από τα νέφη.

Ουσιαστικά όλη η ενέργεια που εισέρχεται στην γήινη ατμόσφαιρα προέρχεται από τον ήλιο αφού η αγωγή θερμότητας από το εσωτερικό της γης είναι αμελητέα. Ένα μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, ένα μέρος σκεδάζεται και ένα μέρος ανακλάται από τα διάφορα αέρια της ατμόσφαιρας, τα αεροζόλ και τα νέφη. Η υπόλοιπη ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης απορροφάται κυρίως από τους ωκεανούς και δευτερευόντως από την λιθόσφαιρα, την κρυόσφαιρα και τη βιόσφαιρα, ενώ ένα μικρό μέρος της ανακλάται. Σύμφωνα με τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής η απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετασχηματιστεί σε εσωτερική ενέργεια (θερμότητα) ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράξει έργο, που εμφανίζεται ως κινητική ή δυναμική ενέργεια.

Για να διατηρηθεί η γη στην μακροχρόνια παρατηρούμενη κατάσταση (σχεδόν) ισορροπίας, το ποσό της ενέργειας που απορροφάται πρέπει να εξισορροπείται από ένα ίσο ποσό ενέργειας που διαφεύγει στο διάστημα. Η ενέργεια που φεύγει είναι επίσης με τη μορφή ακτινοβολίας και εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης και την

ατμόσφαιρα. Στην πράξη είναι γνωστό ότι όλα τα σώματα που βρίσκονται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδέν εκπέμπουν ακτινοβολία σε ένα μεγάλο εύρος μηκών κύματος. Όσο πιο ψηλή είναι η θερμοκρασία του σώματος που εκπέμπει, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό της εκπεμπόμενης ενέργειας και τόσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος που βρίσκεται το μέγιστο της εκπομπής του. Έτσι, λόγω της μεγάλης διαφοράς θερμοκρασίας του ήλιου από τη γη, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία έχει τη μέγιστη εκπομπή της στην περιοχή του ορατού φάσματος ($\sim 0.5\mu\text{m}$), ενώ η εξερχόμενη γήινη ακτινοβολία έχει τη μέγιστη εκπομπή της στην περιοχή του υπέρυθρου ($\sim 10\mu\text{m}$). Η περισσότερη από την ηλιακή ακτινοβολία που είναι σημαντική για την ενέργεια του κλιματικού συστήματος βρίσκεται μεταξύ 0.1 και $2.0\mu\text{m}$ στις περιοχές του υπεριώδους, ορατού και κοντά στο υπέρυθρο περιοχή του φάσματος, ενώ η περισσότερη από την εξερχόμενη γήινη ακτινοβολία βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ των 4.0 και $60\mu\text{m}$ μέσα στην περιοχή του υπέρυθρου.



Σχήμα 2.2: Καμπύλες μέλανος σώματος θερμοκρασίας 6000K (που αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία) και θερμοκρασίας 255K (που αντιστοιχεί στη γήινη ακτινοβολία).

Αυτό αποτελεί τη λογική εξήγηση για τον διαχωρισμό την ενέργειας μέσω ακτινοβολίας που θερμαίνει και ψύχει το κλιματικό σύστημα σε δύο τύπους: τη μικρού-μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία με $\lambda < 4\mu\text{m}$ και τη μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία με μήκος κύματος $\lambda \geq 4\mu\text{m}$. Μπορούμε εδώ να προσθέσουμε ότι η μαθηματική και φυσική μεταχείριση των δύο τύπων ακτινοβολίας είναι επίσης πολύ διαφορετικές.

Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία έρχεται από μια πολύ απομακρυσμένη, σχεδόν σημειακή πηγή, τον ήλιο, μπορεί να θεωρηθεί σαν παράλληλη, μονής κατεύθυνσης ακτινοβολία. Από την άλλη μεριά, η γήινη ακτινοβολία προέρχεται από όλες τις διευθύνσεις αφού κάθε μόριο δρα σαν ένας ξεχωριστός «μικροσκοπικός ήλιος» όσον αφορά τη θερμικά διαχεόμενη ακτινοβολία. Επιπλέον η γήινη εκπομπή είναι αμελητέα

2.1.1.3. Παγκόσμιο Ισοζύγιο Ακτινοβολιών

The diagram illustrates the Earth's energy balance with the following fluxes in W/m^2 :

- Incoming Solar Radiation:** 100
- Reflected Solar Radiation:**
 - Back-scattered by air: 6
 - Reflected by clouds: 20
 - Reflected by surface: 4
- Absorption:**
 - Absorbed by H_2O , dust, O_3 : 16
 - Absorbed in clouds: 4
 - Absorbed at the surface: 50
- Outgoing Infrared Radiation:**
 - Net emission by H_2O , CO_2 : 38
 - Emission by clouds: 26
- Surface Energy Loss:**
 - Net emission of infrared radiation from surface: 20
 - Sensible heat flux: 6
 - Latent heat flux: 24

Από τις 100 μονάδες της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που φαίνονται στα αριστερά του σχήματος, 16 μονάδες απορροφώνται από το στρατοσφαιρικό όζον, τους τροποσφαιρικούς υδρατμούς και τα αεροζόλ, 4 μονάδες από τα νέφη και 50 μονάδες από την επιφάνεια του ωκεανού και της γης. Οι υπόλοιπες 30 μονάδες της ηλιακής ακτινοβολίας σκεδάζονται πίσω από τα ατμοσφαιρικά μόρια (6 μονάδες), ανακλώνται από τα νέφη (20 μονάδες), και ανακλώνται από την επιφάνεια του ωκεανού και της γης (4 μονάδες). Αυτές οι 30 μονάδες δεν λαμβάνουν μέρος στις φυσικές και χημικές διεργασίες που παρατηρούνται στο κλιματικό σύστημα.

Από τις 50 μονάδες που απορροφώνται από την επιφάνεια της γης (υδρόσφαιρα, κρυόσφαιρα, λιθόσφαιρα, βιόσφαιρα), όπως φαίνεται στο δεξί μέρος του σχήματος, 20 μονάδες εκπέμπονται σαν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία προς την ατμόσφαιρα και 30 μονάδες μεταφέρονται προς τα πάνω (στην ατμόσφαιρα) από τυρβώδεις διεργασίες μεταφοράς με τη μορφή αισθητής θερμότητας (6 μονάδες) και λανθάνουσας θερμότητας (24 μονάδες). Από τις 20 μονάδες που εκπέμπονται σαν μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, οι 14 απορροφώνται από την ατμόσφαιρα, κυρίως από το υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα και 6 μονάδες εκπέμπονται απευθείας στο διάστημα.

Αν θεωρηθεί τώρα η ατμόσφαιρα από μόνη της, απορροφά 20 μονάδες ηλιακής ακτινοβολίας συν 44 μονάδες ενέργειας που προέρχονται από την επιφάνεια της γης. Αυτό το συνολικό ποσό 64 μονάδων εξισορροπείται από την εκπομπή στο διάστημα υπέρυθρης ακτινοβολίας από τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα (38 μονάδες) και από τα νέφη (26 μονάδες). Προσθέτοντας 6 μονάδες που περνάνε απευθείας μέσω της ατμόσφαιρας στο διάστημα από την επιφάνεια της γης, βρίσκουμε ένα σύνολο απώλειας 70 μονάδων με τη μορφή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας από την κορυφή της ατμόσφαιρας που απαιτείται για να εξισορροπήσει τις 70 μονάδες που απορροφώνται σαν μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

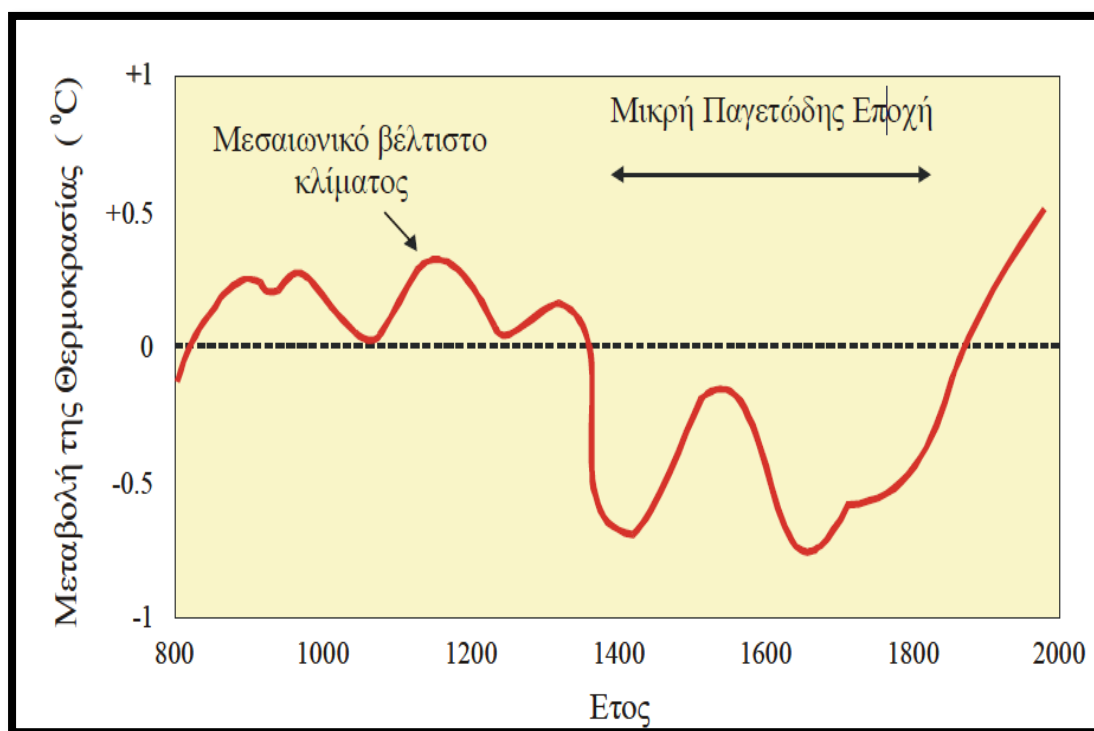
2.2. Κλιματικές αλλαγές στην τελευταία χιλιετία

Σημαντικός παράγοντας για τη σωστή πρόβλεψη των χαρακτηριστικών της επαπειλούμενης κλιματικής αλλαγής είναι η γνώση των προηγούμενων κλιματικών μεταβολών. Το παρελθόν είναι πολλές φορές το κλειδί για το μέλλον.

Η τελευταία χιλιετία είναι η περίοδος για την οποία υπάρχουν αξιόλογες κλιματικές πληροφορίες για πολλές περιοχές του πλανήτη. Για τα τελευταία 300 περίπου χρόνια, υπάρχουν διαθέσιμες συστηματικές μετεωρολογικές μετρήσεις ενώ για παλιότερες περιόδους χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως η εξέταση των δακτυλίων ανάπτυξης των δέντρων, η έρευνα σε ιστορικά αρχεία, η εξέταση ιζημάτων σε λίμνες, η σύσταση πάγων καθώς και η έρευνα με ραδιοϊσότοπα.

Από στοιχεία, που έχουν συλλεχθεί στο Βόρειο ημισφαίριο, αποκαλύπτονται τρία συμβάντα κλιματικών αλλαγών. Υπάρχουν επιπλέον ενδείξεις, από χώρες όπως η Νέα Ζηλανδία και η Αυστραλία, που δείχνουν ότι οι παραπάνω αλλαγές ισχύουν και για το Νότιο ημισφαίριο. Στο σχήμα 1.1, που ακολουθεί, βλέπουμε τη διακύμανση της

μέσης θερμοκρασίας στη Δυτική Ευρώπη τα τελευταία 1200 χρόνια(Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).



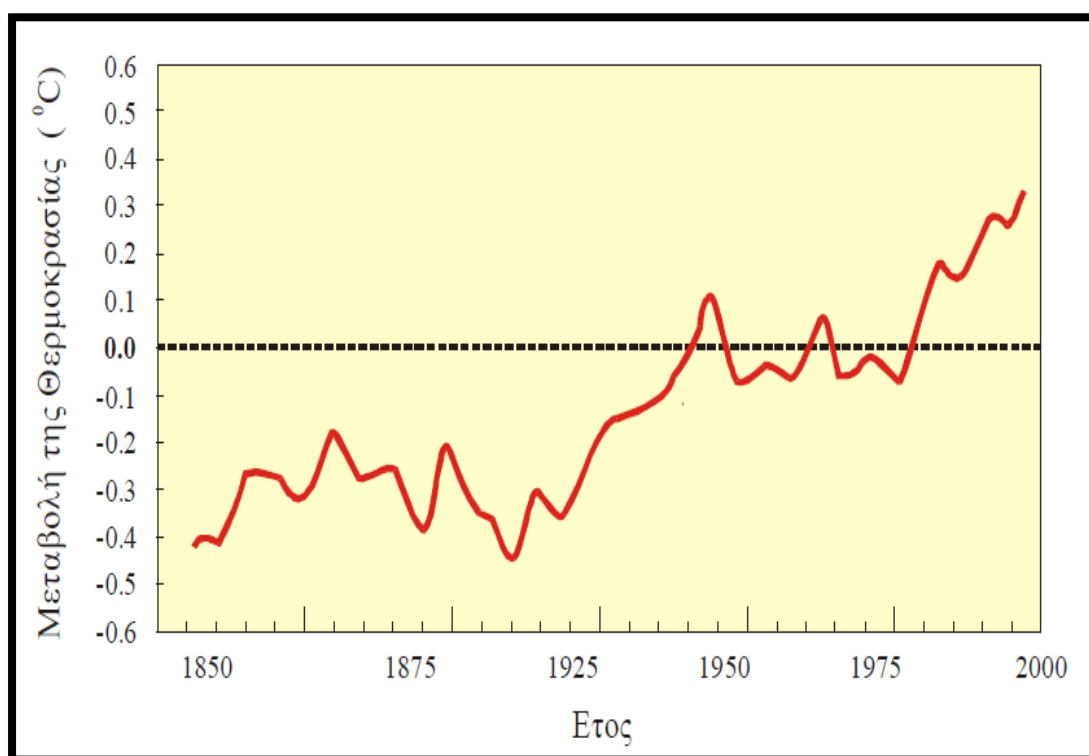
Σχήμα 2.4: Διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας τα τελευταία 1200 χρόνια στην Ευρώπη.

Ανάμεσα στον 10ο και τον 14ο αιώνα, το Βόρειο Ημισφαίριο βίωσε μια σχετικά θερμή και ξηρή περίοδο (Μεσαιωνική Θερμή Περίοδος) της οποίας το μέγιστο παρουσιάστηκε τον 12ο αιώνα. Οι θερμοκρασιακές συνθήκες αυτής της περιόδου φαίνεται ότι είχαν, κυρίως ευεργετικές, συνέπειες στη χλωρίδα και πανίδα της γης. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, αναπτύχθηκε η άμπελος και ξεκίνησε η παραγωγή κρασιού στην Αγγλία. Την ίδια περίοδο, αποικίσθηκε από τους Βίκινγκς η Γροιλανδία και η Ισλανδία. Για τους παραπάνω λόγους αυτή η περίοδος ονομάζεται και Μικρή Περίοδος Κλιματικού Βέλτιστου ή Μεσαιωνικό Βέλτιστο Κλίματος.

Με το τέλος της Μεσαιωνικής Θερμής Περιόδου αρχίζει μια ψυχρή περίοδος, η Μικρή Παγετώδης Εποχή, η οποία εκτείνεται μεταξύ 14ου και 19ου αιώνα. Η εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη για τις παραπάνω περιόδους είναι δύσκολο να γίνει με ακρίβεια. Υπολογίζεται πάντως ότι η πτώση της θερμοκρασίας σε σύγκριση με την προηγούμενη Μεσαιωνική Θερμή Περίοδο ήταν της τάξης του 1 °C. Σημειώτέον ότι, η σημερινή θερμοκρασία είναι περίπου 5 °C μεγαλύτερη από αυτή της Μικρής Παγετώδους Εποχής. Στη Βόρειο Αμερική και Ευρώπη παρατηρήθηκε μια προώθηση των παγετώνων κατά τον 14ο, 16ο και 17ο αιώνα. Οι δακτύλιοι

ανάπτυξης των δέντρων στον Καναδά, την Καλιφόρνια, τη Σκανδιναβία και την Ελβετία δείχνουν μια περίοδο με μικρή ανάπτυξη – άρα χαμηλές θερμοκρασίες γύρω στο 1700. Την ίδια εποχή εγκαταλείφθηκαν αγροκτήματα σε λόφους σε πολλές περιοχές της Ελβετίας και της Σκωτίας (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

Η τελευταία περίοδος της Μικρής Παγετώδους Εποχής συνέπεσε με την ανάπτυξη των μετεωρολογικών οργάνων. Η πιο μεγάλη χρονοσειρά παρατηρήσεων στην Ευρώπη αφορά την Κεντρική Αγγλία και αναπτύχθηκε από τον Gordon Manley από το 1659. Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές, το ψυχρότερο έτος ήταν το 1740, με μέση ετήσια θερμοκρασία 6,8 0C, και το θερμότερο το 1949 με θερμοκρασία 10,6 0C. Το καλοκαίρι του 1816 ήταν το ψυχρότερο όλων των εποχών και δικαίως η χρονιά αυτή ονομάστηκε «χρονιά χωρίς καλοκαίρι». Στο σχήμα 1.2 βλέπουμε τη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη από το 1850 έως το 1997 σύμφωνα με μετρήσεις από σταθμούς σε όλο τον κόσμο.



Σχήμα 2.5: Μεταβολή της θερμοκρασίας του πλανήτη από το 1850 έως το 1997. Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει τη μέση θερμοκρασία της γης από το 1961 έως το 1990.

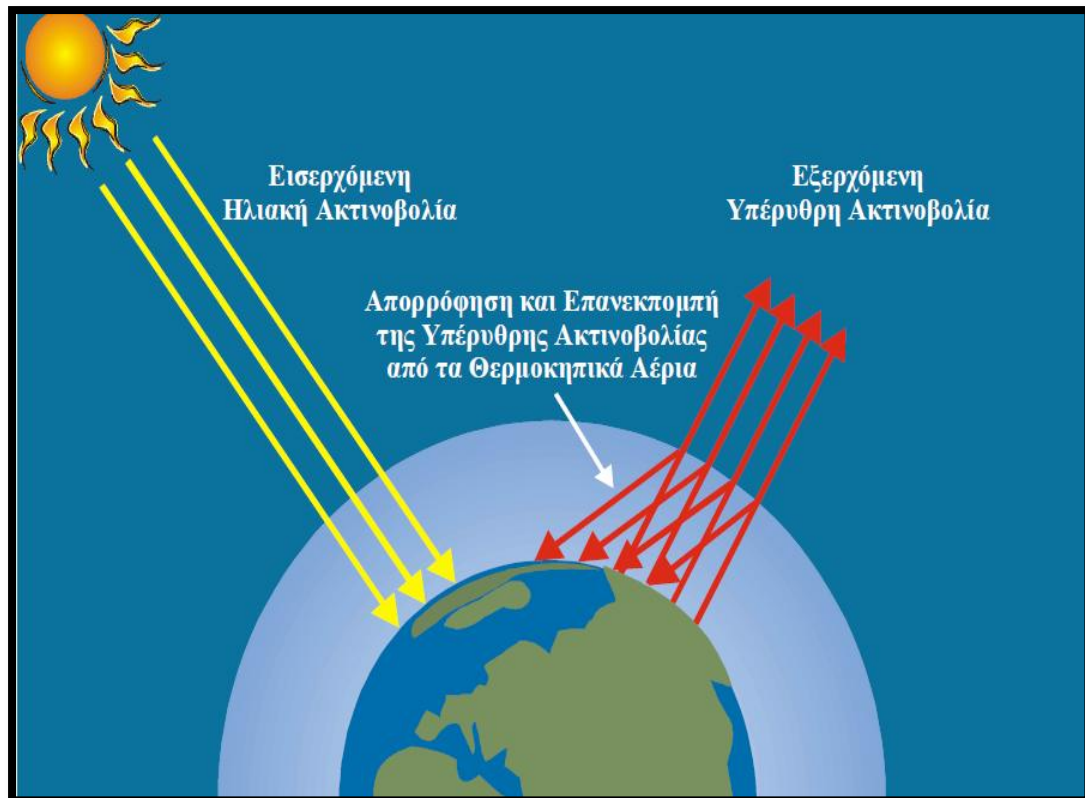
Στο διάγραμμα φαίνεται ότι, τα τελευταία εκατό χρόνια, παρατηρείται μία αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 0,6 0C. Σημειώνεται επίσης ότι, από το 1940 έως το

1965, το Βόρειο ημισφαίριο ψύχθηκε κατά 0,2 °C, η ψύξη όμως αυτή υπερκαλύφθηκε από θέρμανση του Νότιου ημισφαιρίου κατά 0,4 °C. Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται μία αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, εκτός ίσως από περιοχές όπως η Ευρώπη και η Βόρειος Αμερική (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

2.3. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Δεχόμενοι, σχεδόν καθημερινά, ένα καταιγισμό συγκεχυμένων πληροφοριών, πολλοί έχουν ταυτίσει το φαινόμενο του θερμοκηπίου με την κλιματική αλλαγή. Όπως θα διαπιστωθεί σε αυτή την ενότητα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο με ευεργετικά αποτελέσματα στο κλίμα της γης. Η απειλή προέρχεται από την υπερβολή του φαινομένου, η οποία οφείλεται στις ανθρωπογενείς εκπομπές ρύπων.

Έχει εξακριβωθεί ότι ορισμένα αέρια της ατμόσφαιρας (γνωστά και ως *θερμοκηπικά αέρια*), επιτρέπουν τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη γη, ενώ αντίθετα απορροφούν και επανεκπέμπουν προς το έδαφος ένα μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης. Αυτή η παγίδευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (η οποία ειδικά θα χανόταν στο διάστημα) από τα συγκεκριμένα αέρια, ονομάζεται *φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Πρόκειται για ένα γεωφυσικό φαινόμενο που είναι ουσιώδες και απαραίτητο για την ύπαρξη, διατήρηση και εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη. Χωρίς αυτόν το μηχανισμό η μέση θερμοκρασία της γης θα ήταν περίπου κατά 350°C χαμηλότερη, δηλαδή περίπου -200°C αντί για +150°C που είναι σήμερα και η ύπαρξη ζωής θα ήταν αδύνατη, τουλάχιστον στη μορφή που υφίσταται σήμερα. Στο σχήμα 1.3, που ακολουθεί, επιχειρείται μία γραφική αναπαράσταση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).



Σχήμα 2.6: Σχηματική παράσταση της διαδικασίας που οδηγεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Όπως έγινε κατανοητό, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, στις φυσικές του διαστάσεις, δεν είναι επιβλαβές, αντίθετα είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των περιβαλλοντικών συνθηκών του πλανήτη. Το ανησυχητικό είναι η ενίσχυση του φαινομένου σαν αποτέλεσμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπικών αερίων αυξάνουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που παγιδεύεται από την ατμόσφαιρα, επιδρώντας έτσι στο κλίμα της γης. Το φυσικό επακόλουθο της αύξησης των εκπομπών θερμοκηπικών αερίων από τον άνθρωπο είναι λοιπόν η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου και συνεπώς η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, εκτός από τις ανθρωπογενείς εκπομπές θερμοκηπικών αερίων, σημαντικό ρόλο για την εξέλιξη του φαινομένου του θερμοκηπίου παίζει και η συνεχής εκτεταμένη καταστροφή των τροπικών δασών τα οποία έχουν σημαντική συμβολή στην ισορροπία των κυριοτέρων θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα:

- 1) Τα δάση, μέσω της φωτοσύνθεσης, δεσμεύουν το διοξείδιο του άνθρακα και παράγουν οξυγόνο.

2) Τα τροπικά δάση ρυθμίζουν τις ποσότητες των υδρατμών στην ατμόσφαιρα των τροπικών πλατών και κατά προέκταση και ολόκληρου του πλανήτη.
(Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000)

2.3.1. Περιγραφή του φαινομένου:

α) το φυσικό θερμοκήπιο:

Η ατμόσφαιρα της γης με τη χημική σύσταση που έχει λειτουργεί όπως και το γυάλινο ή πλαστικό κάλυμμα του θερμοκηπίου, που χρησιμοποιούν οι αγρότες. Αφήνει δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία να περάσει προς την επιφάνεια της γης, αλλά δεν αφήνει τη γήινη ακτινοβολία να φύγει προς το διάστημα, εκτός από ένα μέρος της. Έτσι, όπως και στο θερμοκήπιο, η θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης είναι μεγαλύτερη απ' ό,τι θα ήταν χωρίς την ατμόσφαιρα.

Αυτό είναι το «φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου», που εξασφαλίζει μια μέση θερμοκρασία για τη γη περίπου στους 15 °C (αν δεν είχε τη συγκεκριμένη ατμόσφαιρα η μέση της θερμοκρασίας θα ήταν περίπου -23 °C). Στη φυσική ατμόσφαιρα το ρόλο του καλύμματος το παίζουν εκείνα τα συστατικά της που έχουν μεγάλο μοριακό βάρος, όπως οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και άλλα

β) το τεχνητό θερμοκήπιο:

Από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, με την ανάπτυξη των βιομηχανικών κοινωνιών, δεν υπάρχει πια φυσική ατμόσφαιρα, αφού σ' αυτήν καταλήγουν όλα τα υποπροϊόντα των καύσεων των ορυκτών καυσίμων (κύρια κάρβουνο και πετρέλαιο), των οποίων έγινε ευρεία χρήση. Έτσι και το CO₂ και τα άλλα στοιχεία αυξάνουν συνεχώς στην ατμόσφαιρα. Σύμφωνα με το IIASA (Διεθνές Ινστιτούτο Ανάλυσης Συστημάτων) η περιεκτικότητά του θα διπλασιασθεί.

Προστίθενται επίσης και εντελώς καινούργιες, παραγόμενες από τον άνθρωπο, ενώσεις που συμμετέχουν στο «θερμοκήπιο» (π.χ. φθοροχλωράνθρακες). Έτσι εντείνεται η «θερμοκηπιακή» δραστηριότητα της ατμόσφαιρας και μιλάμε πια για το ανθρωπογενές «τεχνητό θερμοκήπιο».

2.3.2. Οι συνέπειες του θερμοκηπίου

Το αρχικό αποτέλεσμα είναι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα κοντά στην επιφάνεια της γης. Αυτό έχει διαπιστωθεί ήδη. Για το διάστημα π.χ.1880-1988 υπήρχε μια αύξηση της τάξης 0,7 °C. Το έτος 2000 η μέση θερμοκρασία ήταν 0,32 °C ψηλότερη από τον μέσο όρο του διαστήματος 1961-1990, ενώ η δεκαετία του '90 ήταν η πιο θερμή από τότε που υπάρχουν μετρήσεις της. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για τις κλιματολογικές αλλαγές(IPCC) υπολόγισε ότι η θερμοκρασία της γης θα αυξηθεί από 3 έως 6 βαθμούς Κελσίου τα επόμενα 100 χρόνια. Άλλα μοντέλα προβλέπουν ότι μέχρι το 2050 (χρονιά που το διοξείδιο του άνθρακα θα διπλασιασθεί στην ατμόσφαιρα αν συνεχισθούν οι ίδιοι ρυθμοί έκλυσής του) η θερμοκρασία θα αυξηθεί μέχρι και 5,5 °C (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Το δεύτερο σημαντικότερο αποτέλεσμα θα είναι το ανέβασμα της στάθμης των θαλασσών και λόγω διαστολής του νερού(3/4 της επιφάνειας της γης είναι θάλασσα) και λόγω του λιώσιμου των αιώνιων πάγων της στεριάς και της Γροιλανδίας. Τα τελευταία 100 χρόνια έχει ήδη ανέβει η στάθμη της μέχρι 25 εκατοστά. Στην τελευταία θερμή περίοδο της γης, πριν περίπου 120000 χρόνια, όπου η θερμοκρασία ήταν κατά 2 βαθμούς παραπάνω από τη σημερινή, η θάλασσα ήταν κατά 5 έως 7 μέτρα ψηλότερα από σήμερα. Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν πού θα φθάσει η θάλασσα αν τα επόμενα χρόνια ανέβει έστω και 2 βαθμούς (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Έτσι θα υπάρχουν κάτω από τη θάλασσα πολλές σημερινές περιοχές στεριάς, όπως τα μεγάλα και εύφορα Δέλτα των ποταμών, τα χαμηλά νησιά του Ειρηνικού, πολλές παραθαλάσσιες πόλεις όπως η Νέα Υόρκη, το Μαϊάμι, το Λονδίνο, το Τόκιο, η Σαγκάη, η Βομβάη, το Μπουένος Άιρες, το Λένινγκραντ κ.λ.π.(Για την Ελλάδα προβλέπεται ότι τουλάχιστον ο Θερμαϊκός θα βυθισθεί) (Αθανασίου Γεώργιος, 2001). Το τρίτο σημαντικό αποτέλεσμα θα είναι η μεταβολή των κλιματικών ζωνών, κύρια των ζωνών βροχής, η οποία γενικά θα αυξηθεί λόγω της αύξησης της εξάτμισης των νερών, επειδή αυξάνεται η θερμοκρασία. Και αυτή η μεταβολή έχει ήδη αρχίσει και γίνεται αντιληπτή τα τελευταία χρόνια. Σε περιοχές του Β. ημισφαιρίου έχουν ενταθεί οι βροχές, ενώ ήδη από τη δεκαετία του '60 παρατηρείται μια σταδιακή μείωση των βροχοπτώσεων σε υποτροπικές και τροπικές περιοχές. Το χαρακτηριστικότερο αυτής της αλλαγής είναι τα έντονα καιρικά φαινόμενα. Όπου επικρατήσουν ξηρασίες αυτές εντείνονται και σε διάρκεια και στους δείκτες(σχετ. υγρασία, θερμοκρασία κ.λ.π.).Όπου επικρατήσουν βροχές, αυτές πάλι παίρνουν τη μορφή καταιγίδων και «θεομηνιών»(απίθανες ποσότητες νερού σε μικρό χρονικό διάστημα), με αποτέλεσμα πλημμύρες και καταστροφές. Το ίδιο και με τα χιόνια και τον παγετό. Οι τυφώνες, οι κυκλώνες και οι ανεμοθύελλες θα εμφανίζονται όλο και πιο συχνά με μεγαλύτερες

ταχύτητες και ενέργειες και φυσικά με καταστροφικότερα αποτελέσματα, γιατί οι θερμοκρασίες του αέρα πάνω από πολλές θαλάσσιες περιοχές θα ξεπερνά τους 26,5 βαθμούς(με τέτοιες θερμοκρασίες πάνω από τη θάλασσα, όπως είναι γνωστό ,αρχίζουν να δημιουργούνται ανεμοστρόβιλοι που εξελίσσονται σε τυφώνες)(Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

2.3.3. Οι πρώτες ενδείξεις

Όταν οι πρώτοι επιστήμονες μίλησαν για το «τεχνητό» φαινόμενο του θερμοκηπίου πολλοί λίγοι το έλαβαν υπόψη. Μόνο κάποιοι «τρελοί» Οικολόγοι. Χρόνο με το χρόνο όμως η εξέλιξη φαίνεται καθαρά. Οι ενδείξεις έχουν πολλαπλασιασθεί. Το λιώσιμο των παγετώνων των μεγάλων βουνών έχει ξεκινήσει(έχει παρατηρηθεί για παράδειγμα στις Άλπεις), το ίδιο και της Γροιλανδίας και στο Β. Ατλαντικό έχουν παρατηρηθεί τελευταία τα μεγαλύτερα μέχρι τώρα παγόβουνα. Στην Καραϊβική και τον Ινδικό οι κυκλώνες είναι ισχυρότεροι, καταστροφικότεροι και πιο συχνοί. Όπου δεν υπάρχει υγρασία οι ξηρασίες είναι εντονότερες (υπάρχει επομένως ερημοποίηση ,μειωμένες σοδείες και λιμούς)και στην Αφρική η Σαχάρα επεκτείνεται γρηγορότερα προς ανατολάς και νότο. Στα μεσαία πλάτη, από Τουρκία μέχρι και ΗΠΑ ,οι καύσωνες ανυπόφοροι και οι πυρκαγιές ανεξέλεγκτες. Από την άλλη οι πλημμύρες απειλούν όχι μόνο την αγροτική παραγωγή, αλλά και τους ανθρώπους.(Ακόμα και στις «οργανωμένες» κοινωνίες της Κεντρικής Ευρώπης υπήρχαν πρόσφατα ανθρώπινα θύματα). Οι ασφαλιστικές εταιρείες υπολόγισαν για παράδειγμα ότι οι ζημιές από καιρικές θεομηνίες τη δεκαετία 1991-2000 ξεπέρασαν τα 400 δισεκατομ. δολ. (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Και στην Ελλάδα η εξέλιξη είναι φανερή. Ανομβρία και καύσωνες το καλοκαίρι, ασυνήθιστες θερμοκρασίες μερικά διαστήματα το φθινόπωρο και χειμώνα. Όταν επικρατεί ένα καιρικό φαινόμενο, αυτό εντείνεται και δύσκολα αλλάζει. Οι λίγες γενικά βροχές μέχρι τώρα ,έχουν γίνει καταρρακτώδεις με χαλάζι συχνό, πλημμύρες και κατολισθήσεις(π.χ. στις αρχές του φετινού Οκτωβρίου), με αποτέλεσμα καταστροφές στη γεωργική παραγωγή. Το ίδιο έχουμε αντίστοιχα το χειμώνα με τα χιόνια και τον παγετό (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών(ΙΓΜΕ) εξηγεί: « Τα μη κανονικά σε ένταση και ύψος κατακρημνίσματα, από υψηλές και απότομες βροχοπτώσεις, από τις χιονοπτώσεις και τον παγετό, καθώς και οι κατολισθητικές κινήσεις προκαλούνται κυρίως από τις δραστηριότητες του ανθρώπου». Ο καθηγητής

της χημείας της ατμόσφαιρας του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου κ.Ραψωμανίκης , σε συνεργασία με άλλα ευρωπαϊκά Ινστιτούτα, λαμβάνοντας υπόψη το φαινόμενο του Θερμοκηπίου, έχει αναπτύξει ένα μοντέλο για την εξέλιξη του κλίματος της χώρας τα επόμενα χρόνια, σύμφωνα με το οποίο περιμένει μέχρι το 2010 αύξηση των βροχών και των χιονιών , ενώ αντίθετα μέχρι το 2017 αύξηση των ξηρασιών(περιοδικό φαινόμενο με περίοδο 14 χρόνων, 7 χρόνια βροχές και 7 χρόνια ξηρασία χονδρικά). (Αθανασίου Γεώργιος, 2001)

Επίσης παρατηρούνται ήδη αλλαγές και στην ελληνική χλωρίδα. Πολλά από τα σπάνια είδη δεν αντέχουν την ξηρασία και ή μειώνονται ή «μεταναστεύουν» βόρεια (π.χ. Ορχεοειδή, ενδημικά). Τα έντομα, κυρίως τα ωφέλιμα , μειώνονται δραστικά. Επίσης πολλά θηλαστικά της πανίδας μετακινούνται βόρεια. Από μελέτες σε είδη άγριας ζωής φαίνεται ότι τα τελευταία 30 χρόνια υπάρχει αλλαγή και στο χρόνο παραγωγής τους (σε άλλα νωρίτερα και σε άλλα αργότερα από το συνηθισμένο). Σύμφωνα με στοιχεία της Ελληνικής Εταιρείας Προστασίας της Φύσης , υπάρχει ακόμα και αλλαγή στη σύσταση των ελληνικών λιμνών (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

2.3.4. Οι ενδείξεις για την Βιόσφαιρα και τον άνθρωπο

Μεταξύ 1960-2000 διαπιστώνεται μια αυξανόμενη συχνότητα και ένα αυξανόμενο μέγεθος των πολύ μεγάλων φυσικών καταστροφών ,που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ζημιές		
Χρονική Περίοδος Αριθμός πολύ μεγάλων (σε δις.δολ. σταθερών		
Φυσικών καταστροφών τιμών του 1999)		
1960-69	27	71,1
1970-79	47	127,8
1980-89	63	198,6
1990-99	98	608,5

Πηγή: Globalisierung und Gerechtigkeit, Richard Gerster.

Το έτος 1999 ειδικά οι Ελβετικές Ασφάλειες (Swiss Re) κατέγραψαν 326 μεγάλες καταστροφές στον πλανήτη. Σε αυτά τα στοιχεία συμπεριλαμβάνονται βέβαια και οι σεισμοί ,που είναι φαινόμενα της λιθόσφαιρας και δεν έχουν σχέση με το κλίμα. Όμως το συμπέρασμα που προαναφέρθηκε βγαίνει αβίαστα, αφού και μετά το 2000

υπήρχε μια τέτοια αύξηση(οι απώλειες π.χ. των ασφαλιστικών εταιρειών των ΗΠΑ λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων ανήλθαν από τα 10 δις δολάρια περίπου το 2000, στα 70 δις δολάρια το 2005 (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Έτσι :«Διακόσια εκατομμύρια πρόσφυγες και 5,5 τρισεκατομμύρια Ευρώ, αυτό είναι το τρομακτικό κόστος από την αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, σύμφωνα με έκθεση εξέχοντος Βρετανού οικονομολόγου. Με άλλα λόγια, το κλίμα οδηγεί στη φτώχεια και την προσφυγιά.» έγραψαν «τα Νέα» ,τις 31/10/2006 , μετά τη δημοσίευση της έκθεσης του Νίκολας Στερν, πρώην επικεφαλής των οικονομολόγων της Παγκόσμιας Τράπεζας, που μελέτησε για λογαριασμό της βρετανικής κυβέρνησης τις οικονομικές συνέπειες που θα έχει η άνοδος της θερμοκρασίας έως το έτος 2050. Ο ίδιος ο Μπλέρ τόνισε πως οι επιστημονικές αποδείξεις ότι η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλείται από τα αέρια του θερμοκηπίου «είναι τώρα συντριπτικές και δεν υπάρχει αμφιβολία πως οι συνέπειες για τον πλανήτη θα είναι κυριολεκτικά καταστροφικές» στο κοντινό μέλλον (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Στην ίδια έκθεση προβλέπεται ότι πολλά οικοσυστήματα θα καταρρεύσουν, όπως το τροπικό δάσος του Αμαζονίου και τα οικοσυστήματα των κοραλλιογενών υφάλων, ή δεν θα μπορέσουν να διατηρήσουν τη σημερινή μορφή τους ,ενώ πάρα πολλά είδη θα εξαφανισθούν , γιατί δεν θα μπορέσουν να προσαρμοστούν. Από μελέτη που έχει χρηματοδοτήσει Ε.Ε βγήκε το συμπέρασμα ότι ο Ευρωπαϊκός Νότος σε λίγες δεκαετίες θα φλέγεται και τα ακραία καιρικά φαινόμενα θα ενταθούν. Στην Ελλάδα από 2020-2080 θα επικρατήσουν συνθήκες Σαχάρας, ενώ η Σκανδιναβία θα γίνει το νέο θέρετρο των μελλοντικών τουριστών. Στην Κεντρική Ευρώπη θα υπάρχουν συχνές- πυκνές χιονοπτώσεις και η ζωή θα είναι επικίνδυνη λόγω καταιγίδων ,πλημμύρων και ανεμοθυελλών (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Βέβαια στην εξέλιξη της Ιστορίας της γης υπήρχαν μεταβολές της θερμοκρασίας της («θερμές» περίοδοι εναλλάσσονταν με περιόδους «παγετώνων»). Όμως αυτές οι μεταβολές καθώς και τα επακόλουθά τους στο κλίμα γινόταν σιγά-σιγά στη διάρκεια πολλών αιώνων .Η σημερινή μεταβολή ,απ' τη σκοπιά της μεγάλης χρονικής διάρκειας της φυσικής εξέλιξης, είναι σα να γίνεται πολύ απότομα, σε μια μόνο στιγμή. Αυτός θα είναι ο λόγος για τον οποίο δεν θα αντέξουν τα περισσότερα οικοσυστήματα, γιατί στην ουσία θα πρόκειται για κλιματική καταστροφή (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

2.3.5. Οι πρωταίτιοι

Η συμμετοχή των «αερίων του θερμοκηπίου» στη διαμόρφωση του φαινομένου είναι η παρακάτω:

CO ₂	CH ₄	O ₃	N ₂ O	H ₂	Φ.Χ.Α.
50%	19%	8%	4%	2%	17%

Πηγή: Ozonloch und Treibhaueffekt, rororo aktuell.

Όπου: CO₂: διοξείδιο του άνθρακα, CH₄: μεθάνιο, O₃: όζον της τροπόσφαιρας(όχι της στρατόσφαιρας που μειώνεται), N₂O: υποξείδιο του αζώτου, H₂: υδρογόνο και Φ.Χ.Α.: φθοροχλωράνθρακες.

Αυτά τα αέρια παράγονται από τις διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου. Η συμμετοχή του κάθε κλάδου οικονομικής δραστηριότητας στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου σε παγκόσμιο επίπεδο για το έτος π.χ. 2000 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

ΚΛΑΔΟΣ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
Εργοστάσια Ηλεκτρικού Ρεύματος	24
Πυρκαγιές-Αποψίλωση δασών *	18
Βιομηχανία	14
Γεωργία	14
Συγκοινωνία	14
Θέρμανση	8
Σκουπίδια-Απόβλητα	3
Υπόλοιπες Πηγές	5

Πηγή: Der Spiegel Nr 45/6.11.06

Αυτό που έχει συμβεί στα επόμενα χρόνια είναι ότι έχει αυξηθεί η Αυτοκίνηση, οποία υπολογίζεται πλέον σε πλανητικό επίπεδο ότι συμμετέχει σε ποσοστό 18%, ενώ τεράστια αύξηση σημειώνεται στα αεροπορικά ταξίδια(ένα αεροπορικό ταξίδι εκπέμπει 10πλάσια ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, από ένα αντίστοιχης απόστασης ταξίδι με το τραίνο). Η καταστροφή των δασών (τα τελευταία 5 χρόνια χάθηκαν 37 εκατομμύρια εκτάρια δάσους σε παγκόσμιο επίπεδο) δεν συντελεί μόνο στην αύξηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Έχει και σαν αποτέλεσμα την φυσική μείωση της απορρόφησής του, διότι υπολογίζεται ότι η παγκόσμια δασική

βλάστηση απορροφά το 40% των παγκόσμιων εκπομπών του (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Υπάρχει μια πλατιά διαδεδομένη άποψη ότι για το φαινόμενο «είναι όλοι συνυπεύθυνοι». Αυτό οδηγεί κατά κάποιο τρόπο στην αποδοχή και στον μη εντοπισμό των πρωταίων. Είναι φανερό ότι για να μπορεί να υπάρξει ουσιαστική αντιμετώπιση της επερχόμενης καταστροφής, πρέπει να εντοπισθούν οι κύριοι υπεύθυνοι. Τα «αέρια του θερμοκηπίου» παράγονται βασικά στις βιομηχανικές χώρες και το βασικό θύμα των συνεπειών τους είναι ο λεγόμενος τρίτος κόσμος. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις εκπομπές CO₂ τη χρονιά του 1996 για τις διάφορες χώρες. Η τελευταία στήλη δείχνει τη μεταβολή σε σχέση με τη χρονιά του 1990:

Χώρες	Ποσότητα σε εκατομ. τόνους ανά έτος	Κατά κεφαλή % ανά έτος	Παγκόσμιο ποσοστό (%)	Μεταβολή 1990-96 (%)
ΗΠΑ	5305	19,7	22,2	9,9
Κίνα	3366	2,8	14,1	40,0
Ρωσία	1581	10,7	6,6	-27,7
Ιαπωνία	1169	9,3	4,9	9,1
Ινδία	998	1,1	4,2	47,7
Γερμανία	862	10,5	3,6	-3,1
Βραζιλία	274	1,7	1,1	34,9

Πηγή: Carbon Dioxide Information Analysis Center, 1999.

Παρατήρηση: Η Ρωσία μείωσε τις εκπομπές ,γιατί λόγω των αλλαγών διαλύθηκε το παραγωγικό της σύστημα αυτό το διάστημα, ενώ μόνο η Γερμανία έχει κάνει προσπάθειες μείωσής τους.

Το 2003 η κατάσταση στις εκπομπές του CO₂ σε εκατομ. τόνους ήταν η εξής: ΗΠΑ: 5800, Κίνα: 4150, Ρωσία: 1500, Ιαπωνία: 1230, Ινδία: 1270, Γερμανία: 810.(Καθημερινή 5/11/06). Οι Δε προβλέψεις για τις αυξήσεις μέχρι το 2025 είναι: ΗΠΑ: 39%, Κίνα: 145%, Ρωσία: 32%, Ιαπωνία: 5%, Ινδία: 95%, Δ. Ευρώπη(συνολικά): 11%, Βραζιλία: 99%.(Der Spiegel Nr 45/6.11.06). Από τους παραπάνω πίνακες ,φαίνεται λοιπόν καθαρά ότι δεν είναι όλοι στον ίδιο βαθμό «θύτες» και «θύματα». Μακροπρόθεσμα βέβαια δεν θα υπάρχουν κερδισμένοι και χαμένοι. Όλοι θα χάσουν ,γιατί βρίσκονται στο ίδιο «πλοίο». «Τα αναχώματα και τα μέτρα προστασίας που υπάρχουν μπορούν να αντέξουν άνοδο της στάθμης της

θάλασσας κατά ένα μέτρο» ,δηλώνουν οι υπεύθυνοι των υπηρεσιών για τη Βόρεια Θάλασσα των κρατών της Β. Ευρώπης. Και είναι σα να λένε «Μη σας νοιάζει αν το Μπαγκλαντές(από τα πρώτα μέρη που θα βρεθούν κάτω από τη θάλασσα) θα σκεπασθεί γρηγορότερα. Εμείς μπορούμε να συνεχίσουμε όπως μέχρι τώρα. Έχουμε σωσίβια. Μέχρι να ανέβει και σε μας, έχουμε καιρό». Το φαινόμενο του θερμοκηπίου λοιπόν είναι το τίμημα της ευημερίας των λίγων, το οποίο τίμημα θα το πληρώνουν βασικά οι «αδύναμοι» και οι λιγότερο υπεύθυνοι (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

2.3.6. Προτάσεις για την ελάττωση και την αποφυγή του φαινομένου

2.3.6.1. Τι θα έπρεπε να γίνει πραγματικά και τι προτείνουν οι πρωταίτιοι

Από το 1990 η επιτροπή ειδικών του ΟΗΕ προειδοποιούσε ότι για να αποφευχθούν οι συνέπειες του «τεχνητού θερμοκηπίου» ,απαιτείται μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου στο 60% εκείνης της χρονιάς.

Αυτό θα σήμαινε: μια σειρά από αποφασιστικές αλλαγές στην οικονομία και το μοντέλο ανάπτυξης καθώς και στον τρόπο ζωής ,βασικά του «αναπτυγμένου κόσμου». Αυτές οι αλλαγές θα έπρεπε να έχουν στόχο την καθαρότερη και ορθολογικότερη (που να ικανοποιεί ουσιαστικές και όχι καταναλωτικές ανάγκες) παραγωγή, την εξοικονόμηση ενέργειας, την προώθηση των ήπιων –ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, την προώθηση εναλλακτικών τρόπων δόμησης(Βιοκλιματική αρχιτεκτονική) .Θα έπρεπε να προωθηθούν εναλλακτικές μεταφορές και εναλλακτικό εμπόριο. Να καταργηθεί π.χ. το εμπόριο του τροπικού ξύλου, ώστε να διασωθεί το τροπικό δάσος που είναι ένας από τους κύριους συντελεστές μείωσης του CO2. (Για να γίνει όμως αυτό θα έπρεπε οι βιομηχανικές χώρες να χαρίσουν τα «χρέη» των τροπικών χώρων, αυτών των τόσο πλούσιων σε πλουτοπαραγωγικές πηγές, αλλά τόσο φτωχών λόγω της στυγνής εκμετάλλευσής τους.). Να υπάρξει αλλαγή στον σχεδιασμό των πόλεων και να περιορισθεί η αυτοκίνηση υπέρ της δημόσιας αντιρρυπαντικής συγκοινωνίας. Να υπάρξει αλλαγή στα μοντέλα κατανάλωσης και γενικά στην καθημερινή ζωή των ανθρώπων (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Όλα αυτά δεν αφορούν μόνο στις γενικότερες πολιτικές των κρατών-πρωταίτιων, αλλά και στην ατομική συμπεριφορά του κάθε καταναλωτή τους. Χρειάστηκαν κάποια χρόνια διαπραγματεύσεων για να καταλήξουν το 1997 στην πρώτη διεθνή συμφωνία, το γνωστό «πρωτόκολλο του Κιότο». Δεν μπορούσαν πια να λένε ότι ο άνθρωπος μπορεί να συνεχίσει όπως μέχρι τώρα, αλλά τι αποφάσισαν; Στην ουσία

αυτό. Ότι μπορούν να συνεχίσουν. Γιατί τι θα μπορούσε να αλλάξει με την απόφασή τους για μια μέση μείωση μόνο κατά 5% από τα επίπεδα του 1990 και αυτή όχι να γίνει άμεσα , αλλά μέχρι το 2010; Αυτή η συμφωνία, με τα παζαρέματα που έγιναν μεταξύ των πρωτοπόρων της ρύπανσης ,έδειξε τις προθέσεις τους. Δεν υπήρξε βούληση για ουσιαστική λύση. Ήταν απλά ένας χειρισμός της πίεσης που υπήρχε από τις «μη κυβερνητικές οργανώσεις». Τα μέτρα μάλιστα δεν ήταν καν δεσμευτικά για τους συμμετέχοντες. Αργότερα το Κογκρέσο των ΗΠΑ αρνήθηκε να τα επικυρώσει και η αμερικάνικη κυβέρνηση αρνείται ακόμα να αναλάβει το μερίδιο που της αναλογεί(που είναι και το μεγαλύτερο όπως φαίνεται από τους πίνακες). Στο πλευρό της είναι και άλλες πετρελαιοπαραγωγικές και νεοβιομηχανικές (Κίνα, Ινδία)χώρες. Στην ουσία και αυτή η ανώδυνη στην πραγματικότητα γι' αυτές συμφωνία έμεινε στα χαρτιά. Στη συνέχεια έγιναν και άλλες αποτυχημένες απόπειρες για να εφαρμοσθούν οι συμφωνίες. Όμως αυτό που πέτυχαν ήταν να αφήσουν την υλοποίησή τους στην ίδια την αγορά. Έφθασαν στο σημείο να εξαγοράζονται τα «δικαιώματα εκπομπών» των φτωχών χωρών από τις χώρες και τις επιχειρήσεις που θα έπρεπε να μειώσουν τις εκπομπές, για να μπορούν να συνεχίζουν όπως και πριν(Δημιουργήθηκε Χρηματιστήριο «Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπής Αερίων του Θερμοκηπίου» και δικτυακός τόπος για εταιρείες και κυβερνήσεις) (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Η πρόσφατη έκθεση Στερν χρησιμοποιεί επιχειρήματα για τις οικονομικές επιπτώσεις του θερμοκηπίου. Οι ιθύνοντες καταλαβαίνουν μόνο από οικονομικά επιχειρήματα. Από τη μία λοιπόν φαίνεται ότι θα θιγεί πολύ το διεθνές κεφάλαιο του Σίτυ, που είναι επενδυμένο στις ασφάλειες (λόγω των επερχόμενων μεγάλων καταστροφών δεν θα προλαβαίνει να αποζημιώνει ιδιοκτήτες και επιχειρήσεις και γι' αυτό πιέζει την κυβέρνηση Μπλερ: «εκτιμούμε ότι η αλλαγή του κλίματος δεν θα επιφέρει μόνο σημαντικές οικονομικές ζημιές, αλλά επιπλέον θα επιτείνει την αβεβαιότητα για το μέλλον των επιχειρήσεων» αναφέρουν σε μια κοινή τους δήλωση μεγάλες ασφαλιστικές εταιρείες). Από την άλλη θα υπάρξουν επιτέλους μεγάλα κέρδη από το λόμπι της πυρηνικής βιομηχανίας (αντί των εναλλακτικών μορφών ενέργειας προτείνεται σαν λύση η πυρηνική). Έτσι πολλοί πιστεύουν ότι θα ληφθούν επιτέλους ουσιαστικά μέτρα για μετά το 2012. Αυτό μάλλον δεν θα γίνει πραγματικότητα. Και αυτό γιατί οι συμμετέχοντες ιθύνοντες των κυβερνήσεων δεν είναι σε θέση ή δεν θέλουν να αμφισβητήσουν το μοντέλο ανάπτυξης της παγκοσμιοποίησης, που στηρίζεται στην στρατιωτική επιβολή και τη «δικτατορία των αγορών»(Ακόμη και όταν μιλάνε για ανανεώσιμες-εναλλακτικές μορφές ενέργειας δεν θέλουν να προωθήσουν την αποκεντρωμένη δυνατότητά τους, αλλά την συγκεντρωτική, στα χέρια των εταιρειών υλοποίησή τους, όπως για παράδειγμα μεγάλα φωτοβολταϊκά εργοστάσια

αντί για φωτοβολταϊκές στέγες ή μεγάλα αιολικά πάρκα, αντί μικρές αιολικές γεννήτριες για τον καθένα) (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Ιδιαίτερα μετά την πυρηνική καταστροφή του Τσερνομπίλ το 1986, η πυρηνική βιομηχανία είχε βρεθεί σε δύσκολη θέση. Παρά τα επιχειρήματα που διατύπωνε ότι η δυτική είναι ασφαλής και δεν είναι ανεύθυνη όπως η ανατολική, ότι τα εργοστάσιά της είναι αναπτυσσόμενης τεχνολογίας και όχι πεπαιτωμένης όπως των ανατολικών, είχε «στριμωχθεί στην άμυνα». Δεν μπορούσε να πείσει εύκολα ιθύνοντες και κυβερνήσεις να συνεχίσουν τα πυρηνικά τους προγράμματα και να στήσουν καινούργια πυρηνικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Στη Γερμανία μάλιστα δέχθηκε μεγάλο κτύπημα από την απόφαση της κυβέρνησης Σοσιαλδημοκρατών-Πρασίνων να κλείσουν σταδιακά τα πυρηνικά της εργοστάσια (συμβιβασμός σε σχέση με το άμεσο κλείσιμο, που απαιτούσαν οι Πράσινοι). Δεν αντιλέγουν βέβαια ότι υπάρχει κάποιος κίνδυνος με την πυρηνική ενέργεια, όμως μπροστά στον «θερμοκηπιακό» κίνδυνο να διαλέξουμε την πυρηνική σαν το «μικρότερο κακό», γιατί ισχυρίζονται ότι δεν μπορεί ο άνθρωπος να βασιστεί στις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Με αυτού του είδους τις προτάσεις προσπαθούν να βάλλουν πάλι στο παιχνίδι την πυρηνική βιομηχανία. (η οποία βέβαια πρέπει να ελέγχεται από τη Δύση γιατί αυτή μόνο διαθέτει ασφαλή τεχνολογία και δεν μπορεί να την αναπτύξει η οποιαδήποτε «κολοπετεινίτσα», όπως π.χ. το Ιράν). Τα πυρηνικά εργοστάσια όμως δεν είναι η πραγματική λύση για την αποφυγή του «θερμοκηπίου». Τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος συμμετέχουν κατά 24% παγκοσμίως στην έκλυση διοξειδίου του άνθρακα. Από την άλλη το διοξείδιο του άνθρακα είναι υπεύθυνο για το 50% του φαινομένου του θερμοκηπίου. Άρα τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο κατά: $50\% \cdot 24\% = 50/100 \cdot 24/100 = 1200/10000 = 12/100 = 12\%$. Αυτό σημαίνει ότι αν σταματούσε εντελώς αυτή η παραγωγή και τα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια αντικαθιστούσαν από πυρηνικά θα υπήρχε μια βελτίωση μόνο κατά 12%. Και αυτό πάλι αν ήταν αλήθεια ότι κατά την διαδικασία της χρήσης της πυρηνικής ενέργειας δεν εκλύονταν CO₂, γιατί στην πραγματικότητα τόσο στο αρχικό στάδιο του κύκλου των πυρηνικών καυσίμων -εξόρυξη και επεξεργασία ουρανίου-, όσο και στο τελικό -διαμόρφωση, συντήρηση, μεταφορά και αποθήκευση αποβλήτων-, παράγονται μεγάλες ποσότητες CO₂, που αυξάνονται όσο μειώνεται η ποιότητα του αρχικού ουρανίου (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Για μια βελτίωση λοιπόν, έστω της τάξης του 12%, προτείνουν τον «πυρηνικό όλεθρο» σαν λύση. Γιατί πραγματικά για όλεθρο πρόκειται: αν υποτεθεί ότι στο μέλλον θα πρέπει να καλυφθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια από πυρηνικά εργοστάσια, τότε θα έπρεπε να υπάρχουν πάνω από 5000 τέτοια σε παγκόσμιο

επίπεδο. Με μια τέτοια όμως πυκνότητα πυρηνικών εργοστασίων(έστω και «ασφαλών») ,θα προκλειόταν καταστροφή τύπου Τσερνομπίλ σχεδόν κάθε 2 χρόνια, όπως υπολογίζεται στατιστικά. Είναι λοιπόν φανερό ότι η πυρηνική ενέργεια δεν είναι η μορφή ενέργειας που θα σώσει τον άνθρωπο από την κλιματική καταστροφή. Είναι απλά αυτή που θα σώσει τα συμφέροντα της πυρηνικής βιομηχανίας.

2.3.6.2. Πυρηνική Σύντηξη ως λύση για το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η είδηση που πρόσφατα έκανε το γύρο του κόσμου κι έδωσε ελπίδες ότι θα αποφευχθεί τελικά ο «θερμοκηπιακός όλεθρος», ήταν η πυρηνική σύντηξη. Υπεγράφη στο Παρίσι η συμφωνία επτά διεθνών εταίρων για την κατασκευή του Διεθνούς Πειραματικού Θερμοπυρηνικού Αντιδραστήρα (ITER), που φιλοδοξεί να παράγει τις επόμενες δεκαετίες καθαρή και ανεξάντλητη ενέργεια. Η ερευνητική εγκατάσταση, κόστους δέκα δισεκατομμυρίων δολαρίων, θα είναι το μεγαλύτερο διεθνές κατασκευαστικό έργο μετά τον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό. Ο αντιδραστήρας θα παράγει καθαρή ενέργεια με πυρηνική σύντηξη, όπως συμβαίνει και στον Ήλιο. Αυτό όμως δεν είναι τελείως πραγματικό. Το Αντιπυρηνικό Παρατηρητήριο Μεσογείου ,που παρακολουθεί από καιρό τις εξελίξεις για το πρόγραμμα ITER, δεν συμμερίζεται το κλίμα ευφορίας που καλλιεργήθηκε. Σε δελτίο τύπου που εξέδωσε τις 3-12-06 διατυπώνει τις αντιρρήσεις και τις επιφυλάξεις του :

i. Το πρόγραμμα προωθείται σε καθαρά ερευνητικό επίπεδο, και θα μπορέσει, κατά τους πλέον αισιόδοξους, να οδηγήσει στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς αντιδραστήρες σύντηξης προς το τέλος της δεκαετίας του 2040, εφ'όσον λυθούν όλα τα εξαιρετικά δυσεπίλυτα επιστημονικά-ερευνητικά προβλήματα. Επομένως είναι σίγουρο ότι δεν δίνει λύσεις στο πρόβλημα των κλιματικών αλλαγών, για τις οποίες χρειάζονται άμεσα και επείγοντα μέτρα σε πλανητικό επίπεδο.

ii. Εμφανίζεται το πρόγραμμα αυτό να μην έχει τα μειονεκτήματα που έχουν οι γνωστοί αντιδραστήρες σχάσης. Αυτό είναι εν μέρει σωστό σε θεωρητικό επίπεδο, όμως η σύντηξη δεν είναι τελείως αθώα. Υπάρχουν προβλήματα πυρηνικών αποβλήτων και κίνδυνοι να δημιουργηθούν ανεξέλεγκτες καταστάσεις λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών.

iii. Είναι προκλητικό το γεγονός ότι διατίθενται υπέρογκα κονδύλια για την έρευνα σε ένα αμφιλεγόμενης αποτελεσματικότητας και εφαρμοσιμότητας πρόγραμμα, ενώ

ταυτόχρονα δεν διατίθενται ανάλογα κονδύλια για την προώθηση της έρευνας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι οποίες είναι οι μόνες, που αποδεδειγμένα μπορούν, χωρίς καμία επίπτωση στο περιβάλλον, να επιλύσουν τόσο το πρόβλημα των ενεργειακών αναγκών όσο και το αδιαμφισβήτητο και φλέγον πρόβλημα των κλιματικών αλλαγών. Ιδιαίτερης σημασίας επίσης είναι και το γεγονός ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δημιουργούν πολλές νέες θέσεις εργασίας.

iv. Το κίνητρο για τη σκανδαλώδη προτίμηση στην έρευνα για τα πυρηνικά είναι προφανές, καθώς δημιουργεί τις συνθήκες της απόλυτης ενεργειακής (επομένως και πολιτικής) εξάρτησης από τους κατέχοντες τη σχετική τεχνογνωσία, σε αντίθεση με τις μικρότερες και αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που ευνοούν την ενεργειακή (επομένως και πολιτική) ανεξαρτησία.

v. Οι κίνδυνοι από τις υπερσυγκεντρωμένες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι οι πυρηνικοί σταθμοί είναι εξαιρετικά μεγάλοι όπως απέδειξε και το πρόσφατο «black out» που βύθισε στο σκοτάδι τη μισή Ευρώπη. Κι αν μην ξεχνάμε σε αυτές τις περιπτώσεις την απειλή μίας δολιοφθοράς ή ενός τρομοκρατικού χτυπήματος με απρόβλεπτες συνέπειες για όλο τον πλανήτη.

vi. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα να λειτουργήσει ως κολυμβήθρα του Σιλβάμ για τις ολέθριες επιπτώσεις που έχουν οι ήδη λειτουργούντες αντιδραστήρες και για τις απειλές που έρχονται από τη φιλοδοξία γειτονικών κρατών (Τουρκία, Βουλγαρία, Ιράν, εσχάτως και Αίγυπτος) να εγκαταστήσουν νέους πυρηνικούς αντιδραστήρες σχάσης. (Αθανασίου Γεώργιος, 2001)

2.3.6.3. Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ως ένας βασικός παράγοντας για τη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου

Η Ελλάδα, την περίοδο 1990-2004 αύξησε τις εκπομπές του CO₂ κατά 30,9%, (πράγμα που οφειλόταν κύρια στην αύξηση της λιγνιτοπαραγωγής κατά 35% στο ίδιο διάστημα), ενώ από το πρωτόκολλο του Κιότο της δινόταν το δικαίωμα για μια αύξηση του 25%. Η ΔΕΗ παρόλο που έχει ανακοινώσει την κατασκευή σταθμού ηλεκτροπαραγωγής με καύσιμο το φυσικό αέριο στη Μεγαλόπολη(όπου δεν προβλέπεται να φθάσει πριν το 2010) και εξαγγείλει επίσης την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών, δεν φαίνεται να αλλάζει πορεία, αφού ακόμα και στα νησιά

διατηρεί τους σταθμούς πετρελαίου. Άλλοι ιδιωτικοί ενεργειακοί όμιλοι ονειρεύονται νέους λιγνιτικούς σταθμούς στη Φλώρινα, Ελασσόνα και Δράμα. Ειδικά το τελευταίο δεν θα πρέπει να γίνει σε καμιά περίπτωση, γιατί κανένα ιδιωτικό οικονομικό συμφέρον δεν μπορεί να έχει προτεραιότητα έναντι του κοινού συμφέροντος που είναι: κανένας νέος λιγνιτικός σταθμός. Δεν θα πρέπει επίσης να υπερτιμάται ο ρόλος του φυσικού αερίου για το ξεπέρασμα της λιγνιτικής εποχής. Μπορεί να επιβαρύνει λιγότερο το περιβάλλον σε σχέση με το λιγνίτη και το πετρέλαιο, δεν παύει να είναι ορυκτό καύσιμο όμως και να συμβάλει και αυτό στην επιδείνωση των κλιματικών αλλαγών. Έτσι θα έπρεπε να στραφεί επιτέλους ο άνθρωπος στο χώρο της καθαρής ενέργειας. Να περάσει σε μια αποκεντρωμένη διασπαρμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βασισμένης στις ΑΠΕ. Να καταφύγει σε αποκεντρωμένα, τοπικά, μικρά και ευέλικτα συστήματα, όπως τα αιολικά, τα φωτοβολταϊκά, τους ηλιοθερμικούς σταθμούς, τα συστήματα της βιομάζας, της γεωθερμίας και των μικρών υδροηλεκτρικών. Επίσης στο σχεδιασμό πιο έξυπνων δικτύων διανομής, χωρίς απώλειες μεταφοράς (με τη σημερινή υπερσυγκεντρωμένη ηλεκτροπαραγωγή, υπάρχουν απώλειες 10%) (Αθανασίου Γεώργιος, 2001).

Ενδεικτικό το παράδειγμα της Ισπανίας που καθιστά υποχρεωτική τη χρήση ηλιακής ενέργειας στα νέα κτίρια στο πλαίσιο του νέου οικοδομικού κώδικα που προωθεί την εξοικονόμηση ενέργειας. Συγκεκριμένα, η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να καλύπτει το 30% με 70% της κατανάλωσης ρεύματος για ζεστό νερό, ενώ τα εμπορικά κέντρα και τα νοσοκομεία, πρέπει υποχρεωτικά να εξοπλιστούν με φωτοβολταϊκά συστήματα για να καλύπτουν μέρος των ενεργειακών τους απαιτήσεων. "Οι νέες προδιαγραφές θα προσφέρουν εξοικονόμηση ενέργειας κατά 30-40% για κάθε κτίριο και μείωση της εκπομπής CO₂ από την κατανάλωση ενέργειας κατά 40-55%" αναφέρει κοινή ανακοίνωση των υπουργείων Περιβάλλοντος και Στέγασης. Επίσης η Ισπανία ανακοίνωσε ότι θα κατασκευάσει στην Ανδαλουσία μια από τις μεγαλύτερες μονάδες ηλιακής ενέργειας στον κόσμο. Βέβαια το ζήτημα της ενέργειας είναι και κοινωνικό. Πρέπει να γίνει κάτι δραστικό όσον αφορά και στη ζήτησή της. Εδώ και χρόνια στην Ελλάδα υπάρχει ρυθμός αύξησης της ζήτησης κατά 4% το χρόνο (στην ΕΕ: 1-2%). Με τέτοιους ρυθμούς η λύση δεν θα είναι ούτε οι ΑΠΕ, ούτε το φυσικό αέριο, αλλά ούτε ο λιγνίτης, είναι η συνείδηση του ίδιου του ανθρώπου. Για το πέρασμα στην εποχή της καθαρής ενέργειας και της ηλιακής οικονομίας η εξοικονόμηση ενέργειας πρέπει να είναι η πρώτη προτεραιότητα του ενεργειακού σχεδιασμού της χώρας (Kerry Emanuel, 2008).

2.3.6.4. Κίνηση των Ελλήνων πολιτών για την ελάττωση του φαινομένου του θερμοκηπίου

Στην Ελλάδα, όλο αυτό το διάστημα δεν γινόταν καν λόγος για το θερμοκήπιο. Ακόμα και όταν τα καιρικά φαινόμενα άρχιζαν να προβληματίζουν πολλούς, επιστρατεύονταν επιστήμονες που καθυσύχάζαν λέγοντας ότι τέτοια φαινόμενα είχαμε πάντα στο παρελθόν. Οι κυβερνήσεις των τελευταίων ετών επαναπαύονταν στο «κέρδος» της δυνατότητας για νόμιμη αύξηση των εκπομπών «ισοδύναμου»(ι) διοξειδίου του άνθρακα κατά 25% , που δόθηκε στα πλαίσια των συμφωνιών του Κιότο για την Ευρώπη των 15. Δεν πήραν καμία πρωτοβουλία για μείωση των εκπομπών . Έτσι η χώρα συνολικά από άποψη κατανάλωσης ενέργειας και εκπομπών βρίσκεται στην 17^η θέση στην παγκόσμια κατάταξη ενώ αυξάνει ανεξέλεγκτα τις εκπομπές και έχει φθάσει να είναι 5^η παγκοσμίως στην αύξησή τους. Πρωταγωνιστής μάλιστα σε αυτή την κούρσα εκπομπών είναι η ΔΕΗ με τα εργοστάσια πετρελαίου στα νησιά και λιγνίτη στη στεριά. Το βάρος λοιπόν του «να αλλάξουν όλα όσα αλλάζουν το κλίμα» πέφτει πάλι στους ώμους των πολιτών. Πολλά αιτήματα μπορούν και πρέπει να διατυπωθούν καθώς και να προωθηθούν οργανωμένα με όλους τους δυνατούς τρόπους προς την εκάστοτε Κυβέρνηση , τους Δήμους και την Τοπική Αυτοδιοίκηση .Όπως για παράδειγμα απαίτηση για ένα πρόγραμμα εξοικονόμησης ενέργειας και χρήσης ήπιων μορφών της στα ήδη υπάρχοντα κτίρια, ξεκινώντας από τα δημοτικά και τα δημόσια, ιδιαίτερα από τα σχολεία.(π.χ. φυσικό αέριο και βιοαέριο για οικιακές χρήσεις, οικονομικές λάμπες, ταράτσες με φωτοβολταϊκά, κάλυψη των νότιων πλευρών των κτιρίων με φυλλοβόλα αναρριχητικά και δένδρα, ώστε το καλοκαίρι να δροσίζονται τα κτίρια και όπου δυνατόν ,θερμοκήπια στη νότια πλευρά για θερμική άνεση το χειμώνα και αποφυγή των ενεργοβόρων κλιματιστικών το καλοκαίρι).Βιοκλιματικός σχεδιασμός των νέων κτιρίων και μείωση των συντελεστών δόμησης ,μικρά αιολικά από τους δήμους και από μη κερδοσκοπικές εταιρείες λαϊκής βάσης κ.λ.π. Μετακινήσεις με δημόσια μέσα συγκοινωνίας και περιορισμό της αυτοκίνησης κ.ο.κ.

Πάρα πολλά όμως μπορούν να γίνουν και από τους ίδιους προς αυτήν την κατεύθυνση. Γιατί το όλο πρόβλημα συνδέεται με τον τρόπο ζωής και την καταναλωτική συμπεριφορά του καθένα:

ι) Να πιέζουν τη ΔΕΗ με διάφορες παραστάσεις(π.χ. γράμματα ή μαίηλ) και να απαιτούν παραγωγή ρεύματος από τον ήλιο και τον αέρα. Το ίδιο να κάνουν και με τις άλλες ενεργοβόρες Βιομηχανίες.

ii) Να απαιτούν από τους κατασκευαστές των κτιρίων τους να κτίζουν με προδιαγραφές καλής και υγιεινής μόνωσης και όπου δεν υπάρχει να ζητούν εκ των υστέρων. Αν είναι ιδιοκτήτες να απαιτούν από τους μηχανικούς και εργολάβους να μελετούν και να κατασκευάζουν τις κατοικίες τους με προδιαγραφές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής και εξοικονόμησης ενέργειας.

iii) Να κάνουν όπου είναι δυνατόν εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών ή αιολικών συστημάτων καθώς και συλλεκτών για θέρμανση και ζεστό νερό. Να απαιτήσουν κρατικές επενδύσεις για βελτίωση και μείωση κόστους των παραπάνω συστημάτων, για τα οποία οι συνθήκες στη χώρα μας είναι πολύ ευνοϊκές.

iv) Να κάνουν οι ίδιοι εξοικονόμηση ηλ. Ενέργειας στο σπίτι με αλλαγή συμπεριφοράς όπως π.χ. να μη καινέ φώτα όταν δεν χρειάζεται, να βάλουν οικονομικές λάμπες, να μην είναι αναμμένη η τηλεόραση όταν δεν χρειάζεται(αν και «όταν κλείσει η τηλεόραση αρχίζει η ζωή» λέει γνωστό σύνθημα), φυσικά ούτε να είναι συνέχεια στο “Stand by”. Να μη χρησιμοποιούν ηλεκτρικές συσκευές για εργασίες που μπορούν να γίνονται απλά με το χέρι (π.χ. ηλεκτρική οδοντόβουρτσα , μίξερ, κοπής ψωμιού κ.λ.π.). Να μην αφήνουν τη μηχανή του καφέ αναμμένη, αλλά να βάζουν τον καφέ σε θερμός για να διατηρείται ζεστός.

v) Να είναι γενικά πληροφορημένοι και να αγοράζουν τις πιο οικονομικές συσκευές από άποψη κατανάλωσης(πληρώνοντας έστω και λίγο παραπάνω). Σε καμιά περίπτωση ηλεκτρική κουζίνα, αλλά κουζίνα γκαζιού. Οικονομικά από άποψη κατανάλωσης μαγειρικά σκεύη και χρήση οπωσδήποτε σκεπασμάτων στις χύτρες κ.λ.π. Με μια τέτοια συμπεριφορά στο σπίτι, οι ειδικοί υπολογίζουν ότι ο καταναλωτής μπορεί να εξοικονομήσει μέχρι και 70% του ηλεκτρ. Ρεύματος που χρειάζεται με μια συμβατική συμπεριφορά και αυτό χωρίς να παραιτηθεί από τις «ανέσεις του.

vi) Να απαιτήσουν βελτίωση των μέσων μαζικής συγκοινωνίας από το κράτος και τους δήμους. Να οργανώσουν έτσι τη ζωή τους και την εργασία τους ,ώστε να μη τους είναι αναγκαίες οι πολλές μετακινήσεις.

vii) Σαν παραγωγοί από την άλλη να επιλέγουν όσο το δυνατό μη ενεργοβόρες μεθόδους παραγωγής καθώς και υλικά που έχουν παραχθεί με όσο γίνεται λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. (Αθανασίου Γεώργιος, 2001)

2.4. Θερμοκηπικά αέρια

Οι υδρατμοί έχουν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παρ' όλα αυτά η παρουσία τους στην ατμόσφαιρα επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για το λόγο αυτό, η συζήτηση σε αυτή την ενότητα θα περιορισθεί στα αέρια εκείνα των οποίων οι συγκεντρώσεις στην ατμόσφαιρα αυξάνονται σημαντικά λόγω της ανθρώπινης παρέμβασης (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

Τα κυριότερα αέρια της ατμόσφαιρας που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου (ανθρωπογενής συνιστώσα), καθώς και ο βαθμός συνεισφοράς τους φαίνονται στον πίνακα 1.1, ενώ πληροφορίες για το κάθε αέριο ξεχωριστά δίνονται στις παραγράφους που ακολουθούν.

<i>Αέριο</i>	<i>Συνεισφορά (%)</i>
<i>Διοξείδιο του Άνθρακα</i>	<i>50-60</i>
<i>Χλωροφθοράνθρακες</i>	<i>15-25</i>
<i>Μεθάνιο</i>	<i>12-20</i>
<i>Υποξείδιο του Αζώτου</i>	<i>5</i>
<i>Οζόν και Άλλα αέρια</i>	<i>11</i>

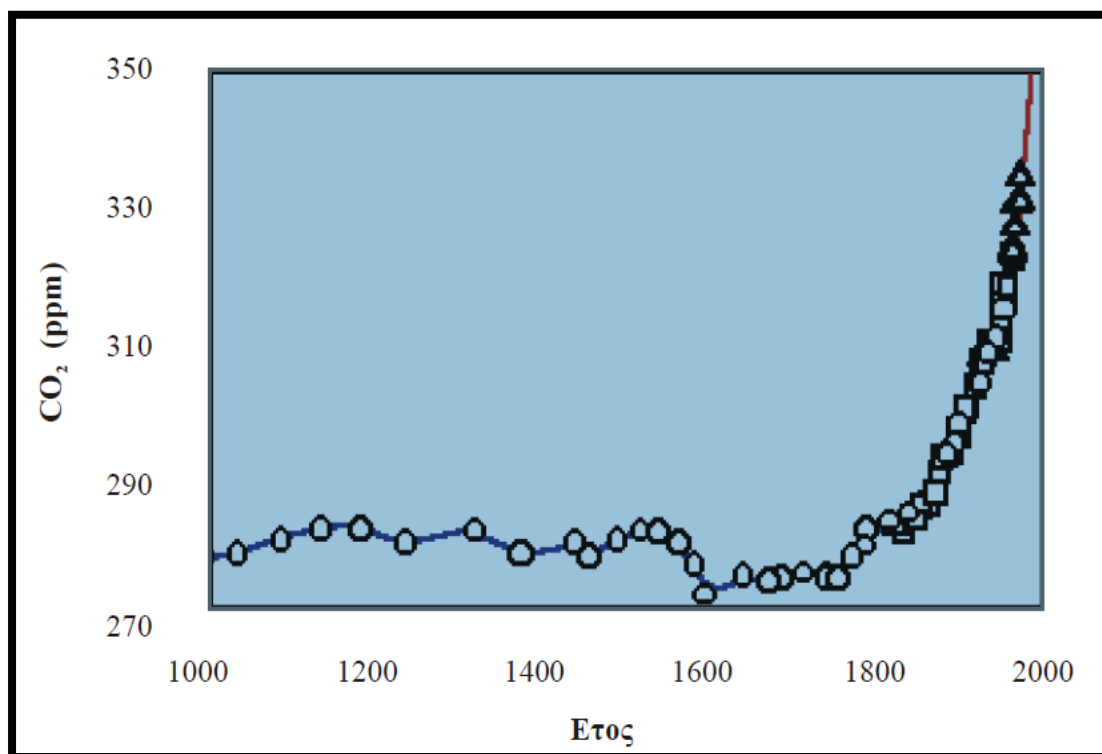
Πίνακας 2.1: Θερμοκηπικά αέρια και ο βαθμός συνεισφοράς τους

- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Η συνεισφορά του διοξειδίου του άνθρακα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι καταλυτική. Εκλύεται άμεσα στην ατμόσφαιρα από τη χρήση ορυκτών καυσίμων και έμμεσα από την εκχέρωση δασικών εκτάσεων. Τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα εκτιμάται ότι αυξάνονται κατά 3 – 4% κάθε δεκαετία και κατά 0,4 – 0,5% περίπου κάθε χρόνο. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, αν συνεχίσει ο ίδιος ρυθμός αύξησης των καύσεων πάνω στον πλανήτη, η συγκέντρωση του CO₂ το έτος 2030 θα έχει διπλασιαστεί. Μία τέτοια αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂

πιθανολογείται ότι θα προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3 – 5 °C. Όμως, ακόμη και αν σταματήσει η αυξανόμενη εκπομπή του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, η αποκατάστασή του στα επιθυμητά επίπεδα θα καθυστερήσει πολύ. Σημειώνεται ότι το διοξείδιο του άνθρακα έχει χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα 5 – 7 χρόνια.

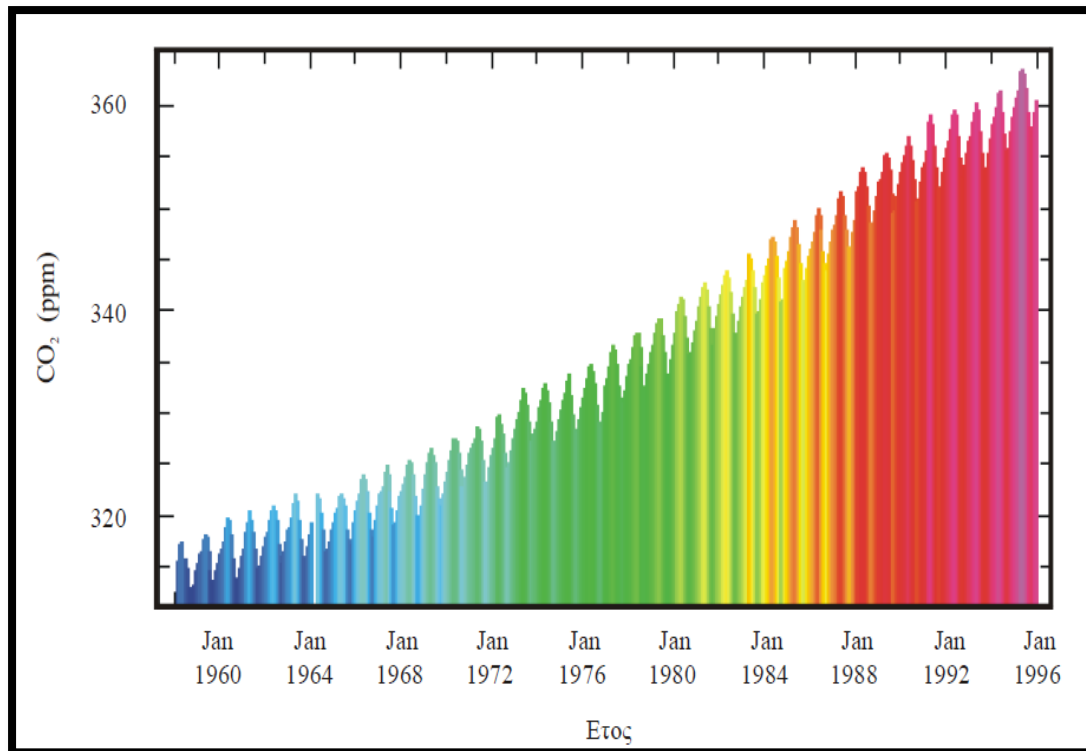
Οι συγκεντρώσεις του CO₂ στην ατμόσφαιρα είναι γνωστές με ακρίβεια από το 1958 αλλά, με βάση μετρήσεις στον πάγο και των ισοτόπων του άνθρακα στους δακτυλίους των δέντρων, έχουν υπολογιστεί και για τις τελευταίες χιλιετίες. Κατά τη διάρκεια της τελευταίας περιόδου των παγετώνων, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα προσδιορίστηκαν στα 200 ppm (μέρη στο εκατομμύριο) αλλά, στο τέλος της περιόδου αυτής, πριν περίπου 15.000 χρόνια, βρέθηκε ότι εκτοξεύτηκαν στα 280 ppm. Ήταν η περίοδος που η γη άρχισε να ζεσταίνεται και σε λιγότερο από 10.000 χρόνια εξελίχθηκε από ένα πλανήτη στον οποίο πολύ μεγάλα ποσοστά της επιφάνειάς του ήταν καλυμμένα με πάγο, στον σημερινό, που ουσιαστικά είναι ελεύθερος από πάγους. Στο διάγραμμα του σχήματος 1.4, φαίνονται οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα έτσι όπως εκτιμήθηκαν με βάση τις μετρήσεις στους πάγους της Ανταρκτικής (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).



Σχήμα 2.7: Εξέλιξη των συγκεντρώσεων του διοξειδίου του άνθρακα την τελευταία χιλιετία (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000)

Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα μετράται με πολύ καλή ακρίβεια από το 1957 σε δύο σταθμούς στον κόσμο. Ο πρώτος βρίσκεται στο Manua Loa στη Χαβάη και ο δεύτερος στο Νότιο Πόλο. Και οι δύο σταθμοί παρέχουν σημαντικότερες πληροφορίες για τη διαχρονική εξέλιξη του διοξειδίου του άνθρακα. Από τις μετρήσεις αυτές, φαίνεται καθαρά η ανοδική πορεία της συγκέντρωσης του CO₂. Επίσης, μπορεί κανείς να παρατηρήσει μία μεταβολή στο ρυθμό αύξησης του CO₂ μετά το έτος 1968.

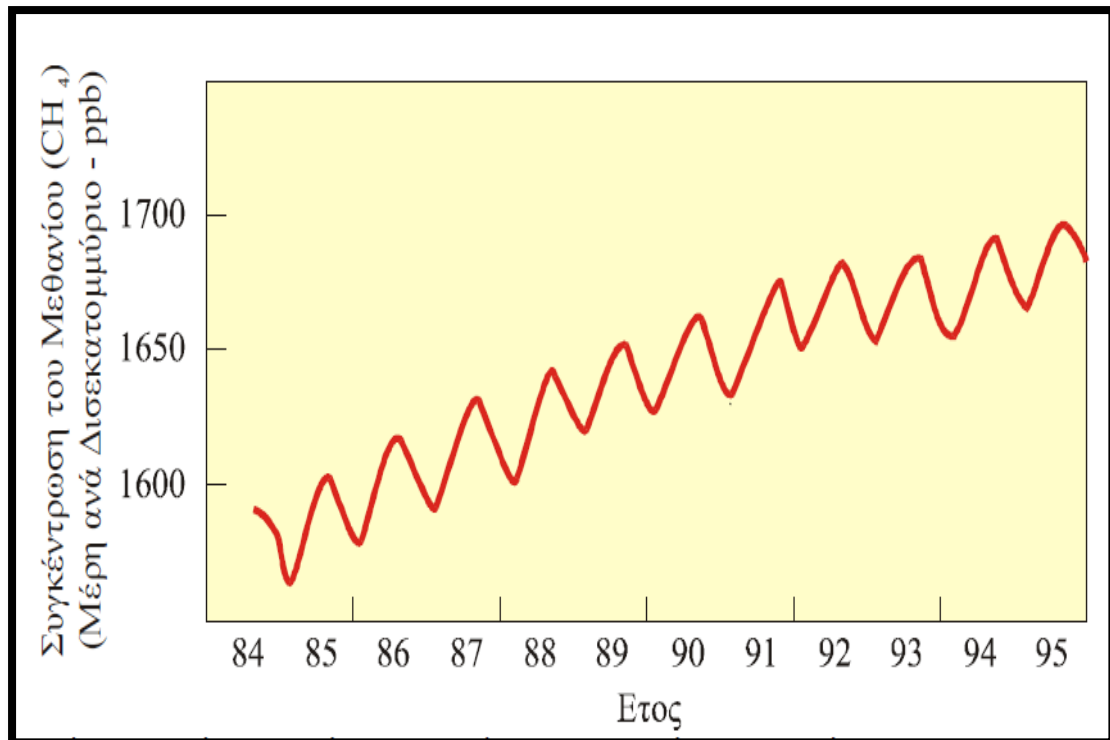
Το κατά πόσο μπορεί να προβλεφθεί η μελλοντική εξέλιξη των συγκεντρώσεων του CO₂, εξαρτάται από την ικανότητα εκτίμησης της ποσότητας των ορυκτών καυσίμων που θα καταναλωθούν κατά τα επόμενα έτη και του ποσοστού του εκπεμπόμενου CO₂ που θα παραμείνει στην ατμόσφαιρα. Αν η παγκόσμια κατανάλωση καυσίμων συνεχιστεί με τον ίδιο ρυθμό, εκτιμάται ότι θα παρατηρείται αύξηση του CO₂ κατά περίπου 4% ανά δεκαετία. Συγχρόνως όμως, αναμένεται μία ελάττωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων σαν συνέπεια της αυξανόμενης χρήσης των ήπιων μορφών ενέργειας. Επίσης, δεν θα πρέπει να λησμονήσουμε τη σημαντική συνεισφορά των ωκεανών στα επίπεδα του CO₂. Οι ωκεανοί λειτουργούν σαν μια τεράστια αποθήκη CO₂, το οποίο δεσμεύεται από το φυτοπλαγκτόν κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης. Με το θάνατο των φυτοπλαγκτονικών οργανισμών, ένα μεγάλο ποσοστό του παραμένει κάτω από την επιφάνεια των ωκεανών. Μια αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας (λόγω φαινομένου του θερμοκηπίου) ενδέχεται να οδηγήσει σε άνθηση του φυτοπλαγκτού και κατά συνέπεια σε αύξηση της δέσμευσης του ατμοσφαιρικού CO₂. Παρόλα αυτά, δεν αναμένεται ο ρυθμός αύξησης του CO₂ στην ατμόσφαιρα να γίνει μικρότερος από 2% ανά δεκαετία, για τις πρώτες δεκαετίες του 21ου αιώνα (Kerry Emanuel, 2008).



Σχήμα 2.8: Μηνιαίες συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Οι μετρήσεις προέρχονται από το παρατηρητήριο Mauna Loa στη Χαβάη των Η.Π.Α. (Kerry Emanuel, 2008)

- Μεθάνιο (CH_4)

Παράγεται κυρίως κατά τη βακτηριακή αποσύνθεση της οργανικής ύλης (αναερόβια σήψη) στις καλλιέργειες ρυζιού, στους χώρους απόθεσης απορριμμάτων και από το πεπτικό σύστημα των μηρυκαστικών ζώων. Αυξάνεται κάθε χρόνο κατά 1 – 2%, ως αποτέλεσμα της ολοένα αυξανόμενης κατανάλωσης τροφίμων από τους κατοίκους των ανεπτυγμένων περιοχών του πλανήτη. Το μεθάνιο έχει χρόνο ζωής 10 χρόνια και το ποσοστό συνεισφοράς του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου εκτιμάται ότι είναι 12 – 20%. Στο διάγραμμα του σχήματος 1.6, που ακολουθεί, φαίνονται οι συγκεντρώσεις μεθανίου για το χρονικό διάστημα 1984 – 1996.



Σχήμα 2.9: Μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις του μεθανίου στην ατμόσφαιρα.

- Υποξείδιο του αζώτου (N_2O)

Παράγεται από βακτηριακή δράση στο νερό και το χώμα, από τη διάσπαση αζωτούχων λιπασμάτων και από την καύση των ορυκτών καυσίμων ως υποπροϊόν. Κάθε χρόνο τα επίπεδά του αυξάνονται κατά 0,25 – 0,4%, ενώ μπορεί να παραμείνει στην ατμόσφαιρα μέχρι και 170 περίπου 4 – 6%.

- Τροποσφαιρικό όζον (O_3)

Το 75% σχεδόν του τροποσφαιρικού όζοντος παράγεται με τη φωτοχημική δράση του ηλιακού φωτός σε αέριους ρύπους όπως τα οξείδια του αζώτου και οι υδρογονάνθρακες. Η ετήσια αύξησή του φτάνει το 2%, ενώ ο χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα δεν ξεπερνάει τις 3 εβδομάδες. Το ποσοστό συνεισφοράς του στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι 10 – 12%.

- Χλωροφθοράνθρακες (CFC's) και halons

Πρόκειται για χημικές ενώσεις που χρησιμοποιούταν, μέχρι πρόσφατα, ευρέως στα ψυγεία και τα συστήματα κλιματισμού ως ψυκτικά υγρά και στα διάφορα σπρέι ως

προωθητικά αέρια. Η συγκέντρωσή τους στην ατμόσφαιρα παρουσίαζε ετήσια αύξηση της τάξης του 6% ωστόσο, μετά την εφαρμογή των διεθνών συνθηκών, η παραγωγή τους έχει μειωθεί στο ελάχιστο. Ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα ανέρχεται πιθανόν σε εκατοντάδες χρόνια και για το λόγο αυτό οι συνέπειές τους θα είναι αισθητές και τον αιώνα που διανύουμε. Είναι ευρύτερα γνωστά λόγω του ρόλου τους στην αραίωση της στοιβάδας του όζοντος. Συνεισφέρουν όμως και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου κατά 15 – 25% (Kerry Emanuel, 2008).

2.4.1. Πηγές Εκπομπής των αερίων

Τα αέρια, που ευθύνονται για την ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, εκλύονται από ανθρώπινες δραστηριότητες που αφορούν κυρίως:

- 1) Τον ενεργειακό τομέα (συμπεριλαμβανομένων και των μεταφορών), που με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, πετρέλαιο, βενζίνη κ.λ.π.) ευθύνεται για το 50% των συνολικών εκπομπών. Από τις εκπομπές αυτές, το 40% αφορά το διοξείδιο του άνθρακα, ενώ το υπόλοιπο 10% περιλαμβάνει άλλα αέρια, με κυριότερα το μεθάνιο, το τροποσφαιρικό όζον, το μονοξείδιο του άνθρακα και άλλες ενώσεις.
- 2) Την παραγωγή και χρήση συνθετικών χημικών ουσιών, όπως οι χλωροφθοράνθρακες ή τα halons.
- 3) Την αποψίλωση δασικών εκτάσεων, που συνεισφέρει στην παραγωγή επιπλέον αερίων του θερμοκηπίου κατά 15%. Από τα αέρια αυτά, κυριότερο είναι το διοξείδιο του άνθρακα – που αποτελεί περίπου το 10% - ενώ η καύση και η αποσύνθεση των δασών αποτελούν πηγές υποξειδίου του αζώτου, μονοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου, που καλύπτουν το υπόλοιπο 5%.
- 4) Τη γεωργία, που ευθύνεται για το 15% των εκπομπών, με κυριότερα αέρια το μεθάνιο, που προέρχεται από την εκτροφή βοοειδών και τις καλλιέργειες ρυζιού, το υποξείδιο του αζώτου, που απελευθερώνεται λόγω της χρήσης λιπασμάτων και το διοξείδιο του άνθρακα, που εκλύεται από γεωργικές βιομηχανίες.

2.4.2. Ο ρόλος των αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια (αερολύματα) είναι υπεύθυνα για μια ακόμη ανθρώπινη επίδραση στο κλίμα. Σε αυτή την περίπτωση, όμως, το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό. Τα αιωρούμενα σωματίδια αυξάνουν την ανακλαστικότητα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να φθάνει στην επιφάνεια της γης λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό έχει σαν συνέπεια την μείωση της θερμοκρασίας.

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατό να προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές. Τα φυσικά αιωρήματα (κυρίως σκόνη από τις ηπείρους και άλατα μαζί με θειούχες ενώσεις από τους ωκεανούς) έχουν σταθερή πυκνότητα τουλάχιστον κατά τον τελευταίο αιώνα. Επομένως δεν μπορεί να έχουν επιφέρει ανιχνεύσιμες αλλαγές στο κλίμα. Επίσης, τα αιωρούμενα σωματίδια ηφαιστειακής προέλευσης δεν επηρεάζουν το κλίμα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, η έκρηξη του Pinatubo το 1991 (εικόνα 1.7) είχε σαν αποτέλεσμα μια τοπική ψύξη διάρκειας λίγων ετών. Αντίθετα, τα ανθρωπογενή αιωρήματα στην ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί δραματικά, κυρίως μετά το 1950 (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).



Σχήμα 2.10: Εκπομπή ηφαιστειακών αερίων από το ηφαίστειο του Pinatubo (12 Ιουνίου 1991). Η φωτογραφία έχει ληφθεί από απόσταση 20 km ανατολικά του ηφαιστίου. Ο θύσανος των αερίων φτάνει μέχρι το ύψος των 18 km. Ακολούθησε μία

σειρά εκρήξεων, σε μία εκ των οποίων (15 Ιουνίου 1991) το ύψος του θυσάνου έφτασε τα 40 km. Τα ηφαιστειακά αέρια εισχώρησαν στην περίπτωση αυτή ψηλά στη στρατόσφαιρα (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

2.5. Κλιματική Αλλαγή

Το κλίμα της γης εμφανίζει και φυσικές μεταβολές, οι οποίες δυσκολεύουν την αναγνώριση των μεταβολών που οφείλονται στην επίδραση του ανθρώπου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα, στο παρελθόν, να αμφισβητηθούν οι ενδείξεις που υπήρχαν για αλλαγή του κλίματος. Παρ' όλα αυτά, τα τελευταία χρόνια υπάρχει συμφωνία μεταξύ των επιστημόνων ότι το κλίμα της γης άρχισε ήδη να προσαρμόζεται στα υψηλά επίπεδα των θερμοκηπικών αερίων, τα οποία οφείλονται στις ανθρωπογενείς εκπομπές των προηγούμενων ετών. Οι ενδείξεις είναι σημαντικές:

- Οι μετρήσεις δείχνουν ότι η παγκόσμια θερμοκρασία αυξήθηκε κατά περίπου 0.3°-0.6°C από το 1860. Η θέρμανση αυτή δεν μπορεί να εξηγηθεί από τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος. Η αύξηση φαίνεται μικρή αλλά αφορά τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη (όλα τα χρόνια κάποιες περιοχές είναι θερμότερες και κάποιες άλλες ψυχρότερες από το κανονικό).
- Τα δεκατέσσερα θερμότερα έτη, από την εποχή που ξεκίνησαν οι μετρήσεις, συνέβησαν μετά το 1980 (βέβαια το ρεκόρ καταρρίπτεται κάθε φορά μόνο για λίγα εκατοστά του βαθμού).
- Η μέση στάθμη της θάλασσας έχει ανέβει κατά 10-25 εκατοστά.

2.5.1. Αίτια αλλαγής του κλίματος

Το κλίμα παρουσιάζει, και θα παρουσιάζει για πάντα, αποκλίσεις που οφείλονται σε φυσικά αίτια. Οι φυσικές αυτές αιτίες συμπεριλαμβάνουν τις ανεπαίσθητες μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας, τις ηφαιστειακές εκρήξεις, οι οποίες μπορούν να καλύψουν τη γη με σκόνη που αντανάκλα την ηλιακή θερμότητα στο διάστημα, καθώς και τις φυσικές αποκλίσεις του ίδιου του κλιματικού συστήματος.

Εντούτοις, οι φυσικές αιτίες μπορούν να εξηγήσουν μόνο ένα μικρό μέρος αυτής της θέρμανσης. Η συντριπτική πλειοψηφία των επιστημόνων συμφωνεί ότι οφείλεται στην αυξανόμενη συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, τα οποία δεσμεύουν τη θερμότητα, και ευθύνονται οι ανθρώπινες δραστηριότητες γι' αυτό.

Όλοι οι οργανισμοί δέχονται την επίδραση του περιβάλλοντος και των άλλων όντων και με τη σειρά τους επιδρούν πάνω τους, έτσι ώστε να δημιουργείται μια ενότητα σχέσεων που χαρακτηρίζεται από τη δυναμική ισορροπία, που τη διέπει. Κάτω από φυσιολογικές συνθήκες η ισορροπία αυτή δε διαταράσσεται και η φύση μένει ανεπηρέαστη από τις λειτουργικές δραστηριότητες των ζώων και των φυτών. Τα φυτά με τη φωτοσύνθεση σχηματίζουν οργανικές ουσίες, τρώγονται από τα φυτοφάγα ζώα και αυτά με τη σειρά τους από τα σαρκοφάγα, σε μίαν αλληλουχία που ονομάζεται τροφική αλυσίδα. Ο θάνατος των σαρκοφάγων επιστρέφει στο έδαφος τις ουσίες που περιέχουν και με ανόργανη μορφή απορροφούνται από τις φυτικές ρίζες για να ξαναρχίσει ο κύκλος της ζωής. Είναι λοιπόν ευνόητο ότι η διατήρηση ενός είδους εξαρτάται από τη διατήρηση των άλλων, γιατί κανένας οργανισμός δεν μπορεί να ζήσει μόνος του. Αν καταστραφεί ο βίοτοπος, δηλαδή ο χώρος που ζει ένα είδος, αυτόματα θα καταστραφεί και το ίδιο το είδος, αφού δε θα βρίσκει τροφή, π.χ. η απελευθέρωση αερίων που προκαλούν σοβαρές βλάβες στα φυτά (όπως το διοξείδιο του θείου) σημαίνει αντίστοιχη βλάβη των ζώων που εξαρτώνται απ' αυτά.

Πολλά από τα δυσάρεστα αυτά αποτελέσματα έχει προκαλέσει ο άνθρωπος από τότε που εμφανίστηκε και ιδιαίτερα από τότε που ανέπτυξε τη βιομηχανία. Στην αρχή της ζωής του δεν είχε μολύνει το περιβάλλον του, γιατί ζούσε όπως και τα άλλα ζώα, κυνηγός και κυνηγημένος. Όταν στη νεολιθική εποχή και για πρώτη φορά στην περιοχή της Μεσοποταμίας έγινε η γεωργική επανάσταση, άλλαξε τελείως ο τρόπος της ζωής του, αλλά και ο τρόπος της επίδρασής του πάνω στη φύση. Έκοψε δάση για να κάνει χωράφια και να χτίσει σπίτια, κυνήγησε έντονα ζώα που του κατέστρεφαν τις καλλιέργειες. Παρ' όλα αυτά δεν προκάλεσε σοβαρές καταστροφές σ' αυτό το στάδιο της εξέλιξής του. Τα πράγματα έγιναν πολύ πιο σοβαρά όταν η ανακάλυψη των αποικιών προκάλεσε τη βιομηχανική επανάσταση, η οποία είχε μερικά δυσάρεστα αποτελέσματα στην κοινωνική ζωή του ανθρώπου.

- Η νέα μορφή παραγωγής δεν μπορούσε να γίνει στο σπίτι, όπως η μέχρι τότε χειροτεχνική βιοτεχνία, και απαιτούσε ειδικούς χώρους, τα εργοστάσια, για την εγκατάσταση των μηχανών κ.λπ. Τα εργοστάσια δε διακρίνονται για τις εξαιρετικές υγιεινές συνθήκες δουλειάς που προσφέρουν κι έτσι χειροτέρεψε πριν απ' όλα ο τρόπος εργασίας του ανθρώπου. Υπάρχουν πολλές ασθένειες που θεωρούνται επαγγελματικές και προσβάλλουν σχεδόν εκλεκτικά ορισμένα επαγγέλματα.
- Ανάγκασε τους ανθρώπους να χτίσουν τα σπίτια τους εκεί που υπήρχαν εργοστάσια, για να μη βρίσκονται μακριά από τη δουλειά τους. Επειδή ούτε

πολεοδομικό σχέδιο ακολουθήθηκε ούτε σοβαρή ιατρική περίθαλψη υπήρχε, οι συνθήκες ζωής σ' αυτές τις πρώτες "φτωχογειτονιές" ήταν τραγικές. Η κατάσταση αυτή διαιωνίστηκε στις περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις και κατέληξε στα σημερινά αστικά κέντρα να γίνει μάλιστα. Μπορεί οικονομικά να συμφέρουν οι πόλεις, αλλά από οικολογική άποψη είναι από τους χειρότερους βιότοπους, γιατί έχουν υποστεί τεράστια μόλυνση.

- Η βιομηχανία χρειάζεται μέσα μεταφοράς των προϊόντων της, αυτό όμως σημαίνει πολλά αυτοκίνητα, πλοία και αεροπλάνα και φυσικά καταστροφή της βλάστησης για τη δημιουργία δρόμων και αεροδρομίων και λιμενικά έργα που αλλάζουν τις ακτές. Σημαίνει ακόμα καυσαέρια, κυκλοφοριακή συμφόρηση και άγχος χωρίς να υπολογίσουμε το θόρυβο που πολλοί τον θεωρούν αμελητέο, αλλά έχει αποδειχτεί ότι έχει φοβερή και μακροχρόνια επίδραση στο νευρικό σύστημα.
- Τόσο η βιομηχανία όσο και τα μέσα μεταφοράς, αλλά και τα σύγχρονα σπίτια χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Στην αρχή έφτανε η φυσική ενέργεια του ανέμου και του νερού, ύστερα όμως χρειάστηκαν πηγές, όπως το κάρβουνο και το πετρέλαιο. Αυτά όμως, και ιδιαίτερα το δεύτερο, παράγουν προϊόντα με πολύ βαριά επίδραση στη φύση. Ακόμα και αυτούσιο το πετρέλαιο δημιουργεί φοβερές μολύνσεις όταν χύνεται στη θάλασσα με τα ναυάγια, γιατί δημιουργεί ένα στρώμα πάνω στο νερό και εμποδίζει το φως να φτάσει στους θαλάσσιους φυτικούς οργανισμούς και να γίνει φωτοσύνθεση. Εκτός απ' αυτά που αναφέρθηκαν η αναζήτηση πρώτων υλών (μέταλλα κ.λπ.) προκάλεσε καταστροφές στη φύση με τα μεγάλα ορυχεία.

Το μεγαλύτερο όμως κακό ο άνθρωπος δεν το έκανε άμεσα, αλλά έμμεσα, δηλ. προκαλώντας υποβάθμιση των βιότοπων των άλλων οργανισμών. Θάνατος των δασών σημαίνει εξαφάνιση των ζώων που ζουν σ' αυτά και μείωση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας. Τα ποτάμια, οι λίμνες και οι θάλασσες έγιναν οι "σκουπιδότοποι" του ανθρώπου αποκτώντας τοξικές ουσίες που σκοτώνουν τους υδρόβιους οργανισμούς. Τα φυτά της ξηράς δηλητηριάζονται από τα τοξικά αέρια, τα περισσότερα από τα οποία είναι δηλητήρια και για τα ανθρώπινα όντα, προκαλώντας άμεσες επιδράσεις στο αναπνευστικό σύστημα ή επιδρώντας στα κύτταρα για τη δημιουργία καρκίνων. Τα πολλά λιπάσματα μεταφέροντα με τα νερά στις λίμνες και στις θάλασσες και προκαλούν υπερβολική αύξηση των φυτών, σήψη και θάνατο των ψαριών. Τέλος, τα εντομοκτόνα χωρίς να σκοτώνουν όλα τα έντομα, μπαίνουν στα φυτά από κει στα ζώα και ξαναγυρίζουν με το κρέας και το γάλα τους στον άνθρωπο. Πολλοί επιστήμονες, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, έχουν πια καταλάβει το μονόδρομο που

ακολουθεί η ανθρωπότητα προς την αυτοκαταστροφή και την έχουν προειδοποιήσει για τον κίνδυνο που την απειλεί. Και πολλοί άνθρωποι έχουν καταλάβει το πρόβλημα και οργανώνονται για την αντιμετώπισή του. Όλα αυτά βέβαια έχουν πολλή αρνητική επίδραση και στην αλλαγή του κλίματος που παρατηρείται ειδικά τις τελευταίες δεκαετίες και πιο συγκεκριμένα από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα φυσικό αέριο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα. Τα φυτά με την ανάπτυξή τους απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα, που, σε συνδυασμό με το νερό, δημιουργεί απλά σάκχαρα. Αυτά μετατρέπονται στη συνέχεια σε περισσότερες σύνθετες ενώσεις που αποτελούν τα συστατικά στοιχεία του φυτού. Η ενέργεια που χρειάζεται για τη διεργασία αυτή (φωτοσύνθεση) προέρχεται από τον ήλιο.

Όταν μαραίνεται ένα φυτό, όταν καίγεται ή τρώγεται από τα ζώα, το διοξείδιο του άνθρακα επιστρέφει πάλι στην ατμόσφαιρα. Ο κύκλος του άνθρακα συμβάλλει στη δημιουργία σταθερού περιβάλλοντος για όλα τα έμβια όντα, δηλαδή και για τον άνθρωπο. Τα προϊστορικά δάση απορρόφησαν εκατομμύρια τόνους διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Καθώς μεταβαλλόταν ο πλανήτης, τα δάση θάφτηκαν κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, και ο άνθρακας παρέμενε παγιδευμένος μέσα στα δέντρα.

Κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών η θερμότητα και η πίεση μετέβαλαν τα δέντρα σε πετρέλαιο, άνθρακα και φυσικό αέριο. Στα τελευταία εκατό χρόνια εξαντλήθηκαν, σε ενέργεια και μεταφορές, τα μισά από τα αποθέματα του πλανήτη σε ορυκτά καύσιμα - ελεύθερώνοντας με ταχείς ρυθμούς εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα και πάλι στην ατμόσφαιρα. Κάθε χρόνο ως αποτέλεσμα ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, δισεκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο) καθώς και άλλων αερίων, όπως το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα αλλάζοντας τη σύσταση των αερίων που παρέμενε σταθερή για δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η ανατροπή αυτή αναμένεται να αλλάξει δραστικά το κλίμα τις επρχόμενες δεκαετίες.

Η αλλαγή του κλίματος αμφισβητήθηκε στο παρελθόν και σε οποιεσδήποτε προσπάθειες για την έγκαιρη αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού αντέδρασαν λόμπι ισχυρών συμφερόντων. Πλέον όμως αυτή η πραγματικότητα είναι αδιαμφισβήτητη. Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες, τυφώνες και καύσωνες, το λιώσιμο μεγάλου ποσοστού των αιώνιων πάγων μέσα σε μερικές δεκαετίες και η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης είναι αδιαμφισβήτητες, δυστυχώς, αποδείξεις για ένα φαινόμενο που είναι ήδη πραγματικότητα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, τη διάβρωση των ακτών και την εμφάνιση πλημμυρών. Μπορεί να προκαλέσει ξηρασία, με συνέπειες για τον εφοδιασμό με νερό και για τις καλλιέργειες. Μπορεί επίσης να συνεπάγεται ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως καταιγίδες και τυφώνες, που προξενούν σοβαρές βλάβες σε κτίρια, δρόμους και υποδομή (επικοινωνίες, δίκτυα ύδρευσης και ηλεκτρισμού).

Ζωντανές είναι ακόμη οι εικόνες από τις επιπτώσεις των τυφώνων Ρίτα και Κατρίνα, που σάρωσαν πρόσφατα την Αμερική, σκοτώνοντας και ξεσπιτώνοντας χιλιάδες ανθρώπους. Το καλοκαίρι του 2003, καύσωνες σκότωσαν 18-23.000 ανθρώπους στην Ευρώπη, σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος, πυρκαγιές σαρώσανε τα τελευταία χρόνια στην Ισπανία, Γαλλία και Ιταλία, πλημμύρες και καταρρακτώδεις βροχές πολλές ευρωπαϊκές χώρες. Την τελευταία δεκαετία, εκδηλώθηκαν τρεις φορές περισσότερες φυσικές καταστροφές - κυρίως πλημμύρες και τυφώνες - στον κόσμο από ότι στην δεκαετία του '60, ενώ τετραπλασιάστηκε το κόστος των καταστροφών από παρόμοια φαινόμενα.

Σύμφωνα με το πόρισμα της Διακυβερνητικής Επιτροπής για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC), η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του πλανήτη αναμένεται να αυξηθεί από 1,4 έως 5,8 βαθμούς Κελσίου ως το 2100 αν συνεχίσει η εξάρτηση της ανθρωπότητας από τα ορυκτά καύσιμα. Μία άλλη έρευνα προβλέπει ότι το ένα τρίτο των ζωντανών οργανισμών πάνω στην γη θα εξαφανιστεί μέχρι το 2050 καθώς πολλοί από αυτούς δε θα μπορέσουν να προσαρμοστούν σε τόσο γρήγορα μεταβαλλόμενες συνθήκες. Ήδη έχει καταγραφεί αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 0,6 βαθμούς, ενώ στην Ευρώπη η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε κατά 0,9 βαθμούς Κελσίου.

Κορυφαίοι επιστήμονες διαπίστωσαν (αντίθετα με τα πορίσματα πρόσφατων ερευνών) ότι, ενώ η επίδραση του Ήλιου στο φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει μειωθεί, οι παράγοντες που οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα παίζουν όλο και πιο σημαντικό ρόλο.

Ο καθηγητής Μάικ Λόκγουντ από το Rutherford Appleton Laboratory δήλωσε ότι η μεταβολή του κλίματος μπορεί να έχει την αφετηρία της στη δραστηριότητα του Ήλιου, αλλά ανθρωπογενείς παράγοντες, όπως οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου καθώς και η διεύρυνση της τρύπας του όζοντος την ενδυναμώνουν σημαντικά. Από το 1970 και μετά, το φαινόμενο του θερμοκηπίου ενισχύθηκε ιδιαίτερα από την ανθρώπινη δραστηριότητα, και αυτό είναι μάλλον τρομακτικό, τόνισε ο Λόκγουντ.

Άλλοι επιστήμονες όμως, όπως ο Πάαλ Μπρέκε από το Solar and Heliospheric Observatory, θεωρούν ότι οι διακυμάνσεις της ακτινοβολίας του Ήλιου συνεισφέρουν

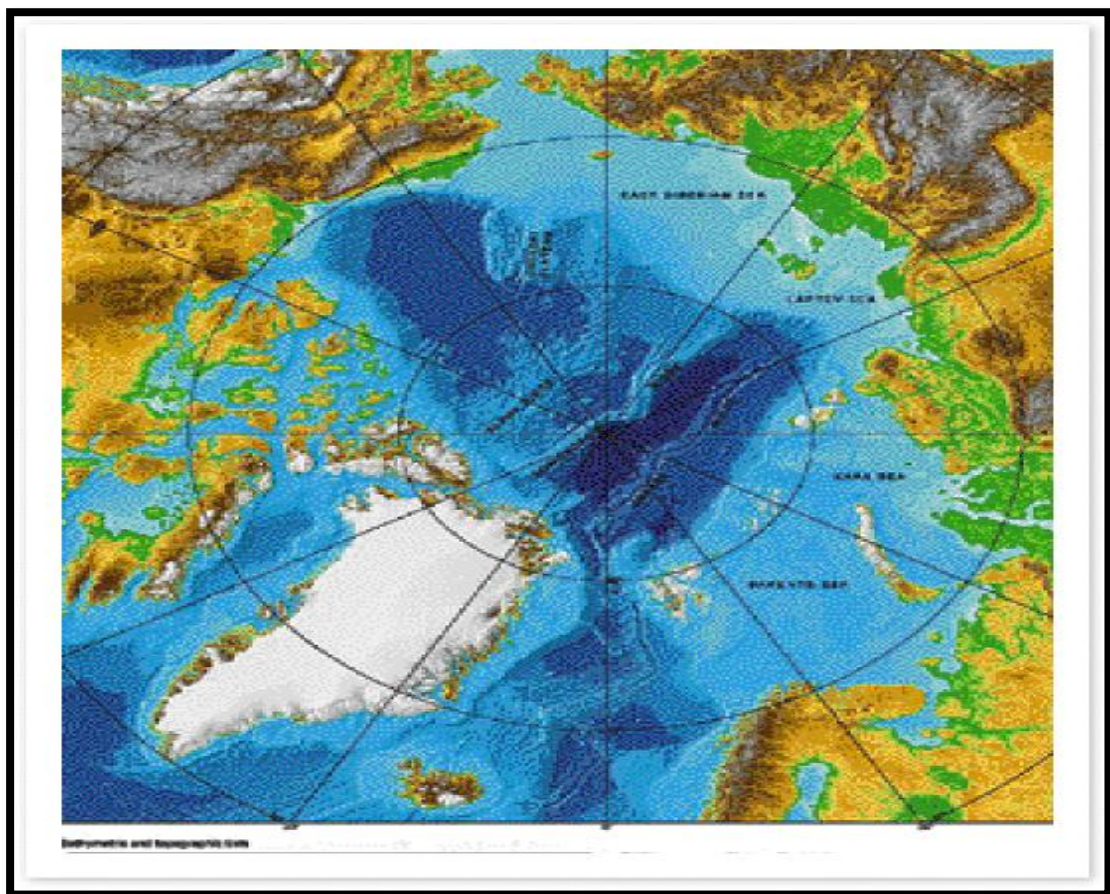
σημαντικά στην αλλαγή του παγκόσμιου κλίματος. Επίσης, ρόλο φαίνεται να παίζει και η ροή κοσμικής ακτινοβολίας, η οποία επηρεάζει τα νέφη της ατμόσφαιρας.

2.5.2. Συνέπειες αλλαγής του κλίματος

2.5.2.1. Πλανήτης

Οι πάγοι στην Ανταρκτική λιώνουν ταχύτατα και γλιστρούν προς τη θάλασσα προειδοποιούν οι επιστήμονες. Την ραγδαία και άκρως ανησυχητική αύξηση στον ρυθμό που λιώνουν οι πάγοι της Ανταρκτικής παρατηρούν εδώ και τρία χρόνια αμερικανοί επιστήμονες.

Τα αποτελέσματα δύο ξεχωριστών ερευνών, της NASA και ειδικών ερευνητών του κλίματος, που δόθηκαν πριν λίγες μέρες στη δημοσιότητα δείχνουν με απόλυτο τρόπο τις καταστροφικές επιπτώσεις που έχει η αλλαγή των κλιματολογικών συνθηκών του πλανήτη στον Νότιο πόλο της Γης, καθώς σε μερικές περιοχές της Ανταρκτικής, η ταχύτητα που λιώνουν τα παγετωνικά καλύμματα έχει αυξηθεί μέχρι και 8 φορές (Παπαδόπουλος Α., 2004).



Σχήμα 2.11. : Άποψη των πάγων στην Ανταρκτική (ΕΑΑ, 2003).

Οι μελέτες παρουσιάζουν ότι τα παγετωνικά καλύμματα ρέουν προς τη θάλασσα Weddell της Ανταρκτικής, τα οποία ελευθερώνονται από το παγόβουνο Larsen B που έσπασε το 2002. Και οι Αμερικανοί επιστήμονες πιστεύουν ότι η αύξηση στον ρυθμό που λιώνουν οι πάγοι της περιοχής οφείλεται στην κατάρρευση αυτού του γιγάντιου παγόβουνου της χερσονήσου LarsenB.

Αυτή ακριβώς τη συνέπεια επιβεβαιώνουν τώρα οι δύο έρευνες της NASA, η οποία χρησιμοποίησε δορυφορική φωτογράφιση για να χαρτογραφήσει τη ροή των τα παγετωνικών καλυμμάτων της περιοχής. Οι επιστήμονες συνέκριναν φωτογραφίες πέντε παγετώνων που είχαν ληφθεί το 2000, πριν από την κατάρρευση του Larsen, και το 2003, μετά την αποκόλλησή του και υπολόγισαν την ταχύτητα της ροής τους. Τατα παγετωνικά καλύμματα Χεκτόρια, Γκριν και Έβανς ταξίδευαν οκτώ φορές ταχύτερα το 2003 από ό,τι το 2000, ενώ οι παγετώνες Τζόρουμ και Κρέιν είχαν διπλάσια ταχύτητα στις αρχές του 2003 και τριπλάσια στο τέλος του περασμένου έτους (Παπαδόπουλος Α., 2004).

Και τα πέντε αυτά τα παγετωνικά καλύμματα ήταν μεταξύ εκείνων που η έξοδός τους προς τη θάλασσα ήταν μπλοκαρισμένη από τον παγετώνα Larsen. Οι δύο έρευνες δείχνουν ότι υπάρχει σημαντική σχέση ανάμεσα στις κλιματικές μεταβολές, την αποκόλληση των παγετώνων και τους ρυθμούς με τους οποίους οι πάγοι της Ανταρκτικής μεταφέρονται στη θάλασσα. Αυτό σημαίνει ότι, καθώς οι θερμοκρασίες γύρω από την ήπειρο ανέρχονται, οι πάγοι μεταφέρονται στη θάλασσα σε ολοένα και ταχύτερους ρυθμούς.

Γράφοντας στο περιοδικό *Geophysical Research Letters*, οι ερευνητές λένε ότι οι δορυφορικές μετρήσεις τους δείχνουν ότι η άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη μπορεί να οδηγήσει στη γρήγορη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι ομάδες, που ανήκουν στο Εργαστήριο Αεριοπροώθησης της NASA στην Πασαντένα, το Εθνικό Κέντρο Στοιχείων Πάγου στο Πανεπιστήμιο του Κολοράντο και το Κέντρο Διαστημικών Πτήσεων Goddard της NASA στο Μέρυλαντ, ανέφεραν ότι τα συμπεράσματα τους αποδεικνύουν, επίσης, ότι τα παγόβουνα συγκρατούν τους παγετώνες από το να πέσουν στη θάλασσα (Παπαδόπουλος Α., 2004).

Είναι δε γνωστό ότι πολλές ομάδες ερευνητών παρακολουθούν στενά τις παγωμένες τοποθεσίες της Ανταρκτικής που λιώνουν αργά αλλά σταθερά. Τα μεγάλα παγόβουνα στην Ανταρκτική χερσόνησο διασπάστηκαν το 1995 και το 2002 ως αποτέλεσμα της θέρμανσης του κλίματος. Όμως αυτά τα επιπλέοντα παγόβουνα δεν είχαν μέχρι τώρα καμιά επίπτωση στη στάθμη της θάλασσας καθώς έλειωναν. Αλλά, τα παγετωνικά καλύμματα είναι μια άλλη ιστορία. Στηρίζονται στο έδαφος και όταν γλιστρούν στο νερό έχουν επιπτώσεις αμέσως στη στάθμη της θάλασσας. Δεν ήταν όμως ξεκάθαρο στους ερευνητές αν η απώλεια του παγόβουνου Larsen B θα είχε

επιπτώσεις στους κοντινούς παγετώνες. Η αποκόλληση του παγετώνα αυτού, πάχους 220 μέτρων, δεν είχε επιπτώσεις στη στάθμη της θάλασσας, καθώς επέπλεε ήδη στον ωκεανό. Όμως, οι ειδικοί είχαν προβλέψει από τότε ότι αυτός ο παγετώνας, που λειτουργούσε σαν φρένο για τους εσωτερικούς παγετώνες, θα τους απελευθέρωνε, με συνέπεια την άνοδο της στάθμης των θαλασσών λόγω της τήξης των πάγων.

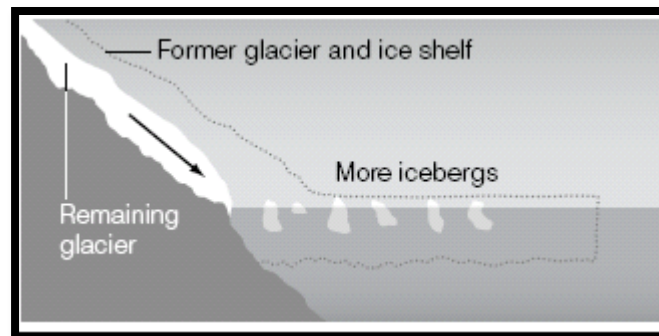
Αλλά σύντομα μετά από την κατάρρευσή του Larsen B, οι ερευνητές είδαν τους κοντινούς παγετώνες να λιώνουν μέχρι και οκτώ φορές γρηγορότερα από πριν. "Ο καθένας ήξερε ότι η Ανταρκτική θα επηρεαζόταν γρήγορα στη θέρμανση του κλίματος", είπε ο ελληνικής καταγωγής Δρ Θεόδωρος Σκάμπος, από το Πανεπιστήμιο του Κολοράντο και εμπειρογνώμονας στους παγετώνες, που εργάστηκε σε μια μελέτη. Σε περίπτωση που υπάρχει έστω και ένας άνθρωπος στη Γη που διερωτάται ακόμα αν η υπερθέρμανση του πλανήτη επηρεάζει το κλίμα της Ανταρκτικής, σήμερα είναι εφικτό με βεβαιότητα να δοθεί καταφατική απάντηση. 240 χιλιόμετρα ακτογραμμών αλλάζουν δραματικά μόνο σε 15 χρόνια" (Παπαδόπουλος Α., 2004).

Η περιοχή που επηρεάστηκε είναι στη πιο βόρεια άκρη της Ανταρκτικής, ακριβώς Νότια της Χιλής και της Αργεντινής. Οι θερμοκρασίες σε εκείνο το μέρος έχουν αυξηθεί κατά 2.5°C στα προηγούμενα 60 χρόνια, γρηγορότερα από σχεδόν οποιαδήποτε περιοχή στον κόσμο. Ενώ στα προηγούμενα 30 χρόνια για παράδειγμα, τα παγόβουνα στην περιοχή έχουν μειωθεί κατά 13.500 τετραγωνικά χιλιόμετρα. "Η περιοχή Larsen μπορεί να εξεταστεί σαν ένα πείραμα σε μια μικρή έκταση, ένα μικροσκοπικό πείραμα, δείχνοντας το πώς η θέρμανση μπορεί να λιώσει τα παγόβουνα, και το πόσο γρήγορα μπορεί να συμβεί αυτό", λέει ο Σκάμπος. Και συνεχίζει: Η διαδικασία αυτή, προχωράει γρηγορότερα από όσο αναμέναμε. Αλλά, δεν μπορεί όλο το φαινόμενο της τήξης του πάγου στην Ανταρκτική να θεωρηθεί σαν ένα "μικροσκοπικό πείραμα". Το παγόβουνο του Ross, παραδείγματος χάριν, είναι η κύρια έξοδος για το Παγόβουνο της Δυτικής Ανταρκτικής, με αρκετούς μεγάλους παγετώνες που θα μπορούσαν, εάν έλειωναν εντελώς, να αυξήσουν τη στάθμη της θάλασσας κατά 5 μέτρα.

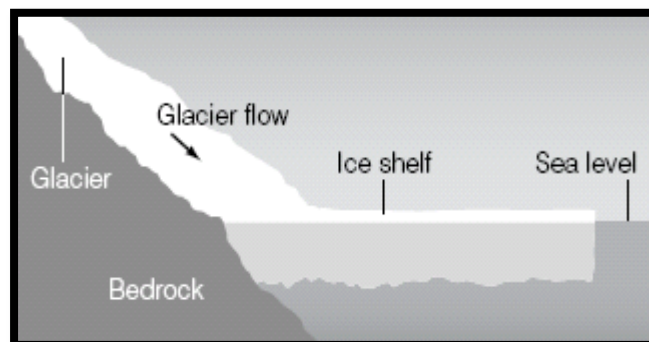
Ενώ οι συνέπειες αυτής της περιοχής είναι μικρές έναντι άλλων περιοχών της Ανταρκτικής, είναι μια προειδοποίηση για αυτό που θα συμβεί όταν τα μεγάλα παγόβουνα αρχίζουν να θερμαίνονται, συνεχίζει ο Σκάμπος. Τα πολύ μεγαλύτερα παγόβουνα σε άλλα μέρη της Ανταρκτικής θα μπορούσαν να έχουν τα πολύ μεγαλύτερα αποτελέσματα στο ποσοστό ανόδου σταθμών θάλασσας.

Η επιστημονική κοινότητα πλέον προσανατολίζεται στον απολογισμό του φαινομένου, στη μέτρηση δηλαδή της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, που προκαλείται από το λιώσιμο των πάγων.

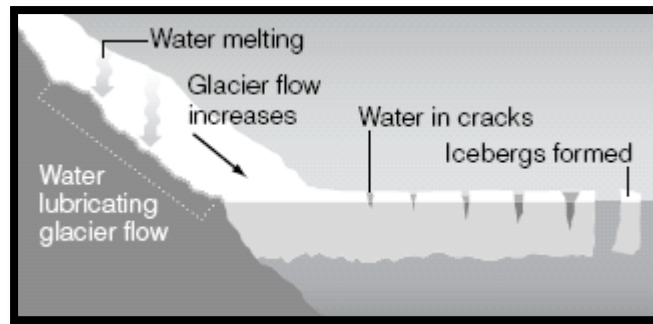
Η Χερσόνησος της Ανταρκτικής στην οποία επικεντρώθηκαν οι πρόσφατες έρευνες αποτελεί την τρίτη περιοχή του πλανήτη με τη μεγαλύτερη αύξηση θερμοκρασίας. Κατά τα τελευταία 50 χρόνια, στη συγκεκριμένη περιοχή που βρίσκεται απέναντι από η Γη του Πυρός της Νότιας Αμερικής, η θερμοκρασία έχει ανέβει κατά 2,5 βαθμούς Κελσίου. (J. Alishon, 2004)



Σχήμα 2.12. : Ο θερμότερος αέρας των ακτών και του νερού έχουν επιταχύνει το λιώσιμο των παγόβουνων της Ανταρκτικής και φυσικά αυξάνεται η ροή των πάγων στη θάλασσα. Κατά μήκος της Χερσονήσου της Ανταρκτικής και των ακτών της Θάλασσας Amundsen, η ροή των παγετώνων προς τη θάλασσα έχει επιταχυνθεί μετά τη διάσπαση των παγόβουνων (Παπαδόπουλος Α., 2004).



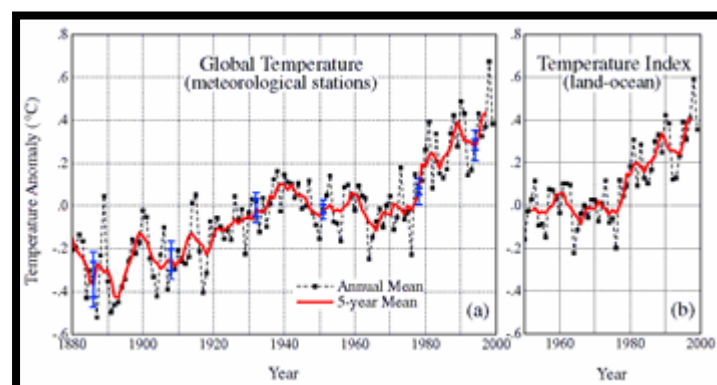
Σχήμα 2.13. : Πριν τη θέρμανση. Η ροή του παγετωνικού καλύμματος προς τη θάλασσα μπλοκάρει μερικώς από το παγόβουνο, που επιπλέει στον ωκεανό και προσαρτάται στην υφαλοκρηπίδα (Παπαδόπουλος Α., 2004).



Σχήμα 2.14. : Η θέρμανση επιταχύνει την κίνηση του πάγου. Η ροή του πάγου αυξάνεται όταν το νερό ενεργεί σαν 'λάδι' κατά την κίνηση του προς την υφαλοκρηπίδα. Επίσης, εξασθενεί και το παγόβουνο (Παπαδόπουλος Α., 2004).

Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω, οι προβλέψεις ειδικών επιστημόνων για το μέλλον του πλανήτη κάθε άλλο παρά ενθαρρυντικές είναι. Μερικά από τα στοιχεία που παρατίθενται παρακάτω θα βοηθήσουν να σχηματιστεί μια πιο ολοκληρωμένη άποψη επί του θέματος.

Παρόλο που εξακολουθεί να επικρατεί αβεβαιότητα σχετικά με το μέγεθος της θέρμανσης του πλανήτη σε έναν ή δύο αιώνες, οι επιστήμονες συμφωνούν ότι το φαινόμενο αυτό θα συνεχιστεί για τα επόμενα εκατό χρόνια, ακόμα κι αν η κατανάλωση φυσικών καυσίμων μειωθεί σημαντικά. Οι επιστήμονες προβλέπουν σημαντικές αυξήσεις στην θερμοκρασία του πλανήτη και τη στάθμη της θάλασσας. Επιπλέον, οι κλιματολογικές αλλαγές που θα επιφέρουν οι παραπάνω αυξήσεις, αναμένεται ότι θα επηρεάσουν τη γεωργική παραγωγή. Η θέρμανση του πλανήτη θα επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τους πληθυσμούς των φτωχών χωρών, καθώς δεν θα μπορέσουν να αντεπεξέλθουν στις κλιματικές αλλαγές.

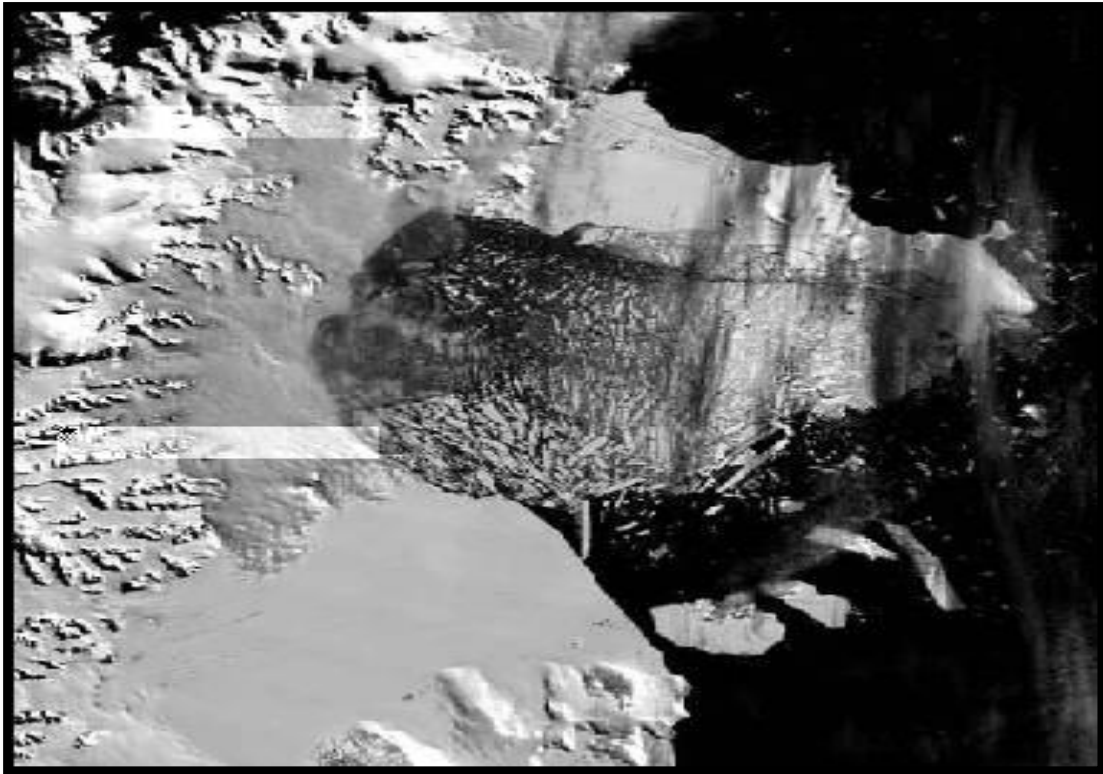


Σχήμα 2.15. : Μέση Παγκόσμια Αύξηση Θερμοκρασίας (Ελευθεροτυπία, 2002).

Ο καθηγητής Robert Dickinson του Ινστιτούτου Τεχνολογίας Γεωλογικών και Ατμοσφαιρικών Επιστημών στη Γεωργία των Η.Π.Α παρουσίασε στοιχεία για την εκτίμηση αυτή στο ετήσιο συνέδριο του Αμερικανικού Συνδέσμου για την Επιστημονική Πρόοδο (AASS), στη Βοστώνη. Η παρουσίαση του Dickinson, με τον τίτλο «Προβλέποντας την Αλλαγή του Κλίματος» αποτελεί μέρος του Συμποσίου «Κλιματικές Αλλαγές: Ενσωματώνοντας τον Επιστημονικό, Οικονομικό και Πολιτικό Κόσμο» (Ελευθεροτυπία, 2002).

«Τα κλιματικά μοντέλα που διαθέτονται σήμερα είναι σε θέση να καταδείξουν τη γενική φύση των κλιματικών αλλαγών για τα επόμενα 100 με 200 έτη», αποφαινεται ο Dickinson. «Οι ρύποι όμως διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), που έχουν εκλυθεί από τα φυσικά καύσιμα, συνεχίζουν να μολύνουν την ατμόσφαιρα για τουλάχιστον 100 έτη. Αυτό σημαίνει ότι οι πιθανές μειώσεις σε ρύπους CO₂ αυτή την περίοδο δεν συνεπάγονται καθαρότερη ατμόσφαιρα και λιγότερη θέρμανση του πλανήτη από εκείνη της παρούσας κατάστασης, για τουλάχιστον έναν αιώνα» (Ελευθεροτυπία, 2002).

Τα κλιματικά μοντέλα δείχνουν αυξήσεις στη μέση θερμοκρασία από 1.5°C έως και 5.5°C τον αιώνα αυτόν και μία αύξηση της στάθμης της θάλασσας της κλίμακας των 15.30 cm έως το 1m, περίπου. Η καύση φυσικών καυσίμων εκλύει στην ατμόσφαιρα αέρια, όπως CO₂, που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα αέρια αυτά επιδεινώνουν τη θέρμανση του πλανήτη και η αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει την έκταση των ωκεανών και προκαλεί το λιώσιμο στρωμάτων πάγων, επιφέροντας κατ' αλληλουχία αύξηση στη στάθμη της θάλασσας.



Εικόνα 2.16. : Παγόβουνο στην Ανταρκτική (Ελευθεροτυπία, 2002).

Παρά τις διαφοροποιήσεις στις εικόνες των κλιματικών μοντέλων και τις περιορισμένες δυνατότητες των ίδιων των μοντέλων, οι επιστήμονες συνάδουν στη διαπίστωση ότι η θέρμανση του πλανήτη θα επιφέρει σημαντικές συνέπειες στον αιώνα που διανύεται, σύμφωνα με τον Dickinson.

«Σε δεδομένο χρόνο, μπορεί να υπάρχουν τόσοι νικητές όσοι και ηττημένοι. Εντούτοις, πολλοί από τους ηττημένους θα γίνουν πολύ δυστυχισμένοι, όπως οι πληθυσμοί των νησιών που θα βυθιστούν», λέει ο Dickinson. Θα πάρει πολύ καιρό στους ανθρώπους να προσαρμοστούν οργανικά στις αλλαγές αυτές. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι η ταχύτητα με την οποία εκδηλώνεται η θέρμανση του πλανήτη» (Ελευθεροτυπία, 2002).

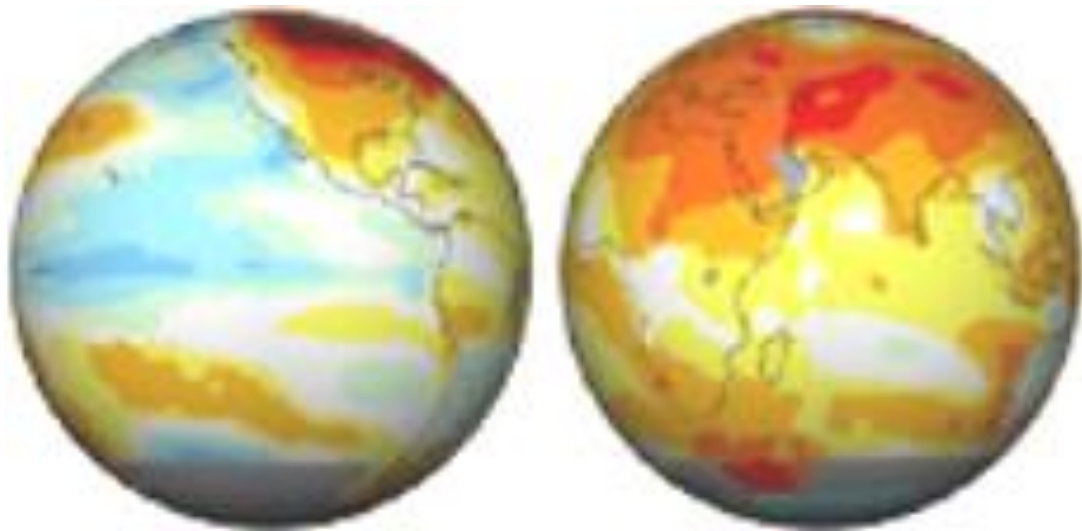
«Αν συνέβαινε για μία χιλιετία παρά σε έναν αιώνα, θα περνούσε σχεδόν απαρατήρητο. Μιλάμε όμως για πάρα πολύ μεγάλες αλλαγές μέσα στην επόμενη γενιά, για ανθρώπους που διαμένουν σε παραλίες και οι οποίοι θα πρέπει να μετακομίσουν. Οι Η.Π.Α. έχουν πλουτοπαραγωγικές πηγές, γεγονός που διευκολύνει την μετακίνηση πληθυσμών. Στο Μπαγκλαντές, όμως, και σε άλλες υποανάπτυκτες χώρες με περιορισμένα αποθέματα, θα υπάρξουν σοβαρές δυσκολίες.

Ο Dickinson ισχυρίζεται ότι θα υπάρξουν επίσης μεγάλες μεταβολές στην γεωργική παραγωγή παγκοσμίως. Κάποιες περιοχές θα είναι πιο παραγωγικές και άλλες

λιγότερο, εξαιτίας των αλλαγών στη θερμοκρασία και τη βροχοπτώση. Σε γενικές γραμμές, θα εκδηλώνονται περισσότερες βροχοπτώσεις, αλλά, επιπλέον, εντατικότερες θα είναι και οι εξατμίσεις, οι οποίες θα επιφέρουν περισσότερες πλημμύρες και ξηρασίες.

Οι επιστήμονες που αναλύουν τις ενδείξεις των κλιματικών μοντέλων εκφράζουν αρκετή βεβαιότητα για τις συνέπειες αυτές, αφού τα μοντέλα τους έχουν βελτιωθεί, στο βαθμό που έχει αυξηθεί η κατανόηση των θεμελιωδών φυσικών διαδικασιών των κλιματικών αλλαγών. Ο Dickinson προσθέτει, εντούτοις, ότι τα μοντέλα ακόμα έχουν περιορισμένες δυνατότητες. Για παράδειγμα, τα σύγχρονα κλιματικά μοντέλα δεν παρέχουν ικανοποιητικές λύσεις στο ζήτημα της φυσικής διαφοροποίησης της θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία του πλανήτη έχει αυξηθεί με ταχύτερους ρυθμούς τα τελευταία 10 έτη, αλλά οι αλλαγές είναι πιο δραματικές στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, φαινόμενο που ίσως να οφείλεται στη φυσική διαφοροποίηση, εξηγεί ο Dickinson.



Σχήμα 2.17. : Μέση κατανομή Θερμοκρασίας (πηγή NASA) (Ελευθεροτυπία, 2002).

«Το ερώτημα που τίθεται αφορά το μέγεθος της σχέσης ανάμεσα στη φυσική διαφοροποίηση και τη θέρμανση του πλανήτη που οφείλεται στον ανθρώπινο παράγοντα», λέει ο Dickinson. «Ο ανθρώπινος παράγοντας ίσως να ενισχύει κάποια φαινόμενα φυσικής διαφοροποίησης. Δεν τίθεται θέμα αν συμβαίνει είτε το ένα ή το άλλο: τόσο η φυσική διαφοροποίηση όσο και η θέρμανση του πλανήτη είναι

εκδηλωθέντα φαινόμενα. Στην Αλάσκα, για παράδειγμα, τα τελευταία εκατό χρόνια, όχι μόνο έχει εκδηλωθεί θέρμανση της κλίμακας του ενός βαθμού, αλλά η θέρμανση εκεί ανέρχεται σε αρκετούς βαθμούς». Υπάρχουν ακόμα κάποιες ενδείξεις που συγκλίνουν στη διαπίστωση ότι ο συνδυασμός της φυσικής διαφοροποίησης και της θέρμανσης του πλανήτη εξαιτίας του ανθρώπινου παράγοντα, προκαλεί αύξηση της εκδήλωσης του φαινομένου Ελ Νίνιο, στους τροπικούς, με επιπτώσεις αλλού. Για παράδειγμα, ίσως εκδηλωθούν περισσότερα φαινόμενα ξηρασίας στην Αυστραλία και την Ινδονησία, ενώ στις Δυτικές Ακτές των Η.Π.Α, μπορεί να έχουμε περισσότερες βροχοπτώσεις.

Η Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές Αλλαγές υπολογίζει ότι εάν η ρύπανση της ατμόσφαιρας συνεχισθεί με τους ίδιους ρυθμούς το 2100 η στάθμη των υδάτων της θάλασσας θα αυξηθεί από 9 έως και 88 εκατοστά και η μέση θερμοκρασία θα αυξηθεί από 1,5 έως και 5,5 βαθμούς Κελσίου. Ο Ντέιβιντ Γκριγκς, μέλος της Διακυβερνητικής Επιτροπής λέει πως σύμφωνα με την υπάρχουσα εικόνα, η αύξηση της θερμοκρασίας τα επόμενα 100 χρόνια θα είναι πρωτοφανής.

«Στην χειρότερη περίπτωση και εάν συνεχισθεί με τον ίδιο ρυθμό η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, θα υπάρξει άνοδος της θερμοκρασίας που μπορεί να φτάσει τους 5,5 βαθμούς Κελσίου μέχρι το 2100. Σύμφωνα με τα ίδια στοιχεία η στάθμη των υδάτων της θάλασσας θα ανέβει έως και 88 εκατοστά. Αναπόφευκτα θα υπάρξουν εκτεταμένες και δυσάρεστες επιπτώσεις σε όλο τον κόσμο, είπε ο Γκριγκς. Η άνοδος της θερμοκρασίας (στη χειρότερη περίπτωση κατά 5,5 βαθμούς Κελσίου μέχρι το 2100) μπορεί να μην ακούγεται πολύ μεγάλη αλλά θα πρέπει να αναλογισθεί κανείς ότι στην εποχή των παγετώνων πριν από εκατομμύρια χρόνια η μέση θερμοκρασία του πλανήτη ήταν μόλις 4 με 5 βαθμούς χαμηλότερη. Ακόμη και εάν μπορούσαμε σήμερα να σταματήσουμε την ατμοσφαιρική ρύπανση η υπερθέρμανση της γης θα συνεχιζόταν για δεκαετίες ή ακόμη και αιώνες λένε οι επιστήμονες.

Δυστυχώς όμως, οι προβλέψεις ειδικών επιστημόνων δεν είναι ενθαρρυντικές ούτε για τη Μεσόγειο, αλλά ούτε για την Ελλάδα. Τα στοιχεία που ακολουθούν είναι αποκαλυπτικά.

2.5.2.2. Ευρώπη

Οι κλιματικές αλλαγές στην Ευρώπη αποτελούν σοβαρή αιτία για την αύξηση φαινομένων όπως είναι οι πλημμύρες, οι δασικές πυρκαγιές, η διάβρωση του εδάφους, ενώ παράλληλα ευθύνονται για τις απώλειες της βιοποικιλότητας, την

μείωση της φυτικής παραγωγής, τις διακοπές στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, τις ζημιές σε οδικές υποδομές. Το αποτέλεσμα είναι να επηρεάζεται σημαντικά η ευρωπαϊκή οικονομία και, συχνά, οι φτωχότερες ομάδες του πληθυσμού να είναι αυτές που πλήττονται περισσότερο (Ρόκος Δ., 2001).

Το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ) σε μια προσπάθεια να διερευνήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής για τον ελληνικό χώρο τα επόμενα χρόνια, από το τέλος του 2003 έχει εγκαταστήσει και προσαρμόσει για την περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου το περιοχικό κλιματικό μοντέλο PRECIS. Είναι δε η πρώτη φορά που πραγματοποιούνται κλιματικές προσομοιώσεις (πειράματα) σε ελληνικό επιστημονικό φορέα.

Το μοντέλο PRECIS αναπτύχθηκε στο Hadley Centre (Meteorological Office, M. Βρετανία) και βασίζεται στην τελευταία έκδοση του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου HadCM3. Όλες οι υπολογιστικές προσομοιώσεις πραγματοποιούνται με οριζόντια ανάλυση 25 χλμ. που θεωρείται η υψηλότερη ανάλυση που έχει χρησιμοποιηθεί έως σήμερα για κλιματικές προγνώσεις στην περιοχή της Ελλάδας. Σημειώνεται ότι οι κλιματικές προσομοιώσεις αποτελούν μία εξαιρετικά χρονοβόρα διαδικασία, καθώς αφορούν "ολοκληρώσεις" διάρκειας τριακονταετίας και παράγουν έναν τεράστιο όγκο δεδομένων. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι το καθένα από τα τρία πειράματα παρήγαγαν δεδομένα χωρητικότητας ~600 Gb.

Συγκεκριμένα, τα πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν είναι τα παρακάτω: α) κλιματική προσομοίωση της περιόδου 1961-1990 (η οποία παγκοσμίως θεωρείται ως περίοδος αναφοράς), β) κλιματική προσομοίωση της περιόδου 2071-2100 για το σενάριο A2 της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή(Intergovernmental Panel for Climate Change-IPCC), γ) κλιματική προσομοίωση της περιόδου 2071-2100 για το σενάριο B2 του IPCC (Δ. Βούβαλη,1998).

Τα σενάρια A2 και B2 που χρησιμοποιήθηκαν για τις παραπάνω προγνώσεις αφορούν τις αναμενόμενες αυξήσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά τα επόμενα 100 χρόνια. Τα σενάρια διαφέρουν στις παραδοχές της μεταβολής του πληθυσμού της υψηλίου, της παγκοσμιοποίησης της οικονομίας και της διάδοσης της τεχνολογίας. Δεν αποτελούν ακραίες περιπτώσεις, αλλά εξακολουθούν να οδηγούν σε αυξήσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 250% (A2) και 62% (B2) μέχρι το 2100. Τα αποτελέσματα της κλιματικής προσομοίωσης για το σενάριο A2 είναι τα ακόλουθα:

Όσον αφορά τις μεταβολές στη μέση μέγιστη θερμοκρασία για την περίοδο 2071-2100, σε σχέση με τις τιμές της περιόδου 1961-1990, για το μήνα Ιούλιο παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της τιμής σε ολόκληρη την περιοχή, κυρίως όμως σε χώρες

των Βαλκανίων όπου η μέση μέγιστη θερμοκρασία αυξάνεται έως και 12 βαθμούς Κελσίου σχετικά με τις παρούσες τιμές. Στην Ελλάδα η αύξηση είναι της τάξης των 7-8 βαθμών στις νότιες περιοχές (και στην Αττική), ενώ στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα η αύξηση κυμαίνεται μεταξύ 8-10 βαθμών. Όπως και για τη μέγιστη θερμοκρασία, έτσι και στην ελάχιστη θερμοκρασία παρατηρείται αύξηση της μέσης τιμής σε ολόκληρη την περιοχή της Αν. Μεσογείου, κυρίως όμως σε χώρες των Βαλκανίων όπου η μέση ελάχιστη θερμοκρασία για το μήνα Ιούλιο αυξάνεται έως και 9 βαθμούς σχετικά με τις παρούσες τιμές. Στην Ελλάδα η αύξηση είναι της τάξης των 6-7 βαθμών στις νότιες περιοχές (και στην Αττική) ενώ στην Κεντρική και Βόρεια Ελλάδα η αύξηση κυμαίνεται μεταξύ 7-8 βαθμών (Δ. Βούβαλη, 1998).

Σχετικά με τη μεταβολή της βροχόπτωσης για τους μήνες Δεκέμβριο και Ιούλιο τα αποτελέσματα έχουν ως εξής: τον Δεκέμβριο (ο βροχερότερος μήνας σήμερα στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας) η μείωση των βροχοπτώσεων είναι σημαντική κυρίως πάνω από τις θαλάσσιες περιοχές της Αν. Μεσογείου αλλά και στη Δυτική Ελλάδα, όπου η μέση βροχόπτωση την περίοδο 2071-2100 κυμαίνεται περίπου στο 60-70% της σημερινής βροχόπτωσης. Στη Βορειοανατολική Ελλάδα, στα νησιά του Αν. Αιγαίου και στην Κρήτη η μείωση είναι μικρότερη (Δ. Βούβαλη, 1998).

Το καλοκαίρι (Ιούλιος) η μείωση των βροχοπτώσεων είναι πολύ σημαντική κυρίως στη Β. Ελλάδα και στα Βαλκάνια. Η μέση βροχόπτωση στις περιοχές αυτές την περίοδο 2071-2100 κυμαίνεται περίπου στο 20-30% της σημερινής βροχόπτωσης. Ειδικά σε περιοχές της Γιουγκοσλαβίας, της Βουλγαρίας και της Ρουμανίας όπου σήμερα η βροχόπτωση τους καλοκαιρινούς μήνες είναι πολύ σημαντική, η μείωση είναι εξαιρετικά μεγάλη και ανησυχητική, γιατί οι βροχοπτώσεις στις περιοχές αυτές τροφοδοτούν με νερό μεγάλα ποτάμια τα οποία διασχίζουν και τη χώρα μας. Η μείωση των βροχοπτώσεων είναι επίσης πολύ σημαντική σε περιοχές της Βόρειας Ελλάδας όπου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρείται σήμερα σημαντική καταιγιδόφορος δραστηριότητα. Στη Ν. Ελλάδα η μείωση των βροχοπτώσεων είναι επίσης μεγάλη, αλλά ως γνωστό οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από ελάχιστες βροχοπτώσεις τους καλοκαιρινούς μήνες και σήμερα (Δ. Βούβαλη, 1998).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι προγνώσεις της θερμοκρασίας για τέσσερις μεγάλες ελληνικές πόλεις. Η μέση μέγιστη θερμοκρασία στην Αθήνα παρουσιάζει σημαντική αύξηση όλους του μήνες, κυρίως όμως τους καλοκαιρινούς μήνες, οπότε η αύξηση υπερβαίνει τους 7 βαθμούς. Αντίστοιχη αυξητική πορεία παρουσιάζει και η μέση ελάχιστη θερμοκρασία, με τη μεγαλύτερη αύξηση τους καλοκαιρινούς μήνες. Παράλληλα, το μέσο ύψος βροχής ανά μήνα μειώνεται αρκετά, ακολουθώντας τη γενική τάση μετάβασης σε περισσότερο ξηρό κλίμα. Επίσης, όσον αφορά τη μεταβολή της μέσης μέγιστης θερμοκρασίας για τη Θεσσαλονίκη, τη Λάρισα και το

Ηράκλειο, και στις τρεις αυτές μεγάλες πόλεις η αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας είναι πιο έντονη τους καλοκαιρινούς μήνες (Δ. Βούβαλη, 1998).

Κορυφαίοι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας στη χώρα μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την άνοδο της στάθμης των θαλασσών, τη διάβρωση των ακτών και την εμφάνιση έντονων πλημμύρων. Μπορεί να προκαλέσει ξηρασία, με συνέπειες για τον εφοδιασμό με νερό και για τις καλλιέργειες. Μπορεί επίσης να συνεπάγεται ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως καταιγίδες, που προξενούν σοβαρές βλάβες σε κτίρια, δρόμους και υποδομή (επικοινωνίες, δίκτυα ύδρευσης και ηλεκτρισμού).

2.5.2.3. Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι ακόμα μια από τις πλούσιες σε βιοποικιλότητα χώρα, με πολλά ενδημικά είδη φυτών και ζώων, παρά τις πιέσεις που δέχεται το περιβάλλον, ιδιαίτερα τις τελευταίες δεκαετίες. Η ελληνική παράκτια ζώνη χαρακτηρίζεται από μεγάλη ποικιλία ειδών (χλωρίδας και πανίδας), γεω-μορφολογικών χαρακτηριστικών, παραγωγικών οικοσυστημάτων αλλά και από συσσώρευση πλήθους ανθρώπινων δραστηριοτήτων (ψυχαγωγία, αστική και βιομηχανική ανάπτυξη, κτλ.). Οι κύριοι τύποι θαλάσσιων μεσογειακών οικοτόπων απαντώνται στην Ελλάδα, και χωρίζονται σε επτά ομάδες θαλάσσιων και παράκτιων οικοτόπων. Έχουν καταγραφεί και περιγραφεί 31 θαλάσσιοι και 132 παράκτιοι (ξηράς και υγροτόπων) τύποι φυτικών ειδών. Στις ελληνικές θάλασσες έχουν καταγραφεί περίπου 450 είδη ψαριών, ορισμένα από τα οποία είναι είδη τα οποία μετανάστευσαν τις τελευταίες δεκαετίες από τον Ινδικό Ωκεανό και την Ερυθρά Θάλασσα, μέσω της Διώρυγας του Σουέζ ή εξαιτίας των πλοίων. Σημαντική είναι και η παρουσία 12 ειδών δελφινιών και φαλαινών (κητώδη), από τη φάλαινα-φουσητήρα μέχρι το δελφίνι Ziphius.

Περίπου 110 άτομα της μεσογειακής φώκιας *Monachus monachus* ζουν ακόμα στις θάλασσες της Χώρας και βρίσκουν καταφύγιο πλέον σε απομακρυσμένες σπηλιές. Η θαλάσσια χελώνα *Caretta caretta* γεννάει τα αυγά της σε ένα αριθμό ελληνικών ακτών, ενώ δύο άλλα είδη θαλάσσιων χελωνών, η πράσινη χελώνα (*Chelonia mydas*) αλλά και η δερματοχελώνα (*Dermochelus coriacea*) έχουν παρουσία στις ελληνικές θάλασσες. Εννέα (9) περιοχές έχουν χαρακτηριστεί ως Ειδικές Προστατευόμενες Περιοχές σύμφωνα με τη Συνθήκη της Βαρκελώνης (4ο Πρωτόκολλο). Από τις 238 περιοχές που έχουν προταθεί από την Ελλάδα για ένταξη στο Ευρωπαϊκό Δίκτυο Φυσικών Προστατευόμενων Περιοχών NATURA (ΦΥΣΗ)

2000, περίπου 120 περιέχουν θαλάσσιους και παράκτιους οικοτόπους καθώς και οικοτόπους για σημαντικά είδη. Πολλά νησιά και βραχονησίδες έχουν παρόμοιες περιοχές. Σημαντικές Περιοχές για τα πουλιά βρίσκονται κοντά στην παράκτια ζώνη (Jacqueline Karas, 1997).

2.5.2.4. Ακραία καιρικά και κλιματικά φαινόμενα

Ακραία ονομάζονται τα φαινόμενα τα οποία αποκλίνουν σημαντικά από τη φυσιολογική κατάσταση των καιρικών και κλιματικών συστημάτων. Σαν παραδείγματα τέτοιων φαινομένων μπορούν να αναφερθούν οι μεγάλες πλημμύρες, ξηρασίες, καύσωνες και παγετώνες.

Τα έντονα και ακραία καιρικά φαινόμενα μπορεί να αποτελούν τις πρώτες ενδείξεις περί κλιματικής αλλαγής σε παγκόσμια κλίμακα. Ενώ άλλα τμήματα της γης, όπως παραδείγματος χάρη οι ωκεανοί, μπορεί να εμφανίσουν τις αλλαγές με καθυστέρηση δεκαετιών, η ατμόσφαιρα έχει μικρούς, σχετικά, χρόνους ανάδρασης. Έτσι λοιπόν, κατά τη μετάβαση από έναν τύπο κλίματος σε άλλον, το πρώτο πράγμα που αλλάζει, λειτουργώντας παράλληλα σαν δείκτης αλλαγής, είναι ο καιρός.

Τα τελευταία χρόνια πυκνώνουν οι ειδήσεις για ακραία καιρικά φαινόμενα σε διάφορα σημεία του πλανήτη:

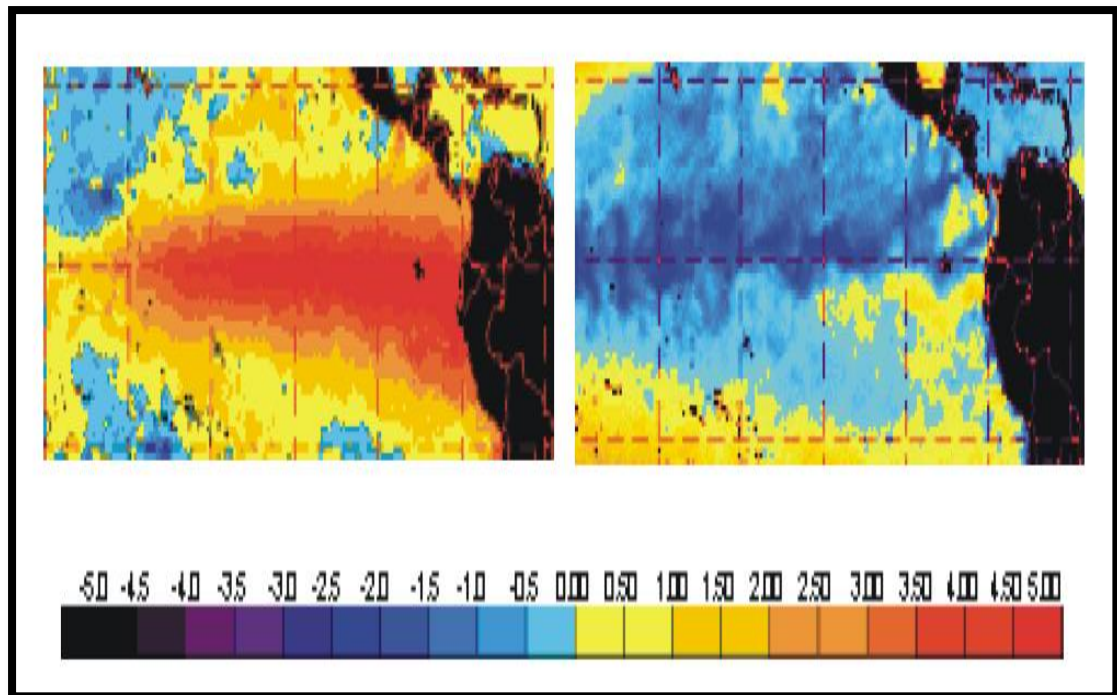
- Το καλοκαίρι του 1995, περισσότερα από 500 άτομα στην Ινδία πέθαναν λόγω ενός ασυνήθιστου καύσωνα. Το ίδιο καλοκαίρι, στη Μεγάλη Βρετανία, ήταν το θερμότερο από το 1659 (το έτος που ξεκίνησαν οι μετρήσεις) και το ξηρότερο από το 1721. Στα τέλη του έτους, οι αγώνες του παγκόσμιου πρωταθλήματος σκι, οι οποίοι επρόκειτο να διεξαχθούν στην Αυστρία, ακυρώθηκαν λόγω έλλειψης χιονιού. Την ίδια εποχή, χρειάστηκε η επέμβαση του στρατού για να απελευθερωθούν από τις πρωτοφανείς χιονοπτώσεις οι κάτοικοι του Sapporo της Ιαπωνίας.
- Το 1996 σημαδεύτηκε από πολλές πλημμύρες που έπληξαν διαφορετικές περιοχές του πλανήτη όπως τις Βορειοανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες, τη Βόρεια Κορέα και τη Σόφια στη Βουλγαρία. Πολύ σημαντική ήταν η ξαφνική πλημμύρα στα Ισπανικά Πυρηναία τον Αύγουστο του 1996, από την οποία σκοτώθηκαν περισσότεροι από 60 άνθρωποι. Την ίδια εποχή, άλλες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών βίωσαν μια παρατεταμένη ξηρασία, με αποτέλεσμα τα αποθέματα σιτηρών να βρεθούν στα χαμηλότερα επίπεδα των τελευταίων 50 ετών.

- Τον χειμώνα του 1997, η Πορτογαλία βίωσε τη χειρότερη ξηρασία των 150 τελευταίων ετών με αποτέλεσμα να καταστραφεί το 70 % της χειμερινής παραγωγής δημητριακών. Τον Μάιο, μια καταρρακτώδης βροχή στη Μανίλα άφησε 120.000 αστέγους. Τον Ιούλιο, η χειρότερη πλημμύρα του αιώνα έπληξε την Πολωνία και τη Τσεχία. Τον Νοέμβριο, υπήρχαν 2500 νεκροί ή αγνοούμενοι από το πέρασμα τυφώνα στη Νοτιοανατολική Ασία (ο «όλεθρος του αιώνα», όπως αποκαλέστηκε στο Βιετνάμ). Στα τέλη του χρόνου, η Μόσχα έζησε τον ψυχρότερο Δεκέμβριο των τελευταίων 115 ετών (σε αντιδιαστολή με το προηγούμενο έτος οπότε και καταγράφηκε ο θερμότερος Δεκέμβριος στη ιστορία των μετρήσεων).
- Το 1998 αποκαλέστηκε σαν το θερμότερο έτος της χιλιετίας. Το έτος ξεκίνησε με μια ασυνήθιστη σε ένταση παγοθύελλα, η οποία προκάλεσε μεγάλες καταστροφές και καθήλωσε τη βόρεια Νέα Αγγλία και το Κεμπέκ για ένα περίπου μήνα. Την άνοιξη, μεγάλες πυρκαγιές στη Βραζιλία και το Μεξικό προκάλεσαν καταστροφές στο τροπικό δάσος, το οποίο είναι πολύ δύσκολο να καεί. Το καλοκαίρι μεγάλοι καύσωνες εμφανίστηκαν στη Μέση Ανατολή και την Ινδία όπου πέθαναν 4000 άτομα. Το Μεξικό υπέφερε από τη χειρότερη ξηρασία των τελευταίων 70 χρόνων την οποία διαδέχθηκαν πλημμύρες, οι οποίες παρέλυσαν τη χώρα. Τον Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο, ογκώδεις πλημμύρες στην Κίνα και το Μπανγκλαντές άφησαν δεκάδες εκατομμυρίων αστέγους.
- Το χειμώνα του 1999, τόσο η Ευρώπη όσο και η Βόρεια Αμερική, βίωσαν τις χειρότερες χιονοθύελλες των τελευταίων δεκαετιών. Άλλες περιοχές της γης, όπως η Κίνα και η Νέα Ζηλανδία, αντιμετώπισαν δραματικές εναλλαγές ξηρασίας και πλημμύρων. Τον Δεκέμβριο, καταιγίδες στη Γαλλία, την Ελβετία και τη Γερμανία συνοδεύτηκαν από ισχυρότατους ανέμους (ως 50 μέτρα το δευτερόλεπτο) σκοτώνοντας 120 ανθρώπους και προξενώντας ζημιές περίπου 1.2 τρισεκατομμυρίων δραχμών (η μεγαλύτερη ασφαλιστική καταστροφή που σημειώθηκε ποτέ στην Ευρώπη). Θα πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι υπάρχουν πολλοί επιστήμονες οι οποίοι αμφισβητούν την αύξηση των ακραίων φαινομένων τα τελευταία χρόνια. Σύμφωνα με τους επιστήμονες αυτούς, η κλιματική αλλαγή θα έχει μάλλον θετικά αποτελέσματα στον καιρό περιορίζοντας τη συχνότητα εμφάνισης ακραίων φαινομένων.

2.5.2.5. Το Φαινόμενο El Nino

Στις δυτικές ακτές της Νότιας Αμερικής, στον τροπικό Ειρηνικό Ωκεανό, επικρατεί συνήθως ένα ψυχρό ρεύμα το οποίο κατευθύνεται προς τα βόρεια. Άνεμοι νοτίων διευθύνσεων οδηγούν στην επιφάνεια ψυχρό, πλούσιο σε θρεπτικές ουσίες νερό το οποίο ευνοεί την ανάπτυξη μεγάλων πληθυσμών ψαριών. Περιστασιακά όμως, εμφανίζεται ένα θερμό θαλάσσιο ρεύμα με κατεύθυνση τις νοτιοδυτικές ακτές της Νότιας Αμερικής, το οποίο είναι φτωχό σε θρεπτικές ουσίες και ψάρια. Αυτό το θερμό ρεύμα γίνεται αντιληπτό στο Περού περίπου την περίοδο των Χριστουγέννων, γι' αυτό οι ψαράδες της περιοχής το ονόμασαν El Nino, που σημαίνει «το Θείο Βρέφος». Τα περισσότερα χρόνια, η θέρμανση διαρκεί μόνο για μερικές εβδομάδες (ως ένα μήνα) πριν η κατάσταση επανέλθει σε φυσιολογικά επίπεδα. Κάποιες χρονιές όμως, το φαινόμενο, έχει μεγαλύτερη ένταση και συνεχίζεται για αρκετούς μήνες οδηγώντας τους τοπικούς ψαράδες σε απόγνωση αλλά και δημιουργώντας, όπως θα αναλύσουμε παρακάτω, διαταραχές στη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Τα επεισόδια αυτά συμβαίνουν με μια περιοδικότητα 2-7 χρόνια και ονομάζονται Μεγάλα Επεισόδια El Nino (αν και πολλές φορές ονομάζονται απλώς El Nino). Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα Μεγάλα Επεισόδια τις περιόδους 1982-83 και 1997-98 (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

Κατά τη διάρκεια του El Nino, για λόγους που ακόμα παραμένουν άγνωστοι, η ατμοσφαιρική πίεση στον δυτικό Ειρηνικό αυξάνεται και στα ανατολικά ελαττώνεται, ενώ συνήθως επικρατούν οι αντίστροφες συνθήκες. Η αναστροφή της κατανομής της πίεσης ονομάζεται Νότια Κύμανση και λόγω του γεγονότος ότι συμβαίνει σχεδόν ταυτόχρονα με το θερμό ωκεάνιο ρεύμα, οι επιστήμονες το ονομάζουν συχνά ENSO (El Nino / Southern Oscillation). Μια τεράστια περιοχή του νότιου Ειρηνικού γίνεται το κέντρο ενός εκτεταμένου τροπικού συστήματος, που τροποποιεί τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Λόγω αλλαγής της κυκλοφορίας, τα θερμά νερά του δυτικού Ειρηνικού κινούνται ανατολικά προς τις ακτές της νοτίου Αμερικής ανεβάζοντας τις θερμοκρασίες της θάλασσας μέχρι και 7°C. Η αύξηση αυτή εμποδίζει τα ψάρια, που αποτελούν την κυριότερη πλουτοπαραγωγική πηγή των περιοχών αυτών, να ανέβουν σε μικρά βάθη και έτσι η αλιεία υφίσταται μεγάλες απώλειες στη διάρκεια του El Nino. Τα θερμά νερά παρασύρουν μαζί τους μεγάλα σύννεφα βροχής. Όσο πιο υψηλή είναι η θερμοκρασία τόσο περισσότερες και εντονότερες είναι οι βροχές, οι οποίες πλημμυρίζουν τις περιοχές αυτές και προκαλούν πολλές καταστροφές (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).



Σχήμα 2.18: Η θερμοκρασία επιφανείας της θάλασσας κατά την διάρκεια ενός μεγάλου επεισοδίου El Nino τον Δεκέμβριο του 1997 (εικόνα στα αριστερά) και ενός επεισοδίου La Nina τον Μάρτιο του 2000 (εικόνα στα δεξιά). Η χρωματική κλίμακα δείχνει την απόκλιση της θερμοκρασίας της θάλασσας από την κανονική της τιμή.

Αντίθετα, στις δυτικές περιοχές του Ειρηνικού, όπου κανονικά θα υπήρχαν βροχές (περίοδος μουσώνων), επικρατεί ξηρασία, μέχρι και τις ακτές της ανατολικής Αφρικής. Όλες οι περιοχές, από την Αιθιοπία και το Σουδάν μέχρι την Ινδία, το Βόρνεο και την Αυστραλία, υπόκεινται σε εξοντωτική ξηρασία.

Το El Nino αποτελεί τη μεγαλύτερη μεμονωμένη καιρική διαταραχή στον πλανήτη και είναι η μεγαλύτερη αιτία μεταβλητότητας του κλίματος. Η εμφάνιση του συνοδεύεται από καταστροφικές πλημμύρες και ξηρασίες, στις διαφορετικές πλευρές του Ειρηνικού. Η έξαρση του φαινομένου, τα τελευταία χρόνια, οδηγεί στην σύνδεσή του με το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την επακόλουθη κλιματική αλλαγή. Μετά τη λήξη των επεισοδίων El Nino η κατάσταση συνήθως επανέρχεται στα φυσιολογικά της επίπεδα. Σε μερικές περιπτώσεις, όμως, το θαλάσσιο ρεύμα, το οποίο αντικαθιστά το El Nino, είναι ιδιαίτερα ψυχρό δημιουργώντας τις αντίθετες συνθήκες και ονομάζεται La Nina (το κοριτσάκι) (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

2.5.2.6. Στάθμη της Θάλασσας

Όπως είναι γνωστό, κατά τη διάρκεια των εποχών των παγετώνων μεγάλες ποσότητες νερού μετατρέπονται σε μόνιμους πάγους πάχους πολλών εκατοντάδων μέτρων που καλύπτουν τεράστιες ηπειρωτικές αλλά και ωκεάνιες εκτάσεις της γης. Ακόμα και σήμερα, στις πολικές περιοχές της Αρκτικής και Ανταρκτικής, υπάρχουν μόνιμοι πάγοι. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 500 εκατομμυρίων ετών, έχουν γίνει πολλές αλλαγές από θερμές περιόδους, όπου το κλίμα ήταν ζεστότερο και υγρότερο από το σημερινό (π.χ. Λιθανθρακοφόρο, Ιουρασικό), σε περιόδους που μεγάλο τμήμα της γης καλύπτονταν από πάγους (π.χ. Πέρμιο). Κάθε φορά που υπήρχε άνοδος της θερμοκρασίας, μεγάλο μέρος των παγετώνων έλιωνε ανεβάζοντας αισθητά τη στάθμη των ωκεανών. Κατ' αυτό τον τρόπο, η στάθμη της θάλασσας αυξάνει εδώ και 10.000 χρόνια δηλαδή από το τέλος της τελευταίας παγετωνικής περιόδου και την αρχή της εύκρατης εποχής που διανύεται. Μέσα στα τελευταία 140 χρόνια, η στάθμη των ωκεανών ανέβηκε κατά 10-25 cm εξ' αιτίας της ανόδου της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας του αέρα στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Σήμερα ο ρυθμός ανόδου από 1,5mm ανά έτος που ήταν στις αρχές του αιώνα, έχει ανέβει στα 2,5mm ανά έτος (από εκτιμήσεις του 1980). Μέσα στα επόμενα 100 χρόνια, η πιο αισιόδοξη εκτίμηση που υπάρχει προβλέπει αύξηση κατά μισό μέτρο ενώ δεν λείπουν τα σενάρια που προβλέπουν ανύψωση της στάθμης των ωκεανών μέχρι και δύο μέτρα (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

Το πρόβλημα προέρχεται κυρίως από τον παγετώνα του Βορείου Ωκεανού και της Γροιλανδίας. Ολόκληρο το σύστημα του βορείου Ατλαντικού είναι πολύ ευαίσθητο στις αλλαγές της θερμοκρασίας και αποτελεί ένα από τα πιο ζωτικά κύτταρα ωκεάνιας αλλά και ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας. Ο παγετώνας λοιπόν της Γροιλανδίας έχει αρχίσει να λιώνει μετατρέποντας χιλιάδες τόνους πάγου σε νερό με άμεση συνέπεια την άνοδο της στάθμης των θαλασσών. Γεωλογικές έρευνες στους πάγους της Γροιλανδίας έδειξαν ότι παρόμοια γεγονότα συνέβαιναν συχνά στο παρελθόν και κυρίως στα τελευταία 150.000 χρόνια. Ο κίνδυνος λοιπόν είναι πραγματικός και δεν υφίσταται μόνο στα σενάρια των επιστημόνων. Ο παγετώνας αυτός, αποτελεί το 10% των ολικών μόνιμων πάγων, και σήμερα βρίσκεται σχεδόν σε δυναμική ισορροπία: όλη η αύξησή του από τη χειμερινή απόθεση χιονιού είναι περίπου ίση με τη μείωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και την αποκόλληση τμημάτων πάγου με τη μορφή παγόβουνων, που είναι και η αιτία της αύξησης της θαλάσσιας στάθμης. Περαιτέρω θέρμανση θα επιταχύνει σημαντικά τη μείωσή του με πολύ δυσάρεστα αποτελέσματα (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

Αντίθετα με τη Γροιλανδία, η Ανταρκτική δεν παρουσιάζει μεγάλο κίνδυνο, τουλάχιστον μέχρι τώρα. Μελέτες έχουν δείξει ότι, οι πάγοι της Ανταρκτικής, που είναι στην πλειοψηφία τους χερσαίοι, παρουσίασαν εξαιρετική σταθερότητα κατά το παρελθόν και δεν έπαιξαν σημαντικό ρόλο στις διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας. Πρόσφατες όμως παρατηρήσεις από δορυφόρους έδειξαν ότι και οι Ανταρκτικοί πάγοι έχουν παρουσιάσει ύφεση και μερικά κομμάτια έχουν ήδη αρχίσει να λιώνουν. Οι πρώτες ανησυχίες εμφανίστηκαν το 1986 όταν μεγάλα κομμάτια πάγου αποκόπηκαν από τον ηπειρωτικό παγετώνα προς τη θάλασσα. Παρόμοια, μη αναμενόμενα περιστατικά, καταγράφηκαν το 1991, το 1993 και το 1995. Δεδομένου ότι η Ανταρκτική φιλοξενεί σχεδόν το 90% των συνολικών μόνιμων πάγων και το 70% των παγκοσμίων αποθεμάτων γλυκού νερού, σε περίπτωση ολικής τήξης, η άνοδος της θαλάσσιας στάθμης θα φθάσει περίπου τα 60 μέτρα. Τήξη μόνο του παγετώνα της δυτικής Ανταρκτικής, ο οποίος δεν επιπλέει αλλά στηρίζεται στην υφαλοκρηπίδα και αποτελεί τον τελευταίο του είδους του (όλοι οι άλλοι έλιωσαν πριν 10.000 χρόνια), θα προκαλέσει άνοδο κατά 6 μέτρα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι, λόγω διαφορετικής χρονικής απόκρισης της θάλασσας σε σχέση με την ατμόσφαιρα, η άνοδος της στάθμης των ωκεανών θα συνεχίσει για αρκετές δεκαετίες αφού σταματήσει η θέρμανση (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000). Οι συνέπειες από μια τέτοια ανύψωση είναι ποικίλες. Οι πρώτες άμεσες συνέπειες αφορούν κυρίως τη καταστροφή των παράκτιων οικισμών. Ήδη υπάρχουν περιοχές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα αυτό εδώ και πάρα πολλά χρόνια (Ολλανδία, Βέλγιο κ.τ.λ). Ιδιαίτερο πρόβλημα θα αντιμετωπίσουν οι χώρες του τρίτου κόσμου λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής προστατευτικών έργων αλλά και όλες οι παραθαλάσσιες μεγαλουπόλεις εξ' αιτίας της δυσκολίας μετακίνησης του τεράστιου αριθμού ανθρώπων που κατοικούν σε αυτές (περίπου ο μισός πληθυσμός της Γης). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι κίνδυνοι για τη ναυσιπλοΐα από σκοπέλους και βραχονησίδες που ενδεχομένως να καλυφθούν από νερό, αλλά και παρόμοια προβλήματα σε πολλά μικρά νησιά που χρησιμοποιούνται είτε ως θέρετρα, είτε ως επιστημονικοί σταθμοί ή στρατιωτικές βάσεις.

Η δεύτερη κατηγορία αφορά τις επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα και την επίδραση-ανάδραση στο κλίμα. Οι παράκτιες περιοχές χρησιμοποιούνται ως βιότοποι από πολλά είδη πτηνών και ζώων, αλλά και από τους ανθρώπους σαν τόποι παραγωγής μεγάλης ποσότητας τροφίμων π.χ. αλιεία. Ακόμη σημαντικότερα είναι τα υποθαλάσσια οικοσυστήματα μερικά από τα οποία είναι πολύ ευαίσθητα και στη θερμοκρασία (π.χ. κοράλλια) αλλά και στις άλλες παραμέτρους της κλιματικής αλλαγής.

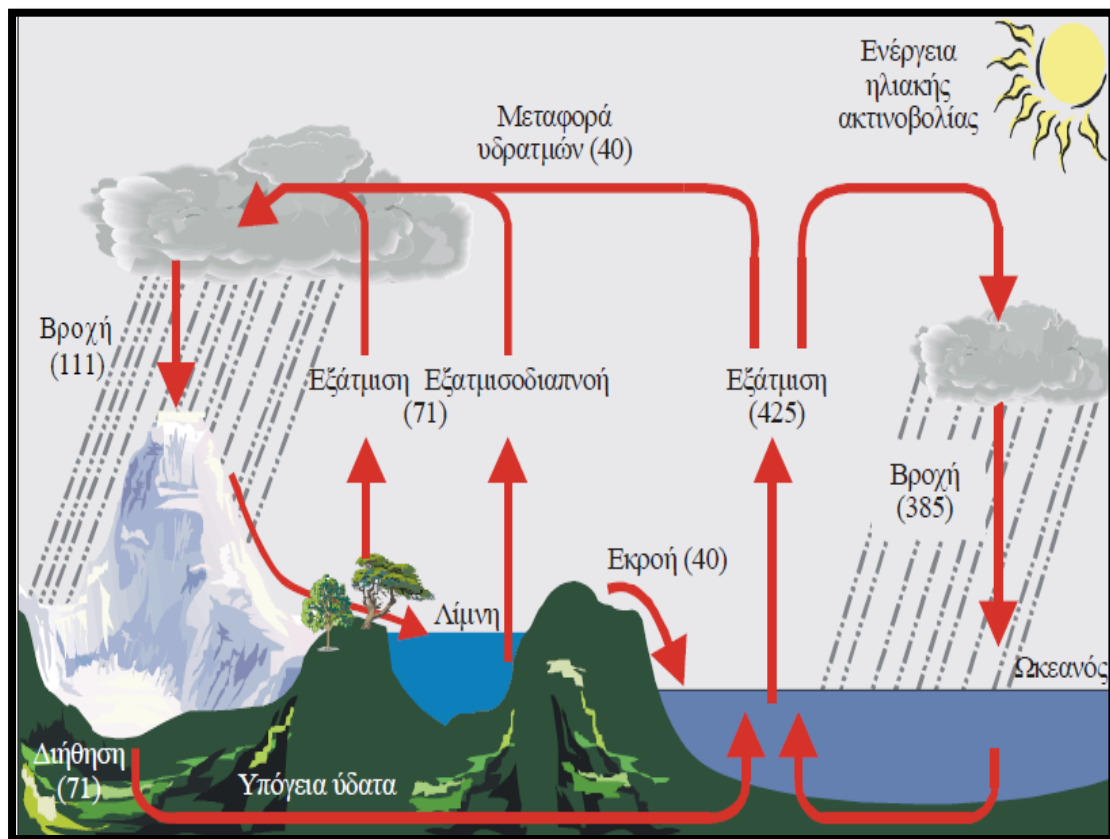
Πολύ σημαντική, επίσης, είναι η επίδραση της μείωσης των πάγων πάνω στην αλλαγή του κλίματος. Οι πάγοι χαρακτηρίζονται από υψηλό ποσοστό ανακλαστικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μείωση τους θα αυξήσει την απορρόφηση αυτής της ακτινοβολίας συμβάλλοντας περαιτέρω στη θέρμανση της γης. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση των υδάτινων μαζών θα μειώσει την ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα καθώς είναι γνωστό ότι το αέριο αυτό απορροφάται από τη θάλασσα. Ακόμη θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η δημιουργία νεφών που μειώνουν την ηλιακή ακτινοβολία στην κατώτερη ατμόσφαιρα. Τέλος, τεράστια είναι η σημασία των ωκεάνιων ρευμάτων στην εξέλιξη του κλίματος, ρεύματα που δημιουργούνται ή μεταβάλλονται από την τήξη των πάγων (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).



Σχήμα 2.19: Κομμάτια πάγου, που αποκολλώνται από τους παγετώνες, είναι υπεύθυνα για την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

2.5.2.7. Υδάτινοι πόροι

Στον όρο υδάτινοι πόροι συμπεριλαμβάνονται όλα τα αποθέματα γλυκού νερού που είναι ή μπορούν να μετατραπούν σε πόσιμο. Όπως είναι γνωστό, το νερό βρίσκεται στη φύση σε μεγάλη αφθονία και στις τρεις μορφές του (πάγος, νερό, ατμός) και οι μορφές αυτές βρίσκονται σε διαρκή μεταβολή, δημιουργώντας έναν από τους γνωστότερους και σπουδαιότερους κύκλους στη φύση, τον κύκλο του νερού (σχήμα 2.7). Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό, υπάρχουν δύο ειδών κινήσεις νερού. Η κατακόρυφη (βροχή –εξάτμιση) και η οριζόντια (επιφανειακά και υπόγεια ποτάμια). Στη διάρκεια της παρουσίας του στη Γη, ο άνθρωπος προσπάθησε επιτυχώς να εκμεταλλευτεί και τις δύο μετακινήσεις χωρίς να επηρεάσει σημαντικά ούτε την ποσότητα του νερού ούτε την πορεία του.



Σχήμα 2.20: Ο κύκλος του νερού. Οι αριθμοί δηλώνουν χιλιάδες κυβικά χιλιόμετρα το χρόνο. Από το βιβλίο *Atmosphere, Climate, and Change* των T.E. Graedel και P.J. Crutzen.

Κάθε μεταβολή στη θερμοκρασία επηρεάζει την κατανομή του νερού, κυρίως των βροχοπτώσεων. Μια αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγήσει σε αύξηση των υδατοπτώσεων αλλά ταυτόχρονα θα έχουμε και περισσότερη εξάτμιση. Αν και δεν

είναι γνωστό ποιο φαινόμενο θα είναι ισχυρότερο το σίγουρο είναι ότι το αποτέλεσμα θα είναι ένας κόσμος υγρότερος.

Τα κλιματικά μοντέλα, με τα οποία υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά της κλιματικής αλλαγής, δεν μπορούν να δώσουν ακριβείς προβλέψεις για την κατανομή της βροχής αλλά σε άλλες περιοχές αναμένεται μείωση της ενώ αλλού πιθανόν να αυξηθεί. Εξ' άλλου η βροχή είναι από τα πιο ανομοιογενή φυσικά φαινόμενα και ο υδρολογικός κύκλος είναι εξαιρετικά πολύπλοκος. Αλλαγή των βροχοπτώσεων επιδρά στην επιφανειακή υγρασία, ανακλαστικότητα και βλάστηση, τα οποία επηρεάζουν την εξάτμιση και τη δημιουργία νεφών. Επιπλέον, διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες μπορούν να επηρεάσουν τον κύκλο αυτό όπως π.χ. η καταστροφή των δασών ή η υπερκατανάλωση νερού. Μια πρώτη ποιοτική πρόβλεψη αναγγέλλει αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων ενώ τα ξηρά κλίματα θα παρουσιάσουν μεγαλύτερη ευαισθησία στον παραπάνω κύκλο ειδικά στον τομέα της εξάτμισης και διαπνοής από την τοπική βλάστηση. Όσον αφορά τα τροπικά κλίματα είναι τα πιο δύσκολα για προβλέψεις και μέχρι τώρα κάθε κλιματικό μοντέλο δίνει διαφορετικά αποτελέσματα για την ένταση και την κατανομή της τροπικής βροχόπτωσης (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

Μια νέα διάσταση στο πρόβλημα του νερού είναι δυνατό να παρουσιαστεί λόγω επιδείνωσης της κατάστασης από την κλιματική αλλαγή. Πολύ συχνά δύο ή περισσότερες χώρες μοιράζονται κάποια αποθέματα νερού όπως λίμνες, ποτάμια ή και υπόγεια νερά, τα οποία η κάθε μια θέλει να χρησιμοποιήσει για τις δικές της ανάγκες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα για τον Ελλαδικό χώρο αποτελεί ο ποταμός Αξιός. Μπορεί κανείς να φανταστεί την οξύτητα του προβλήματος για τις χώρες της μέσης Ανατολής και της Αφρικής που ήδη αντιμετωπίζουν προβλήματα λειψυδρίας εδώ και πολλά χρόνια.

Συμπερασματικά, θα μπορούσε να πει κανείς ότι, δεν υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις για έλλειψη του νερού σε παγκόσμια κλίμακα. Αντίθετα, η ανισότροπη κατανομή του, η οποία ανέκαθεν υπήρχε, αναμένεται να ενισχυθεί. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί όχι μόνο με την εύρεση νέων υδάτινων πόρων αλλά κυρίως με τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων. Απαιτείται βελτίωση τόσο της ποιότητας και μεταφοράς του νερού όσο και των αντιπλημμυρικών έργων, αλλά κυρίως μια καλή διαχείριση του νερού ώστε να σταματήσει η άσκοπη σπατάλη του από τις αναπτυγμένες κυρίως χώρες (Δ. Μελάς and Γ. Ασωνίτης and Β. Αμοιρίδης, 2000).

3. Σενάρια εκπομπών SRES (Special Report on Emission Scenarios) IPCC

3.1. Ιστορική αναδρομή

Το 1990 και το 1992 η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) ανέπτυξε μακροπρόθεσμα σενάρια εκπομπών. Αυτά τα σενάρια έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην ανάλυση της πιθανής αλλαγής κλίματος, των επιδράσεών τους και των δυνατοτήτων να μετριαστεί η αλλαγή κλίματος. Συγκεκριμένα, το 1992 δημοσιεύτηκαν έξι σενάρια εκπομπών (Leggett et al., 1992) τα οποία παρουσίασαν εναλλακτικές εκπομπές των αερίων που σχετίζονται με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, για τα έτη από το 1990 μέχρι το 2100. Αυτά τα αέρια ήταν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), το μεθάνιο (CH₄), το νιτρώδες οξείδιο (N₂O), τα οξείδια του αζώτου (NO_x), και το διοξείδιο του θείου (SO₂). Αυτά τα σενάρια προορίζονταν για τη χρήση τους από τους μελετητές της ατμόσφαιρας και του κλίματος, κατά την προετοιμασία των σεναρίων της ατμοσφαιρικής σύνθεσης και της αλλαγής του κλίματος. Αυτά τα έξι σενάρια αναφέρονται ως σενάρια IS92. Από πολλές απόψεις τα σενάρια IS92 ήταν πρωτοποριακά. Ήταν τα πρώτα παγκόσμια σενάρια που παρείχαν εκτιμήσεις της πλήρους ακολουθίας των αερίων του θερμοκηπίου. Τότε, ήταν τα μόνα σενάρια που παρείχαν τις τροχιές εκπομπής για το SO₂. Πολλά άλλαξαν κατά την περίοδο μετά από τη δημιουργία των IS92 σεναρίων. Οι εκπομπές θείου αναγνωρίστηκαν ως σημαντικότερος παράγοντας του Radiative Forcing (RF) από ότι άλλα αέρια σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου -εκτός του CO₂-, ενώ υιοθετήθηκαν και μερικές περιφερειακές πολιτικές ελέγχου. Η αναδόμηση στις χώρες της Ανατολικής Ευρώπης και της πρώην Σοβιετικής Ένωσης είχε πολύ ισχυρότερα αποτελέσματα στην οικονομική δραστηριότητα και τις εκπομπές από ότι είχε προβλεφθεί στα IS92 σενάρια. Για μερικές περιοχές αυτά τα σενάρια δεν ήταν αντιπροσωπευτικά εκείνων που βρίσκονταν στη βιβλιογραφία. Η εμφάνιση των μοντέλων ολοκληρωμένης αξιολόγησης (IA-Integrated Assessment)) έδωσε τη δυνατότητα να δημιουργηθούν σενάρια εκπομπών που εξετάζουν από κοινού τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της ενέργειας, της οικονομίας, και των αλλαγών στις χρήσεις γης. Το 1995 οι Alcamo et al. διαπίστωσαν ότι οι εκπομπές του CO₂ στα IS92 σενάρια ήταν σχετικά αντιπροσωπευτικές των παραλλαγών που βρέθηκαν στη διαθέσιμη βιβλιογραφία, όσον αφορά στη χρήση τους από τα ατμοσφαιρικά κλιματικά μοντέλα. Εντούτοις, τα

σενάρια είναι απαραίτητα επίσης και για άλλους λόγους και τα IS92 σενάρια δεν είναι κατάλληλα για άλλους σκοπούς πέρα από αυτούς για τους οποίους αναπτύχθηκαν. Συνήχθη λοιπόν το συμπέρασμα ότι, εάν τα σενάρια προορίζονταν να έχουν ευρύτερες χρήσεις από το να είναι απλά ένα σύνολο εκπομπών που χρησιμοποιούνται στα μοντέλα κλίματος, θα έπρεπε να αναπτυχθούν νέα σενάρια. Η αξιολόγηση σύστησε επίσης ότι πρέπει να εξεταστούν οι σημαντικές αλλαγές (από το 1992) στην κατανόηση των αιτιών των εκπομπών και των μεθοδολογιών. Αυτοί οι αλλαγές στην κατανόηση αφορούν, π.χ., στη χρήση του άνθρακα για την παροχή ενέργειας, στη διαφορά εισοδήματος μεταξύ των αναπτυγμένων και αναπτυσσόμενων χωρών και στις εκπομπές του θείου. Αυτό οδήγησε σε μια απόφαση από την ολομέλεια της IPCC το 1996 να αναπτυχθεί ένα νέο σύνολο σεναρίων, τα οποία τελικά δημοσιεύτηκαν το 2000 (Special Report on Emissions Scenarios) (IPCC, 2000) (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).

3.2. Κατασκευή σεναρίων εκπομπών SRES

Το σύνολο των σεναρίων της ομάδας SRES (Special Report on Emissions Scenarios, IPCC, 2000 - Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.)) καλύπτει ένα ευρύ φάσμα των κύριων κινητήριων δυνάμεων, δηλαδή των αιτιών, των μελλοντικών εκπομπών, από δημογραφικές αλλαγές μέχρι τεχνολογικές και οικονομικές εξελίξεις. Τα σενάρια καλύπτουν διαφορετικές μελλοντικές εξελίξεις που μπορούν να επηρεάσουν τις πηγές προέλευσης και τις περιοχές απόληξης των αερίων του θερμοκηπίου, όπως είναι οι εναλλακτικές δομές των ενεργειακών συστημάτων και οι αλλαγές στις χρήσεις γης. Κανένα όμως από τα σενάρια δεν περιλαμβάνει οποιοσδήποτε μελλοντικές πολιτικές που εξετάζουν ρητά πρόσθετες πρωτοβουλίες για την αλλαγή του κλίματος - αν και όλα καλύπτουν απαραίτητως τις διάφορες υποτιθέμενες μελλοντικές πολιτικές άλλου είδους που μπορούν έμμεσα να επηρεάσουν τις πηγές και τις περιοχές απόληξης των θερμοκηπικών αερίων. Τα σενάρια εκπομπών SRES είναι βασισμένα σε μια εκτενή αξιολόγηση της βιβλιογραφίας, έξι εναλλακτικές προσεγγίσεις μοντέλων, και μια «ανοικτή διαδικασία» με την ευρεία συμμετοχή πολλών ομάδων και ατόμων. Το σύνολο των σεναρίων περιλαμβάνει τις ανθρωπογενείς εκπομπές όλων των θερμοκηπικών αερίων, του διοξειδίου του θείου (SO₂), του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και των πτητικών οργανικών υδρογονανθράκων (VOCs), όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1. (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).

Carbon Dioxide	CO ₂
Carbon Monoxide	CO
Hydrochlorofluorocarbons	HCFCs
Hydrofluorocarbons	HFCs
Methane	CH ₄
Nitrous Oxide	N ₂ O
Nitrogen Oxides	NO _x
Non-Methane Hydrocarbons	NMVOCs
Perfluorocarbons	PFCs
Sulfur Dioxide	SO ₂
Sulfur Hexafluoride	SF ₆

Πίνακας 3.1: Ονόματα και χημικά σύμβολα ή συντομογραφίες των ανθρωπογενών εκπομπών των θερμοκηπικών αερίων και άλλων αερίων που εξετάζονται στα σενάρια εκπομπών (IPCC, 2000).

Τα σενάρια εκπομπών είναι ένα κεντρικό συστατικό οποιασδήποτε αξιολόγησης της αλλαγής κλίματος. Τα σενάρια διευκολύνουν την αξιολόγηση των μελλοντικών εξελίξεων στα πολυσύνθετα συστήματα που είναι είτε εγγενώς απρόβλεπτα είτε έχουν επιστημονικές αβεβαιότητες, και η αξιολόγηση των μελλοντικών εκπομπών είναι ένα ουσιαστικό συστατικό της γενικής αξιολόγησης της παγκόσμιας αλλαγής κλίματος από την IPCC. Όμως οι μελλοντικές εκπομπές και η εξέλιξη των κινητήριων παραγόντων τους είναι ιδιαίτερα αβέβαιες, όπως περιγράφεται παρακάτω.

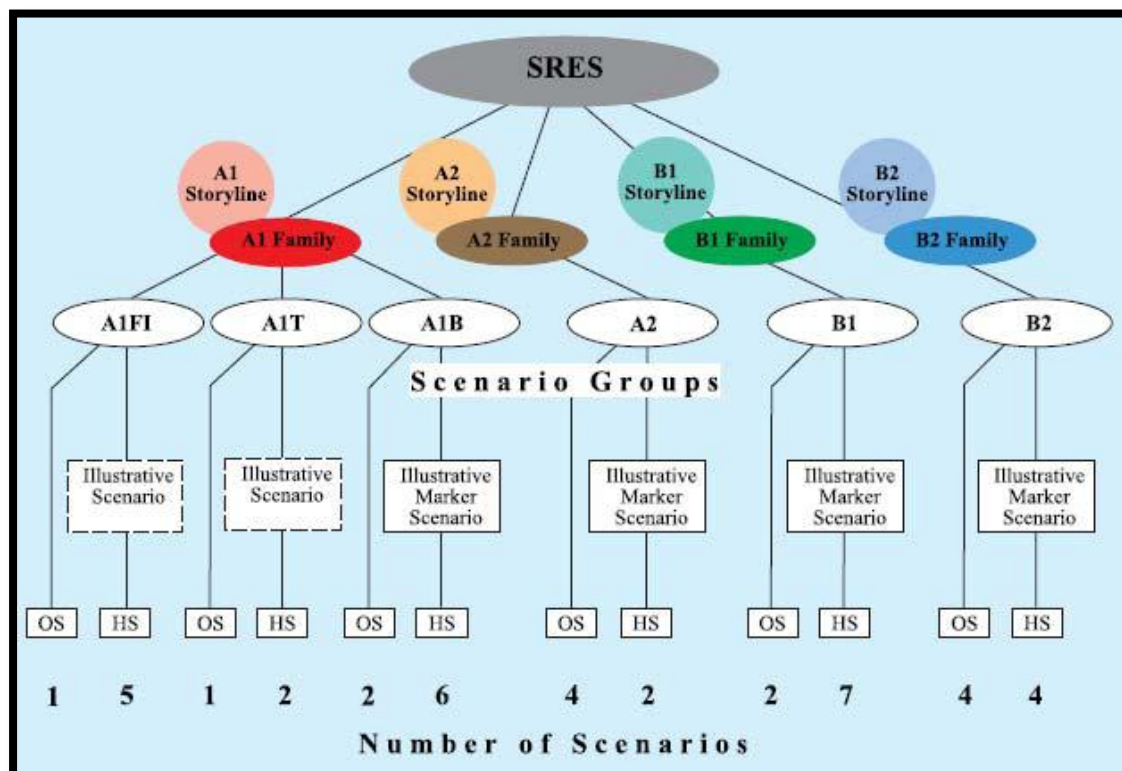
3.2.1. Αβεβαιότητες στην ανάλυση σεναρίων

Γενικά, υπάρχουν τρεις τύποι αβεβαιοτήτων: αβεβαιότητα όσον αφορά στην ποσότητα, αβεβαιότητα που αφορά τη δομή των μοντέλων και αβεβαιότητες που προκύπτουν από τις διαφωνίες μεταξύ των εμπειρογνωμόνων για την τιμή των ποσοτήτων ή τη λειτουργική μορφή του μοντέλου. Πηγές αβεβαιότητας θα μπορούσαν να είναι η στατιστική διακύμανση, η υποκειμενική κρίση (συστηματικό λάθος), ο ατελής καθορισμός (γλωσσική ανακρίβεια), η φυσική μεταβλητότητα, οι διαφωνίες μεταξύ των εμπειρογνωμόνων και η εκτίμηση κατά προσέγγιση. Άλλοι (Funtowicz και Ravetz, 1990) διακρίνουν τρεις κύριες πηγές αβεβαιότητας: «αβεβαιότητες δεδομένων», «αβεβαιότητες μοντέλων » και «αβεβαιότητες πληρότητας». Στις εκθέσεις της IPCC οι ομάδες εργασίας χρησιμοποιούν τις τρεις κατηγορίες Funtowicz και Ravetz:

- Οι αβεβαιότητες δεδομένων προκύπτουν από την ποιότητα ή την καταλληλότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στα μοντέλα. Έτσι, παρουσιάζονται αβεβαιότητες στις μελλοντικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, που οφείλονται είτε στις μη καθορισμένες πλήρως σχέσεις των εκπομπών με τις κινητήριες δυνάμεις των εκπομπών (όπως ο πληθυσμός, η τεχνολογική ανάπτυξη, κτλ.) είτε στη μη ολοκληρωμένη κατανόηση των διαδικασιών του κύκλου του άνθρακα (Τολίκας, 2005).
- Οι αβεβαιότητες των μοντέλων προκύπτουν από μια ελλιπή κατανόηση των φαινομένων που προσομοιώνονται, όπως των νεφών, από τη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος ή από τις παραδοχές που γίνονται.
- Οι αβεβαιότητες πληρότητας αναφέρονται σε όλες τις παραλείψεις λόγω της έλλειψης γνώσης. Είναι, σε γενικές γραμμές, μη προσδιορίσιμες ποσοτικά και αμείωτες (IPCC, 2000).

3.3. Περιγραφή των σεναρίων SRES

Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι τέσσερις πλοκές οι οποίες παράγουν τέσσερα σύνολα σεναρίων αποκαλούμενων «οικογένειες»: A1, A2, B1, και B2. Συνολικά 40 σεσάρια SRES έχουν αναπτυχθεί από έξι ομάδες μοντέλων. Όλα έχουν ίση ισχύ χωρίς να έχουν οριστεί πιθανότητες πραγματοποίησής τους. Το σύνολο σεναρίων αποτελείται από έξι ομάδες σεναρίων που προέρχονται από τις τέσσερις οικογένειες: μια ομάδα για κάθε οικογένεια A2, B1, B2, και τρεις ομάδες μέσα στην οικογένεια A1, που χαρακτηρίζει τις εναλλακτικές εξελίξεις των ενεργειακών τεχνολογιών: A1FI (εντατική χρήση ορυκτού καυσίμου), A1B (εξισορροπημένη), και A1T (κυρίως μη ορυκτά καύσιμα) (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση των σεναρίων SRES (IPCC, 2000).

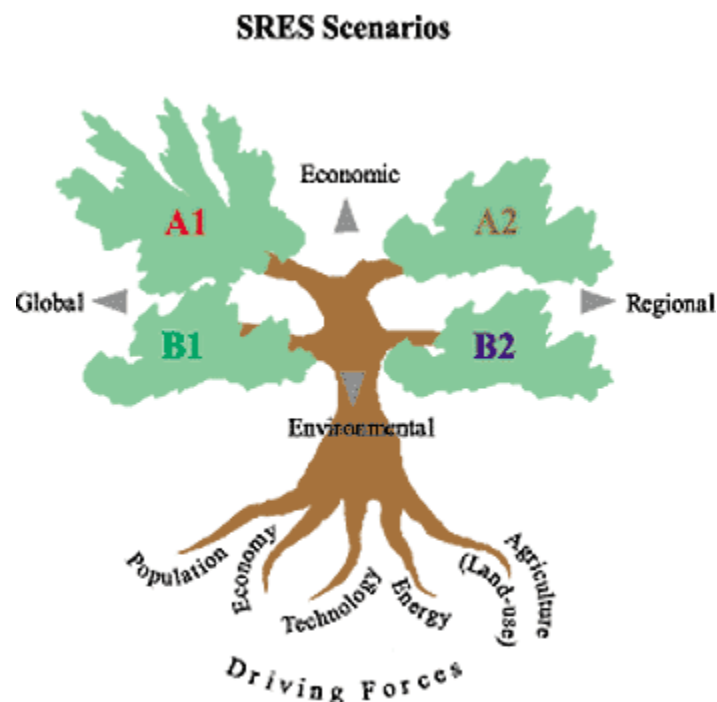
Μέσα σε κάθε οικογένεια και ομάδα σεναρίων, ορισμένα έχουν κοινές «εναρμονισμένες» υποθέσεις σχετικά με τον παγκόσμιο πληθυσμό, το ακαθάριστο παγκόσμιο προϊόν, και την τελική ενέργεια. Αυτά είναι χαρακτηρισμένα ως «HS» (harmonized scenarios-εναρμονισμένα σεσάρια). Το «OS» υποδηλώνει τα σεσάρια που ερευνούν τις αβεβαιότητες στις αιτίες των εκπομπών πέρα από εκείνες των εναρμονισμένων σεναρίων. Στο σχήμα παρουσιάζεται ο αριθμός σεναρίων που αναπτύσσονται μέσα σε κάθε κατηγορία. Για κάθε μία από τις έξι ομάδες σεναρίων

παρέχεται ένα επεξηγηματικό σενάριο (που είναι πάντα εναρμονισμένο). Μέχρι το 2100 ο κόσμος θα έχει αλλάξει με τρόπους που είναι δύσκολο να φανταστεί κανείς - όσο δύσκολο θα ήταν στο τέλος του 19ου αιώνα να φανταστεί κάποιος τις αλλαγές των επόμενων 100 ετών. Κάθε πλοκή υποθέτει μια ευδιάκριτα διαφορετική κατεύθυνση για τις μελλοντικές εξελίξεις, έτσι ώστε οι τέσσερις πλοκές ιστορίας διαφέρουν με όλο και περισσότερο μη αναστρέψιμους τρόπους. Μαζί περιγράφουν διαφορετικές εκδοχές του μέλλοντος που καλύπτουν ένα σημαντικό ποσοστό των ελλοχευουσών αβεβαιοτήτων στις κύριες αιτίες εκπομπών. Καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα βασικών «μελλοντικών» χαρακτηριστικών όπως η δημογραφική αλλαγή, η οικονομική ανάπτυξη και η τεχνολογική εξέλιξη. Για αυτόν τον λόγο, η αληθοφάνεια ή η δυνατότητα πραγματοποίησής τους δεν πρέπει να εξεταστεί απλώς βάσει μιας προέκτασης των σύγχρονων οικονομικών, τεχνολογικών, και κοινωνικών τάσεων. Παρακάτω περιγράφονται τα βασικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων σεναρίων:

- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου **A1** περιγράφει έναν μελλοντικό κόσμο πολύ γρήγορης οικονομικής ανάπτυξης, με παγκόσμιο πληθυσμό που κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και παρουσιάζει μείωση έκτοτε, και με ταχεία εισαγωγή νέων και αποδοτικότερων τεχνολογιών. Σημαντικά ελλοχεύοντα θέματα είναι η σύγκλιση μεταξύ των περιοχών, η δυνατότητα κατασκευής υποδομών και οι αυξανόμενες πολιτιστικές και κοινωνικές αλληλεπιδράσεις, με μια ουσιαστική μείωση των τοπικών διαφορών στο κατά κεφαλήν εισόδημα. Η οικογένεια σεναρίου A1 αναπτύσσεται σε τρεις ομάδες που περιγράφουν τις εναλλακτικές κατευθύνσεις της τεχνολογικής αλλαγής στο ενεργειακό σύστημα. Οι τρεις ομάδες A1 διακρίνονται από την τεχνολογική έμφασή τους: εντατική χρήση ορυκτών (A1FI), πηγές ενέργειας άλλες των ορυκτών (A1T), ή μια ισορροπία μεταξύ όλων των πηγών (A1B).
- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου **A2** περιγράφει έναν πολύ ετερογενή κόσμο. Το ελλοχεύον θέμα είναι η αυτάρκεια και η συντήρηση των τοπικών ταυτοτήτων. Οι δομές σχετικές με τη γονιμότητα στις διάφορες περιοχές συγκλίνουν πολύ αργά, κάτι που οδηγεί στο συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό. Η οικονομική ανάπτυξη είναι πρώτιστα τοπικά προσανατολισμένη και η κατά κεφαλήν οικονομική ανάπτυξη και τεχνολογική αλλαγή είναι τεμαχισμένες και πιο αργές απ' ό,τι σε άλλες πλοκές.
- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου **B1** περιγράφει έναν συγκλίνοντα κόσμο με τον παγκόσμιο πληθυσμό να κορυφώνεται στα μέσα του αιώνα και να παρουσιάζει μείωση έκτοτε, όπως στη πλοκή A1, αλλά με γρήγορες αλλαγές στις οικονομικές δομές προς μια οικονομία υπηρεσιών και πληροφοριών, με

μειώσεις στην πυκνότητα των υλικών, και την εισαγωγή των καθαρών και αποδοτικών ως προς τους πόρους τεχνολογιών. Η έμφαση δίνεται σε παγκόσμιες λύσεις για οικονομική, κοινωνική, και περιβαλλοντική βιωσιμότητα, συμπεριλαμβανομένου και ενός βελτιωμένου δικαίου, αλλά χωρίς πρόσθετες πρωτοβουλίες για το κλίμα.

- Η οικογένεια πλοκής και σεναρίου **B2** περιγράφει έναν κόσμο στον οποίο η έμφαση δίνεται στις τοπικές λύσεις για την οικονομική, κοινωνική, και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Είναι ένας κόσμος με συνεχώς αυξανόμενο παγκόσμιο πληθυσμό με ένα ρυθμό χαμηλότερο από την A2, ενδιάμεσα επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης, και λιγότερο γρήγορη και πιο ποικίλη τεχνολογική αλλαγή απ' ό,τι στις B1 και A1 πλοκές. Ενώ το σενάριο προσανατολίζεται επίσης προς την προστασία του περιβάλλοντος και την κοινωνική αμεροληψία, εστιάζει στο τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).



Σχήμα 3.2: Σχηματική επεξήγηση των σεναρίων SRES (IPCC, 2000).

Το σχήμα 2.2 δείχνει ότι τα σενάρια στηρίζονται στους κύριους κινητήριους παράγοντες των εκπομπών θερμοκηπτικών αερίων. Κάθε οικογένεια σεναρίου είναι βασισμένη σε μια κοινή προδιαγραφή των κύριων κινητήριων παραγόντων. Οι

τέσσερις οικογένειες σεναρίου παρουσιάζονται ως κλάδοι ενός δισδιάστατου δέντρου. Οι δύο διαστάσεις δείχνουν τον παγκόσμιο και τον τοπικό προσανατολισμό των σεναρίων και τον αναπτυξιακό και τον περιβαλλοντικό προσανατολισμό, αντίστοιχα. Στην πραγματικότητα, τα τέσσερα σενάρια μοιράζονται ένα χώρο με πολύ περισσότερες διαστάσεις, δεδομένων των πολυάριθμων κινητήριων παραγόντων και άλλων υποθέσεων που απαιτούνται για να καθορίσουν οποιοδήποτε σενάριο σε μια συγκεκριμένη προσέγγιση μοντέλου. Οι όροι χρήσης των σεναρίων SRES απαιτούν μια πολύ-μοντελική προσέγγιση για την ανάπτυξη των σεναρίων εκπομπών. Εν γένει, έξι διαφορετικές προσεγγίσεις μοντέλων χρησιμοποιήθηκαν για να παραγάγουν τα 40 σενάρια SRES. Αυτά τα έξι μοντέλα είναι αντιπροσωπευτικά των προσεγγίσεων που έγιναν κατά τη μοντελοποίηση των σεναρίων εκπομπών και των διαφορετικών πλαισίων ολοκληρωμένης αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται στη βιβλιογραφία των σεναρίων και περιλαμβάνουν μακροοικονομικά μοντέλα (προσέγγιση από την κορυφή προς τη βάση) και μοντέλα μηχανικής συστημάτων (προσέγγιση από μηδενική βάση). Μερικές ομάδες μελέτης μοντέλων ανέπτυξαν σενάρια για να απεικονίσουν και τις τέσσερις πλοκές ιστορίας, ενώ κάποιοι παρουσίασαν σενάρια για λιγότερες πλοκές ιστορίας. Οι έξι προσεγγίσεις μοντέλων περιλαμβάνουν τα εξής μοντέλα:

- Asian Pacific Integrated Model (AIM), National Institute of Environmental Studies,
- Ιαπωνία (Morita *et al.*, 1994)
- Atmospheric Stabilization Framework Model (ASF), ICF Consulting, ΗΠΑ (Lashof and
- Tirpak, 1990; Pepper *et al.*, 1992, 1998; Sankovski *et al.*, 2000)
- Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect (IMAGE), National Institute for
- Public Health and Environmental Hygiene (RIVM) (Alcamo *et al.*, 1998; de Vries *et*
- *al.*, 1994, 1999, 2000), σε συνεργασία με το Dutch Bureau for Economic Policy
- Analysis (CPB) WorldScan model (de Jong and Zalm, 1991), Ολλανδία
- Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation (MARIA), Science
- University of Tokyo, Ιαπωνία (Mori and Takahashi, 1999; Mori, 2000)
- Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental

- Impact (MESSAGE), International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA),
- Αυστρία (Messner and Strubegger, 1995; Riahi and Roehrl, 2000) και
- Mini Climate Assessment Model (MiniCAM), Pacific Northwest National Laboratory
- (PNNL), ΗΠΑ (Edmonds *et al.*, 1994, 1996a, 1996b).
- (IPCC, 2000)

(Χατζηπαραδείση Κ., 2008).

4. Διαχείριση Δεδομένων – Ανάπτυξη Μεθοδολογίας

4.1. Περιγραφή δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία αντλήθηκαν από την Ιστοσελίδα της Παγκόσμιας Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή και αφορούν τις χρονικές περιόδους από 2011-2030, 2046-2065 και 2080-2099 για δύο κλιματικά μοντέλα που αναλύονται παρακάτω. Πιο συγκεκριμένα οι μεταβλητές που εξετάζονται είναι η θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η ατμοσφαιρική πίεση.

Επομένως το σύνολο των χαρτών αφορά αυτές τις χρονικές περιόδους και για τη μεταβολή που παρατηρείται για αυτές τις τρεις μεταβλητές, όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	2011-2030, 2046-2065, 2080-2099
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	2011-2030, 2046-2065, 2080-2099
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ	2011-2030, 2046-2065, 2080-2099

4.2. Κλιματικά Μοντέλα και Χαρακτηριστικά τους

4.2.1. Τα κλιματικά μοντέλα

Η επιστημονική έρευνα για τις κλιματικές αλλαγές περιλαμβάνει πολλούς ερευνητικούς κλάδους. Ένας πρώτος ερευνητικός κλάδος ασχολείται με την «αναπαράσταση» του κλίματος του παρελθόντος, αναλύοντας διάφορα ίχνη που έχουν αποτυπωθεί στους δακτυλίους δένδρων, τα ιζήματα των λιμνών και των ωκεανών, τους παγετώνες κ.α. Ακολουθούν άλλες παράλληλες έρευνες, που όλες μαζί επιχειρούν να στηρίξουν την ανάπτυξη κλιματικών μοντέλων, δηλαδή μαθηματικών μοντέλων που θα μπορούν να αναπαραστήσουν την εξέλιξη του κλίματος, έτσι ώστε να εξηγούν τις αλλαγές του παρελθόντος και να προβλέπουν το κλίμα του μέλλοντος.

Για να εκτιμηθεί η ευαισθησία του κλίματος στις κλιματικές αλλαγές συνήθως λειτουργούν ταυτόχρονα δύο κλιματικά μοντέλα, ένα για την ατμόσφαιρα και ένα για τους ωκεανούς, τα οποία αν και είναι ξεχωριστά, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Παρόλα αυτά, μπορεί να υπάρχουν κι άλλα μοντέλα όπως ποταμών ή πάγων. (Μιμίκου Μ.Α.,2001)

Τα μοντέλα αριθμητικής προσομοίωσης του καιρού χωρίζονται σε Παγκόσμια Ατμοσφαιρικά Μοντέλα (Global Atmospheric Models) και σε Μοντέλα Περιορισμένης Περιοχής (Limited Area Models, LAMs). Μέθοδοι υπολογισμού των κλιματικών αλλαγών είναι αυτές που γίνονται κυρίως μέσω των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας (Circulation Models, GCMs). Για τον ίδιο σκοπό χρησιμοποιούνται ακόμη τα Μοντέλα Ενεργειακού Ισοζυγίου (Energy - Balance Models, EBMs) και τα Μοντέλα Ακτινοβολίας - Μεταγωγής Θερμότητας (Radiative - Convective Models, RCMs). Αυτά όμως παρουσιάζουν περιορισμένο γεωγραφικό και χρονικό πεδίο ενώ αποκλείουν τις υδρολογικές διαδικασίες. Επίσης, άλλα μοντέλα με βελτιώσεις στον τομέα της ατμοσφαιρικής δυναμικής είναι τα Στατιστικά - Δυναμικά Μοντέλα (Statistical -Dynamical Models, SDMs) (Μιμίκου Μ.Α.,2001).

Ωστόσο, οι προβλέψεις είναι αβέβαιες, διότι τα υπάρχοντα κλιματικά μοντέλα βρίσκονται ακόμη στη σφαίρα των προσεγγιστικών εκτιμήσεων, λόγω ανεπάρκειας γνώσεων σχετικά με τους βιογεωχημικούς κύκλους, όπως η αλληλεπίδραση ατμόσφαιρας και ωκεανού, η δυναμική της νεφοκάλυψης και η αλληλεπίδραση τους με την ακτινοβολία (Βαρώτσος Κ.,1996). Εδώ να σημειωθεί και η αβεβαιότητα που υπάρχει στην πρόβλεψη σχετικά με τις μελλοντικές πολιτικές για την ενέργεια, τη γεωργία και τα δάση.

Ακόμη περισσότερες αβεβαιότητες παρουσιάζονται από την πιθανότητα να εμφανίζονται μη γραμμικές απαντήσεις και απροσδόκητες εξελίξεις. Μη αναμενόμενες εξωτερικές επιδράσεις, όπως οι ηφαιστειακές εκρήξεις, μπορούν να οδηγήσουν σε εξίσου μη αναμενόμενες και σχετικά σύντομες ή απότομες αλλαγές στο κλιματικό σύστημα. Κατά τον ίδιο τρόπο, προσοχή θα πρέπει να προσδίδεται και στα προβλήματα που εγείρονται από το πλήθος των γενεσιουργών παραγόντων και των πολύπλοκων αναδράσεων της φύσης καθώς και των πολυδιάστατων δεσμών ανάμεσα στον αέρα, το νερό, το έδαφος και τον οργανικό κόσμο. Για παράδειγμα, τα χερσαία οικοσυστήματα και το κλίμα είναι τόσο στενά συνδεδεμένα, ώστε παρόλο που οποιαδήποτε κλιματική αλλαγή έχει επίδραση στο κάλυμμα της βλάστησης, στο έδαφος κλπ., τυχόν μεταβολές στο χαρακτήρα των χερσαίων οικοσυστημάτων επηρεάζουν εξίσου το κλιματικό σύστημα και τροποποιούν έτσι την απελευθέρωση ή την αποθήκευση των αερίων του θερμοκηπίου (Δ. Βούβαλη,1998).

Τα αποτελέσματα της αριθμητικής προσομοίωσης των κλιματικών αλλαγών, υπό την επίδραση της αύξησης της έντασης του φαινομένου του θερμοκηπίου, συμφωνούν ικανοποιητικά όσον αφορά την εκτίμηση των παγκόσμιων κλιματικών αλλαγών, αλλά

αποκλίνουν σημαντικά όσον αφορά τις εκτιμήσεις σε περιφερειακή και τοπική κλίμακα, όπου οι αβεβαιότητες είναι και μεγαλύτερες. Σύμφωνα με τον κλιματολόγο Tom Wigley, *"παρά τα προβλήματα που χαρακτηρίζουν τα υπάρχοντα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα, αυτά παραμένουν σήμερα τα καλύτερα εργαλεία για την πρόβλεψη των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών σε τοπικό επίπεδο"*. Σε κάθε περίπτωση, τα κλιματικά μοντέλα πρέπει να εκλαμβάνονται μόνο ως σενάρια των πιθανών μελλοντικών κλιματικών αλλαγών και όχι ως σίγουρες προβλέψεις (Jacqueline Karas, 1997).

Μερικά από τα ζητήματα που θα πρέπει να αντιμετωπιστούν στο μέλλον, όσον αφορά τα κλιματικά μοντέλα LAMs, είναι:

1. Η εκτίμηση της μεταβλητότητας των περιφερειακών μετεωρολογικών παραμέτρων και η μελέτη της σχέσης των παραμέτρων αυτών με την παγκόσμια κλιματική μεταβλητότητα.
2. Η εξακρίβωση των πιθανών κλιματικών τάσεων. Δηλαδή, αν και κατά πόσο οι κλιματικές τάσεις αποτελούν μια φυσική διεργασία ή είναι επίδραση του ενισχυμένου φαινομένου του θερμοκηπίου.
3. Η μελέτη των κλιματικών μεταβολών για σενάρια αυξημένων εκπομπών CO₂, με σύνθετα και περισσότερο ακριβή κλιματικά μοντέλα που λαμβάνουν υπόψη την τοπογραφία της περιοχής, καθώς και τη συνεισφορά των νεφών, της θάλασσας και όλων των αερίων του θερμοκηπίου.
4. Η μελέτη των επιπτώσεων της πιθανώς ενισχυμένης κλιματικής μεταβλητότητας (π.χ. παρατεταμένα διαστήματα ξηρασίας ή μεταβαλλόμενη ένταση βροχόπτωσης σε εποχιακό επίπεδο), στις χρήσεις γης και στην οικονομία των χωρών της Μεσογείου (Ξηράκης Π., 1998).

4.2.2. Περιγραφή κλιματικών μοντέλων

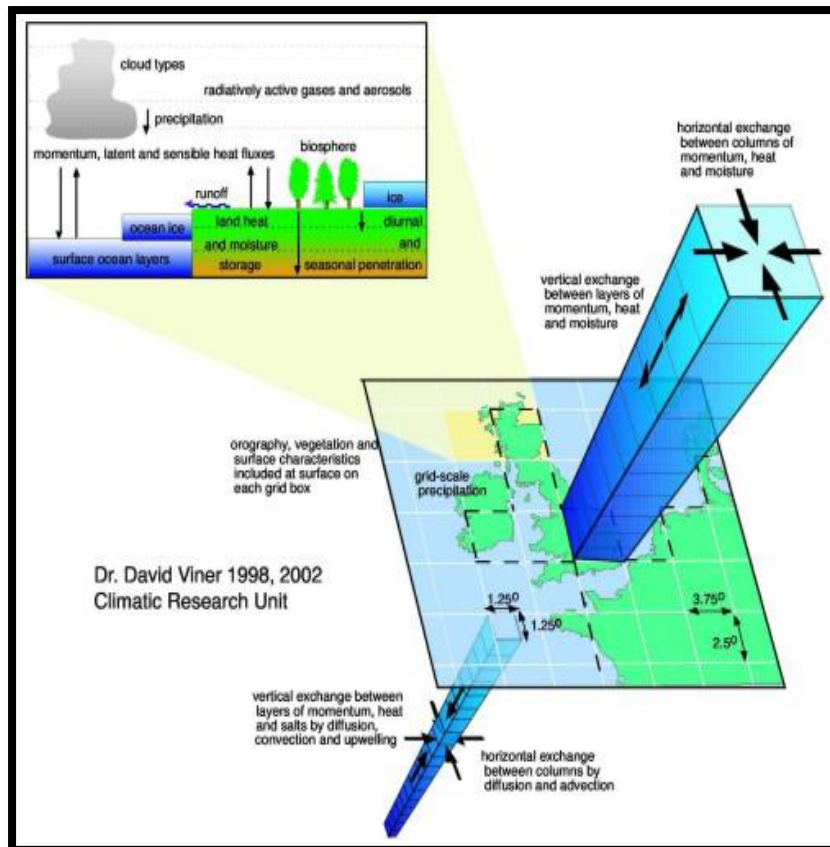
- *Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας*

Τα Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models -GCMs), κοινά αποκαλούμενα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα, είναι αριθμητικά μοντέλα που προσομοιώνουν τις φυσικές διαδικασίες στην ατμόσφαιρα, τον ωκεανό, την κρουσφαιρα και την επιφάνεια του εδάφους, βασιζόμενα στους νόμους διατήρησης της ορμής, της μάζας, της ολικής ενέργειας και της ποσότητας των υδρατμών (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).

Τα μοντέλα αυτά είναι τα πιο προηγμένα διαθέσιμα εργαλεία για την προσομοίωση της απόκρισης του παγκόσμιου κλιματικού συστήματος στις αυξανόμενες συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου. Ενώ απλούστερα μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης για να παρέχουν παγκόσμιες ή τοπικές μέσες εκτιμήσεις της απόκρισης του κλίματος, μόνο τα Παγκόσμια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, ενδεχομένως από κοινού με τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν γεωγραφικά και φυσικά συνεπείς εκτιμήσεις της τοπικής αλλαγής του κλίματος, που απαιτούνται στις μελέτες επιπτώσεων (impact studies).

Τα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα απεικονίζουν το κλίμα χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο πλέγμα σε όλη την υδρόγειο, έχοντας χαρακτηριστικά μία οριζόντια ανάλυση μεταξύ 200 και 600 χλμ, 10 έως 20 κάθετα στρώματα (layers) στην ατμόσφαιρα και μερικές φορές έως και 30 στρώματα στους ωκεανούς. Η ανάλυσή τους είναι έτσι αρκετά μεγάλη σχετικά με την κλίμακα και τα τοπικά χαρακτηριστικά των περιοχών έκθεσης στις περισσότερες μελέτες επιπτώσεων. Επιπλέον, πολλές φυσικές διαδικασίες όπως οι σχετικές με τα νέφη, την εξάτμιση και τις βροχοπτώσεις, εμφανίζονται επίσης σε μικρότερες κλίμακες και δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν κατάλληλα. Αντ' αυτού, οι γνωστές ιδιότητές τους πρέπει να υπολογιστούν κατά μέσο όρο σε μεγαλύτερες κλίμακες με μια τεχνική γνωστή ως *παραμετροποίηση*. Τα παραπάνω αποτελούν μια πηγή αβεβαιότητας στις προσομοιώσεις του μελλοντικού κλίματος με τη χρήση των μοντέλων GCM.

Άλλες πηγές αβεβαιότητας αφορούν την προσομοίωση διάφορων μηχανισμών ανάδρασης (feedbacks), για παράδειγμα σχετικά με την εξατμισοδιαπνοή και τη θέρμανση, τα νέφη και την ακτινοβολία, την ωκεάνια κυκλοφορία και το albedo πάγου και χιονιού. Έτσι τα μοντέλα GCM μπορεί να εκτιμήσουν αρκετά διαφορετικές αποκρίσεις για τον ίδιο εξωτερικό καταναγκασμό, εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο ορισμένες διαδικασίες και αναδράσεις μοντελοποιούνται (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).



Εικόνα 4.1: Προσομοίωση του κλίματος στα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα.

Εντούτοις, ενώ αυτές οι διαφορές είναι συνήθως σύμφωνες με το εύρος της ευαισθησίας του κλίματος, υπάρχει μεγάλο εύρος αβεβαιότητας των τοπικών εκτιμήσεων. Ακόμα και όλα μαζί τα διαθέσιμα πειράματα Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας δεν θα μπορούσαν να εγγυηθούν ένα αντιπροσωπευτικό εύρος, λόγω άλλων αβεβαιοτήτων που τα μοντέλα αυτά δεν εξετάζουν πλήρως, ειδικά όσον αφορά στις εκτιμήσεις της μελλοντικής ατμοσφαιρικής σύνθεσης. (Χατζηπαραδείση Κ., 2008)

➤ Τύποι μοντέλων γενικής κυκλοφορίας

Ένα υπολογιστικό μοντέλο που περιλαμβάνει πολλές παραμέτρους του κλιματικού συστήματος απαιτεί σημαντική υπολογιστική δύναμη. Συνεπώς, για την κλιματική πρόβλεψη των επόμενων αιώνων, είναι απαραίτητος είτε ένας πολύ ισχυρός υπολογιστής είτε ένα λιγότερο σύνθετο μοντέλο. Απλούστερα μοντέλα του κλιματικού συστήματος έχουν αναπτυχθεί και έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη των βασικών

στοιχείων της συμπεριφοράς του κλιματικού συστήματος, και για την εκτίμηση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου.

1. Ατμοσφαιρικά Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα (AGCMs)

Τα Ατμοσφαιρικά Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Atmospheric General Circulation Models - AGCMs) αποτελούνται από μια τρισδιάστατη προσομοίωση της ατμόσφαιρας συζευγμένη με την επιφάνεια του εδάφους και την κρούσφαιρα. Ένα Ατμοσφαιρικό Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας είναι παρόμοιο με ένα μοντέλο που χρησιμοποιείται για την αριθμητική καιρική πρόβλεψη, αλλά επειδή οι εκτιμήσεις είναι μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας (δεκαετίες), χρησιμοποιεί ένα μικρότερο επίπεδο λεπτομέρειας. Στο μοντέλο αυτό πρέπει να παρασχεθούν δεδομένα της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και της κάλυψης του θαλάσσιου πάγου. Ως εκ τούτου ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μόνο του για την εκτίμηση του κλίματος, επειδή δεν μπορεί να προσομοιώσει πώς αλλάζουν οι ωκεάνιες συνθήκες. Τα ατμοσφαιρικά μοντέλα είναι χρήσιμα για τη μελέτη των ατμοσφαιρικών διαδικασιών, της μεταβλητότητας του κλίματος και της απόκρισής του στις αλλαγές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).

2. Ωκεάνια Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα (OGCMs)

Τα Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Ocean General Circulation Models- OGCMs) είναι τα ωκεάνια αντίστοιχα των Ατμοσφαιρικών Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας, είναι δηλαδή μια τρισδιάστατη προσομοίωση του ωκεανού και του θαλάσσιου πάγου. Τα Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μόνα τους για τη μελέτη της ωκεάνιας κυκλοφορίας, τις εσωτερικές διαδικασίες και τη μεταβλητότητα, αλλά εξαρτώνται από την παροχή στοιχείων για τη θερμοκρασία του αέρα της επιφάνειας και άλλες ατμοσφαιρικές ιδιότητες (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).

3. Μοντέλα του Κύκλου του Άνθρακα

Ο επίγειος κύκλος του άνθρακα μοντελοποιείται με βάση τη φόρμα της επιφάνειας του εδάφους στα Ατμοσφαιρικά Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, και του θαλάσσιου κύκλου του άνθρακα στα Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας. Το μοντέλο του

κύκλου του άνθρακα είναι απαραίτητο για να προσομοιωθούν διάφορες σημαντικές αναδράσεις του κλίματος σχετικά με τη συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, όπως η λίπανση των φυτών με διοξείδιο του άνθρακα για την ανάπτυξή τους, και η λήψη ή η απόδοση του διοξειδίου του άνθρακα από τους ωκεανούς (Χατζηπαραδείση Κ., 2008).

4. Ατμοσφαιρικά Χημικά Μοντέλα

Τα τρισδιάστατα Ατμοσφαιρικά Χημικά Μοντέλα περιλαμβάνουν τους παράγοντες εκείνους που είναι υπεύθυνοι για την παραγωγή και την καταστροφή του όζοντος και του μεθανίου στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. (Χατζηπαραδείση Κ., 2008)

5. Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Γενικά Μοντέλα Κυκλοφορίας (AOGCMs)

Τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας (Coupled atmosphere-ocean general circulation models- AOGCMs) είναι τα πιο σύνθετα μοντέλα. Αποτελούνται από ένα Ατμοσφαιρικό Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας που συνδέεται με ένα Ωκεάνιο Μοντέλο Γενικής Κυκλοφορίας. Μερικά πρόσφατα μοντέλα περιλαμβάνουν τη βιόσφαιρα, τον κύκλο του άνθρακα, καθώς και την ατμοσφαιρική χημεία.

Τα μοντέλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση και το ρυθμό αλλαγής του μελλοντικού κλίματος. Χρησιμοποιούνται επίσης για να μελετήσουν τη μεταβλητότητα και τις φυσικές διαδικασίες όλου του κλιματικού συστήματος. Τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα έχουν συνήθως μία ανάλυση μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων. Τα πειράματα για τα αέρια του θερμοκηπίου με τα συζευγμένα μοντέλα συνήθως αφορούν στις τιμές των ατμοσφαιρικών συγκεντρώσεων των αερίων, αλλά εάν συμπεριληφθεί και ένα μοντέλο του κύκλου του άνθρακα, το μοντέλο μπορεί να εκτιμήσει και τις αλλαγές στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές του αερίου αυτού στην ατμόσφαιρα. Ομοίως, ένα συζευγμένο μοντέλο που συνδέεται με ένα ατμοσφαιρικό χημικό μοντέλο είναι σε θέση να εκτιμήσει τις αλλαγές στη συγκέντρωση άλλων ατμοσφαιρικών συστατικών, που οφείλονται στην αλλαγή του κλίματος και στις μεταβαλλόμενες εκπομπές των διάφορων αερίων.

Στα περισσότερα μοντέλα AOGCM δε γίνεται πλέον παραμετροποίηση των ροών, η οποία ήταν προηγουμένως απαραίτητη για την επίτευξη ενός σταθερού κλίματος. Συγχρόνως, έχουν γίνει σημαντικές βελτιώσεις στην προσομοίωση πολλών πτυχών του παρόντος κλίματος. Οι αβεβαιότητες που συνδέονται με την παραμετροποίηση των ροών έχουν επομένως μειωθεί, αν και τα σφάλματα και οι μακροπρόθεσμες τάσεις στις προσομοιώσεις ελέγχου των AOGCM παραμένουν ακόμα (IPCC, 2007a).

- *Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs)*

Η τοπική αλλαγή του κλίματος επηρεάζεται πολύ από τοπικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα όπως η ορεογραφία, τα οποία δεν προσομοιώνονται ικανοποιητικά στα παγκόσμια μοντέλα λόγω της μικρότερης χωρικής ανάλυσής τους. Χάρη στην εξέλιξη των μοντέλων και την καλύτερη κατανόηση των φυσικών διαδικασιών του κλιματικού συστήματος είναι πλέον δυνατή η εκτίμηση της τοπικής κλιματικής αλλαγής σε πολλές περιοχές του κόσμου. Χρησιμοποιώντας ως βάση τα Συζευγμένα Ατμοσφαιρικά-Ωκεάνια Μοντέλα Γενικής Κυκλοφορίας, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας για την απόκτηση πιο λεπτομερειακών δεδομένων. Οι μέθοδοι υποβιβασμού κλίμακας χωρίζονται σε δυναμικές, χρησιμοποιώντας τα Περιοχικά Κλιματικά Μοντέλα (RCMs), και σε στατιστικές-εμπειρικές μεθόδους, οι οποίες χρησιμοποιούν τις παρατηρούμενες σχέσεις ανάμεσα στη μεγάλης κλίμακας κυκλοφορία (ανεξάρτητες μεταβλητές) και στο τοπικό κλίμα (εξαρτημένες μεταβλητές) (Τολίκας, 2005).

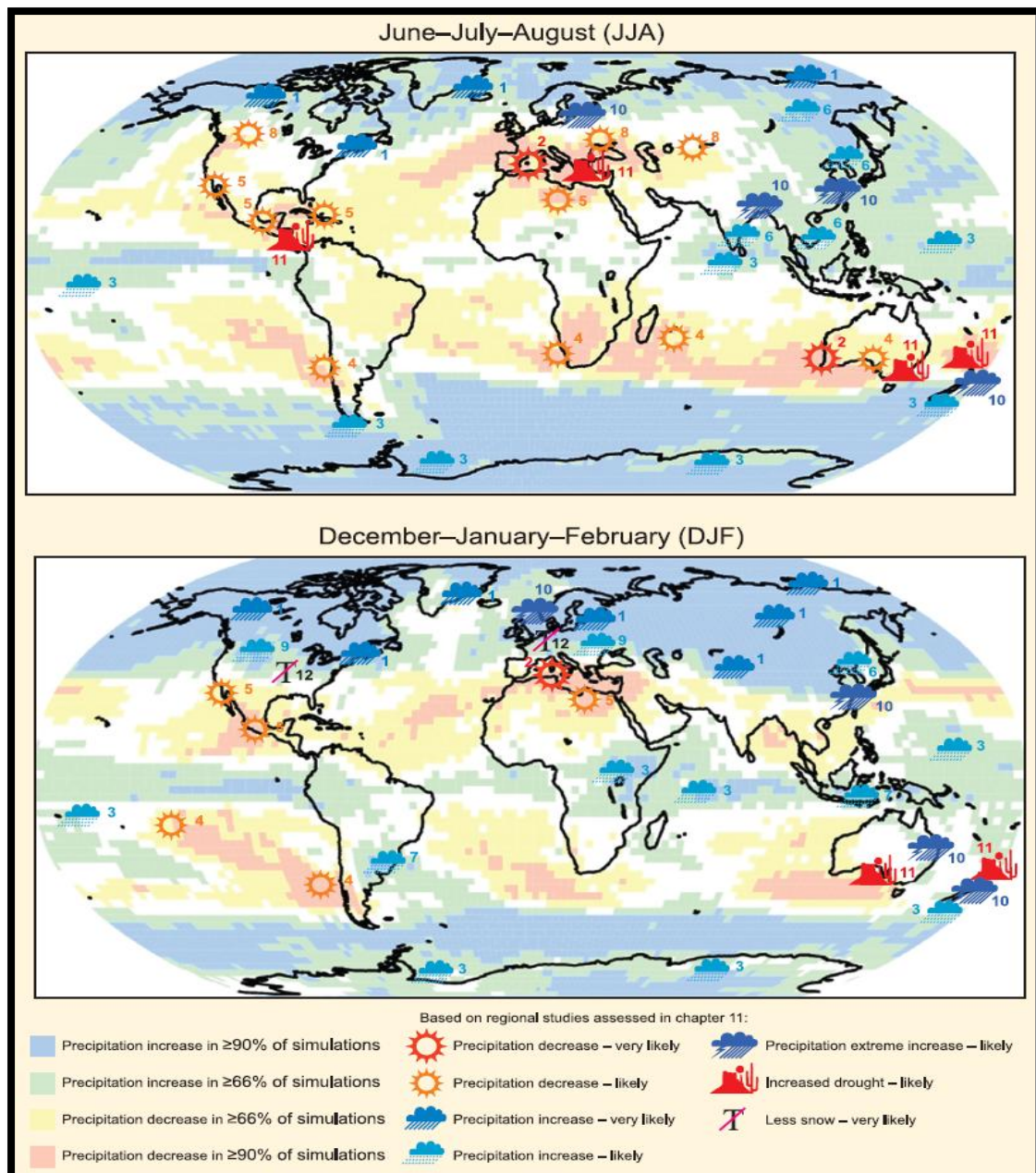
Τα τοπικής κλίμακας μοντέλα είναι σύνθετα ατμοσφαιρικά ή ωκεάνια μοντέλα τα οποία βασίζονται σε φυσικούς νόμους που αναπαρίστανται με μαθηματικές εξισώσεις και για τις τρεις διαστάσεις του χώρου (Τολίκας, 2005). Όμως λόγω της υψηλότερης ανάλυσής τους δεν μπορούν στην ουσία να χρησιμοποιηθούν για την πλανητική προσομοίωση μεγάλων χρονικών περιόδων. Για να το υπερνικήσουν αυτό, τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα κατασκευάζονται με μια υψηλότερη ανάλυση (συνήθως 50x50 km ή και μικρότερη πλέον) για μια συγκεκριμένη περιορισμένη γεωγραφική περιοχή (της τάξης των 10⁷ km²).

Δυστυχώς, τα περιοχικά κλιματικά μοντέλα, όσο υψηλή ανάλυση και να έχουν, παρουσιάζουν κάποια συστηματικά σφάλματα. Τέτοια σφάλματα μεταφέρονται από το «γονέα» μοντέλο μεγαλύτερης κλίμακας, είτε εξαιτίας της τραχείας τους ανάλυσης είτε λόγω των παραμετροποιήσεων. Αυτό που είναι όμως πολύ σημαντικό, πέρα από το γεγονός ότι παρουσιάζουν κάποια δυσκολία στην εφαρμογή τους, είναι ότι έχουν και μεγάλο υπολογιστικό κόστος και χρόνο. Το τελευταίο μπορεί ίσως να αποφευχθεί

με τη χρήση άλλων μεθόδων υποβιβασμού κλίμακας, όπως των εμπειρικών μεθόδων (Τολικά, 2005).

Ο χάρτης 4.1. παρουσιάζει σημαντικά πορίσματα πάνω στην τοπική αλλαγή κλίματος για τις μέσες και ακραίες βροχοπτώσεις. Αυτή η τοπική αξιολόγηση βασίστηκε σε μελέτες μοντέλων AOGCM, περιοχικών κλιματικών μοντέλων, στατιστικές μεθόδους υποβιβασμού κλίμακας και στην κατανόηση των φυσικών διαδικασιών. Ο χάρτης υποβάθρου δείχνει το βαθμό συνέπειας μεταξύ των προσομοιώσεων AOGCM της AR4 (21 προσομοιώσεις) στην κατεύθυνση της προσομοίωσης των αλλαγών των βροχοπτώσεων (χρησιμοποιώντας το σενάριο A1B και συγκρίνοντας την περίοδο 2080-2099 με την περίοδο ελέγχου 1980-1999) (IPCC, 2007a).

Όπως φαίνεται και στο χάρτη 4.1. λοιπόν, για τους μήνες ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 90% στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο κυρίως, παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 66% στο δυτικό και ανατολικό ημισφαίριο, παρατηρείται μείωση της βροχόπτωσης κατά 66% κυρίως προς την ήπειρο της Αμερικής, στην κεντρική Αφρική και στην Αυστραλία και παρατηρείται μείωση της βροχόπτωσης κατά 90% κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου. Για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 90% στο βόρειο ημισφαίριο κυρίως, παρατηρείται αύξηση της βροχόπτωσης κατά 66% κυρίως στο νότιο ημισφαίριο, παρατηρείται μείωση της βροχόπτωσης κατά 66% κυρίως δυτικά και ανατολικά της Αμερικής και στην βόρεια Αφρική και παρατηρείται μείωση της βροχόπτωσης κατά 90% κυρίως στην περιοχή της Μεσογείου.



Χάρτης 4.1: Σημαντικά πορίσματα πάνω στην τοπική αλλαγή κλίματος για τις μέσες και ακραίες βροχοπτώσεις (IPCC, 2007a).

4.2.3. Τα μοντέλα GCMs και τα όριά τους

Η εκτίμηση της ευαισθησίας του κλίματος στις αλλαγές της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου γίνεται μέσω των Μοντέλων Γενικής Κυκλοφορίας (General Circulation Models, GCMs), τα οποία αποτελούν απλοποιημένες αναπαραστάσεις της λειτουργίας του κλιματικού συστήματος.

Αυτά τα σύνθετα υπολογιστικά μοντέλα χωρίζουν το γήινο κλιματικό σύστημα με τη βοήθεια καννάβου σε πολλές υποδιαίρεσεις - πλέγματα (40.000 περίπου) σε

οριζόντια και κατακόρυφη διάσταση. Τα GCMs προσπαθούν να αναπαραστήσουν τις φυσικές διαδικασίες που ελέγχουν το κλιματικό σύστημα, βασιζόμενα πάνω σε γνωστούς φυσικούς νόμους της θερμοδυναμικής που περιγράφουν τη δυναμική και τη φυσική της ατμόσφαιρας και των ωκεανών. Με εργαλεία τις εξισώσεις της υδροδυναμικής του Von Helmholtz, τις μεθόδους επίλυσης διαφορικών εξισώσεων με τη βοήθεια μεγάλων σύγχρονων ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθώς και τις μαθηματικές μεθόδους παρεμβολής και εξομάλυνσης σε κάθε υποδιαίρεση - πλέγμα, τα GCMs δίνουν μια σχετικά ακριβή πρόγνωση [24]. Φαινόμενα ανάδρασης στο κλιματικό σύστημα, όπως οι διαδικασίες που μπορεί να ελαττώσουν ή να ενισχύσουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, περιλαμβάνονται αυτομάτως σε αυτά τα μοντέλα και αναφέρονται κυρίως σε αλλαγές στη χιονοκάλυψη ή στη παγοκάλυψη, στα σύννεφα και στους υδρατμούς. Παρουσιάζουν λεπτομερή αναπαράσταση των ατμοσφαιρικών κινήσεων και της ανταλλαγής θερμότητας καθώς και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ξηράς, ωκεανών και πάγων.

Στα μοντέλα GCMs με την αλλαγή των δεδομένων, οι ερευνητές προβλέπουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στο κλίμα. Στο μεγαλύτερο μέρος των πειραμάτων που πραγματοποιούνται γίνονται προσπάθειες να εκτιμηθούν οι επιπτώσεις από τον απότομο διπλασιασμό των συγκεντρώσεων του CO₂ στο κλίμα ("equilibrium response" experiments). Όμως, τον τελευταίο καιρό δίνεται έμφαση σε περισσότερο ρεαλιστικά πειράματα ("transient response" experiments), στα οποία οι κλιματικές αλλαγές εκτιμούνται με βάση την υπόθεση ότι οι συγκεντρώσεις του CO₂ αυξάνονται σταδιακά (π.χ. 1 % ανά έτος).

Ωστόσο, στα αποτελέσματα αυτών των μοντέλων υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα, ιδίως στη θερμοκρασία και στη βροχόπτωση αλλά και σε τοπικές κλιματικές αλλαγές, στο επίπεδο της θάλασσας και στα οικοσυστήματα. Αυτή η αβεβαιότητα προέρχεται κυρίως από την ελλιπή γνώση και προσομοίωση (simulation) παραμέτρων όπως:

- *Τα σύννεφα:* Ανεπαρκής και περιορισμένη αναπαράσταση της νέφωσης, επίδραση στο ενεργειακό ισοζύγιο.
- *Οι ωκεανοί:* Υπεραπλούστευση των ωκεάνιων μοντέλων, ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ ωκεανών - ατμόσφαιρας.
- *Τα αέρια του θερμοκηπίου:* Ρυθμός εκπομπής και χημικές αντιδράσεις.
- *Οι πολικοί πάγοι:* Άνοδος της στάθμης της θάλασσας. Επίσης, τα κλιματικά μοντέλα GCMs εμπεριέχουν και ορισμένους περιορισμούς, με σημαντικότερους τους ακόλουθους:

1. Η περιορισμένη διακριτική ικανότητα των παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων, οδηγεί στο να μην μπορούν να απεικονισθούν με ακρίβεια πολλά γεωγραφικά χαρακτηριστικά, καθώς επίσης και οι αλληλεπιδράσεις που λαμβάνουν χώρα ανάμεσα στην ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης.
2. Οι φυσικές διακυμάνσεις του κλίματος σε τοπικό επίπεδο είναι πολύ μεγαλύτερες από αυτές που προβλέπονται από το μέσο κλίμα των ηπείρων ή ευρύτερων περιοχών.
3. Η ανισομερής χωρική δράση των αερολυμμάτων δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη στα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα. Αξίζει να σημειωθεί ότι ελάχιστα πειράματα συμπεριλαμβάνουν στα δεδομένα τους τις εκπομπές των αερολυμάτων, ενώ ακόμα και όταν συμβαίνει κάτι τέτοιο, αυτό γίνεται με πολύ απλοποιημένο τρόπο.
4. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης, όπως η αποδάσωση και η ερημοποίηση, δεν λαμβάνονται συχνά υπόψη, παρόλο που επηρεάζουν καθοριστικά το κλίμα σε τοπικό επίπεδο. (Crowell, M., Douglas, B. and Leatherman, S.,1997)

4.2.4. Οι εκτιμήσεις των κλιματικών μοντέλων

Τα κλιματικά μοντέλα γενικής κυκλοφορίας ωκεανών και ατμόσφαιρας συμφωνούν, ότι και οι φυσικοί και οι ανθρωπογενείς παράγοντες έχουν συμβάλλει σημαντικά στις αλλαγές της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα και προβλέπουν ότι η άνοδος της θερμοκρασίας πιθανότατα να συνεχιστεί και κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα. Οι φυσικές επιδράσεις ήταν σχετικά σημαντικότερες στη θέρμανση στις αρχές του 20ου αιώνα, ενώ οι ανθρώπινες επιδράσεις έχουν διαδραματίσει κυρίαρχο ρόλο στη θέρμανση που παρατηρήθηκε στις πρόσφατες δεκαετίες. Η αξιοπιστία αυτών των μοντέλων στην παγκόσμια αλλαγή της θερμοκρασίας τον 20ο αιώνα, εδραιώνει την εμπιστοσύνη στις προβλέψεις της ανθρωπογενούς συμβολής στις μελλοντικές αλλαγές της θερμοκρασίας.

Σε γενικές γραμμές τα μοντέλα GCMs, με κύριο σημείο αναφοράς την αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα, διαπιστώνουν ότι ήδη έχει πραγματοποιηθεί μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη και προβλέπουν ότι η αύξηση αυτή θα συνεχιστεί με εντεινόμενους ρυθμούς τα επόμενα χρόνια. Η αύξηση θα είναι εντονότερη στις πολικές περιοχές, γι' αυτό η Αρκτική και η Ανταρκτική παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση των κλιματικών αλλαγών. Ακόμη, προβλέπουν μείωση του χιονιού και των πάγων, αυξομειώσεις των

βροχοπτώσεων ανάλογα με τη γεωγραφική θέση κάθε περιοχής και αύξηση της έντασης των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Ωστόσο, τα μοντέλα GCMs δίνουν αρκετά διαφορετικές εκτιμήσεις για διαφορετικές περιοχές του πλανήτη. Ακόμη περισσότερο δύσκολο είναι ο προσδιορισμός των κλιματικών αλλαγών για μικρότερες περιοχές όπως η Ευρώπη. Η έκταση της θερμοκρασιακής αύξησης αναμένεται να είναι μεγαλύτερη στη Βόρεια Ευρώπη κατά μέσο όρο, σε σχέση με τις μεσογειακές περιοχές. Με βάση αποτελέσματα σεναρίων της IPCC για τη Νότια Ευρώπη (IPCC, 1992), και δεχόμενοι ότι η αύξηση παγκοσμίως μέχρι το 2030 θα είναι $1,8^{\circ}\text{C}$, η θερμοκρασία αναμένεται να παρουσιάσει αύξηση 2°C το χειμώνα και $2^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι, η βροχόπτωση 0 - 10% μεγαλύτερη το χειμώνα και 5 -15% μικρότερη το καλοκαίρι και η μεταβολή στην υγρασία εδάφους από -5% μέχρι +5% το χειμώνα και από -15% μέχρι -25% το καλοκαίρι. Σύμφωνα με τα σενάρια της IPCC, η μέση στάθμη της θάλασσας αναμένεται να αυξηθεί κατά 22 cm μέχρι το 2050 και κατά 50 cm μέχρι το 2100 (με εύρος 15 cm - 95cm).

Σε μελέτη της Ε.Μ.Υ. (Βαρώτσος Κ.,1996) για τις παρατηρούμενες και μελλοντικές κλιματικές αλλαγές σε Μεσόγειο και Ελλάδα, αναφέρεται ότι τα κλιματικά μοντέλα δεν μπορούν να προσομοιώσουν με ακρίβεια την τοπική κατανομή του υετού. Για παράδειγμα στην περιοχή της Μεσογείου, διαφορετικά μοντέλα δίνουν και διαφορετικά αποτελέσματα. Υπάρχουν όμως σοβαρές ενδείξεις, ότι αναμένεται μια πιθανή μείωση του υετού κατά 10% - 15% (σε σχέση με τις μέσες τιμές 1951-1980) σε μερικές περιοχές της Μεσογείου μέχρι το 2030, έτος κατά το οποίο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, αναμένεται ο διπλασιασμός του CO_2 σε σχέση με τις τιμές της προβιομηχανικής περιόδου. Μια τέτοια προοπτική θα επιδεινώσει την υπάρχουσα κατάσταση, κυρίως όσον αφορά τα αποθέματα του νερού και την αγροτική παραγωγή. Έτσι, ο κίνδυνος για μια προς τα βόρεια μετατόπιση της κοντινότερης ερημικής ζώνης, που ίσως καλύψει τη Ν. Ευρώπη, δεν μπορεί να εξαιρεθεί και θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη. Το γεγονός αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για τη λεκάνη της Μεσογείου, όπου τα αποθέματα νερού είναι ιδιαίτερα σημαντικά για πολλές γεωργικές και βιομηχανικές δραστηριότητες (Europe's Environment, 1998).

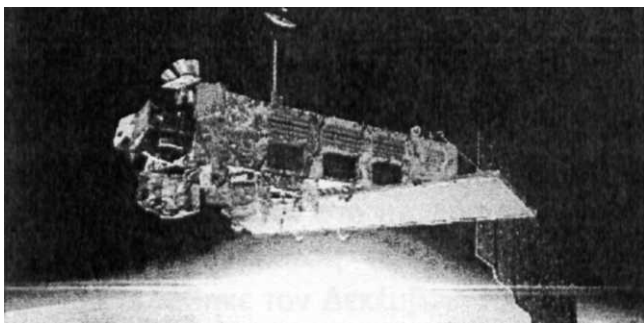
Σε σχετική μελέτη του European Climate Support Network (ECSN, 1995) αναφέρονται τα αποτελέσματα πέντε κλιματικών μοντέλων που έχουν αναπτυχθεί σε τρία από τα μεγαλύτερα ερευνητικά κλιματικά κέντρα παγκοσμίως (Hadley Center στην Αγγλία, Ινστιτούτο Max-Planck στη Γερμανία, Γαλλική Μετεωρολογική Υπηρεσία). Τα αποτελέσματα αυτών των μοντέλων αφορούν τις αλλαγές της θερμοκρασίας και του υετού - για χειμώνα και καλοκαίρι - σε περίπτωση

διπλασιασμού του CO₂ γύρω στο 2030. Όσον αφορά τη θερμοκρασία, παρά τις επιμέρους διαφοροποιήσεις των μοντέλων, προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας, που θα είναι μεγαλύτερη πάνω από την ξηρά. Τον χειμώνα η αύξηση αυτή θα κυμαίνεται από 0° C έως 4° C, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και με τις μεγαλύτερες τιμές στη Βόρεια Σκανδιναβία. Το καλοκαίρι η αύξηση θα κυμαίνεται από 0° C έως 3° C, με τις μεγαλύτερες τιμές πάνω από τη Νότια και Κεντρική Ευρώπη. Σχετικά με τις αλλαγές στον υετό τα αποτελέσματα διαφέρουν από μοντέλο σε μοντέλο, γεγονός που δείχνει την αβεβαιότητα που υπάρχει ακόμη για προβλέψεις σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα (J. Alishon, 2004 και Ξηράκης Π., 1998).

Σύμφωνα με έκθεση του Βρετανικού Κλιματολογικού Κέντρου Hadley Center (Hadley Center, 1995), τα αποτελέσματα που προκύπτουν από δύο υπολογιστικά πειράματα κλιματικών μοντέλων (δύο διαφορετικές παραλλαγές των GCMs: Had CM2 και Had CM3), λαμβάνοντας υπόψη τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου και των θειούχων ενώσεων, προβλέπουν μια μακροχρόνια αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας της τάξης των 0,2° C / δεκαετία.

Ένας τέτοιος ρυθμός αύξησης, είναι κατά δυο φορές μεγαλύτερος από τον ρυθμό που μπορούν να αντέξουν τα πιο ευαίσθητα οικοσυστήματα. Τα μοντέλα αυτά προβλέπουν ακόμη αύξηση του υετού στα μέσα και υψηλά γεωγραφικά πλάτη, ειδικά το χειμώνα, και μείωση του υετού στις υποτροπικές ζώνες, ενώ για τη στάθμη της θάλασσας προβλέπουν μια παγκόσμια μέση αύξηση της τάξης των 4 cm / δεκαετία (Zhang, K., 1998).

Όπως επισημάνθηκε στις προηγούμενες παραγράφους, ο ωκεανός είναι ένας κρίσιμος παράγοντας στην εξέλιξη του τρόπου με τον οποίο ο πλανήτης ενεργοποιεί το κλίμα και πως αυτό αλλάζει, λόγω του απολύτου μεγέθους των ωκεάνιων ρευμάτων, της πολυπλοκότητας των θερμικών ανταλλαγών και της σύζευξης ωκεανού - ατμόσφαιρας. Για την ύπαρξη περισσότερο αξιόπιστων στοιχείων γύρω από αυτά τα θέματα, στα πλαίσια του προγράμματος EOS («Παράρτημα III», [24]), τέθηκε σε τροχιά στις 1/3/2002 ο ευρωπαϊκός δορυφόρος Envisat, με σκοπό να φωτογραφίζει τις ορατές αλλά και τις αόρατες - υπέρυθρες ή υπεριώδεις - μεταβολές της ατμόσφαιρας, να συλλέγει στοιχεία για τα αέρια του θερμοκηπίου, την κατάσταση του στρώματος του όζοντος, τους πάγους, την τήξη του πάγου στην Ανταρκτική, του ωκεανούς, τις φυσικές καταστροφές, το έδαφος και τις αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα.



Εικόνα 4.2. Ο δορυφόρος Envisat σε τροχιά γύρω από τη Γη. Έχει μια σύγχρονη με τον ήλιο τροχιά, εκτελεί μια πλήρη περιστροφή γύρω από τη Γη κάθε 100 min σε ύψος 800 km και σε μια περίοδο 35 ημερών η τροχιά του καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη, με τα 2/3 του χρόνου αυτού να πετάει πάνω από το νερό (Space flight Now, BBC, 2002).

Ο Envisat είναι ο πρώτος δορυφόρος, ο οποίος αναμένεται να συμβάλει στον έλεγχο για τη συμμόρφωση των κρατών στο Πρωτόκολλο του Κιότο. Ο κύριος όμως στόχος είναι να εντοπίζει τις σχέσεις ανάμεσα στα διάφορα κλιματικά φαινόμενα, για να υπάρχουν περισσότερες αποδείξεις για αυτά αφενός και αφετέρου να αποφεύγονται όσο είναι δυνατόν οι επιστημονικές αβεβαιότητες. Έτσι, τα κλιματικά μοντέλα θα έχουν καλύτερη απόδοση, αφού οι εισδοχοί δεδομένων τόσο στα μοντέλα των ωκεανών όσο και της ατμόσφαιρας, που μαζί διαμορφώνουν την αφετηρία για την πρόβλεψη της αλλαγής του κλίματος, θα περιγράφονται ακριβέστερα.

4.2.5. Επιφυλάξεις για τα αποτελέσματα των κλιματικών μοντέλων

Η ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου, με την επιπλέον απορρόφηση ποσοτήτων ενέργειας στην ατμόσφαιρα είναι δεδομένη και δεν αμφισβητείται επιστημονικά από κανέναν. Η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας τις τελευταίες δεκαετίες, επίσης δεν αμφισβητείται από κανέναν.

Ωστόσο, κανένας επιστήμονας δεν διατείνεται ότι απάντησε τεκμηριωμένα στο πρόβλημα, ότι το φαινόμενο αυτό είναι υπεύθυνο για τη θέρμανση της Γης. Η βασική υποψία, ότι δεν είναι δυνατόν το θερμικό περιεχόμενο της ατμόσφαιρας να μεγαλώνει εξαιτίας κυρίως της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου και το γεγονός αυτό να μην έχει επίπτωση στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη, δεν είναι επιστημονική απόδειξη, οδηγεί όμως τις κυβερνήσεις στις επανειλημμένες διεθνείς συζητήσεις για τη λήψη μέτρων σχετικών με τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί και η αντίθετη άποψη, η άποψη των σκεπτικιστών του κλίματος, σύμφωνα με την οποία τα συμπεράσματα της IPCC έχουν πολιτικοποιηθεί και αποτυγχάνουν να μεταβιβάσουν τις ελλοχεύουσες αβεβαιότητες που είναι σημαντικές στις πολιτικές εκτιμήσεις, αφού τα κλιματικά μοντέλα και οι αναλύσεις τους βασίζονται σε παραμέτρους που είναι άγνωστες και μη αναγνωρίσιμες. Συγκεκριμένα, η κριτική που ασκείται στην IPCC κινείται στους παρακάτω άξονες:

1. Τα κλιματικά μοντέλα δεν αναλύουν επαρκώς το ρόλο των νεφών, των υδρατμών, των αερολυμάτων, των ωκεάνιων ρευμάτων και της ηλιακής επίδρασης.
2. Τα κλιματικά μοντέλα δεν μπορούν να προσομοιώσουν με επιτυχία τη διαφορά στις τάσεις μεταξύ της χαμηλότερης τροπόσφαιρας και των άλλων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.
3. Τα κλιματικά μοντέλα βασίζονται μεταξύ των άλλων και σε υποθέσεις, που είναι όχι μόνο άγνωστες, αλλά είναι αδύνατον να γίνουν γνωστές με την ακρίβεια που απαιτείται για τον καθορισμό της ανάλογης πολιτικής.

Σύμφωνα με τον Καθηγητή της Βιογεωγραφίας στο Πανεπιστήμιο του Λονδίνου P. Scott, *"ενώ οι επιστήμονες της IPCC γνωρίζουν ότι το κλίμα είναι ένα από τα πιο πολύπλοκα (χαοτικά) συστήματα που υπάρχουν, παρ' όλα αυτά ισχυρίζονται ότι μπορούν να το διαχειριστούν προσπαθώντας να ελέγξουν ένα μικρό μόνο αριθμό παραγόντων, δηλαδή τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Από επιστημονική άποψη αυτό είναι εντελώς αβάσιμο* (Space flight Now, BBC, 1/3/2002). Πράγματι, οι αναδράσεις του κλιματικού συστήματος στην ακτινοβολία παρουσιάζει μια τεράστιου βαθμού πολυπλοκότητα. Ως γνωστόν, οι παράγοντες που επηρεάζουν το κλιματικό σύστημα είναι η ατμόσφαιρα, η υδρόσφαιρα, η βιόσφαιρα, οι πάγοι και το λεπτό στρώμα γης. Οι αλληλεπιδράσεις αυτών των παραγόντων δημιουργούν φαινόμενα που είναι χαοτικά και για τις νομοτέλειες των χαοτικών συστημάτων η επιστήμη προς το παρόν γνωρίζει ελάχιστα πράγματα. Είναι ελάχιστη η γνώση για το πως θα αλλάξει το κλιματικό σύστημα, αν μεταβληθούν κατά ελάχιστο κάποιες παράμετροι της ύπαρξής του. Στις καταστάσεις αυτές, για ελάχιστες μεταβολές των όρων ύπαρξης, παρουσιάζεται μια τεράστια μεταβολή του συστήματος. Σε μερικές δεκαετίες η γνώση στον τομέα αυτόν πιθανότατα να προχωρήσει. Σήμερα, το πρόβλημα αντιμετωπίζεται στατιστικά, στη βάση της υπάρχουσας γνώσης των φυσικών επιστημών. Τα τελευταία χρόνια δημοσιεύτηκαν σημαντικές εργασίες, οι

οποίες αμφισβητούν την εγκυρότητα των προβλέψεων των σεναρίων της IPCC. Παρακάτω παρατίθενται μερικές από αυτές:

1. Σε πρόσφατη μελέτη αποδείχθηκε σύμφωνα με τον Przybylak, ότι δεν υπάρχει αυξητική τάση της θερμοκρασίας σε αρκτικές και υπο-αρκτικές περιοχές και ότι οι θερμοκρασίες της τελευταίας εικοσαετίας είναι ίδιες με αυτές του 19ου αιώνα(Przybylak, 2000).
2. Σε άρθρο που δημοσιεύθηκε τον Δεκέμβριο του 2001 σε έγκριτο όργανο του Προγράμματος Παρακολούθησης της Γης EOS (Earth Observing System) της Αμερικανικής Γεωφυσικής Ένωσης, δεκαμελής ομάδα επιστημόνων ανακοίνωσε ότι, όπως προκύπτει από ένα ανακατασκευασμένο κλιματικό δείγμα 10.000 ετών για τον Δυτικό Αρκτικό ωκεανό, η θερμοκρασία σήμερα είναι πολύ χαμηλότερη από όσο ήταν στο παρελθόν, αντίθετα με τις προβλέψεις των κλιματικών μοντέλων για την συγκεκριμένη περιοχή.
3. Σε άρθρο που δημοσιεύτηκε στο έγκριτο περιοδικό «Nature» στις 31 Ιανουαρίου του 2002, άλλη ομάδα επιστημόνων διαπιστώνει ότι, ενώ τα τελευταία χρόνια η μέση επιφανειακή θερμοκρασία στον πλανήτη αυξανόταν κατά $0,19^{\circ}\text{C}$ / δεκαετία, στην Ανταρκτική αντίθετα μειωνόταν και μάλιστα κατά $0,7^{\circ}\text{C}$ / δεκαετία. Δηλαδή, αντί της εντεινόμενης αύξησης στις πολικές περιοχές που προβλέπουν τα κλιματικά μοντέλα, υπάρχει πολύ σημαντική μείωση (Space flight Now, BBC, 1/3/2002).

Με τις παραπάνω μελέτες δεν επιχειρείται να δοθεί το μήνυμα ότι πρέπει να αγνοηθούν οι ανθρωπογενείς επιδράσεις, και κυρίως η αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου στο κλίμα. Ούτε είναι δυνατόν να προφητευτεί ότι δεν θα υπάρξει μονιμότερη κλιματική αλλαγή. Απλώς καταδεικνύεται πόσο δύσκολες και αμφισβητήσιμες είναι οι προγνώσεις, αλλά και πόσο μεταβλητό είναι ούτως ή άλλως το κλίμα στην ανθρώπινη μικροκλίμακα, με ή χωρίς ανθρωπογενείς επιδράσεις. Με δεδομένο λοιπόν ότι οι προβλέψεις για το κλίμα δεν είναι ακόμη ολοκληρωμένες, οι αυξανόμενες εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου ενδεχομένως να μην είναι γνήσια απόδειξη της ανθρώπινης επιρροής στο παγκόσμιο κλίμα.

4.3. Αξιοπιστία και αβεβαιότητες των κλιματικών μοντέλων και σεναρίων στην εκτίμηση μελλοντικών κλιματικών αλλαγών

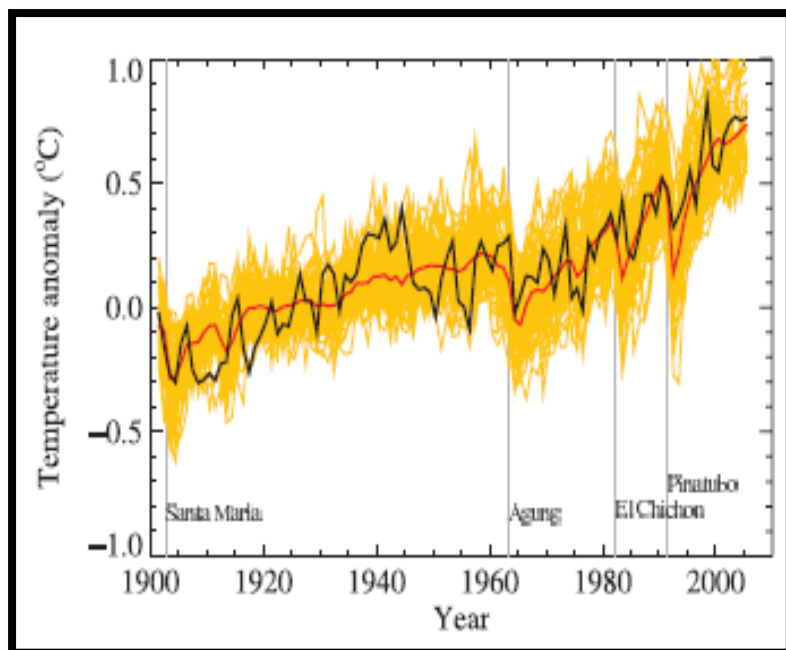
Η συμβολή των κλιματικών μοντέλων στην εκτίμηση και την αξιολόγηση της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής, οφειλόμενη στην ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου, είναι αδιαμφισβήτητη. Τα κλιματικά μοντέλα, ειδικά για μεγαλύτερες κλίμακες, μπορούν να μας δώσουν πιο αξιόπιστες ποσοτικές εκτιμήσεις της κλιματικής αλλαγής. Παρ' όλα αυτά, ενέχουν κάποιες αβεβαιότητες, οι οποίες πρέπει πάντα να συνυπολογίζονται.

Η αξιοπιστία των μοντέλων στηρίζεται σε τρεις βασικούς παράγοντες. Κατ' αρχάς, ως μαθηματικά μοντέλα, τα κλιματικά μοντέλα αναπαριστούν το κλιματικό σύστημα βασισμένα σε φυσικούς νόμους, όπως η αρχή διατήρησης της μάζας, της ενέργειας και της ορμής, καθώς και σε πλήθος παρατηρήσεων. Έπειτα, τα μοντέλα αυτά έχουν την ικανότητα να προσομοιώνουν σημαντικές διαδικασίες του κλίματος και μέσες τιμές κλιματικών χαρακτηριστικών όπως η μεγάλη κλίμακας κατανομή της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, οι βροχοπτώσεις, η ακτινοβολία, ο άνεμος, τα ωκεάνια ρεύματα και η έκταση του θαλάσσιου πάγου. Μάλιστα, η αξιοπιστία είναι μεγαλύτερη για ορισμένα χαρακτηριστικά (π.χ. θερμοκρασία) από ότι για άλλα (π.χ. βροχοπτώσεις). Μπορούν επίσης να προσομοιωθούν σημαντικές πτυχές της μεταβλητότητας του κλίματος, όπως οι εποχιακές αλλαγές της θερμοκρασίας, τα παλινροιακά συστήματα, οι τροχιές που ακολουθούν οι καταιγίδες και οι ζώνες βροχοπτώσεων (IPCC, 2007a).

Τα δεδομένα αυτά αξιολογούνται επιπλέον με τη βοήθεια παρατηρήσεων της ατμόσφαιρας, της κρυόσφαιρας, του ωκεανού και της επιφάνειας του εδάφους. Στην εικόνα 4.3. παρουσιάζεται η μέση πλανητική θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Οι τιμές προέρχονται από παρατηρήσεις (μαύρη γραμμή) και από 58 προσομοιώσεις σε 14 διαφορετικά μοντέλα που περιλαμβάνουν ανθρωπογενείς και φυσικές κινητήριες δυνάμεις που επηρεάζουν το κλίμα (κίτρινο). Παρουσιάζονται επίσης οι μέσες τιμές από αυτές τις προσομοιώσεις (κόκκινη γραμμή). Οι θερμοκρασιακές ανωμαλίες παρουσιάζονται σε σχέση με τις μέσες τιμές της περιόδου 1901-1950. Οι κάθετες γκρίζες γραμμές αναπαριστούν τη χρονική στιγμή σημαντικών ηφαιστειακών εκρήξεων (IPCC, 2007a).

Μία ακόμα αξιολόγηση των μοντέλων μπορεί να γίνει αν δοκιμαστούν και ως μετεωρολογικά μοντέλα, αναπαριστώντας σε μικρότερες κλίμακες την εποχιακή και ενδοετήσια μεταβλητότητα. (IPCC, 2007a) Επίσης, τα κλιματικά μοντέλα έχουν την ικανότητα να προσομοιώνουν χαρακτηριστικά του κλίματος και κλιματικών αλλαγών

παρελθοντικών περιόδων, όπως για παράδειγμα η θερμή περίοδος στα μέσα της Ολοκαίνου περιόδου, πριν από 6000 χρόνια (IPCC, 2007a).



Εικόνα 4.3. Μέση πλανητική θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα (IPCC, 2007a).

Παρά την αξιοπιστία τους, τα μοντέλα εμφανίζουν σημαντικές αβεβαιότητες, ακόμα και σε μεγαλύτερες κλίμακες. Οι αβεβαιότητες των μοντέλων αφορούν περιορισμούς σχετικούς με την υπολογιστική δύναμη που χρησιμοποιείται, ενώ η επιστημονική γνώση και αξιολόγηση παίζει επίσης πολύ μεγάλο ρόλο. Σημαντικές αβεβαιότητες αφορούν και στην έλλειψη λεπτομερών παρατηρήσεων για συγκεκριμένες φυσικές διαδικασίες, όπως συμβαίνει στην προσομοίωση των νεφών, και στη φυσική μεταβλητότητα του κλίματος. Επιπλέον, οι τυχόν παραμετροποιήσεις διαφόρων φυσικών διαδικασιών είναι η αιτία συστηματικών σφαλμάτων (IPCC, 2007a).

Παρά τις αβεβαιότητες, τα κλιματικά μοντέλα έχουν αποδειχθεί σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση του παρόντος και μελλοντικού κλίματος και έχουν στο σύνολό τους εκτιμήσει αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας της αύξησης των θερμοκηπικών αερίων, εκτίμηση που συνάδει με τις παρατηρηθείσες κλιματικές αλλαγές. Άλλωστε η τεχνολογία των υπολογιστών διαρκώς βελτιώνεται, αυξάνοντας την υπολογιστική δύναμη και προσομοιώνοντας με καλύτερη ανάλυση τις φυσικές διαδικασίες και τα τοπικά χαρακτηριστικά, καθιστώντας τα μοντέλα όλο και πιο αποτελεσματικά (IPCC, 2007a).

4.3.1. Μοντέλο NCAR - CCSM3

➤ Επισκόπηση του CAM 3.0

Το CAM 3.0 είναι η πέμπτη γενεά των NCAR ατμοσφαιρικών GCMS. Το όνομα του μοντέλου έχει αλλάξει από Community Climate Model σε Community Atmosphere Model για να απεικονίσει το ρόλο του CAM 3.0 στο πλήρως συζευγμένο κλιματικό σύστημα. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες γενεές του ατμοσφαιρικού μοντέλου, το CAM 3.0 έχει σχεδιαστεί μέσω μιας διαδικασίας συνεργασίας μεταξύ των χρηστών και των υπεύθυνων της ομάδας εργασίας του ατμοσφαιρικού μοντέλου (AMWG). Η AMWG περιλαμβάνει επιστήμονες από το NCAR, από την πανεπιστημιακή κοινότητα, και από κυβερνητικά εργαστήρια. Για το CAM 3.0, το AMWG πρότεινε τη δοκιμή μιας ποικιλίας από δυναμικούς πυρήνες και κατακόρυφες παραμετροποιήσεις. Τα δεδομένα από αυτά τα πειράματα έχουν δημοσιευτεί ελεύθερα δια μέσου της AMWG, ιδιαίτερα με οργανώσεις-μέλη (π.χ. PCMDI) με μεθόδους για τη σύγκριση κλιματικών μοντέλων με παρατηρήσεις. Οι προτεινόμενες σχηματοποιήσεις μοντέλων έχουν αξιολογηθεί αναλυτικά χρησιμοποιώντας ένα νέο πακέτο διαγνωστικών διαδικασιών που δημιουργήθηκε από τον M. Stevens και τον J. Hack (CMS). Η ομοφωνία των μελών της AMWG είναι να διατηρηθεί ο φασματικός δυναμικός πυρήνας για την πρώτη επίσημη απελευθέρωση του CAM 3.0. Οι σημαντικότερες αλλαγές στη φυσική αναφέρονται:

- Επεξεργασία συμπυκνωμένου νερού που περιέχεται στα σύννεφα χρησιμοποιώντας μια προγνωστική επεξεργασία. Οι αναθεωρήσεις παραμετροποιήσεων για να ασχοληθούν πιο ρεαλιστικά με την επεξεργασία της συμπύκνωσης και της εξάτμισης υπό τον καταναγκασμό από μεγάλης κλίμακας διαδικασίες και το μεταβαλλόμενο μέρος σύννεφων περιγράφονται από τους Zhang et Al. Η παραμετροποίηση έχει δύο συνιστώσες: 1) μία μακροσκελή συνιστώσα που περιγράφει την ανταλλαγή συστατικών του νερού μεταξύ της συμπύκνωσης και της φάσης εξάτμισης και της σχετικής αλλαγής θερμοκρασίας που προκύπτουν από αυτή την αλλαγή φάσης και 2) μία μαζική μικροφυσική συνιστώσα που ελέγχει τη μετατροπή από συμπύκνωση σε ίζημα (Rasch and Kristjansson, 1998).
- Ένα νέο θερμοδυναμικό πακέτο για τον πάγο της θάλασσας. Η φιλοσοφία πίσω από το σχεδιασμό της απεικόνισης του πάγου της θάλασσας του CAM 3.0 πρόκειται να χρησιμοποιήσει την ίδια φυσική, όπου είναι δυνατόν, όπως στο

μοντέλο του πάγου της θάλασσας μέσα σε CCSM, το οποίο είναι γνωστό ως CSIM για το Community Sea Ice Model. Ελλείπει ενός ωκεάνιου μοντέλου, αποσυνδεδεμένες προσομοιώσεις με το CAM 3.0 χρειάζονται το πάχος και τη συγκέντρωση του πάγου της θάλασσας προκειμένου να διευκρινιστούν. Ως εκ τούτου η βασική προτεραιότητα της προσομοίωσης του πάγου της θάλασσας στο CAM 3.0 είναι να υπολογιστούν οι επιφανειακές ροές. Η νέα διατύπωση του πάγου της θάλασσας στο CAM 3.0 χρησιμοποιεί παραμετροποιήσεις από CSIM για να προβλέψει το βάθος του χιονιού, το αλατόνερο, τη μικρού μήκους μεταφορά ακτινοβολίας, την ανακλαστικότητα επιφανείας, την αντίσταση πάγου-ατμόσφαιρας, την εναλλαγή επιφανειακών ροών (Rasch and Kristjansson, 1998).

- Χαρακτηριστική αναπαράσταση τμήματος της κάλυψης εδάφους και της κάλυψης πάγου της θάλασσας: Προηγούμενες εκδόσεις του παγκόσμιου ατμοσφαιρικού μοντέλου περιέλαβαν μια απλή μάσκα πάγου-εδάφους-ωκεανού-θάλασσας για να προσδιορίσουν την βαθύτερη επιφάνεια του μοντέλου. Είναι ευρέως γνωστό ότι οι ροές του γλυκού νερού, της θερμότητας, και της ορμής μεταξύ της ατμόσφαιρας και της βαθύτερης επιφάνειας επηρεάζονται έντονα από τον τύπο της επιφάνειας. Το CAM 3.0 παρέχει μια ακριβέστερη αναπαράσταση των ανταλλαγών ροής από τα παράκτια όρια, τις ακριανές περιοχές νησιών, και τις ακριανές περιοχές πάγου με τη συμπερίληψη ενός τμηματικού χαρακτηριστικού για το έδαφος, τον πάγο, και τον ωκεανό. Δηλαδή η περιοχή που καταλαμβάνεται από αυτούς τους τύπους επιφάνειας περιγράφεται σαν μια τμηματική μερίδα του ατμοσφαιρικού πλέγματος. Αυτό το τμηματικό χαρακτηριστικό δίνει έναν μηχανισμό για να υπολογιστούν οι διαφορές ροής λόγω της ανομοιογένειας των τύπων της επιφάνειας (Rasch and Kristjansson, 1998).
- Μια νέα, γενική, και ευέλικτη θεώρηση της γεωμετρικής επικάλυψης σύννεφων για τους υπολογισμούς ακτινοβολίας : Οι νέες παραμετροποιήσεις υπολογίζουν τις μικροκυματικές και τις μακροκυματικές ροές και τα ποσοστά θέρμανσης για την τυχαία επικάλυψη, τη μέγιστη επικάλυψη, ή έναν αυθαίρετο συνδυασμό μέγιστης και τυχαίας επικάλυψης. Η περιγραφή του τύπου της επικάλυψης είναι ίδια για τις δύο ζώνες, και είναι εντελώς ξεχωριστό κομμάτι από τις παραμετροποιήσεις της ακτινοβολίας. Στο CAM 3.0, παρακείμενα στρώματα σύννεφων επικαλύπτονται στα ανώτατα όρια και ομάδες σύννεφων που χωρίζονται από τα στρώματα ελεύθερων σύννεφων επικαλύπτονται τυχαία. Οι παραμετροποιήσεις βασίζονται σε αναπαραστάσεις εξισώσεων μεταφοράς της

ακτινοβολίας που είναι ακριβέστερες από τις προηγούμενες προσεγγίσεις. Η μεθοδολογία έχει σχεδιαστεί και έχει προτιμηθεί από υπολογισμούς που βασίζονται στην ανεξάρτητη προσέγγιση στηλών (Rasch and Kristjansson, 1998).

- Μια νέα παραμετροποίηση για τη μακροκυματική απορροφητικότητα και την εκπομπή ακτινοβολίας του υδρατμού : Αυτή η αναβαθμισμένη επεξεργασία συντηρεί τη φόρμα των εξισώσεων μεταφοράς της ακτινοβολίας χρησιμοποιώντας τη μέθοδο απορροφητικότητας/εκπομπής ακτινοβολίας. Εντούτοις, οι συνιστώσες της απορροφητικότητας και της εκπομπής ακτινοβολίας σχετικών με τον υδρατμό έχουν αντικατασταθεί με νέους όρους που υπολογίζονται με το γενικό «γραμμή με γραμμή» ατμοσφαιρικό μοντέλο μετάδοσης και ακτινοβολίας (GENLN3). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι σημαντικές διαφορές μεταξύ των βαθμών ψύξης από την αρχική μέθοδο και το GENLN3 είναι 0,2 K/ημέρες. Αυτές οι διαφορές μειώνονται από τουλάχιστον έναν παράγοντα 3 χρησιμοποιώντας αναβαθμισμένη παραμετροποίηση. Τα μέσα σφάλματα στις μακροκυματικές ροές επιφάνειας και τις μακροκυματικές ροές της ατμοσφαιρικής ανώτατης επιφάνειας για σταθερές ατμόσφαιρες μειώνονται σε λιγότερο από 1 W/m². Η αναβαθμισμένη παραμετροποίηση αυξάνει τη μακροκυματική ψύξη σε 300 mb από 0,3 έως 0,6 K/την ημέρα, και μειώνει την ψύξη πλησίον 800 mb μέχρι 0,1 έως 0,5 K/την ημέρα. Η αυξανόμενη ψύξη προκαλείται από την γραμμική απορρόφηση και την ξένη συνεχή σειρά στη ζώνη περιστροφής, και η μειωμένη ψύξη προκαλείται από τη μόνη συνέχεια στη ζώνη περιστροφής (Rasch and Kristjansson, 1998).
- Η κοντινή υπέρυθρη απορρόφηση από τον υδρατμό έχει αναβαθμιστεί. Στην αρχική μικροκυματική παραμετροποίηση για το CAM [Briegleb, 1992], η απορρόφηση από τον υδρατμό προκύπτει από τους υπολογισμούς LBL σύμφωνα με τους Ramaswamy και Freidenreich [1991]. Στη συνέχεια, αυτοί οι υπολογισμοί LBL βασίζονται σε γραμμικά δεδομένα AFGL του 1983 [Rothman et al, 1983]. Η αρχική παραμετροποίηση δεν περιέλαβε τα αποτελέσματα της συνεχούς εξάτμισης νερού στο ορατό και κοντινό-υπέρυθρο. Στη νέα έκδοση του CAM, η παραμετροποίηση βασίζεται στη γραμμική βάση δεδομένων HITRAN2k [Rothman et al, 2003], και ενσωματώνει τη θεωρία CKD 2,4 για τη συνέχεια. Το μέγεθος των σφαλμάτων στις αποκλίσεις ροής και τα ποσοστά θέρμανσης στους σύγχρονους υπολογισμούς LBL έχουν μειωθεί περίπου επτά φορές με σχέση με

την παλιά CAM παραμετροποίηση (Rasch and Kristjansson, 1998).

- Τα ομοιογενή αερολύμματα υποβάθρου έχουν αντικατασταθεί από κλιματολογικές τιμές της τρέχουσας ημέρας του θαλάσσιου αλατιού, θειούχων, ανθρακούχων αερολυμάτων καθώς και σωματιδίων σκόνης. Η κλιματολογία προκύπτει από ένα χημικό μεταφορικό μοντέλο ενισχυμένο με μετεωρολογικές αναλύσεις και περιορίζεται από αφομοίωση δορυφορικών μετρήσεων αερολυμάτων. Αυτά τα αερολύματα έχουν επιπτώσεις στην μικροκυματική ενεργειακή κατάσταση της ατμόσφαιρας. Το CAM 3,0 επίσης περιλαμβάνει έναν μηχανισμό για την επεξεργασία μικροκυματικών και μακροκυματικών συνεπειών από ηφαιστειακά αερολύματα (Rasch and Kristjansson, 1998).
- Εξάτμιση της κατακόρυφης βροχόπτωσης σύμφωνα με τον Sundqvist [1988] : Η αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασίας μέσω αυτού του μηχανισμού αντισταθμίζει την ξήρανση που προκαλείται από αλλαγές στην μακροκυματική απορροφητικότητα και την εκπομπή ακτινοβολίας.
- Μια αναλυτική φόρμα της κάθετης διάχυσης της ξηρής στατικής ενέργειας .

Άλλες σημαντικές αυξήσεις αποτελούν:

- Ένα νέο, σύνολο δεδομένων θερμοκρασίας στην επιφάνεια της θάλασσας: Αυτό το σύνολο δεδομένων ορίζει μέσες τιμές της SST και συγκέντρωσης πάγου για την περίοδο 1950 μέχρι το 2001. Το σύνολο δεδομένων είναι ένα πακέτο, που χρησιμοποιεί το παγκόσμιο σύνολο δεδομένων HadISSTOI πριν από το 1981 και το σύνολο δεδομένων Smith/Reynolds EOF μετά το 1981. Εκτός από την χρονική σειρά που αναλύεται, είναι επίσης διαθέσιμο μία σύνθεση του ετήσιου κύκλου για την περίοδο 1981-2001 μορφή μέσου "κλιματολογικού" συνόλου δεδομένων (Rasch and Kristjansson, 1998).
- Ξεκάθαρος διαχωρισμός μεταξύ της φυσικής και της δυναμικής: Ο δυναμικός πυρήνας μπορεί να συνδεθεί με την ακολουθία παραμετροποίησης είτε με έναν τρόπο διαχωρισμού του χρόνου ή με ένα τρόπο διαχωρισμού της διαδικασίας. Η διαφορά είναι ότι στη προσέγγιση διαχωρισμού της διαδικασίας, τόσο η φυσική, όσο και η δυναμική υπολογίζονται από την ίδια προηγούμενη θεώρηση, ενώ στις προσεγγίσεις διαχωρισμού του χρόνου η δυναμική και η φυσική υπολογίζονται διαδοχικά, κάθε μια βασισμένη στα δεδομένα που προκύπτουν από την άλλη

(Rasch and Kristjansson, 1998).

➤ Δυναμική

❖ Eulerian δυναμικός πυρήνας

Η υβριδική κατακόρυφη συντεταγμένη αναπτύχθηκε από τους Simmons και Strufling [1981] προκειμένου να δημιουργηθεί ένα γενικό πλαίσιο για μια κάθετη συντεταγμένη η οποία μεταφράζεται σε έκταση στη γήινη επιφάνεια, αλλά μειώνεται σε μια συντεταγμένη πίεσης σε κάποια σημεία πάνω από την επιφάνεια. Η υβριδική συντεταγμένη είναι πιο γενική σαν έννοια από το τροποποιημένο σ σχήμα του Sangster [1960], το οποίο χρησιμοποιείται στο μοντέλο GFDL SKYHI. Εντούτοις, η υβριδική συντεταγμένη διευκρινίζεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι δύο συντεταγμένες είναι ίδιες (Rasch and Kristjansson, 1998).

Η ακόλουθη περιγραφή χρησιμοποιεί την ίδια γενική ανάλυση όπως των Simmons και Strufling [1981], οι οποίοι στήριξαν την ανάλυσή τους στη γενικευμένη κάθετη συντεταγμένη του Kasahara [1974]. Στο πιο πρόσφατο πιθανό σημείο, εισάγεται μια συγκεκριμένη μορφή της συντεταγμένης (η υβριδική συντεταγμένη). Εδώ η περιγραφή διαφέρει από αυτή των Simmons και Strufling [1981] στο άνω όριο σε πεπερασμένο ύψος (πίεση διάφορη του μηδενός), όπως στην αρχική ανάπτυξη του Kasahara. Ένα τέτοιο ανώτερο όριο μπορεί να χρειαστεί όταν οι εξισώσεις λύνονται χρησιμοποιώντας τις κάθετες πεπερασμένες διαφορές (Rasch and Kristjansson, 1998).

❖ Γενικευμένες τοπογραφικές κάθετες συντεταγμένες

Η παραγωγή των αρχικών εξισώσεων σε μια γενικευμένη παράλληλα με την τοπογραφία κάθετη συντεταγμένη απαιτεί μόνο εκείνες τις συγκεκριμένες βασικές ιδιότητες της συντεταγμένης που αναλύεται. Εάν έστω η επιφανειακή πίεση είναι p , τότε χρειαζόμαστε τη γενικευμένη συντεταγμένη $\eta(p, \pi)$ για να πετύχουμε :

1. $\eta(p, \pi)$ είναι μια μονοτονική λειτουργία του p
2. $\eta(\pi, \pi) = 1$
3. $\eta(0, \pi) = 0$
4. $\eta(p_t, \pi) = \eta_t$ όπου p_t είναι το ανώτατο όριο του μοντέλου

Η τελευταία θεώρηση ορίζει ότι η κορυφή του μοντέλου θα είναι μια επιφανειακή πίεση, που απλοποιεί τον καθορισμό οριακών συνθηκών. Στην περίπτωση που $\rho_i = 0$, τα τελευταίες δύο αξιώματα είναι ίδια και το σύστημα μειώνεται σε αυτό που περιγράφεται από τους Simmons και Strufling [1981]. Οι οριακές συνθήκες που απαιτούνται για να κλείσει το σύστημα είναι :

$$\eta(\pi, \pi) = 0$$

$$\eta(\rho_t, \pi) = 0$$

Λαμβάνοντας υπόψη την ανωτέρω περιγραφή της συντεταγμένης, το συνεχές σύστημα των εξισώσεων μπορεί να γραφτεί ακολουθώντας τον Kasahara [1974] και τους Simmons και Strufling [1981]. Οι προγνωστικές εξισώσεις είναι:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = k \cdot \nabla \times (n / \cos \varphi) + F_{\zeta H}$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \nabla \cdot (n / \cos \varphi) - \nabla^2 (E + \Phi) + F_{\delta H}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} = & \frac{-1}{\cos^2 \varphi} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (UT) + \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} (VT) \right] + T\delta - \eta \frac{\partial T}{\partial \eta} + \frac{R}{c_p^*} T_u \frac{\omega}{p} + Q \\ & + F_{TH} + F_{FH} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{-1}{\cos^2 \varphi} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (Uq) + \cos \varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} (Vq) \right] + q\delta - \eta \frac{\partial q}{\partial \eta} + S$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = \int_1^{\eta_t} \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) d\eta.$$

Η σημείωση ακολουθεί τις τυπικές συνθήκες, και οι ακόλουθοι όροι έχουν εισαχθεί θεωρώντας $n = (n_u, n_v)$:

$$n_U = +(\zeta + f)V - \dot{\eta} \frac{\partial U}{\partial \eta} R \frac{T_u}{p} \frac{1}{a} - \frac{\partial p}{\partial \lambda} + F_U,$$

$$n_V = +(\zeta + f)U - \dot{\eta} \frac{\partial V}{\partial \eta} - R \frac{T_u}{p} \frac{1}{p} - \frac{\partial p}{\partial \varphi} + F_V,$$

$$E = \frac{U^2 + V^2}{2 \cos^2 \varphi},$$

$$(U, V) = (u, v) \cos \varphi$$

$$T_u = \left[1 + \left(\frac{R_u}{R} - 1 \right) q \right] T,$$

$$c_p^* = \left[1 + \left(\frac{c_{p_u}}{c_p} - 1 \right) q \right] c_p.$$

Οι όροι F_U , F_V , Q , και S αντιπροσωπεύουν τις πηγές από τις παραμετροποιήσεις για την ορμή (λαμβάνοντας υπ' όψιν τα U και του V), τη θερμοκρασία, και την υγρασία, αντίστοιχα. Οι όροι $F_{\zeta H}$ και $F_{\delta H}$ αντιπροσωπεύουν τις πηγές λόγω της οριζόντιας διάχυσης της ορμής, ενώ F_{T_H} και F_{F_H} αντιπροσωπεύουν τις πηγές που αποδίδουν την οριζόντια διάχυση της θερμοκρασίας (Rasch and Kristjansson, 1998).

Εκτός από τις προγνωστικές εξισώσεις, απαιτούνται τρεις διαγνωστικές εξισώσεις:

$$\Phi = \Phi_s + R \int_{p(\eta)}^{p(1)} T_u d \ln p$$

$$\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} = - \frac{\partial p}{\partial t} - \int_1^{\eta_t} \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) d\eta,$$

$$\omega = V \cdot \nabla p - \int_1^{\eta_t} \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) d\eta.$$

Σημειώεται ότι τα όρια στα κάθετα ολοκληρώματα διευκρινίζονται ως τιμές του η (π.χ. $p(1)$ το οποίο είναι η πίεση για $\eta=1$).

❖ *Συνεχείς εξισώσεις χρησιμοποιώντας $\partial \ln p / \partial t$*

Στην πράξη, οι λύσεις που προκύπτουν επιλύοντας τις παραπάνω εξισώσεις, είναι πολύ «θορυβώδεις». Αυτό το πρόβλημα εμφανίζεται να προκύπτει σαν φίλτρο για την αστάθεια για τα προβλήματα στην υδροστατική εξίσωση. Το ολοκλήρωμα $\ln p$ εισάγει μια υψηλή μη γραμμική σιέρα που εισάγεται άμεσα στην εξίσωση απόκλισης. στην περιοχή απότομης ορογραφίας παράγονται μεγάλα κύματα βαρύτητας (J. Alishon, 2004).

Το πρόβλημα θορύβου λύνεται με τη μετατροπή των εξισώσεων που δίνονται παραπάνω, που χρησιμοποιούν το p ως προγνωστική μεταβλητή, σε εξισώσεις χρησιμοποιώντας $\Pi = \ln(p)$. Αυτό οδηγεί στην υδροστατική εξίσωση που γίνεται μόνο μη γραμμική. Δεδομένου ότι η φασματική μέθοδος μετατροπής θα χρησιμοποιηθεί για να λύσει τις εξισώσεις, οι κλίσεις θα ληφθούν κατά τη διάρκεια της μετατροπής από κύμα σε πλεγματικό διάστημα. Έξω από την προγνωστική εξίσωση για Π , όλοι οι όροι που περιλαμβάνουν το ∇p θα εμφανιστούν έπειτα ως $\nabla \Pi$.

Οι παραπάνω εξισώσεις γίνονται:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = k \cdot \nabla \times (\mathbf{n}/\cos\varphi) + F_{\zeta H},$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial t} = \nabla \cdot (\mathbf{n}/\cos\varphi) - \nabla^2 (\mathbf{E} + \Phi) + F_{\delta H},$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} = & \frac{-1}{\cos^2\varphi} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (UT) + \cos\varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} (VT) \right] + \mathsf{T}\delta - \dot{\eta} \frac{\partial \mathsf{T}}{\partial \eta} + \frac{\mathsf{R}}{\mathsf{c}_{\mathsf{p}}^*} \mathsf{T}_{\mathsf{u}} \frac{\omega}{p} + \mathsf{Q} \\ & + \mathsf{F}_{\mathsf{T}_\mathsf{H}} + \mathsf{F}_{\mathsf{F}_\mathsf{H}}, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \frac{-1}{\cos^2\varphi} \left[\frac{\partial}{\partial \lambda} (Uq) + \cos\varphi \frac{\partial}{\partial \varphi} (Vq) \right] + \mathsf{q}\delta - \dot{\eta} \frac{\partial \mathsf{q}}{\partial \eta} + \mathsf{S},$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} = - \int_{(\eta_t)}^{(1)} V \cdot \nabla \Pi d\left(\frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \pi}\right) - \frac{1}{\pi} \int_{p(\eta_t)}^{p(1)} \delta \, \mathrm{d} p,$$

$$n_U = +(\zeta + f)V - \dot{\eta} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \eta} \frac{\partial -U}{\partial \mathbf{p}} \mathsf{R} \frac{\mathsf{T}_{\mathsf{u}}}{\mathsf{a}} \frac{\pi}{\mathbf{p}} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \pi} \frac{\partial \Pi}{\partial \lambda} + F_{\mathsf{U}},$$

$$n_V = -(\zeta + f)U - \dot{\eta} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \eta} \frac{\partial -V}{\partial \mathbf{p}} \mathsf{R} \frac{\mathsf{T}_{\mathsf{u}} \cos\varphi}{\mathsf{a}} \frac{\pi}{\mathbf{p}} \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \pi} \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} + F_{\mathsf{V}},$$

$$\Phi = \Phi_s + R \int_{p(\eta)}^{p(1)} \mathsf{T}_{\mathsf{u}} d \ln p,$$

$$\dot{\eta} \frac{\partial p}{\partial \eta} = \frac{\partial p}{\partial \pi} \left[\int_{(\eta_t)}^{(1)} \pi V \cdot \nabla \Pi d \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right) + \int_{p(\eta_t)}^{p(1)} \delta dp \right] - \int_{(\eta_t)}^{(\eta)} \pi V \cdot \nabla \Pi d \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right) - \int_{p(\eta_t)}^{p(\eta)} \delta dp,$$

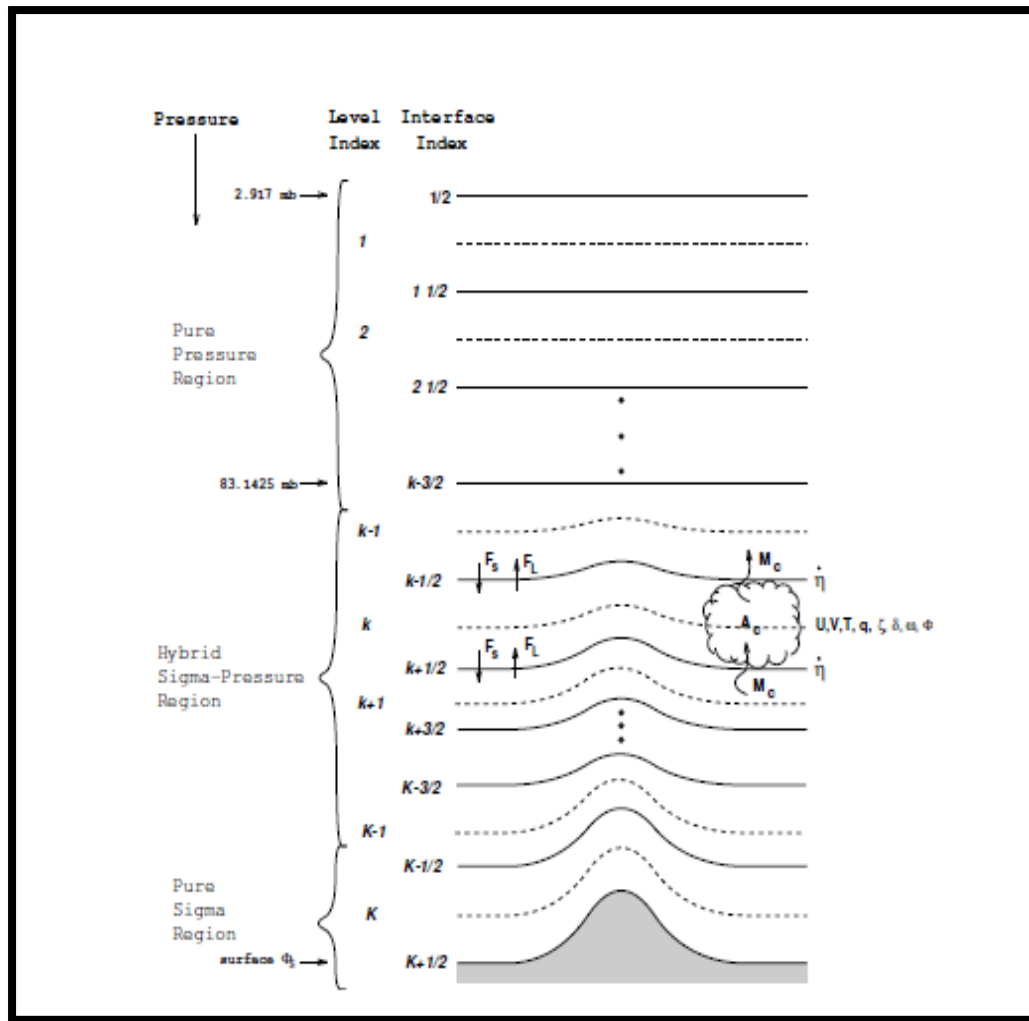
$$\omega = \frac{\partial p}{\partial \pi} \pi V \cdot \nabla \Pi - \int_{(\eta_t)}^{(\eta)} \pi V \cdot \nabla \Pi d \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right) - \int_{p(\eta_t)}^{p(\eta)} \delta dp.$$

Οι παραπάνω εξισώσεις εξελίσσονται σε τυποποιημένες σ εξισώσεις που χρησιμοποιούνται στην CCM1 εάν $\eta = \sigma$ και η_t οι $\tau = 0$,

(Σημειώνεται ότι σε αυτήν την περίπτωση $\frac{\partial p}{\partial \pi} = \frac{p}{\pi} = \sigma$.)

❖ Διατήρηση Ενέργειας

Θα θεωρήσουμε στις κάθετες πεπερασμένες διαφορές του μοντέλου ότι συντηρούν το σφαιρικό ολοκλήρωμα της συνολικής ενέργειας ελλείψει των πηγών και των καταβόθρων. Πρέπει να παραγάγουμε εξισώσεις για την κινητική και εσωτερική ενέργεια προκειμένου να εισαχθεί αυτός ο περιορισμός.



Εικόνα 4.4. Κάθετη επίπεδη κατασκευή του CAM 3.0

Οι συνεισφορές $F_{\delta H}$, μπορούν να συνδυαστούν με την εξίσωση συνοχής

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \right) + \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \dot{\eta} \right) = 0$$

για να δώσει μια εξίσωση για το ποσοστό αλλαγής της κινητικής ενέργειας:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} E \right) = -\nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} E V \right) - \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} E \dot{\eta} \right) - \frac{RT_u}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \nabla p - \frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \nabla \Phi$$

Οι πρώτοι δύο όροι στη δεξιά πλευρά της προηγούμενης εξίσωσης είναι μεταφορικοί όροι. Το οριζόντιο ολοκλήρωμα του πρώτου (οριζόντιου) μεταφορικού όρου πρέπει να είναι μηδέν, και είναι σχετικά απλό να κατασκευαστούν οριζόντια πεπερασμένα

σχήματα διαφοράς που εξασφαλίζουν κάτι τέτοιο. Για τα φασματικά μοντέλα, το ολοκλήρωμα του οριζόντιου μεταφορικού όρου δεν θα εξαφανιστεί γενικά, αλλά θα αγνοήσουμε αυτό το πρόβλημα.

Το κάθετο ολοκλήρωμα του δεύτερου (κάθετου) μεταφορικού όρου στη δεξιά πλευρά πρέπει να εξαφανιστεί. Δεδομένου ότι αυτός ο όρος λαμβάνεται από τους κάθετους όρους μετατόπισης για την ορμή, η οποία θα είναι πεπερασμένη, μπορούμε να κατασκευάσουμε έναν πεπερασμένο χειριστή διαφοράς που θα εξασφαλίσει ότι το κάθετο ολοκλήρωμα εξαφανίζεται.

Οι κάθετοι όροι μετατόπισης είναι το παράγωγο μιας κάθετης ταχύτητας ($\eta \partial \rho / \partial \eta$) και το κάθετο παράγωγο ενός τομέα $\partial \psi / \partial \rho$. Η κάθετη ταχύτητα καθορίζεται από τα κάθετα ολοκληρώματα των τομέων, τα οποία λαμβάνονται φυσικά στις ενδιάμεσες επιφάνειες. Τα κάθετα παράγωγα λαμβάνονται επίσης φυσικά στις ενδιάμεσες επιφάνειες, έτσι το παράγωγο διαμορφώνεται εκεί, και έπειτα υπολογίζονται κατά μέσο όρο οι παρακείμενες τιμές ενδιάμεσων επιφανειών των προϊόντων για να δώσουν μια τιμή μεσαίου σημείου. Ο υπολογισμός του μέσου όρου πρέπει να είναι σωστός προκειμένου να διατηρηθεί η κινητική ενέργεια κάτω από την κάθετη μετατόπιση στην εξίσωση για το ποσοστό αλλαγής της κινητικής ενέργειας. Στο σημείο αυτό, η παραγωγή θα παραλειφθεί και οι κάθετοι όροι μετατόπισης που προκύπτουν είναι της μορφής:

$$\left(\eta \frac{\partial \rho}{\partial \eta} \frac{\partial \psi}{\partial \rho} \right)_k = \frac{1}{2 \Delta p_k} \left[\left(\eta \frac{\partial \rho}{\partial \eta} \right)_{k+1/2} (\psi_{k+1} - \psi_k) + \left(\eta \frac{\partial \rho}{\partial \eta} \right)_{k-1/2} (\psi_k - \psi_{k-1}) \right],$$

$$\Delta p_k = p_{k+1/2} - p_{k-1/2}$$

Η επιλογή των ορισμών για την κάθετη ταχύτητα στις ενδιάμεσες επιφάνειες δεν είναι τόσο σημαντική για την διατήρηση της ενέργειας και θα αναφερθούμε στον προσδιορισμό της αργότερα. Δεν είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί η κάθετη μετατόπιση της θερμοκρασίας προκειμένου να διατηρηθούν η μάζα ή η ενέργεια.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλοι περιορισμοί που οδηγούν σε διαφορετικές φόρμες για τη μετατόπιση της θερμοκρασίας.

Οι τελευταίοι δύο όροι μέσα στην εξίσωση για το ποσοστό αλλαγής της κινητικής ενέργειας περιέχουν τη μετατροπή μεταξύ κινητικής και εσωτερικής ενέργειας και της πηγής-δημιουργίας. Παραβλέποντας τους μεταφορικούς όρους και θεωρώντας ότι θα ληφθούν τα κυκλικά ολοκληρώματα, σημειώνοντας ότι $\frac{\nabla p}{p} = \frac{\pi}{p} \frac{\partial p}{\partial \pi} \nabla p$, και αντικαθιστώντας για το γεωδυναμικό χρησιμοποιώντας τις συνεχείς εξισώσεις μπορεί να γραφτεί:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} E \right) = -RT_u \frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \left(\frac{\pi}{p} \frac{\partial p}{\partial \pi} \nabla p \right) - \frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \nabla \Phi_s p - \frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \nabla \int_{p(\eta)}^{p(1)} RT_u d \ln p + \dots$$

Ο δεύτερος όρος στη δεξιά πλευρά της παραπάνω εξίσωσης είναι ένας όρος πηγής-δημιουργίας που μπορεί να παραληφθεί δεδομένου ότι υπάρχει ενδιαφέρον μόνο για τις εσωτερικές ιδιότητες διατήρησης. Ο τελευταίος όρος στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης μπορεί να ξαναγραφεί σαν:

$$\frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \nabla \int_{p(\eta)}^{p(1)} RT_u d \ln p = \nabla \cdot \left\{ \frac{\partial p}{\partial \eta} V \int_{p(\eta)}^{p(1)} RT_u d \ln p \right\} - \nabla \cdot \frac{\partial p}{\partial \eta} V \int_{p(\eta)}^{p(1)} RT_u d \ln p$$

Το κυκλικό ολοκλήρωμα του πρώτου όρου στη δεξιά πλευρά της παραπάνω εξίσωσης είναι προφανώς μηδέν, οπότε η εξίσωση μπορεί τώρα να γραφτεί ως:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} E \right) = -RT_u \frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \left(\frac{\pi}{p} \frac{\partial p}{\partial \pi} \nabla \pi \right) + \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) \int_{p(\eta)}^{p(1)} RT_u d \ln p + \dots$$

Γυρίζουμε τώρα στην εσωτερική εξίσωση ενέργειας, που προκύπτει από το συνδυασμό της θερμοδυναμικής εξίσωσης, χωρίς τους όρους Q , F_{TH} , και F_{FH} , και την εξίσωση συνέχειας :

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} c_p^* T \right) = -\nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} c_p^* T V \right) - \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} c_p^* T \dot{\eta} \right) + RT_u \frac{\partial p}{\partial \eta} \frac{\omega}{p}.$$

Όπως και στην θερμοδυναμική εξίσωση, οι πρώτοι δύο όροι στη δεξιά πλευρά είναι όροι μετατόπισης που μπορούν να παραληφθούν κάτω από τα κυκλικά ολοκληρώματα. Χρησιμοποιώντας τις συνεχείς εξισώσεις μπορεί να γραφτεί:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} c_p^* T \right) = RT_u \frac{\partial p}{\partial \eta} V \cdot \left(\frac{\pi}{p} \frac{\partial p}{\partial \pi} \nabla \Pi \right) - RT_u \frac{\partial p}{\partial \eta} \frac{1}{p} \int_{\eta_t}^{\eta} \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) d\eta + \dots$$

Το ποσοστό αλλαγής της συνολικής ενέργειας λόγω των εσωτερικών διαδικασιών λαμβάνεται προσθέτοντας τις δύο προηγούμενες εξισώσεις και πρέπει να εξαφανιστεί. Οι πρώτοι όροι στη δεξιά πλευρά των δύο αυτών εξισώσεων προφανώς ακυρώνονται στη συνεχή φόρμα. Όταν οι εξισώσεις διακριτοποιούνται στην κατακόρυφο, οι όροι θα είναι ακόμα άκυροι, υπό τον όρο ότι χρησιμοποιείται ο ίδιος καθορισμός για $1/r \partial r \partial p$ στους μη-γραμμικούς όρους του στροβιλισμού και της απόκλισης και στον όρο ω των εξισώσεων συνέχειας (Rasch and Kristjansson, 1998).

Οι δεύτεροι όροι στη δεξιά πλευρά των εξισώσεων συνέχειας πρέπει επίσης να είναι άκυροι στο ολικό μέσο όρο. Αυτή η ακύρωση επιβάλλεται τοπικά στον οριζόντιο στις κατακόρυφες ολοκληρώσεις, έτσι ώστε χρειαζόμαστε:

$$\int_{\eta_t}^1 \left\{ \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) \int_{p(\eta)}^{p(1)} RT_u d \ln p \right\} d\eta = \int_{\eta_t}^1 \left\{ RT_u \frac{\partial p}{\partial \eta} \frac{1}{p} \int_{\eta_t}^{\eta} \nabla \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} V \right) d\eta \right\} d\eta$$

Το εσωτερικό ολοκλήρωμα στην αριστερή πλευρά της παραπάνω εξίσωσης προέρχεται από την υδροστατική εξίσωση, η οποία θα προσεγγιστεί όπως:

$$\begin{aligned}
\Phi_K &= \Phi_S + R \sum_{l=K}^K H_{kl} T_{ul}, \\
&= \Phi_S + R \sum_{l=1}^K H_{kl} T_{ul}, \\
\underline{\Phi} &= \Phi_S \underline{1} + R H \underline{T}_u
\end{aligned}$$

όπου $H_{kl} = 0$ για $l < K$. Η ποσότητα $\underline{1}$ καθορίζεται ως μονάδα διάνυσμα. Το εσωτερικό ολοκλήρωμα στη δεξιά πλευρά της εξίσωσης προέρχεται από την κάθετη εξίσωση ταχύτητας, την οποία θα προσεγγίσουμε όπως:

$$\left(\frac{\omega}{p} \right)_K = \left(\frac{\pi}{p} \frac{\partial p}{\partial \pi} \right)_K V_K \cdot \nabla \Pi - \sum_{l=K}^K C_{kl} \left[\delta_l \Delta p_l + \pi(V_l \cdot \nabla \Pi) \Delta \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right)_l \right],$$

όπου $C_{kl} = 0$, για $l > K$, και το C_{kl} συμπεριλαμβάνεται σαν μια προσέγγιση στο $1/p_K$ για $l \leq K$ και το σύμβολο Δ ορίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και στην υδροστατική εξίσωση. Το c_{kl} θα προσδιοριστεί έτσι ώστε το ω να είναι σύμφωνο με την ιδιαίτερη εξίσωση συνέχειας των Williamson και Olson (1994).

$$\begin{aligned}
&\sum_{k=1}^K \left\{ \frac{1}{\Delta_{\eta_K}} \left[\delta_K \Delta p_K + \pi(V_K \cdot \nabla \Pi) \Delta \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right)_K \right] R \sum_{l=1}^K H_{kl} T_{ul} \right\} \Delta_{\eta_K} \\
&= \sum_{k=1}^K \left\{ R T_{uk} \frac{\Delta p_K}{\Delta_{\eta_K}} \sum_{l=1}^K C_{kl} \left[\delta_l \Delta p_l + \pi(V_l \cdot \nabla \Pi) \Delta \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right)_l \right] \right\} \Delta_{\eta_K},
\end{aligned}$$

όπου έχει χρησιμοποιηθεί η σχέση :

$$\nabla \cdot V \left(\frac{\partial p}{\partial \eta} \right)_K = \frac{\left[\delta_K \Delta p_K + \pi(V_K \cdot \nabla \Pi) \Delta \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right)_K \right]}{\Delta_{\eta_K}}$$

Είναι τώρα εφικτό να συνδυαστούν οι μέσες τιμές της παραπάνω εξίσωσης και να απλοποιηθούν για να δώσουν :

$$\begin{aligned} \sum_{\kappa=1}^K \sum_{l=1}^K \left\{ \left[\delta_{\kappa} \Delta_{p_{\kappa}} + \pi(V_{\kappa} \cdot \nabla \Pi) \Delta \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right)_{\kappa} \right] H_{kl} T_{ul} \right\} \\ = \sum_{\kappa=1}^K \sum_{l=1}^K \left\{ \left[\delta_l \Delta_{p_l} + \pi(V_l \cdot \nabla \Pi) \Delta \left(\frac{\partial p}{\partial \pi} \right)_l \right] \Delta_{p_{\kappa}} C_{kl} T_{uk} \right\}. \end{aligned}$$

Η ανταλλαγή των δεικτών στην αριστερή πλευρά της εξίσωσης θα οδηγήσει προφανώς στις ίδιες εκφράσεις εάν θεωρηθεί :

$$H_{kl} = C_{kl} \Delta_{p_l}$$

Λαμβάνοντας υπόψη τους ορισμούς των κάθετων ολοκληρωμάτων μέσα στις εξισώσεις συνέχειας και της κάθετης μετατόπισης, το μοντέλο θα διατηρήσει την ενέργεια για όσον θεωρείται ότι τα C και H ικανοποιούν τη σχέση τελευταία εξίσωση.

❖ Φασματική μετατροπή

Η φασματική μέθοδος μετατροπής χρησιμοποιείται στον οριζόντιο ακριβώς όπως στην CCM1. Οι κάθετες και χρονικές πλευρές του μοντέλου αντιπροσωπεύονται από αντίστοιχες πεπερασμένες διαφορές. Οι οριζόντιες απόψεις αντιμετωπίζονται με τη φασματική μέθοδο μετατροπής, η οποία περιγράφεται σε αυτή την παράγραφο. Κατά συνέπεια, σε ορισμένα σημεία στην ολοκλήρωση, οι προγνωστικές μεταβλητές ($\zeta + \phi$), δ , T και Π αναπαρίστανται υπό μορφή συντελεστών σειρών αποκοπής των σφαιρικών αρμονικών συναρτήσεων, ενώ σε άλλα σημεία δίνονται από τις τιμές σημείων πλέγματος σε ένα αντίστοιχο γκαουσιανό πλέγμα. Γενικά, φυσικές παραμετροποιήσεις και μη γραμμικές διαδικασίες διενεργούνται στο διάστημα σημείων πλέγματος. Τα οριζόντια παράγωγα και οι γραμμικές διαδικασίες εκτελούνται στο φασματικό διάστημα. Εξωτερικά, το μοντέλο εμφανίζεται στο χρήστη να είναι ένα μοντέλο σημείων πλέγματος, όσο τα δεδομένα απαιτούνται και παράγονται από το ίδιο. Ομοίως, δεδομένου ότι όλες οι γραμμικές

παραμετροποιήσεις αναπτύσσονται και πραγματοποιούνται στα διαστήματα σημείων πλέγματος, το μοντέλο εμφανίζεται επίσης σαν πλεγματικό για την ενσωμάτωση φυσικών παραμετροποιήσεων, και ο χρήστης δεν χρειάζεται να ενδιαφέρεται πάρα πολύ για τις φασματικές απόψεις. Ωστόσο, για τους χρήστες που ενδιαφέρονται για τη διάγνωση της ισορροπίας των τιμών στις εξισώσεις εξέλιξης, οι λεπτομέρειες είναι σημαντικές και πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή για να γίνει αντιληπτό ποιες τιμές έχουν φασματικά αποκομμένα και ποιοι δεν έχουν. Η άλγεβρα που περιλαμβάνεται στους φασματικούς μετασχηματισμούς έχει παρουσιαστεί σε διάφορες δημοσιεύσεις [Daley et Al, 1976 Bourke et Al, 1977 Machenhauer, 1979]. Σε αυτήν την έκθεση, παρουσιάζονται μόνο οι λεπτομέρειες σχετικά με τον κώδικα του μοντέλου (Rasch and Kristjansson, 1998).

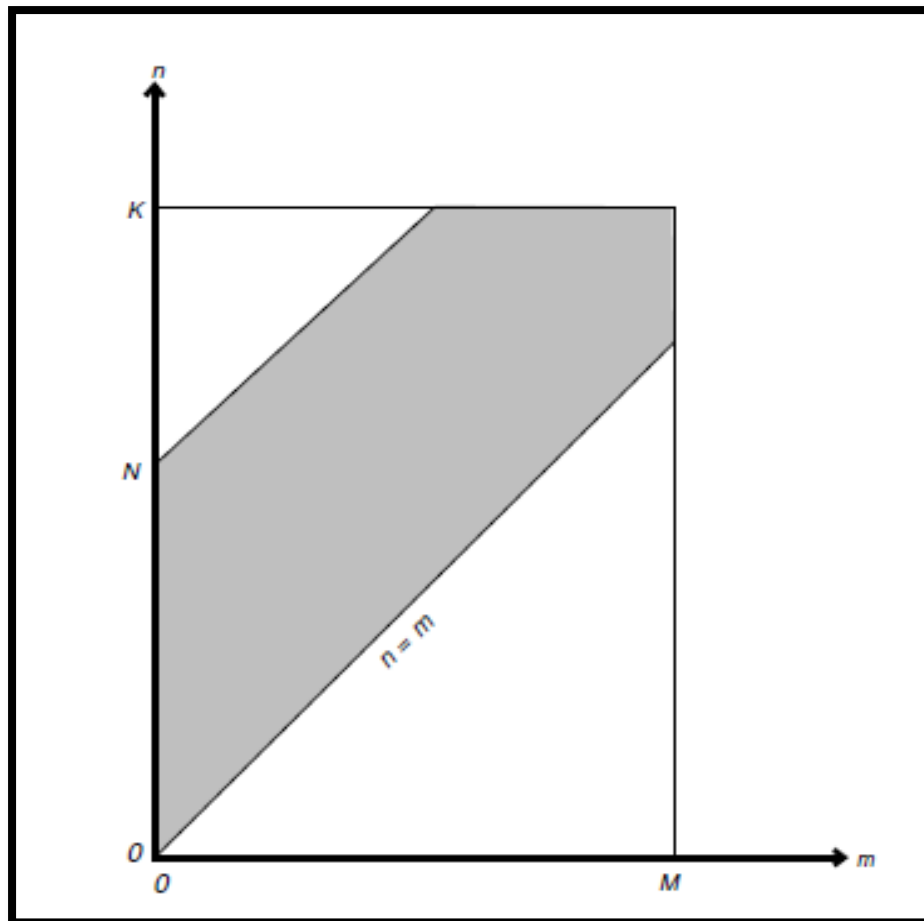
❖ *Επισκόπηση Φασματικού αλγορίθμου*

Η οριζόντια αναπαράσταση μιας αυθαίρετης μεταβλητής ψ αποτελείται από μια αποσπασματική σειρά σφαιρικών αρμονικών λειτουργιών,

$$\psi(\lambda, \mu) = \sum_{m=-M}^M \sum_{n=|m|}^{N(m)} \psi_n^m P_n^m(\mu) e^{iml},$$

όπου $\mu = \sin\phi$, M είναι το υψηλότερο Fourier κυματαριθμός που περιλαμβάνεται στην ανατολικο - δυτική αντιπροσώπευση και το $N(\mu)$ είναι η υψηλότερη τιμή των σχετικών πολυωνύμων Legendre για το μεσημβρινός κυματαριθμός m . Οι ιδιότητες των σφαιρικών αρμονικών λειτουργιών που χρησιμοποιούνται στην αντιπροσώπευση, μπορούν να βρεθούν στην επισκόπηση του Machenhauer [1979]. Το μοντέλο κωδικοποιείται για μια γενική πενταγωνική αποκοπή, που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.5., που καθορίζεται από τρεις παραμέτρους: M , K , και N , όπου το M αναλύεται παραπάνω, K είναι η υψηλότερη τιμή των σχετικών πολυωνύμων Legendre, και το N είναι η υψηλότερη τιμή των πολυωνύμων Legendre για $m = 0$. Οι κοινές αποκοπές είναι υποσύνολα αυτής της πενταγωνικής περίπτωσης:

Τριγωνικός: $M = N = K$,
 ρόμβος : $K = N + M$
 Τραπεζοειδής : $N = K > M$.



Εικόνα 4.5. Κωδικοποίηση του μοντέλου για μια γενική πενταγωνική αποκοπή, που καθορίζεται από τρεις παραμέτρους: M , K , και N , όπου το M αναλύεται παραπάνω, K είναι η υψηλότερη τιμή των σχετικών πολυωνύμων Legendre, και το N είναι η υψηλότερη τιμή των πολυωνύμων Legendre για $m = 0$. Οι κοινές αποκοπές είναι υποσύνολα αυτής της πενταγωνικής περίπτωσης:

Η ποσότητα $N(m)$ αντιπροσωπεύει ένα αυθαίρετο όριο στο διασδιάστατο κυματαριθμός n , και για την πενταγωνική αποκοπή που περιγράφεται παραπάνω δίνεται απλά από το $N(m) = \min(N + |m|, K)$

Τα σχετικά πολυώνυμα Legendre που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο είναι ομαλοποιημένα έτσι ώστε :

$$\int_{-1}^1 [P_n^m(\mu)]^2 d\mu = 1.$$

Με αυτήν την κανονικοποίηση, η παράμετρος Coriolis f είναι :

$$\omega = \frac{\Omega}{\sqrt{0.375}} P_1^0,$$

Η οποία χρειάζεται για απόλυτο στροβιλισμό.

Οι συντελεστές της φασματικής αναπαράστασης της αυθαίρετης μεταβλητής ψ δίνονται από την:

$$\psi_n^m = \int_{-1}^1 \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \psi(\lambda, \mu) e^{-im\lambda} d\lambda P_n^m(\mu) d\mu.$$

Το εσωτερικό ολοκλήρωμα αντιπροσωπεύει έναν μετασχηματισμό κατά Fourier,

$$\psi^m(\mu) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \psi(\lambda, \mu) e^{-im\lambda} d\lambda,$$

Το εξωτερικό ολοκλήρωμα εκτελείται μέσω του «γκαουσσισανού τετραγωνισμού»,

$$\psi_n^m = \sum_{j=1}^J \psi^m(\mu_j) P_n^m(\mu_j) w_j,$$

όπου το μ_j δείχνει τα γκαουσσισανά πλεγματικά σημεία στο μεσημβρινό κατεύθυνση, w_j το γκαουσσισανό βάρος στο σημείο μ_j , και το J ο αριθμός των γκαουσσισανών πλεγματικών σημείων από πόλο σε πόλο. Τα γκαουσσισανά πλεγματικά σημεία (μ_j) δίνονται από τις ρίζες του Legendre πολυωνύμου $P_J(\mu)$, και τα σχετικά βάρη δίνονται από :

$$w_j = \frac{2(1 - \mu_j^2)}{[JP_{J-1}(\mu_j)]^2}.$$

Τα βάρη τους ικανοποιούν :

$$\sum_{i=1}^J w_j = 2.0.$$

Το γκαουσσισιανό πλέγμα που χρησιμοποιείται για το βόρειο-νότιο μετασχηματισμό επιλέγεται γενικά με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπονται μόνο οι υπολογισμοί των τετραγωνικών όρων. Σε αυτήν την περίπτωση, ο αριθμός γκαουσσισιανών γεωγραφικών πλατών j πρέπει να ικανοποιεί :

$$J \geq 2N + K + M + 12 \text{ για } M \leq 2K - N,$$

$$J \geq 3K + 12 \text{ για } M \leq 2K - N.$$

Για τις κοινές αποκοπές, αυτοί γίνονται :

$$J \geq 3K + 12 \text{ για τριγωνικό και τραπεζοειδές,}$$

$$J \geq 3N + 2M + 12 \text{ για ρόμβο.}$$

Προκειμένου να επιτραπεί ο ακριβής μετασχηματισμός κατά Φουριέ των τετραγωνικών όρων, ο αριθμός σημείων P στην ανατολικο-δυτική κατεύθυνση πρέπει να ικανοποιεί :

$$P \geq 3M + 1.$$

Οι πραγματικές τιμές των J και P συχνά δεν είναι «σεταρισμένες» στο χαμηλότερο όριο προκειμένου να επιτραπεί η χρήση των αποδοτικότερων προγραμμάτων μετατροπής.

Ο κώδικας εξετάζει τα συμμετρικά και μη συμμετρικά μέρη των μεταβλητών και συναθροίζει μόνο τα ποσά από τον ισημερινό στον πόλο. Το μοντέλο χρειάζεται έναν ομαλό αριθμό γεωγραφικών πλατών για να χρησιμοποιήσει εύκολα τους όρους συμμετρίας. Αυτό μπορεί να είναι σε μερικές περιπτώσεις ανεπαρκές για μερικές φασματικές αναλύσεις. Καθορίζεται ένας νέος δείκτης, ο οποίος κυμαίνεται από $-I$ (στο σημείο δίπλα στο νότιο πόλο) μέχρι $+I$ (στο σημείο δίπλα στο βόρειο πόλο)

εξαιρώντας το σημείο 0 (δεν υπάρχουν σημεία στον ισημερινό ή τον πόλο στο γκαουσιανό πλέγμα), δηλ., αφήνει $l = J/2$ και $i = j - J/2 + 1$ για $j \geq J/2 + 1$ και $i = j - J/2 - 1$ για $j \leq J/2$. Έτσι, το άθροισμα στην εξίσωση αυθαίρετης μεταβλητής ψ μπορεί να ξαναγραφεί :

$$\psi_n^m = \sum_{i=-I, i \neq 0}^I \psi^m(\mu_i) P_n^m(\mu_i) w_i.$$

Τα συμμετρικά και μη συμμετρικά μέρη του ψ_n^m προσδιορίζονται από :

$$(\psi_E)_i^m = \frac{1}{2} (\psi_i^m + \psi_{-i}^m)$$

$$(\psi_O)_i^m = \frac{1}{2} (\psi_i^m - \psi_{-i}^m)$$

Δεδομένου ότι w_j είναι συμμετρικό όσον αφορά τον ισημερινό, η εξίσωση αυθαίρετης μεταβλητής ψ μπορεί να ξαναγραφεί για να δώσει τους τύπους για τους συντελεστές άρτιων και μονών σφαιρικών αρμονικών:

$$\psi_n^m = \begin{cases} \sum_{i=1}^I (\psi_E)_i^m(\mu_i) P_n^m(\mu_i) 2w_i, & \text{για } n = m, \\ \sum_{i=1}^I (\psi_O)_i^m(\mu_i) P_n^m(\mu_i) 2w_i, & \text{για } n \neq m. \end{cases}$$

Το μοντέλο χρησιμοποιεί τη φασματική μέθοδο μετατροπής (Machenhauer, 1979) για όλους τους μη γραμμικούς όρους. Εντούτοις, το μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί όπως αρχικά από τις τιμές σημείων πλέγματος στο χρόνο t και παράγοντας μια πρόβλεψη των τιμών σημείων πλέγματος στο χρόνο $t + \Delta t$. Η διαδικασία πρόβλεψης περιλαμβάνει τον υπολογισμό των μη γραμμικών όρων συμπεριλαμβανομένων

φυσικά των παραμετροποιήσεων στα πλεγματικά σημεία, μετασχηματισμό μέσω του γκαουσσισιανού τετραγωνισμού των μη γραμμικών όρων από το διάστημα σημείων πλέγματος σε φασματικό διάστημα, υπολογισμό των φασματικών συντελεστών των προγνωστικών μεταβλητών στο χρόνο $t + \Delta t$ και μετασχηματισμό πίσω στα διαστήματα σημείων πλέγματος.

- Παραμετροποίηση της μικροκυματικής ακτινοβολίας
- Ημερήσιος κύκλος

Με σταθερές ρυθμίσεις «όνομα - κατάλογος», τόσο τα μικροκυματικά, όσο και τα μακροκυματικά ποσοστά θέρμανσης υπολογίζονται κάθε ώρα του μοντέλου. Μεταξύ των υπολογισμών ανά ώρα, οι μακροκυματικές και μικροκύματικές ροές και οι αποκλίσεις ροής διατηρούνται σταθερές.

Στο CAM 3.0, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο του Berger [1978]. Χρησιμοποιώντας αυτήν την μέθοδο, η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να καθοριστεί για οποτεδήποτε χρονική στιγμή μέσα σε 10^6 έτη του 1950. Αυτό διευκολύνει τη χρησιμοποίηση του CAM 3,0 για παλαιοκλιματικές προσομοιώσεις. Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία στο μέγιστο του μοντέλου της ατμόσφαιρας δίνεται από :

$$S_I = S_0 p^{-2} \cos \mu,$$

όπου S_0 είναι η ηλιακή σταθερά, μ είναι η ηλιακή ζενίθια γωνία, και p^{-2} είναι ο παράγοντας απόστασης. Στην τυποποιημένη διατύπωση, $S_0=1367,0W/m^2$. το CAM 3.0 συμπεριλαμβάνει έναν μηχανισμό για να διαχειρίζεται τις χαμηλές παραλλαγές στην ηλιακή σταθερά πέρα από τον 11-ετή κύκλο και κατά τη διάρκεια των πιο μακροχρόνιων κοσμικών τάσεων. Μέσα στο μοντέλο συμπεριλαμβάνεται μια χρονική σειρά του S_0 για το χρονικό διάστημα από το 1870 μέχρι το 2100 που βασίζεται στους Lean et al. (1995).

Παρουσιάζεται ο ετήσιος και ο ημερήσιος κύκλος της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία με ένα επαναλαμβανόμενο ηλιακό έτος ακριβώς 365 ημερών και με μια μέση ηλιακή ημέρα ακριβώς 24 ωρών, αντίστοιχα. Το επαναλαμβανόμενο ηλιακό έτος δεν επιτρέπει την παράλειψη κάποιου έτους. Οι εξισώσεις που καθορίζουν την ετήσια και ημερήσια αλλαγή της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία είναι:

$$\cos\mu = \sin\varphi\sin\delta - \cos\varphi\cos\delta\cos(H)$$

$$\delta = \arcsin(\sin\epsilon\sin\lambda)$$

$$\rho = \frac{1 - e^2}{1 + e\cos(l - \omega)}$$

$$\omega = \Pi + \psi$$

όπου

- φ = γεωγραφικό πλάτος στα ακτίνια
- δ = ηλιακή απόκλιση στα ακτίνια
- H = ωριαία γωνία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας
- ϵ = λοξότητα
- λ = αληθινό γεωγραφικό μήκος της γης σχετικά με το εαρινή ισημερία
- e = παράγοντας εκκεντρότητας
- ω = γεωγραφικό μήκος περιήλιου + 180°
- Π = γεωγραφικό μήκος περιήλιου που βασίζεται σε σταθερή ισημερία
- ψ = γενική μετάπτωση

Σημειώνεται ότι το Π δείχνεται από το π στη μέθοδο του Berger [1978].

Η ωριαία γωνία H στη σχέση για το $\cos\mu$ εξαρτάται από την ημερολογιακή ημέρα d όπως και στο γεωγραφικό μήκος του μοντέλου :

$$H = 2\pi \left(d + \frac{\theta}{360^\circ} \right)$$

όπου θ = το γεωγραφικό μήκος του μοντέλου στους βαθμούς που αρχίζουν από το Γκρήνουιτς που πηγαίνουν ανατολικά. Σημειώνεται ότι η ημερολογιακή ημέρα d ποικίλλει συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια του επαναλαμβανόμενου έτους και ενημερώνεται κάθε σε χρονικό βήμα του μοντέλου. Οι τιμές του d στο 0 GMT για τις 1 Ιανουαρίου και τις 31 Δεκεμβρίου είναι 0 και 364, αντίστοιχα. Αυτό θα σήμαινε, για παράδειγμα, ότι μία ημερολογιακή ημέρα του μοντέλου d που δεν έχει κανένα

υποτμήμα (όπως στο 182.00) θα αναφερόταν στα τοπικά μεσάνυχτα στο Γκρήνουιτς, και στο τοπικό μεσημέρι στο γεωγραφικό μήκος 180°.

Η λοξότητα ϵ μπορεί να προσεγγιστεί από μια εμπειρική σειρά επεκτάσεων των λύσεων για τη γήινη τροχιά

$$\epsilon = \epsilon^* + \sum_{j=1}^{47} A_j \cos(f_j t + \delta_j)$$

όπου τα A_j , f_j και δ_j καθορίζονται από την αριθμητική εφαρμογή. Ο όρος $\epsilon^* = 23.320556^\circ$, και το t είναι ο χρόνος (στα έτη) σχετικά με το 1950.

Δεδομένου ότι η σειρά επεκτάσεων για την εκκεντρότητα e είναι αργά συγκλίνουσα, υπολογίζεται χρησιμοποιώντας :

$$e = \sqrt{(e \cos \Pi)^2 + (e \sin \Pi)^2}$$

Οι όροι στη δεξιά πλευρά μπορούν επίσης να γραφτούν ως εμπειρικές σειρές επεκτάσεων :

$$e \begin{Bmatrix} \cos \\ \sin \end{Bmatrix} \Pi = \sum_{j=1}^{19} M_j \begin{Bmatrix} \cos \\ \sin \end{Bmatrix} (g_j t + \beta_j),$$

όπου τα M_j , g_j και β_j υπολογίζονται από την αριθμητική εφαρμογή. Μόλις υπολογιστούν αυτές οι σειρές, το γεωγραφικό μήκος περιήλιου Π υπολογίζεται χρησιμοποιώντας :

$$\Pi = \arctan \left(\frac{e \sin \Pi}{e \cos \Pi} \right)$$

Η γενική μετάπτωση δίνεται από μια άλλη εμπειρική σειρά επεκτάσεων

$$\psi = \tilde{\psi}t + \zeta + \sum_{j=1}^{78} F_j \sin(f_j t \delta_j t)$$

όπου $\tilde{\psi} = 50.43927300''$, $\zeta = 3.392506^\circ$, και F_j , f_j , και δ_j υπολογίζονται από την αριθμητική λύση για τη γήινη τροχιά.

Ο υπολογισμός του λ απαιτεί αρχικά τον προσδιορισμό δύο μέσων γεωγραφικών μηκών για την τροχιά. Το μέσο γεωγραφικό μήκος λ_{m0} τη στιγμή του εαρινή ισημερία είναι:

$$\lambda_{m0} = 2 \left\{ \left(\frac{e}{2} + \frac{e^3}{8} \right) (1 + \beta) \sin(\tilde{\omega}) - \frac{e^2}{4} \left(\frac{1}{2} + \beta \right) \sin(2\tilde{\omega}) + \frac{e^3}{8} \left(\frac{1}{3} + \beta \right) \sin(3\tilde{\omega}) \right\}$$

Όπου $\beta = \sqrt{1 - e^2}$. Το μέσο γεωγραφικό μήκος είναι :

$$\lambda_m = \lambda_{m0} + \frac{2\pi(d - d_{ve})}{365}$$

όπου $d_{ve}=80.5$ είναι η ημερολογιακή ημέρα για την εαρινή ισημερία το μεσημέρι στις 21 Μαρτίου. Το αληθινό γεωγραφικό μήκος λ δίνεται έπειτα από:

$$\lambda = \lambda_m + \left(2e - \frac{e^3}{4} \right) \sin(\lambda_m - \tilde{\omega}) + \frac{5e^2}{4} \sin[2(\lambda_m - \tilde{\omega})] + \frac{13e^2}{12} \sin[3(\lambda_m - \tilde{\omega})]$$

Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία διατηρείται σταθερή για όλη την εφαρμογή του μοντέλου. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προσδιοριστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι να διευκρινιστεί ένα έτος για τον υπολογισμό του t . Η τιμή του έτους διατηρείται σταθερή για όλη την εφαρμογή

του μοντέλου. Το έτος πρέπει να είναι μέσα στο ποσοστό των 1950 ± 10^6 . Ο δεύτερος τρόπος είναι να διευκρινιστούν ο παράγοντας εκκεντρότητας e , το γεωγραφικό μήκος περιήλιου $\varpi = 180^\circ$, και η λοξότητα ϵ . Αυτό το σύνολο τιμών είναι αρκετό για να διευκρινιστεί η λειτουργία του μοντέλου.

- *Διατύπωση της μικροκυματικής λύσης*

Η προσέγγιση δ-Eddington των Joseph et Al [1976] και Coakley et Al [1983] έχει υιοθετηθεί και περιγράφεται στο Briegleb [1992]. Οι σημαντικότερες διαφορές μεταξύ μικροκυματικών παραμετροποιήσεων CCM3 και του CAM 3.0 είναι :

1. η νέα επεξεργασία της κάθετης επικάλυσης σύννεφων [Collins, 2001]
2. ενημερωμένη παραμετροποίηση για την κοντινή υπέρυθη απορρόφηση από τον υδρατμό
3. συνυπολογισμός συνόλων δεδομένων αερολύματος για τον υπολογισμό της έντασης ακτινοβολίας αερολυμάτων.

Το ηλιακό φάσμα χωρίζεται σε 19 φασματικά και ψευδο-φασματικά διαστήματα (7 για το O_3 , 1 για το ορατό, 7 για το H_2O , 3 για το CO_2 , και 1 για το κοντινό υπέρυθρο κατά τον Collins (1998). Το CAM 3,0 ατμοσφαιρικό μοντέλο αποτελείται από ένα κάθετο σύνολο οριζόντιων ομοιογενών «layers» μέσα στα οποία τα ποσοστά θερμικής ακτινοβολίας θα διευκρινιστούν παρακάτω. Κάθε ένα από αυτά τα «layers» θεωρείται ένας ομοιογενής συνδυασμός διάφορων ενεργειακά ενεργών συστατικών. Η ηλιακή ακτινοβολία, η επιφανειακή ανακλαστικότητα για την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία σε κάθε φασματικό διάστημα, και το συνημίτονο της ηλιακής γωνίας αποκορυφώματος διευκρινίζονται. Η Ανακλαστικότητα μιας επιφάνειας διευκρινίζεται σε δύο κανάλια (0.2-0.7 μm , και 0.7-5.0 μm) και διακρίνουν ανακλαστικότητες για την άμεση και διάχυτη συναφή ακτινοβολία. Ανακλαστικότητες για ωκεάνιες επιφάνειες, ποικίλες γεωγραφικές εδαφικές επιφάνειες, και επιφάνειες πάγου - θάλασσας διαφέρουν.

Η μέθοδος περιλαμβάνει την αξιολόγηση της δ-Eddington λύσης για την ανακλαστικότητα και τη μεταβιβασιμότητα για κάθε «layer» στην κατακόρυφο. Τα στρώματα συνδυάζονται για πολλαπλή σκέδαση μεταξύ τους επιτρέποντας την προς τα πάνω και προς τα κάτω φασματικές ροές σε κάθε ενδιάμεσο όριο μεταξύ των στρωμάτων. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε φασματικό ή ψευδο-φασματικό διάστημα και τη δυαδική διαμόρφωση των νεφών για να συσσωρεύσει τις ροές εύρους, από τις οποίες το ποσοστό θέρμανσης μπορεί να αξιολογηθεί από τις

διαφορές ροής πέρα από κάθε στρώμα. Το σχήμα δ-Eddington εφαρμόζεται έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να υπολογίζεται μία φορά κάθε ώρα του μοντέλου.

Η δ-Eddington προσέγγιση επιτρέπει την απορρόφηση O_3 , CO_2 , O_2 , H_2O από τα αερολύματα. Συμπεριλαμβάνεται η μοριακή διασπορά και η διασπορά/απορρόφηση από τα σταγονίδια των σύννεφων και των αερολυμάτων. Στη μέθοδο των Briegleb [1992] και Collins [1998] χρησιμοποιείται ένα σύνολο δεδομένων από φασματικά διαστήματα και από την απορρόφηση/ διασπορά με εξαίρεση το H_2O . Το διαγνωστικό ποσό σύννεφων υπολογίζεται κάθε ώρα του μοντέλου ακριβώς πριν από τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας.

Χρησιμοποιώντας επτά ψευδο-φασματικά διαστήματα, παρατηρείται απορρόφηση φωτός του ήλιου από τον υδρατμό περίπου 1000 και 18.000 cm^{-1} . Για κάθε διάστημα παρατηρείται μια σταθερή συγκεκριμένη απορρόφηση. Αυτές οι απορροφήσεις εφαρμόζονται για να ελαχιστοποιήσουν τα σφάλματα στα ποσοστά θέρμανσης και τις αποκλίσεις ροής που σχετίζονται με τους υπολογισμούς γραμμή προς γραμμή (LBL) για τις ατμόσφαιρες αναφοράς [Anderson et al., 1986] χρησιμοποιώντας GENLN3 [Edwards, 1992] που συνδέεται με επίλυση της εξίσωσης μεταφοράς DISORT2 [Stamnes et Al, 1988]. Οι συντελεστές και τα βάρη έχουν τις ίδιες ιδιότητες όπως σε μια k-distribution μέθοδο [Lacis και Oinas, 1991], αλλά αυτή η παραμετροποίηση είναι ουσιαστικά ένα εκθετικό άθροισμα τιμών (π.χ., Wiscombe και Evans [1977]). Οι υπολογισμοί LBL εκτελούνται χρησιμοποιώντας τη γραμμική βάση δεδομένων HITRAN2k [Rothman et al., 2003] και το μοντέλο - έκδοσης 2.4.1 των Clough, Kneizys, and Davies (CKD). Η αναβαθμισμένη παραμετροποίηση αυξάνει την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τον υδρατμό σύμφωνα με την μεθοδολογία που εφαρμόζεται στα CCM και CAM από τότε που άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τον Briegleb (1992).

❖ Διατυπώσεις επιφανειακής ανταλλαγής

Η επιφανειακή ανταλλαγή της θερμότητας, της υγρασίας και της ορμής μεταξύ των επιφανειών της ατμόσφαιρας και του εδάφους, των ωκεανών ή του πάγου αντιμετωπίζονται με μια φόρμα μαζικής ανταλλαγής. Παρουσιάζεται μια περιγραφή κάθε επιφανειακής ανταλλαγής ξεχωριστά. Αν και οι λειτουργικές μορφές των σχέσεων ανταλλαγής είναι ίδιες, παρουσιάζονται οι περιγραφές αυτών των συνιστωσών όπως αναπτύσσονται και αναπαρίστανται στις διάφορες εφαρμογές του CAM 3.0. Οι διαφορές στις εκφράσεις ανταλλαγής είναι κυρίως στον καθορισμό των

ανομοιομορφιών των μηκών και των συντελεστών ανταλλαγής. Η περιγραφή της επιφανειακής ανταλλαγής για τον ωκεανό προκύπτει από τους Bryan et Al [1996]. Για ότι αφορά στις λίμνες, οι ανταλλαγές υπολογίζονται από ένα μοντέλο λιμνών που ενσωματώνεται στο μοντέλο της επιφάνειας του εδάφους που περιγράφεται παρακάτω.

- Έδαφος

Στο CAM 3.0, το μοντέλο επιφάνειας εδάφους NCAR (LSM) [Bonan, 1996] έχει αντικατασταθεί από το «Community Climate Model» (CLM2) [Bonan et Al, 2002]. Αυτό το νέο μοντέλο περιλαμβάνει τις συνιστώσες που προκαλούν τις υδρολογικές και βιογεωχημικές διαδικασίες, τη δυναμική βλάστηση, και τη βιογεωφυσική. Λόγω της αυξανόμενης πολυπλοκότητας αυτού του νέου μοντέλου και δεδομένου ότι είναι απευθείας προσβάσιμη μια πλήρης περιγραφή του μοντέλου, οι χρηστές του CAM 3.0 που ενδιαφέρονται για το «CLM» καλό θα ήταν να συμβουλευονται αυτήν την περιγραφή στο <http://www.cgd.ucar.edu/tss/clm/>.

Οι ροές της επιφάνειας του εδάφους της ορμής, της «λογικής» θερμότητας, και της λανθάνουσας θερμότητας υπολογίζονται από την Monin-Obukhov θεωρία που εφαρμόζεται στο “layer” της επιφάνειας (δηλ. σταθερή ροή). Οι ζωνικές T_x και μεσημβρινές T_ψ ροές ορμής, οι ροές της «λογικής» θερμότητας H και του υδρατμού E μεταξύ της επιφάνειας και του χαμηλότερου επιπέδου Z_1 του μοντέλου είναι:

$$T_x = -\rho_1 (\overline{u'w'}) = -\rho_1 u_*^2 (u_1/V_a) = \rho_1 \frac{u_s - u_1}{r_{am}}$$

$$T_\psi = -\rho_1 (\overline{v'w'}) = -\rho_1 u_*^2 (vu_1/V_a) = \rho_1 \frac{v_s - v_1}{r_{am}}$$

$$H = \rho_1 c_p (\overline{w'\theta'}) = -\rho_1 c_p u_* \theta_* = \rho_1 c_p \frac{\theta_s - \theta_1}{r_{ah}}$$

$$E = \rho_1 (\overline{w'q'}) = -\rho_1 u_* q_* = \rho_1 \frac{q_s - q_1}{r_{aw}}$$

$$r_{am} = V_a/u_*^2$$

$$r_{ah} = (\theta_1 - \theta_s)/u_* \theta_*$$

$$r_{aw} = (q_1 - q_s)/u_* \theta_*$$

όπου ρ_1 , u_1 , v_1 , θ_1 και q_1 είναι η πυκνότητα, ζωνικός άνεμος, μεσημβρινός άνεμος, η πιθανή θερμοκρασία του αέρα (K), και η συγκεκριμένη υγρασία στο χαμηλότερο επίπεδο του μοντέλου. Εξ ορισμού, η επιφάνεια περικλείει τις u_s και v_s στην τιμή του μηδενός. Το σύμβολο θ_1 αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία, και το q_1 είναι η συγκεκριμένη υγρασία στην επιφάνεια. Οι όροι r_{am} , r_{ah} και r_{aw} είναι οι αεροδυναμικές αντιστάσεις ($s\ m^{-1}$) για την ορμή, τη λογική θερμότητα, και τον υδρατμό μεταξύ του χαμηλότερου επιπέδου του μοντέλου στο ύψος z_1 και της επιφάνειας στο ύψος $z_{0m}+d[z_{0h}+d]$. Εδώ, z_{0m} [z_{0h}] είναι το μήκος της τραχύτητας (m) για τις ροές ορμής, και το d είναι το ύψος μετατοπίσεων (m).

Μήκη τραχύτητας και μηδενική-επίπεδη μετατόπιση

Η αεροδυναμική τραχύτητα z_{0m} χρησιμοποιείται για τον αέρα, ενώ η θερμική τραχύτητα z_{0h} χρησιμοποιείται για τη θερμότητα και τον υδρατμό. Γενικά, το z_{0m} είναι διαφορετικό από z_{0h} , επειδή η μεταφορά της ορμής επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις πίεσης στα μήκη της τραχύτητας πίσω από τα στοιχεία τραχύτητα, ενώ για τη μεταφορά της θερμότητας και του υδρατμού δεν υπάρχει κανένας τέτοιος δυναμικός μηχανισμός. Για ότι αφορά γυμνή κάλυψη χώματος και χιονιού, η απλή σχέση από τον Zilitinkevich [1970] μπορεί να χρησιμοποιηθεί (Zeng και Dickinson, 1998) :

$$\ln \frac{z_{0m}}{z_{0h}} = a \left(\frac{u_* z_{0m}}{v} \right)^{0.45}$$

$$a = 0.13$$

$$v = 1.5 \times 10^{-5} m^2 s^{-1}$$

Σύμφωνα με το της κάλυψης της βλάστησης, η εφαρμογή της ενεργειακής ισορροπίας :

$$R_n - H - L_u E = 0$$

(όπου R_n είναι η καθαρή ακτινοβολία που απορροφάται από το της κάλυψης της βλάστησης) είναι ισοδύναμο για τη χρήση διαφορετικού z_{0m} έναντι z_{0h} πέρα για το γυμνό χώμα, και ως εκ τούτου η θερμική τραχύτητα δεν απαιτείται για το της κάλυψης της βλάστησης (Zeng et Al,1998).

Η τραχύτητα z_{0m} είναι ανάλογη προς το ύψος της κάλυψης της βλάστησης, και επηρεάζεται επίσης από την κλασματική κάλυψη βλάστησης, το δείκτη περιοχής φύλλων, και τις μορφές φύλλων. Η τραχύτητα προέρχεται από την απλή σχέση $z_{0m}=0.07h_c$, όπου h_c είναι το ύψος της κάλυψης της βλάστησης. Ομοίως, το μηδενικό ύψος d μετατοπίσεων είναι ανάλογο προς το ύψος της κάλυψης της βλάστησης, και επηρεάζεται επίσης από την κλασματική κάλυψη βλάστησης, το δείκτη περιοχής φύλλων, και τις μορφές φύλλων. Η απλή σχέση $d/h_c = 2/3$ χρησιμοποιείται για να προκύψει το ύψος.

Η θεωρία ομοιότητας Monin-Obukhov

1. Παράμετροι κλιμάκωσης τριβής

Μια κλίμακα μήκους (το Monin-Obukhov μήκος) L καθορίζεται από :

$$L = \frac{\theta_v u_*^2}{kg\theta_{v*}}$$

όπου k είναι η σταθερά von Karman, και g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Για $L > 0$ αντιστοιχούν οι σταθεροί όροι, για $L < 0$ αντιστοιχούν οι ασταθείς όρους και για $L=\infty$ αντιστοιχούν οι ουδέτεροι όροι. Η εικονική πιθανή θερμοκρασία θ_u προκύπτει από :

$$\theta_u = \theta_1(1 + 0.61q_1) = T_a \left(\frac{p_s}{p_l} \right)^{R/c_p} (1 + 0.61q_1)$$

όπου T_1 και q_1 είναι η θερμοκρασία αέρα και η συγκεκριμένη υγρασία στο ύψος z_1 αντίστοιχα, θ_1 είναι η ατμοσφαιρική πιθανή θερμοκρασία, p_l είναι η ατμοσφαιρική

πίεση, και p_s είναι η επιφανειακή πίεση. Η επιφανειακή ταχύτητας τριβής u_* δίνεται από :

$$u_*^2 = \left[(\overline{u'w'})^2 + (\overline{v'w'})^2 \right]^{1/2}$$

Η κλίμακα θερμοκρασίας θ_* και θ_{u*} και μια κλίμακα υγρασίας q_* δίνονται από:

$$\theta_* = -\overline{w'\theta'}/u_*$$

$$q_* = -\overline{w'q'}/u_*$$

$$\theta_{u*} = -\overline{w'\theta_u'}/u_*$$

$$\approx -(\overline{w'\bar{\theta}} + 0.61\bar{\theta}\overline{w'q'})/u_*$$

$$= \theta_* + 0.61\bar{\theta}q_*$$

(όπου η μέση θερμοκρασία θ χρησιμεύει ως μια θερμοκρασία αναφοράς σε αυτήν την γραμμική μορφή του θ_u). Η παράμετρος σταθερότητας ορίζεται ως :

$$\zeta = \frac{z_1 - d}{L}$$

με τον περιορισμό ότι : $-100 \leq \zeta \leq 2$. Η κλιμακωτή ταχύτητα του αέρα ορίζεται ως :

$$V_a^2 = u_1^2 + v_1^2 + U_c^2$$

$$U_c = \begin{cases} 0.1 m s^{-1} & \alpha \nu \zeta \geq 0 \\ \beta w_* = \beta \left(z_i \frac{g}{\theta_u} \theta_{u*} u_* \right)^{1/3} & \alpha \nu \zeta < 0 \end{cases}$$

Εδώ w_* είναι η μεταφορική κλίμακα ταχύτητας, z_i είναι το μεταφορικό ύψος boundary layer, και $\beta = 1$. Η τιμή του z_i θεωρείται 1000 μ .

2. Σχέσεις ροής - κλίσης [Zeng et al., 1998]

Οι σχέσεις ροής - κλίσης δίνονται από :

$$\frac{k(z_1 - d)}{\theta_*} \frac{\partial \theta}{\partial z} = \Phi_h(\zeta)$$

$$\frac{k(z_1 - d)}{q_*} \frac{\partial q}{\partial z} = \Phi_q(\zeta)$$

$$\Phi_h = \Phi_q$$

$$\Phi_m(\zeta) = \begin{cases} (1 - 16\zeta)^{-1/4} & \text{για } \zeta < 0 \\ 1 + 5\zeta & \text{για } 0 < \zeta < 1 \end{cases}$$

$$\Phi_h(\zeta) = \begin{cases} (1 - 16\zeta)^{-1/2} & \text{για } \zeta < 0 \\ 1 + 5\zeta & \text{για } 0 < \zeta < 1 \end{cases}$$

Κάτω από πολύ ασταθείς όρους, οι σχέσεις ροή-κλίσης δίνονται σύμφωνα με τους Kader and Yaglom (1990):

$$\Phi_m = 0.7k^{2/3}(-\zeta)^{1/3}$$

$$\Phi_h = 0.9k^{4/3}(-\zeta)^{1/3}$$

Για να εξασφαλιστεί ότι οι σχέσεις $\Phi_m(\zeta)$ και $\Phi_h(\zeta)$ είναι συνεχής, η πιο απλή προσέγγιση είναι να συνδυαστούν οι παραπάνω εξισώσεις σε $\zeta_m = -1.574$ για το $\Phi_m(\zeta)$ και $\zeta_h = -0.465$ για το $\Phi_h(\zeta)$.

Κάτω από πολύ σταθερούς όρους (δηλ., $\zeta > 1$), οι σχέσεις δίνονται σύμφωνα με τους Holtslag et al [1990]:

$$\Phi_m = \Phi_h = 5 + \varsigma$$

3. Ακέραιες μορφές των σχέσεων ροή-κλίσης

Ολοκλήρωση της κατανομής του ανέμου :

$$V_a = \frac{u_*}{k} f_M(\varsigma)$$

$$f_M(\varsigma) = \left\{ \left[\ln \left(\frac{\varsigma_m L}{z_{0m}} \right) - \psi_m(\varsigma_m) \right] + 1.14 [(-\varsigma)^{1/3} - (-\varsigma_m)^{1/3}] \right\}, \varsigma < \varsigma_m$$

$$= 1.574$$

$$f_M(\varsigma) = \left[\ln \left(\frac{z_1 - d}{z_{0m}} \right) - \psi_m(\varsigma) + \psi_m \left(\frac{z_{0m}}{L} \right) \right], \varsigma_m < \varsigma < 0$$

$$f_M(\varsigma) = \left[\ln \left(\frac{z_1 - d}{z_{0m}} \right) + 5\varsigma \right], 0 < \varsigma < 1$$

$$f_M(\varsigma) = \left\{ \left[\ln \left(\frac{L}{z_{0m}} \right) + 5 \right] + 5[\ln(\varsigma) + \varsigma - 1] \right\}, \varsigma > 1$$

Ολοκλήρωση της κατανομής του ανέμου:

$$\theta_1 - \theta_s = \frac{\theta_*}{k} f_T(\varsigma)$$

$$f_T(\varsigma) = \left\{ \left[\ln \left(\frac{\varsigma_h L}{z_{0h}} \right) - \psi_h(\varsigma_h) \right] + 0.8 [(-\varsigma_h)^{1/3} - (-\varsigma)^{-1/3}] \right\}, \varsigma < \varsigma_h$$

$$= -0.465$$

$$f_T(\varsigma) = \left[\ln \left(\frac{z_1 - d}{z_{0h}} \right) - \psi_h(\varsigma) + \psi_h \left(\frac{z_{0h}}{L} \right) \right], \varsigma_h < \varsigma < 0$$

$$f_T(\varsigma) = \left[\ln \left(\frac{z_1 - d}{z_{0h}} \right) + 5\varsigma \right], 0 < \varsigma < 1$$

$$f_T(\varsigma) = \left\{ \left[\ln \left(\frac{L}{z_{0h}} \right) + 5 \right] + 5[\ln(\varsigma) + \varsigma - 1] \right\}, \varsigma > 1$$

Οι εκφράσεις για τα συγκεκριμένα σχεδιαγράμματα υγρασίας είναι οι ίδιες με εκείνες για την πιθανή θερμοκρασία εκτός από το ότι $(\theta_1 - \theta_s)$, θ_* και z_{0h} αντικαθίσταται από $(q_1 - q_s)$, q_* και z_{0q} αντίστοιχα. Οι λειτουργίες σταθερότητας για $\varsigma < 0$ είναι :

$$\psi_m = 2 \ln \left(\frac{1+x}{2} \right) + \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right) - 2 \tan^{-1} x + \frac{\pi}{2}$$

$$\psi_h = \psi_q = 2 \ln \left(\frac{1+x^2}{2} \right)$$

όπου

$$\chi = (1 - 16\varsigma)^{1/4}$$

5. Μεθοδολογία και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

5.1. Γενικά

Μελετήθηκαν οι μεταβλητές Θερμοκρασία, Βροχόπτωση και Πίεση για τρία διαφορετικά χρονικά διαστήματα και από δύο διαφορετικά μοντέλα, το CCSM3 και το HADGEM1. Η περιοχή μελέτης ήταν η ανατολική Μεσόγειος και κυρίως ο ευρύτερος Ελλαδικός χώρος. Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε για τα χρονικά διαστήματα από το 2011-2030, από το 2046-2065 και από το 2080-2099. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν αναλύονται στη συνέχεια αναλυτικά.

Στον πίνακα 5.1. αναγράφεται αναλυτικά τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν, η ανάλυση πλέγματος, οι χρονικές περίοδοι και οι μεταβλητές που εξετάζονται:

Κλιματικό Μοντέλο	Ανάλυση Πλέγματος	Χρονική Περίοδος	Υπό Μελέτη Μεταβλητές		
CCSM3	1.406 x 1.406	2011-2030	Θερμοκρασία	Βροχόπτωση	Ατμ.Πίεση
CCSM3	1.406 x 1.406	2046-2065	Θερμοκρασία	Βροχόπτωση	Ατμ.Πίεση
CCSM3	1.406 x 1.406	2080-2099	Θερμοκρασία	Βροχόπτωση	Ατμ.Πίεση
HADGEM1	1.25 x 1.875	2011-2030	Θερμοκρασία	Βροχόπτωση	Ατμ.Πίεση
HADGEM1	1.25 x 1.875	2046-2065	Θερμοκρασία	Βροχόπτωση	Ατμ.Πίεση

Πίνακας 5.1. Τα κλιματικά που χρησιμοποιούμενα μοντέλα στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία, η ανάλυση πλέγματος τους και οι εξεταζόμενες χρονικές περίοδοι και μεταβλητές

5.2 Προγνωστικά μοντέλα

Τα μοντέλα από τα οποία αντλήθηκαν οι πληροφορίες για τις τιμές των μεταβλητών στο μέλλον και χρησιμοποιήθηκαν σε αυτήν την εργασία είναι το Community Climate System Model Version 3 (CCSM3) από το πανεπιστήμιο National Center for Atmospheric Research (NCAR) και το Hadley Centre Global Environmental Model, version 1 (HADGEM1) από το πανεπιστήμιο United Kingdom Meteorological Office (UKMO). Οι λόγοι που επιλέχθηκαν τα μοντέλα αυτά είναι η πλεγματική ανάλυση, η

οποία ήταν η μέγιστη δυνατή συγκριτικά με τα υπόλοιπα προγνωστικά μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, η πλεγματική ανάλυση είναι $128 \times 256 \text{ km}^2$ και $145 \times 192 \text{ km}^2$ για το πρώτο και δεύτερο ατμοσφαιρικό μοντέλο αντίστοιχα. Η ανάλυση μπορεί να εκφραστεί διαφορετικά σε μοίρες. Πιο συγκεκριμένα για το κλιματικό μοντέλο CCSM3 η ανάλυση είναι $1,406^\circ \times 1,406^\circ$, ενώ για το μοντέλο HADGEM1 είναι $1,25^\circ \times 1,875^\circ$ αντίστοιχα.

5.3. Μεταβλητές

Οι μελλοντικές μεταβολές των τιμών της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης έχουν ως κοινή περίοδο αναφοράς την περίοδο 1961-1990, η οποία έχει οριστεί από την IPCC. Επιπροσθέτως, οι χάρτες οι οποίοι προκύπτουν κατόπιν επεξεργασίας μέσω του προγράμματος Integrated Data Viewer 2.8u1 (IDV) δείχνουν τις μεταβολές των μηνιαίων τιμών των μεταβλητών για όλες τις χρονικές περιόδους που εξετάζονται. Ειδικότερα, για τη μεταβλητή της θερμοκρασίας με βάση το μοντέλο HADGEM1 προκύπτουν 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2011 - 2030 και 12 χάρτες για το χρονικό διάστημα 2046 - 2065, ενώ για το μοντέλο CCSM3 προκύπτουν επιπλέον 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2080 - 2099. Για τη μεταβλητή της βροχόπτωσης με βάση το μοντέλο HADGEM1 προκύπτουν 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2011 - 2030 και 12 χάρτες για το χρονικό διάστημα 2046 - 2065, ενώ για το μοντέλο CCSM3 προκύπτουν επιπλέον 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2080 - 2099. Για τη μεταβλητή της ατμοσφαιρικής πίεσης με βάση το μοντέλο HADGEM1 προκύπτουν 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2011 - 2030 και 12 χάρτες για το χρονικό διάστημα 2046 - 2065, ενώ για το μοντέλο CCSM3 προκύπτουν επιπλέον 12 χάρτες για τη χρονική περίοδο 2080 - 2099.

5.3.1. Μεθοδολογία της επεξεργασίας των χαρτών

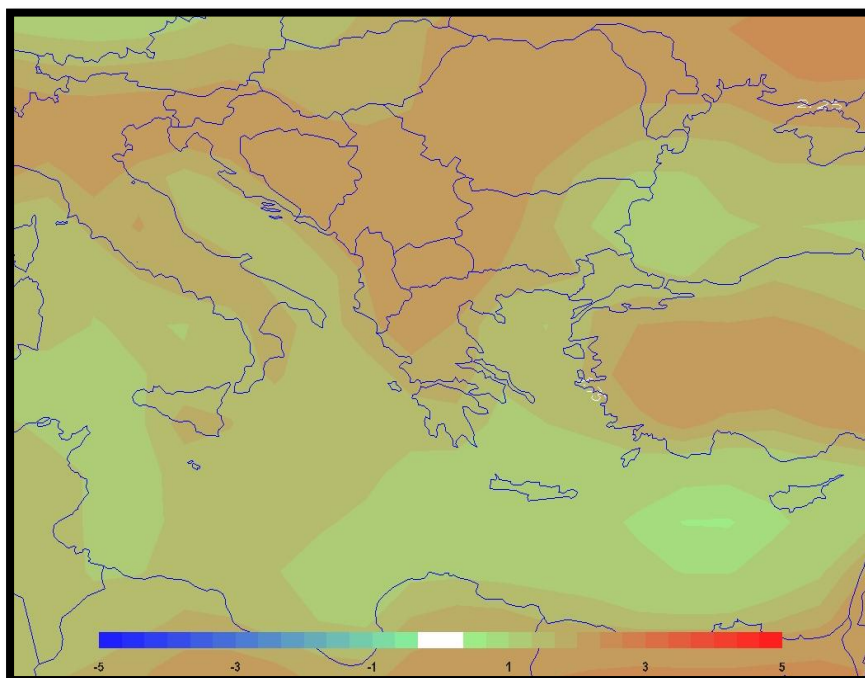
Από το σύνολο των 180 χαρτών που παρήχθησαν κατόπιν αξιολόγησης θα αναφερθούν οι χάρτες, οι οποίοι παράγουν σημαντικό αποτέλεσμα συγκριτικά με τη μεταβολή τους. Οι χάρτες, οι οποίοι παρήχθησαν και αναλύονται παρακάτω απεικονίζουν την μεταβολή της μεταβλητής, η οποία εκφράζεται σε μηνιαία βάση.

5.3.2. Θερμοκρασία

Η ανάλυση της μεταβολής της θερμοκρασίας γίνεται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) και πραγματοποιείται και για τα δύο μοντέλα. Για το μοντέλο CCSM3 υπάρχουν δεδομένα και τις τρεις χρονικές περιόδους (2011-2030, 2046 – 2065 και 2080 – 2099), ενώ για το μοντέλο HADGEM1 υπάρχουν δεδομένα μόνο για τις χρονικές περιόδους 2011-2030 και 2046 – 2065.

5.3.2.1. Μεταβολή της θερμοκρασίας από το CCSM3

Για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 παρατηρούνται σχετικά μικρές μεταβολές στη θερμοκρασία, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.1. Η πιο σημαντική αύξηση πραγματοποιείται τον μήνα Ιούλιο όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.1. Τον μήνα Ιούλιο παρατηρείται μικρή αύξηση της θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα, προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας και του Ελλαδικού χώρου παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας από 2 έως 2.5°C , ενώ πιο νότια παρατηρείται πιο μικρή αύξηση θερμοκρασίας της τάξης του 1.5°C .

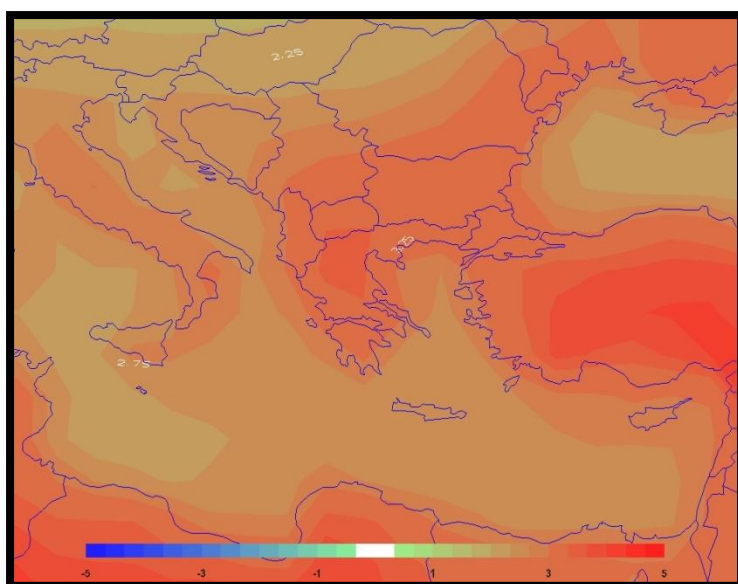


Χάρτης 5.1. Μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Ιούλιο. (Οι τιμές από -0,5 έως 0,5 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(°C)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+0,8	+1.1	+0,8	+0,8
Φεβρουάριος	+1,1	+1,3	+0,9	+0,9
Μάρτιος	+2,0	+1,3	+1,3	+1,3
Απρίλιος	+1,9	+1,8	+1,7	+1,9
Μάιος	+2,0	+1,8	+1,8	+1,7
Ιούνιος	+2,0	+1,7	+1,3	+1,7
Ιούλιος	+2,1	+1,8	+1,4	+1,8
Αύγουστος	+2,2	+1,9	+1,5	+1.9
Σεπτέμβριος	+1,7	+1,3	+1,3	+1,5
Οκτώβρης	+1,1	+1,0	+1,1	+1,2
Νοέμβριος	+0,9	+0,8	+1,0	+1,0
Δεκέμβριος	+1,1	+1,0	+1,1	+1,2

Πίνακας 5.1. Μέση μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030.

Για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 παρατηρούνται κάποιες μεταβολές της θερμοκρασίας, αλλά όχι για όλους τους μήνες του χρόνου, ενώ παρατηρούνται πιο σημαντικές μεταβολές σε σχέση με το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 (Πίνακας 5.2.). Πιο αναλυτικά, οι πιο σημαντικές μεταβολές παρατηρούνται τον μήνα Αύγουστο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.2. Το μήνα Αύγουστο παρατηρείται σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας και του Ελλαδικού χώρου παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας από 3.5 έως 4.5°C, ενώ πιο νότια παρατηρείται αύξηση θερμοκρασίας της τάξης των 3.5 °C. Τους υπόλοιπους μήνες παρατηρούνται αυξήσεις της θερμοκρασίας για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο από 2.5 έως 3.5°C, ενώ τους υπόλοιπους μήνες σημειώνονται πιο μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας.

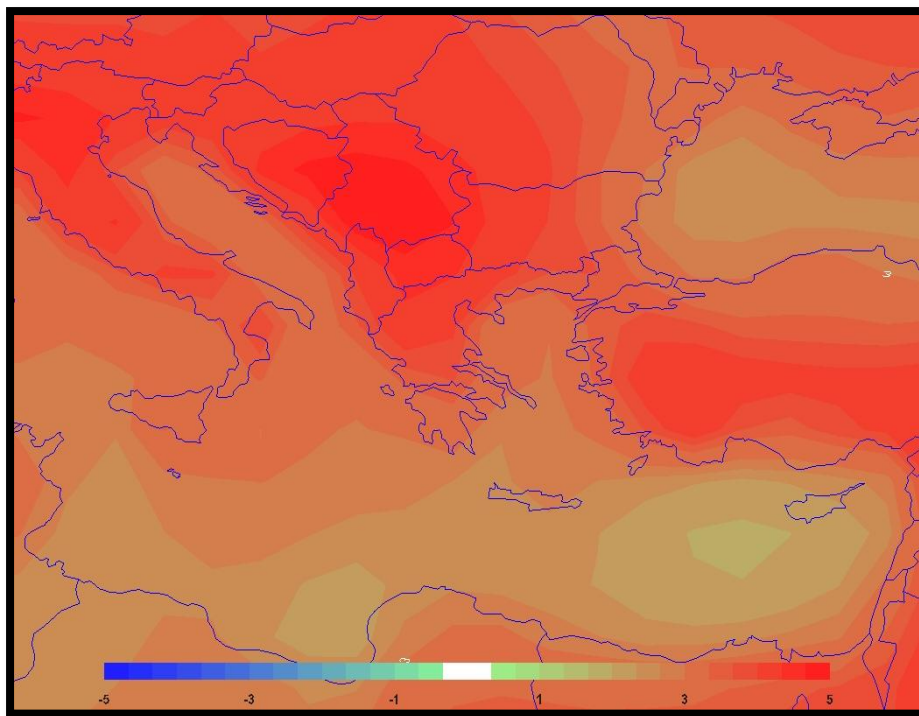


Χάρτης 5.2. Μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Αύγουστο. (Οι τιμές από -0,5 έως 0,5 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(°C)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+1,7	+1,9	+1,7	+1,8
Φεβρουάριος	+1,8	+2,0	+1,8	+2,0
Μάρτιος	+1,7	+1,8	+1,6	+1,7
Απρίλιος	+1,6	+1,8	+1,7	+1,3
Μάιος	+2,5	+2,3	+2,1	+2,2
Ιούνιος	+3,2	+3,1	+3,2	+3,1
Ιούλιος	+3,9	+3,9	+3,7	+3,6
Αύγουστος	+4,7	+4,8	+4,6	+4,8
Σεπτέμβριος	+4,3	+4,4	+4,3	+4,3
Οκτώβρης	+3,1	+3,5	+3,6	+3,1
Νοέμβριος	+2,5	+2,6	+2,7	+2,5
Δεκέμβριος	+2,0	+2,1	+2,4	+2,0

Πίνακας 5.2. Μέση μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065.

Για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές της θερμοκρασίας, κυρίως για τους καλοκαιρινούς μήνες του χρόνου, ενώ παρατηρούνται πιο σημαντικές μεταβολές σε σχέση με το χρονικό διάστημα από το 2046-2055(Πίνακας 5.3.). Πιο αναλυτικά, οι πιο σημαντικές μεταβολές παρατηρούνται τον μήνα Αύγουστο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.3. Το μήνα Αύγουστο παρατηρείται σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας και του Ελλαδικού χώρου σημειώνεται αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι και 7.5°C , ενώ πιο νότια σημειώνεται αύξηση θερμοκρασίας μέχρι και 6.5°C . Τους υπόλοιπους μήνες παρατηρούνται σημαντικές αυξήσεις της θερμοκρασίας για τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ και τους υπόλοιπους μήνες σημειώνονται αυξήσεις της θερμοκρασίας από 3.5 έως 4°C .



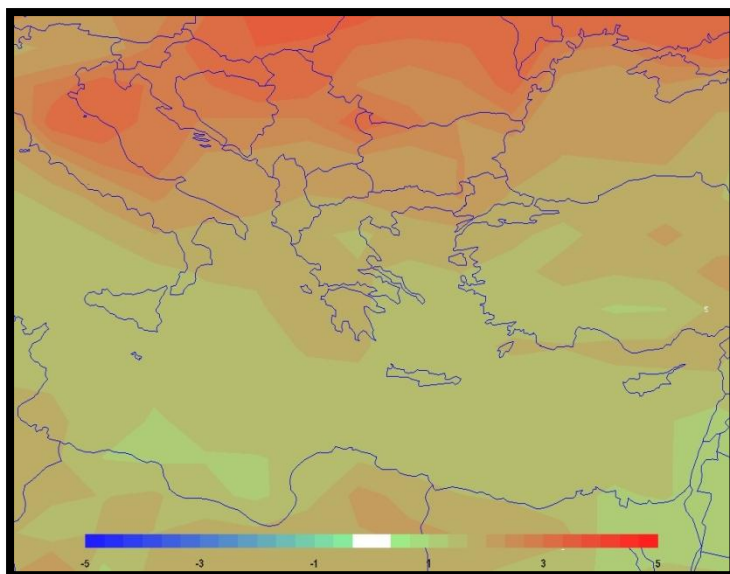
Χάρτης 5.3. Μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 για το μήνα Αύγουστο. (Οι τιμές από -0,5 έως 0,5 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(°C)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+2,9	+3,1	+3,2	+2,8
Φεβρουάριος	+3,5	+3,3	+3,4	+3,2
Μάρτιος	+4,4	+4,5	+4,5	+4,6
Απρίλιος	+4,1	+4,2	+4,2	+4,3
Μάιος	+4,8	+4,6	+4,5	+4,7
Ιούνιος	+7,3	+7,1	+7,2	+7,3
Ιούλιος	+7,4	+7,5	+7,6	+7,5
Αύγουστος	+7,3	+7,4	+7,6	+7,6
Σεπτέμβριος	+6,3	+6,9	+6,9	+7,1
Οκτώβρης	+5,3	+5,5	+5,6	+5,4
Νοέμβριος	+3,8	+3,9	+3,4	+3,6
Δεκέμβριος	+3,5	+3,1	+3,2	+3,1

Πίνακας 5.3. Μέση μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099.

5.3.2.2. Μεταβολή της θερμοκρασίας από το HADGEM1

Για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 παρατηρούνται πολύ μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας, για όλους τους καλοκαιρινούς μήνες του χρόνου, όπως φαίνεται και στον πίνακα 5.4. Οι πιο σημαντικές μεταβολές παρατηρούνται το μήνα Δεκέμβριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.4. Το μήνα Δεκέμβριο σημειώνεται αύξηση της θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα Βορειοδυτικά της Μεσογείου παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι και 4°C, ενώ πιο νότια παρατηρείται αύξηση θερμοκρασίας μέχρι και 2°C. Τους υπόλοιπους μήνες σημειώνονται πολύ μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας.

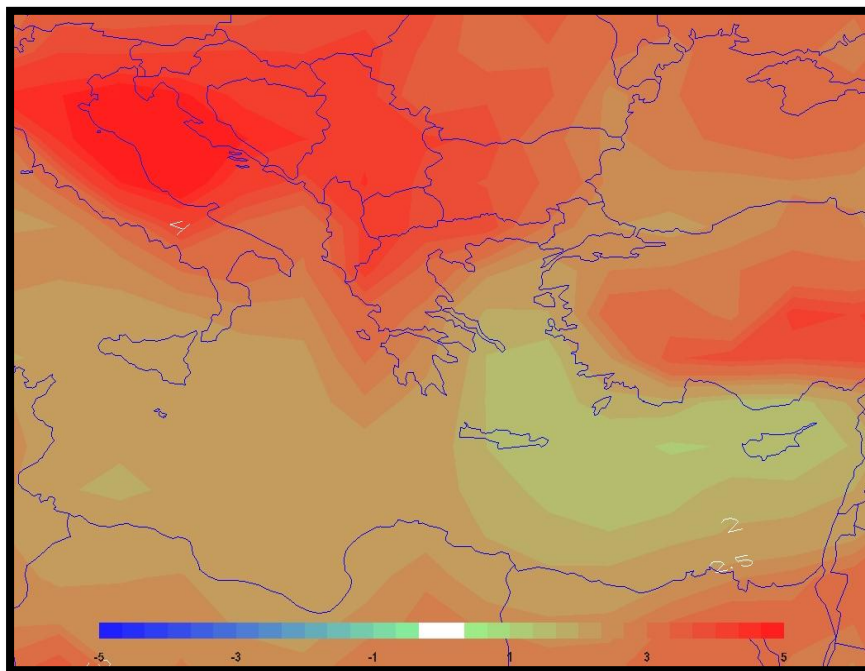


Χάρτης 5.4. Μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Δεκέμβριο. (Οι τιμές από -0,5 έως 0,5 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

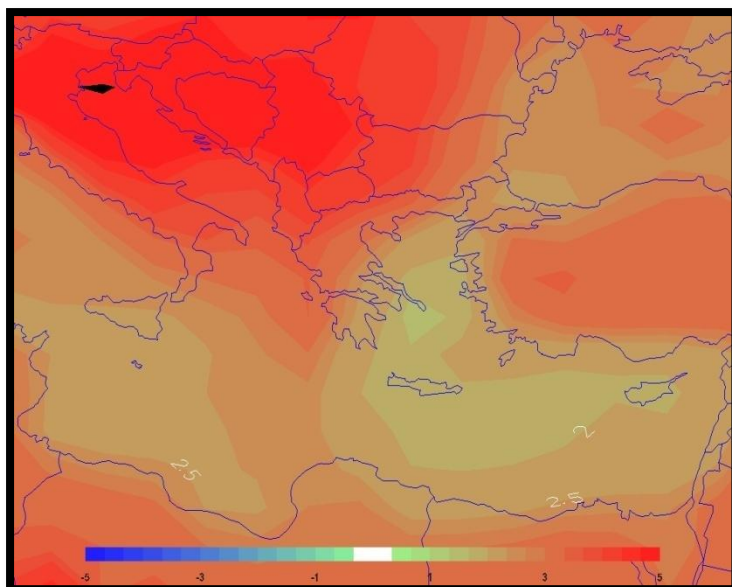
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(°C)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+0,6	+10,,9	+0,7	+0,8
Φεβρουάριος	+1,2	+1,1	+0,8	+0,7
Μάρτιος	+2,0	+1,1	+1,1	+1,1
Απρίλιος	+1,6	+1,2	+1,1	+1,4
Μάιος	+1,5	+1,6	+1,4	+1,4
Ιούνιος	+1,9	+1,4	+1,5	+1,4
Ιούλιος	+1,9	+1,5	+1,2	+1,5
Αύγουστος	+2,0	+1,6	+1,3	+1.6
Σεπτέμβριος	+1,4	+1,1	+1,0	+1,2
Οκτώβρης	+0,8	+0,7	+0,9	+0,9
Νοέμβριος	+0,7	+0,6	+0,8	+0,8
Δεκέμβριος	+0,9	+0,8	+0,8	+1,0

Πίνακας 5.4. Μέση μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030.

Για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 παρατηρούνται κάποιες μεταβολές της θερμοκρασίας, αλλά όχι για όλους τους μήνες του χρόνου, ενώ παρατηρούνται πιο σημαντικές μεταβολές σε σχέση με το χρονικό διάστημα από το 2011-2030(Πίνακας 5.5.). Πιο αναλυτικά, οι πιο σημαντικές μεταβολές σημειώνονται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.5. και 5.6. Τους μήνες αυτούς εμφανίζεται σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα προς τη μεριά του Ελλαδικού χώρου και βόρεια παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας από 4.5 έως 5.5°C, ενώ πιο νότια αύξηση θερμοκρασίας της τάξης των 2.5 °C. Τους υπόλοιπους μήνες παρατηρούνται αυξήσεις της θερμοκρασίας για τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Σεπτέμβρη και Οκτώβρη από 2.5 έως 3.5°C, ενώ τους υπόλοιπους μήνες πιο μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας.



Χάρτης 5.5. Μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2046-2055 για το μήνα Ιούλιο. (Οι τιμές από -0,5 έως 0,5 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)



Χάρτης 5.6. Μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2046-2055 για το μήνα Δεκέμβριο. (Οι τιμές από -0,5 έως 0,5 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(°C)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+1,6	+1,8	+1,5	+1,6
Φεβρουάριος	+1,5	+1,7	+1,4	+1,7
Μάρτιος	+1,4	+1,5	+1,3	+1,5
Απρίλιος	+1,2	+1,5	+1,6	+1,4
Μάιος	+2,3	+2,1	+1,7	+2,0
Ιούνιος	+3,0	+2,9	+2,8	+2,9
Ιούλιος	+3,6	+3,7	+3,5	+3,2
Αύγουστος	+4,4	+4,5	+4,2	+4,5
Σεπτέμβριος	+4,0	+4,1	+4,0	+4,0
Οκτώβρης	+2,7	+3,2	+3,4	+2,9
Νοέμβριος	+2,3	+2,5	+2,3	+2,2
Δεκέμβριος	+1,8	+2,0	+2,1	+1,8

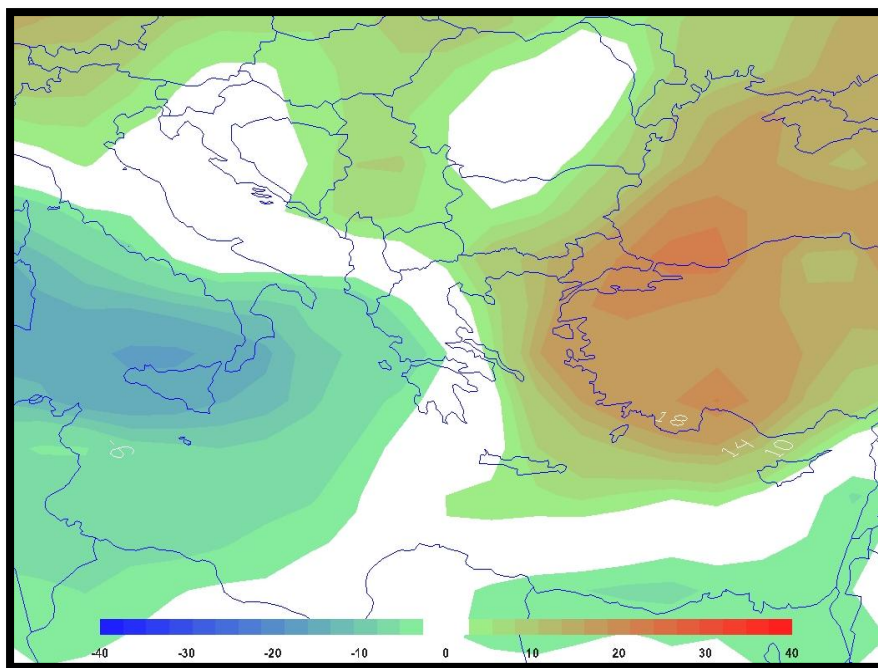
Πίνακας 5.5. Μέση μηνιαία μεταβολή της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065.

5.3.3. Βροχόπτωση

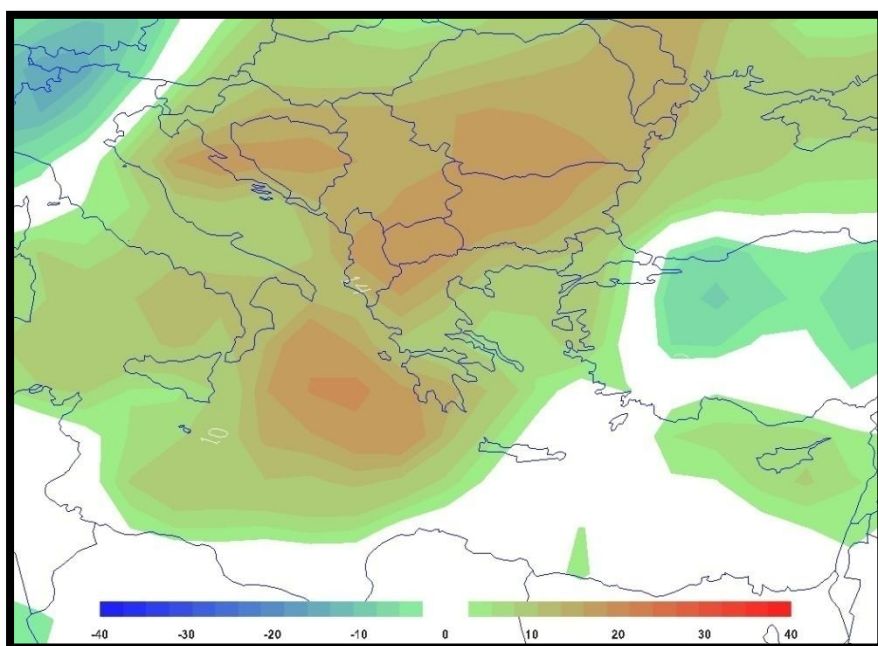
Η ανάλυση της μεταβολής της βροχόπτωσης γίνεται σε χιλιοστά (mm) και πραγματοποιείται και για τα δύο μοντέλα. Για το μοντέλο CCSM3 υπάρχουν δεδομένα και τις τρεις χρονικές περιόδους (2011-2030, 2046 – 2065 και 2080 – 2099), ενώ για το μοντέλο HADGEM1 υπάρχουν δεδομένα μόνο για τις χρονικές περιόδους 2011-2030 και 2046 – 2065.

5.3.3.1. Μεταβολή της βροχόπτωσης από το CCSM3

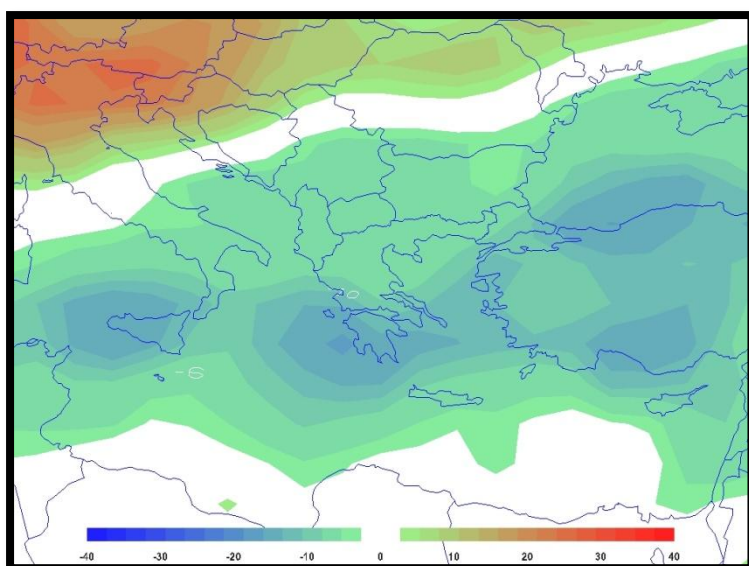
Για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 παρατηρούνται μεταβολές στον όγκο της βροχόπτωσης. Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου (Πίνακας 5.6.). Οι πιο σημαντικές μειώσεις στον όγκο της βροχόπτωσης σημειώνονται τους μήνες Φεβρουάριο και Δεκέμβριο, όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.7. και 5.9. αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, για το Δεκέμβριο, προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας και του Ελλαδικού χώρου εμφανίζεται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.9. έως και 10 mm, ενώ πιο νότια πιο μικρές μεταβολές. Για το Φεβρουάριο προς τη μεριά της Δυτικής Μεσογείου παρατηρείται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.7. έως και 6 mm. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στον όγκο της βροχόπτωσης σημειώνονται το μήνα Φεβρουάριο και Νοέμβριο, όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.7. και 5.8. αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, για το Νοέμβριο, στη μεριά του Ελλαδικού χώρου σημειώνεται αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.8. έως και 14 mm, ενώ πιο νότια και ανατολικά πιο μικρές μεταβολές. Για το Φεβρουάριο προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας σημειώνεται αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 4.10. έως και 18 mm.



Χάρτης 5.7. Μεταβολή του όγκου της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Φεβρουάριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)



Χάρτης 5.8. Μεταβολή του όγκου της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Νοέμβριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

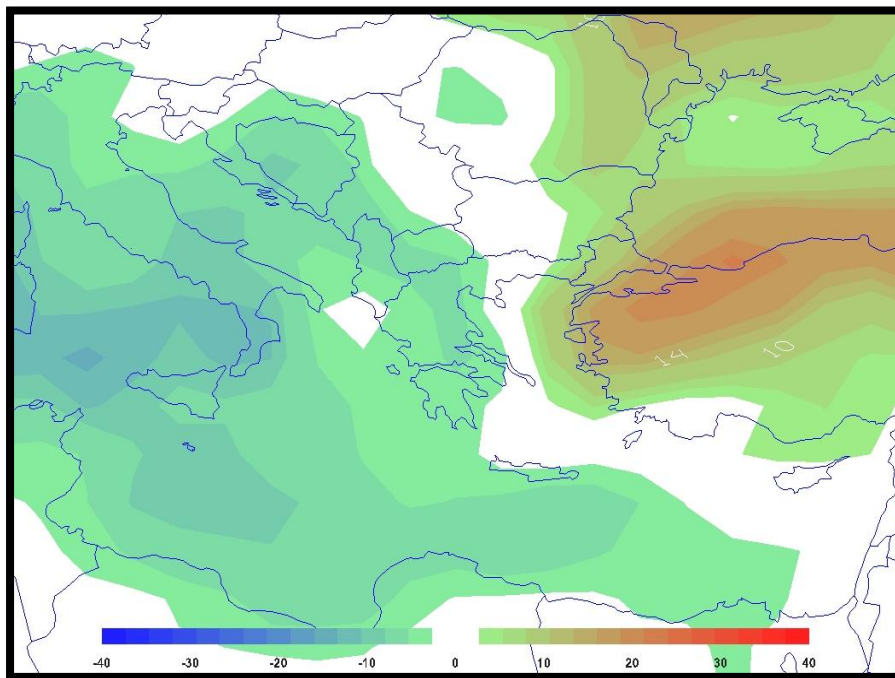


Χάρτης 5.9. Μεταβολή της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Δεκέμβριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

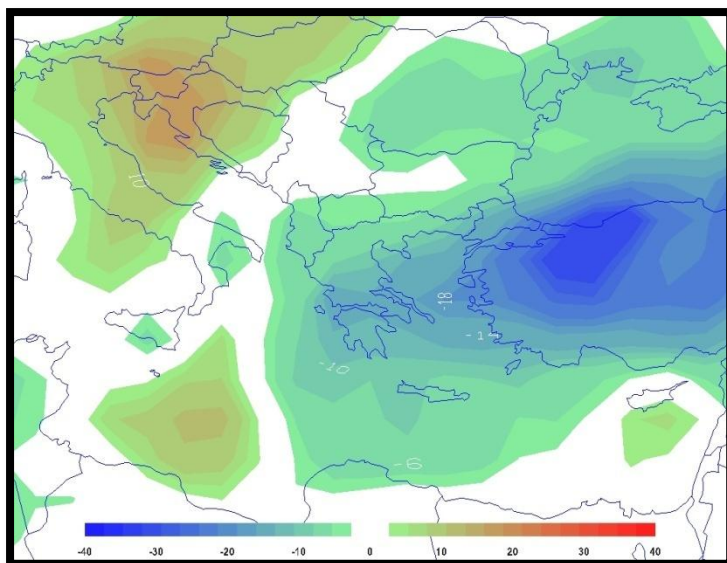
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ(mm)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	-25	-12	-17	-15
Φεβρουάριος	+5	+6	+10	-15
Μάρτιος	-20	+4	-7	-15
Απρίλιος	+3	+10	+4	+6
Μάιος	+3	+4	+3	+3
Ιούνιος	+7	+6	+9	+8
Ιούλιος	+8	+9	+7	+12
Αύγουστος	-3	-4	-5	-3
Σεπτέμβριος	+7	+8	+9	+10
Οκτώβρης	+13	+9	+7	+9
Νοέμβριος	+7	+8	+10	+19
Δεκέμβριος	-12	-15	-14	-19

Πίνακας 5.6. Μέση μηνιαία μεταβολή της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030.

Για το χρονικό διάστημα από το 2046-2055 παρατηρούνται μεταβολές στον όγκο της βροχόπτωσης(Πίνακας 5.7.). Παρατηρούνται αυξήσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου, αλλά πιο σημαντικές μειώσεις σε σχέση με το χρονικό διάστημα από 2011-2030. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στον όγκο της βροχόπτωσης σημειώνονται τους μήνες Μάιο, Οκτώβριο και Νοέμβριο, με αποκορύφωμα το μήνα Νοέμβριο όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.11. Πιο συγκεκριμένα, για το Νοέμβριο, εμφανίζεται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας και του Ελλαδικού χώρου όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.11. έως και 22 *mm*, ενώ πιο νότια πιο μικρές μεταβολές. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στον όγκο της βροχόπτωσης παρατηρούνται το μήνα Μάρτιο και Νοέμβριο, όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.10. και 5.11. αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, για το Νοέμβριο, παρατηρούνται αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης στη μεριά της Δυτικής Μεσόγειου όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.11. έως και 14 *mm* , ενώ πιο νότια και ανατολικά πιο μικρές μεταβολές. Για το Μάρτιο σημειώνεται αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.10. έως και 18 *mm*.



Χάρτης 5.10. Μεταβολή του όγκου της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Μάρτιο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

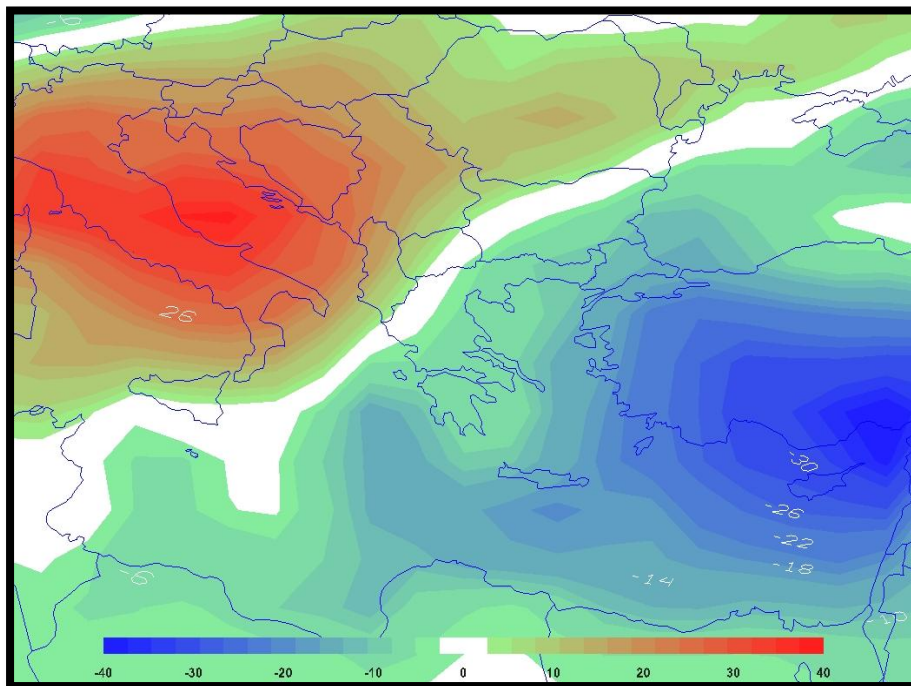


Χάρτης 5.11. Μεταβολή της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Νοέμβριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

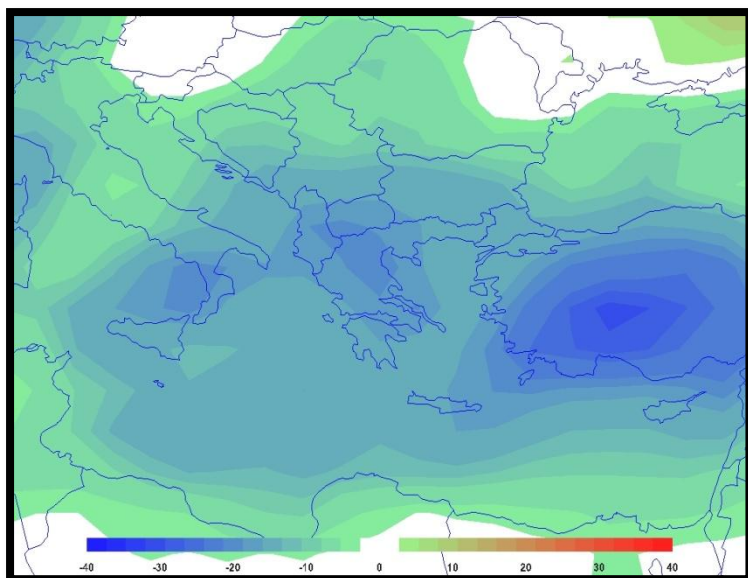
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ(mm)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	-10	-9	-18	+3
Φεβρουάριος	+4	-3	-5	-6
Μάρτιος	-4	-5	+10	-3
Απρίλιος	-5	-3	-4	-6
Μάιος	-8	-8	-7	-9
Ιούνιος	-8	-6	+5	-5
Ιούλιος	-7	-6	-5	-7
Αύγουστος	-6	-7	-6	-6
Σεπτέμβριος	-5	-8	-8	-10
Οκτώβρης	-13	-7	-12	-9
Νοέμβριος	-13	-12	-18	-12
Δεκέμβριος	-9	-8	-9	-10

Πίνακας 5.7. Μέση μηνιαία μεταβολή της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065.

Για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 παρατηρούνται μεταβολές στον όγκο της βροχόπτωσης(Πίνακας 5.8.). παρατηρούνται και αυξήσεις και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου, αλλά πιο σημαντικές μειώσεις σε σχέση με το χρονικό διάστημα από 2046-2065. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στον όγκο της βροχόπτωσης σημειώνονται τους μήνες Ιανουάριο και Μάρτιο, όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.12. και 5.13. Πιο συγκεκριμένα, για τον Ιανουάριο, εμφανίζεται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.12. έως και 34 *mm*, ενώ πιο νότια πιο μικρές μεταβολές έως και 14 *mm*. Για τον Μάρτιο, σημειώνεται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης προς τη μεριά της Μαύρης Θάλασσας, αλλά και της Ελλάδας και της Δυτικής Μεσογείου έως και 20 *mm* όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.13., ενώ πιο νότια πιο μικρές μεταβολές. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στον όγκο της βροχόπτωσης παρατηρούνται το μήνα Ιανουάριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.12. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης στη μεριά της Δυτικής Μεσόγειου όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.12. έως και 30 *mm*.



Χάρτης 5.12. Μεταβολή του όγκου της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 για το μήνα Ιανουάριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)



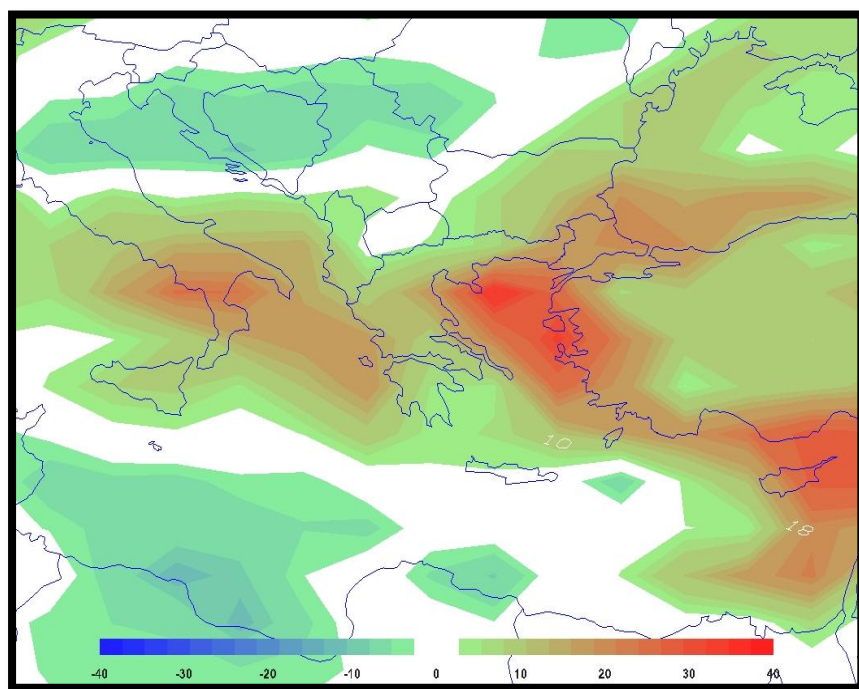
Χάρτης 5.13. Μεταβολή του όγκου της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 για το μήνα Μάρτιο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ(mm)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	-7	-5	-14	-10
Φεβρουάριος	-8	-7	-11	-12
Μάρτιος	-16	-18	-17	-15
Απρίλιος	+3	+5	+3	+3
Μάιος	-12	-10	-11	-12
Ιούνιος	+3	+5	+4	+5
Ιούλιος	-3	-4	-3	-4
Αύγουστος	-9	+3	+3	-10
Σεπτέμβριος	-3	-7	-6	-5
Οκτώβρης	-15	-16	-18	-14
Νοέμβριος	+5	-10	-10	+8
Δεκέμβριος	+4	-5	-4	-3

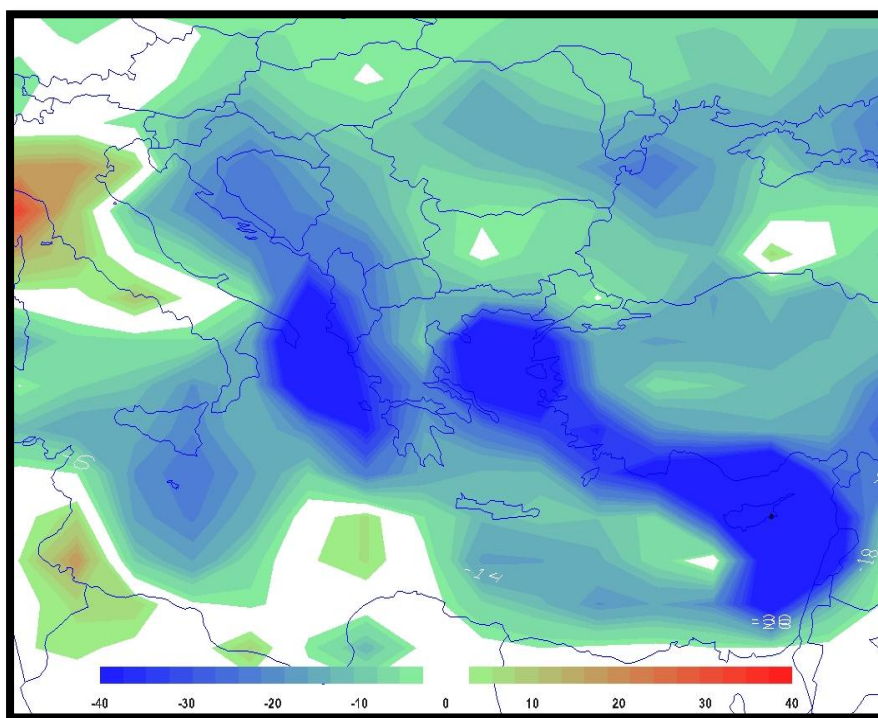
Πίνακας 5.8. Μέση μηνιαία μεταβολή της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099.

5.3.3.2. Μεταβολή της βροχόπτωσης από το HADGEM1

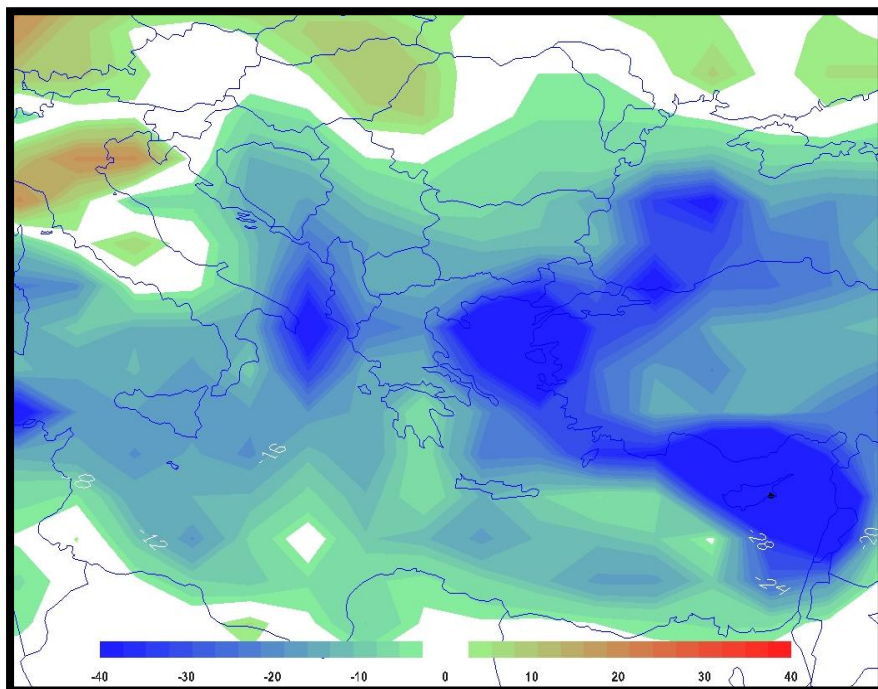
Για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 παρατηρούνται μεταβολές στον όγκο της βροχόπτωσης (Πίνακας 5.9.). Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στον όγκο της βροχόπτωσης σημειώνονται τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο, όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.15. και 5.16. αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, για το Νοέμβριο, εμφανίζεται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.15. από -14 mm έως και -42 mm δυτικά και ανατολικά του Ελλαδικού χώρου, ενώ κοντά στην περιοχή της νήσου Κύπρου μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης έως και -45 mm . Για το Δεκέμβριο, παρατηρείται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.16. από -14 mm έως και -38 mm δυτικά και ανατολικά του Ελλαδικού χώρου, ενώ κοντά στην περιοχή της νήσου Κύπρου μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης έως και -48 mm . Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στον όγκο της βροχόπτωσης παρατηρούνται το μήνα Φεβρουάριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.14. Πιο συγκεκριμένα, για το μήνα αυτό, σημειώνεται αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.14. έως και 25 mm δυτικά και ανατολικά του Ελλαδικού χώρου, ενώ πιο νότια και ανατολικά αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης έως και 25 mm .



Χάρτης 5.14. Μεταβολή της Βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Φεβρουάριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)



Χάρτης 5.15. Μεταβολή της Βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Νοέμβριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

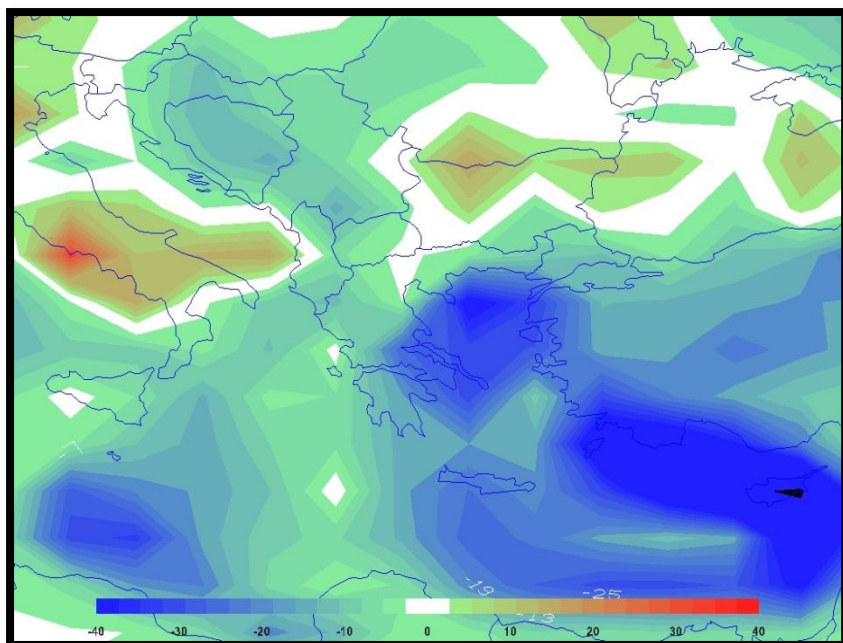


Χάρτης 5.16. Μεταβολή της Βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Δεκέμβριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

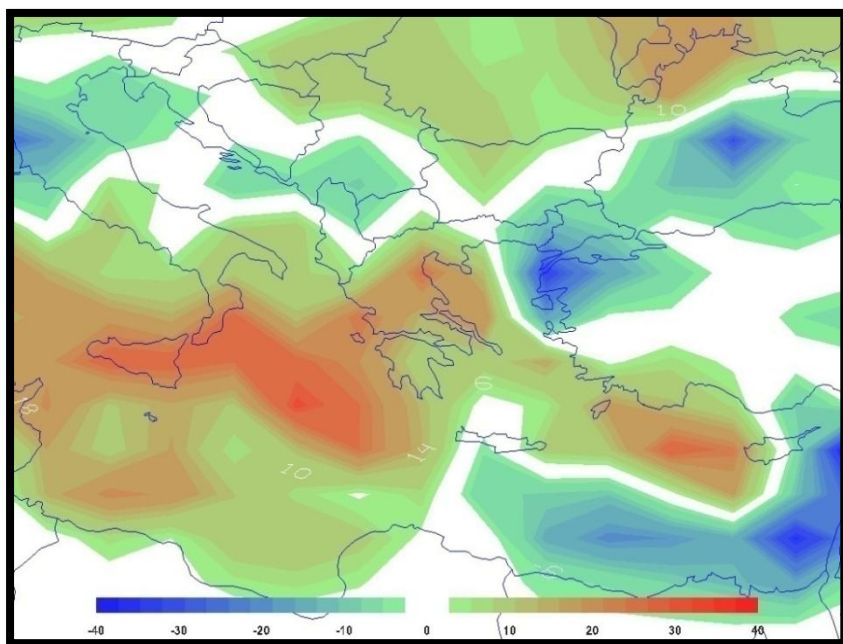
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ(mm)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	-3	+7	+12	-5
Φεβρουάριος	+10	+13	+28	+13
Μάρτιος	-7	-5	-6	-7
Απρίλιος	+5	-5	-14	+14
Μάιος	-3	-5	-3	-4
Ιούνιος	+10	-3	+12	+7
Ιούλιος	-3	-3	-4	-3
Αύγουστος	+4	+3	+3	+3
Σεπτέμβριος	-15	-17	-14	-12
Οκτώβρης	-16	-19	-16	-14
Νοέμβριος	-31	-32	-40	-39
Δεκέμβριος	-33	-31	-39	-35

Πίνακας 5.9. Μέση μηνιαία μεταβολή της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030.

Για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 παρατηρούνται μεταβολές στον όγκο της βροχόπτωσης(Πίνακας 5.10.). Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στον όγκο της βροχόπτωσης σημειώνονται το μήνα Νοέμβριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.17. Πιο συγκεκριμένα, για το Νοέμβριο, εμφανίζεται μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.17. από -14 mm έως και -38 mm δυτικά και ανατολικά του Ελλαδικού χώρου, ενώ κοντά στην περιοχή της νήσου Κύπρου μείωση στον όγκο της βροχόπτωσης έως και -45 mm . Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στον όγκο της βροχόπτωσης παρατηρούνται το μήνα Δεκέμβριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.18. Πιο συγκεκριμένα, για το μήνα αυτό, σημειώνεται αύξηση στον όγκο της βροχόπτωσης όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.18. έως και 35 mm κεντρικά και δυτικά του Ελλαδικού χώρου.



Χάρτης 5.17. Μεταβολή της Βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Νοέμβριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)



Χάρτης 5.18. Μεταβολή της Βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Δεκέμβριο. (Οι τιμές από -2 έως 2 απεικονίζονται με λευκό χρώμα)

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ(mm)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	-15	-10	+3	-23
Φεβρουάριος	+7	+5	+6	+10
Μάρτιος	-14	-15	-11	-12
Απρίλιος	+3	-10	-12	-14
Μάιος	+3	+5	+10	+4
Ιούνιος	-15	-12	-14	-16
Ιούλιος	-23	-14	-16	-18
Αύγουστος	-8	+11	+5	+9
Σεπτέμβριος	+10	-5	+4	+5
Οκτώβρης	+8	+5	+7	+6
Νοέμβριος	-35	-22	-29	-16
Δεκέμβριος	+8	+9	+12	+13

Πίνακας 5.10. Μέση μηνιαία μεταβολή της βροχόπτωσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065.

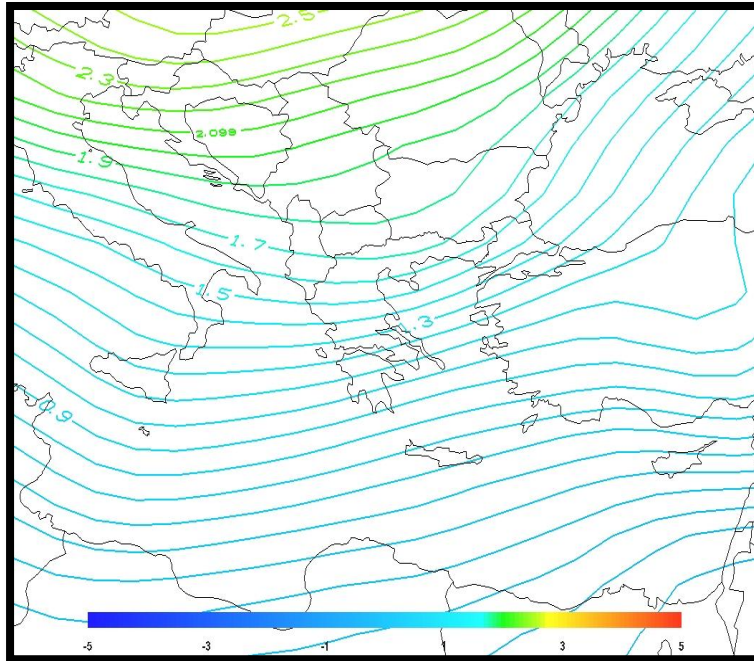
5.3.4. Ατμοσφαιρική Πίεση

Η ανάλυση της μεταβολής της ατμοσφαιρικής πίεσης γίνεται σε millibar (mb) και πραγματοποιείται και για τα δύο μοντέλα. Για το μοντέλο CCSM3 υπάρχουν δεδομένα και τις τρεις χρονικές περιόδους (2011-2030, 2046 – 2065 και 2080 – 2099), ενώ για το μοντέλο HADGEM1 υπάρχουν δεδομένα μόνο για τις χρονικές περιόδους 2011-2030 και 2046 – 2065.

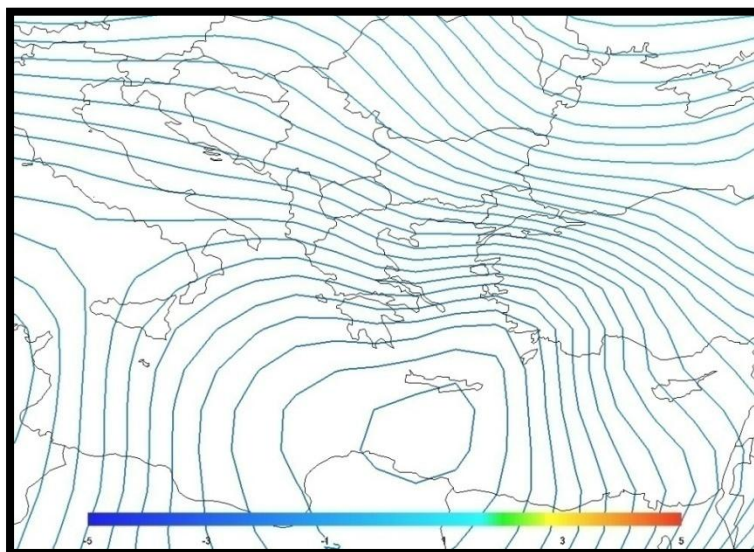
5.3.4.1. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης από το CCSM3

Για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 παρατηρούνται μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση, αλλά όχι πολύ σημαντικές(Πίνακας 5.11.). Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις

στην ατμοσφαιρική πίεση παρατηρούνται το μήνα Ιανουάριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.19. Πιο συγκεκριμένα, για τον Ιανουάριο, στη μεριά του Ελλαδικού χώρου εμφανίζεται αύξηση στην ατμοσφαιρική πίεση όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.19. έως και 1.7 mb , ενώ πιο νότια και ανατολικά πιο μικρές μεταβολές και πιο βόρεια αυξήσεις μέχρι και 2.5 mb. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στην ατμοσφαιρική πίεση παρατηρούνται το μήνα Ιούλιο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.20. Πιο συγκεκριμένα, σημειώνεται μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης σε όλη τη Μεσόγειο όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.20. έως και -2.5 mb.



Χάρτης 5.19. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Ιανουάριο.

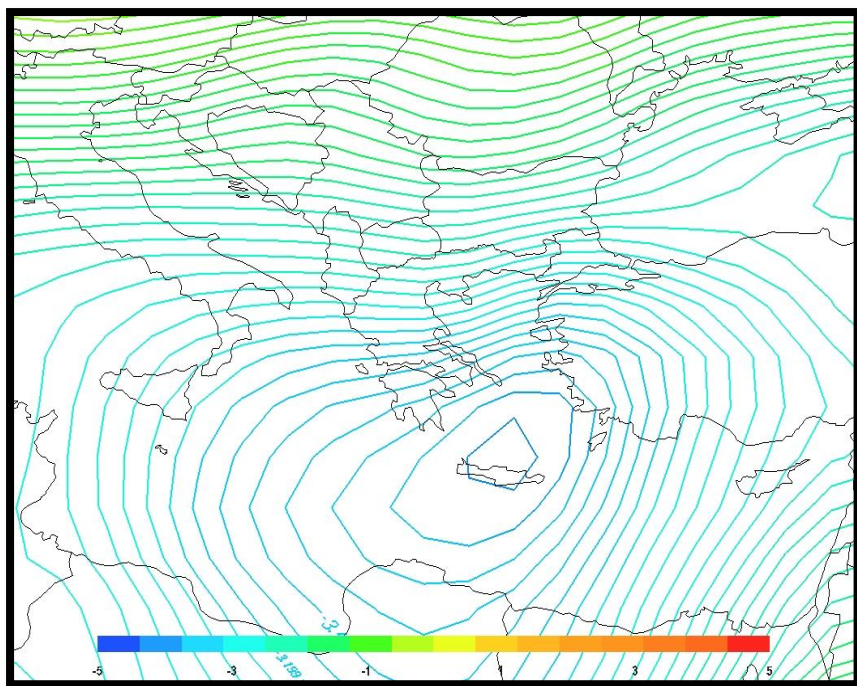


Χάρτης 5.20. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Ιούλιο.

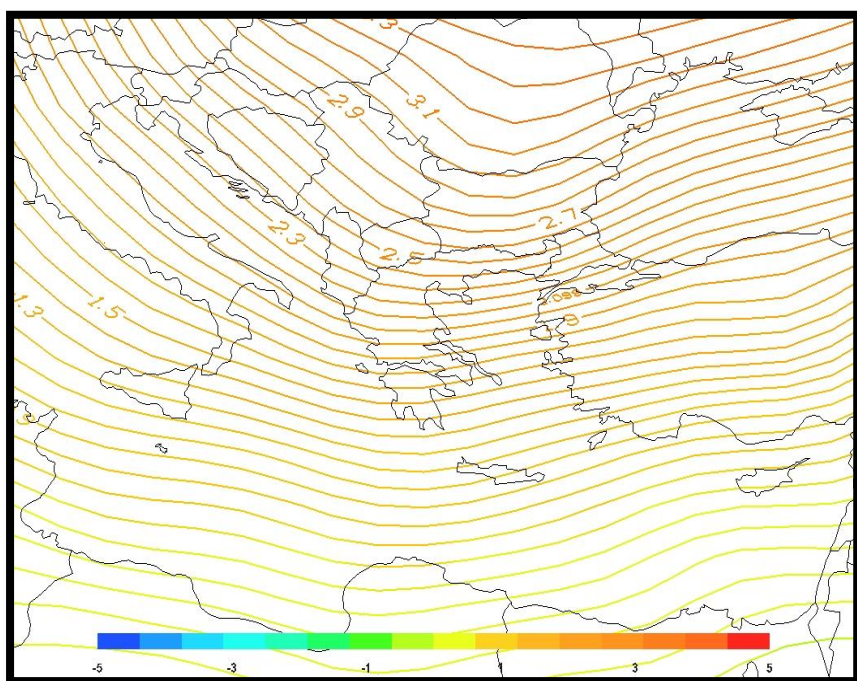
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ(mb)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+1,8	+1,1	+1,2	+1,3
Φεβρουάριος	+0,7	+0,5	-1,0	+0,4
Μάρτιος	-0,7	-0,6	-0,8	-0,8
Απρίλιος	-0,8	-0,8	-0,9	-1,1
Μάιος	+0,1	+0,2	+0,3	+0,1
Ιούνιος	+0,2	+0,2	+0,1	+0,3
Ιούλιος	-1,2	-1,3	-0,9	-1,1
Αύγουστος	-1,5	-1,7	-1,3	-1,4
Σεπτέμβριος	-1,4	-1,8	-1,2	-1,2
Οκτώβρης	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7
Νοέμβριος	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8
Δεκέμβριος	+0,2	+0,4	+0,5	+0,3

Πίνακας 5.11. Μέση μηνιαία μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030.

Για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 παρατηρούνται πιο σημαντικές μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση σε σχέση με το χρονικό διάστημα από 2011 έως 2030(Πίνακας 5.12.). Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση σημειώνονται το μήνα Δεκέμβριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.22. Πιο συγκεκριμένα, για τον Δεκέμβριο, στη μεριά του Ελλαδικού χώρου σημειώνεται αύξηση στην ατμοσφαιρική πίεση όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.22. έως και 2.5 mb, ενώ πιο νότια και ανατολικά πιο μικρές μεταβολές και πιο βόρεια αυξήσεις μέχρι και 3.3 mb. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στην ατμοσφαιρική πίεση παρατηρούνται το μήνα Αύγουστο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.21. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης σε όλη τη Μεσόγειο όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.21. έως και -3.5 mb.



Χάρτης 5.21. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Αύγουστο.

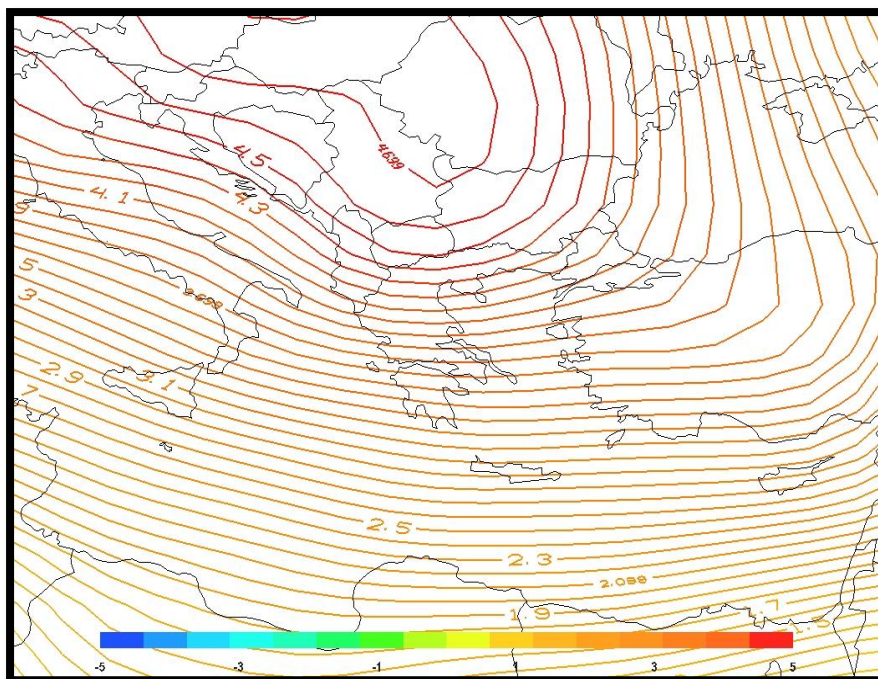


Χάρτης 5.22. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Δεκέμβριο.

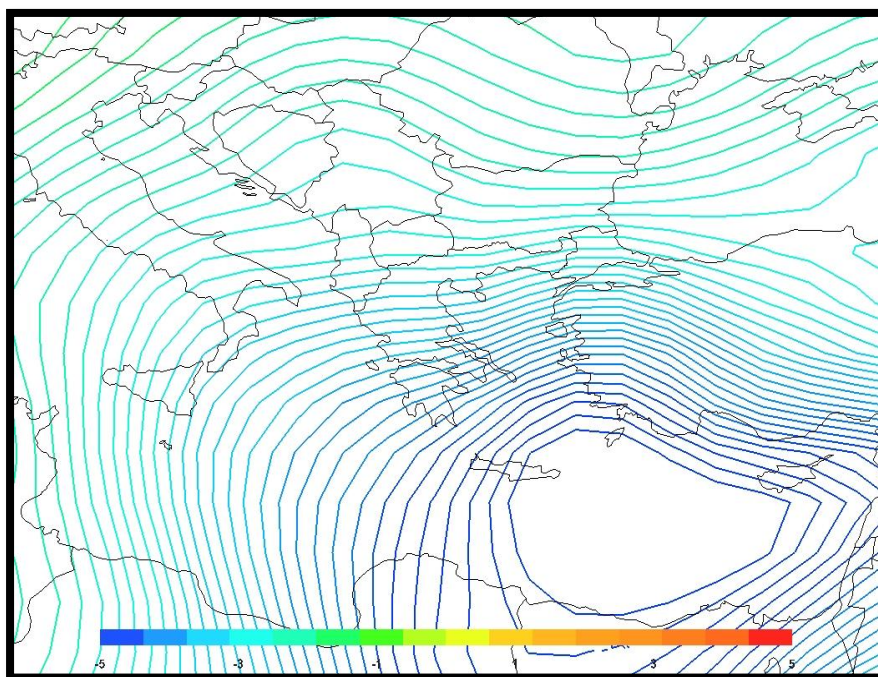
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ(mb)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+1,5	+1,6	+1,5	+1,7
Φεβρουάριος	+1,1	+2,4	+2,3	+2,6
Μάρτιος	+1,5	+2,3	+2,2	+2,4
Απρίλιος	+0,8	+1,3	+1,5	+0,9
Μάιος	+0,7	+0,6	0,8	+0,9
Ιούνιος	+0,3	+0,2	+0,1	+0,4
Ιούλιος	-1,1	-1,3	-1,5	-1,6
Αύγουστος	-1,9	-2,1	-2,3	-2,1
Σεπτέμβριος	-0,8	-1,5	-1,7	-1,8
Οκτώβρης	+0,4	+0,3	+0,1	+0,3
Νοέμβριος	+0,5	+0,6	+0,7	+0,6
Δεκέμβριος	+1,9	+2,1	+2,2	+2,4

Πίνακας 5.12. Μέση μηνιαία μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065.

Για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 παρατηρούνται ακόμα πιο σημαντικές μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση σε σχέση με το χρονικό διάστημα από 2011 έως 2030 και 2046 έως 2065(Πίνακας 5.13.). Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση σημειώνονται το μήνα Φεβρουάριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.23. Πιο συγκεκριμένα, για τον Φεβρουάριο, στη μεριά του Ελλαδικού χώρου σημειώνεται αύξηση στην ατμοσφαιρική πίεση όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.23. έως και 4.4 mb, ενώ πιο νότια και ανατολικά πιο μικρές μεταβολές και πιο βόρεια αυξήσεις μέχρι και 4.7 mb. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στην ατμοσφαιρική πίεση παρατηρούνται το μήνα Σεπτέμβριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.24. Πιο συγκεκριμένα, εμφανίζεται μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης σε όλη τη Μεσόγειο όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.24. από -3.5 έως και -4.5 mb.



Χάρτης 5.23. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 για το μήνα Φεβρουάριο.



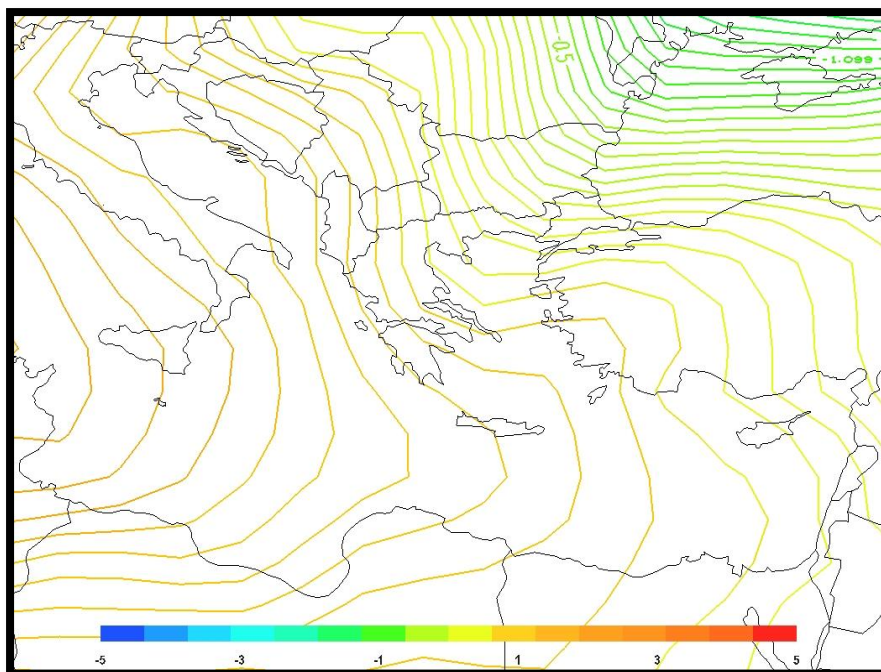
Χάρτης 5.24. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099 για το μήνα Σεπτέμβριο.

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ(mb)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+3,7	+2,8	+2,9	+3,3
Φεβρουάριος	+3,9	+3,5	+3,3	+3,8
Μάρτιος	+3,8	+3,4	+3,1	+3,6
Απρίλιος	+0,7	+0,8	+0,9	+1,1
Μάιος	+1,2	+1,3	+1,6	+1,4
Ιούνιος	+1,6	-1,5	-1,3	-1,4
Ιούλιος	-2,8	-3,2	-2,9	-3,1
Αύγουστος	-3,1	-3,4	-3,2	-3,5
Σεπτέμβριος	-2,9	-2,5	-2,7	-3,1
Οκτώβρης	+0,6	+0,7	-0,8	+0,5
Νοέμβριος	+0,6	+0,8	+0,5	+0,4
Δεκέμβριος	+1,1	+1,8	+1,6	+1,5

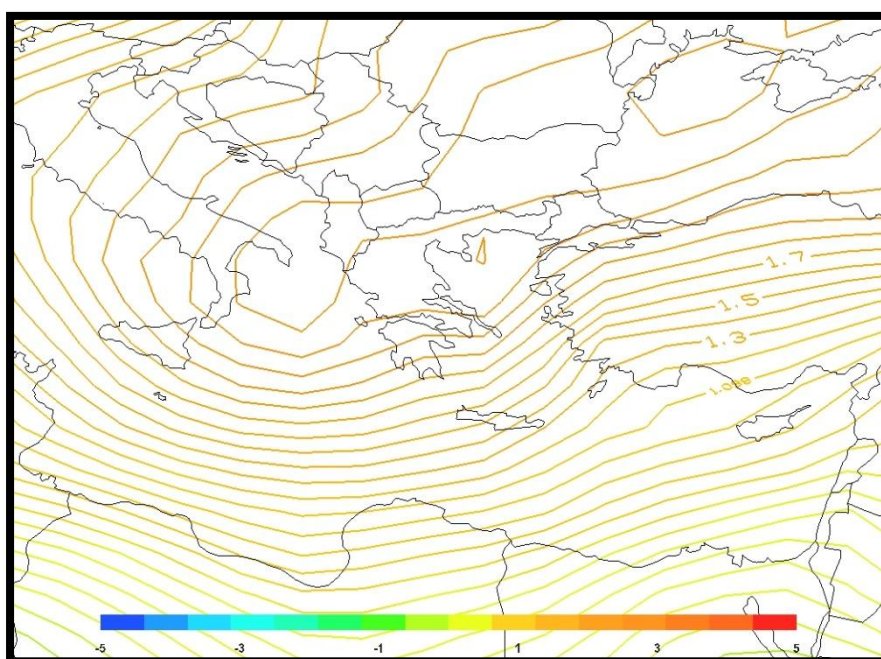
Πίνακας 5.13. Μέση μηνιαία μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099.

5.3.4.2. Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης από το HADGEM1

Για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 παρατηρούνται μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση, αλλά όχι πολύ σημαντικές. Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου(Πίνακας 5.14.). Οι πιο σημαντικές μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση σημειώνονται τους μήνες Μάρτιο και Νοέμβριο, όπως φαίνεται και στους χάρτες 5.25. και 5.26. αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, το Μάρτιο σημειώνεται αύξηση στην ατμοσφαιρική πίεση όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.25. έως και 1.7 mb στη μεριά του Ελλαδικού χώρου , ενώ πιο νότια και ανατολικά παρόμοιες μεταβολές. Το Νοέμβριο σημειώνεται αύξηση στην ατμοσφαιρική πίεση όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.26. έως και 1.7 mb στη μεριά του Ελλαδικού χώρου , ενώ πιο νότια και ανατολικά πιο μικρές μεταβολές.



Χάρτης 5.25. Μεταβολή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Μάρτιο.

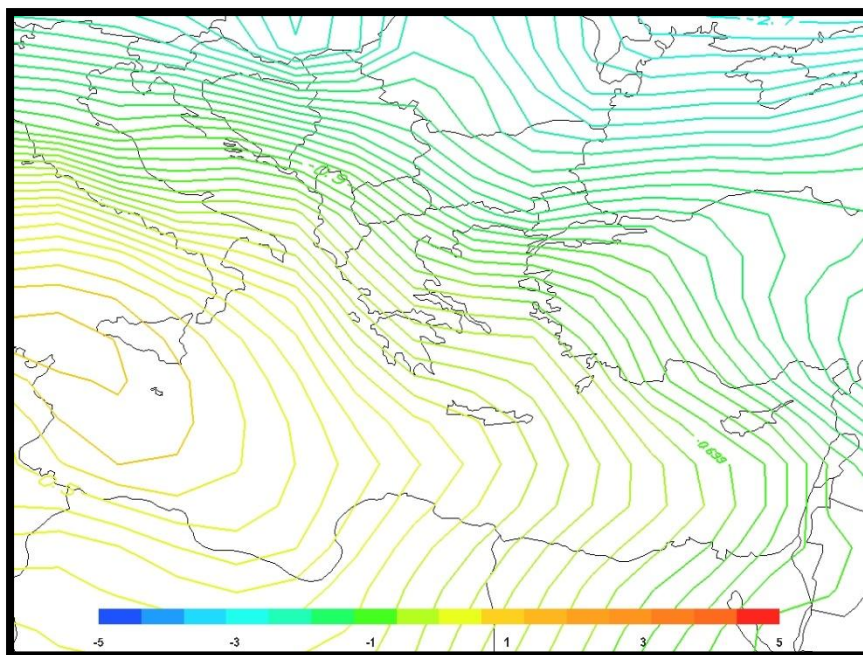


Χάρτης 5.26. Μεταβολή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 για το μήνα Νοέμβριο.

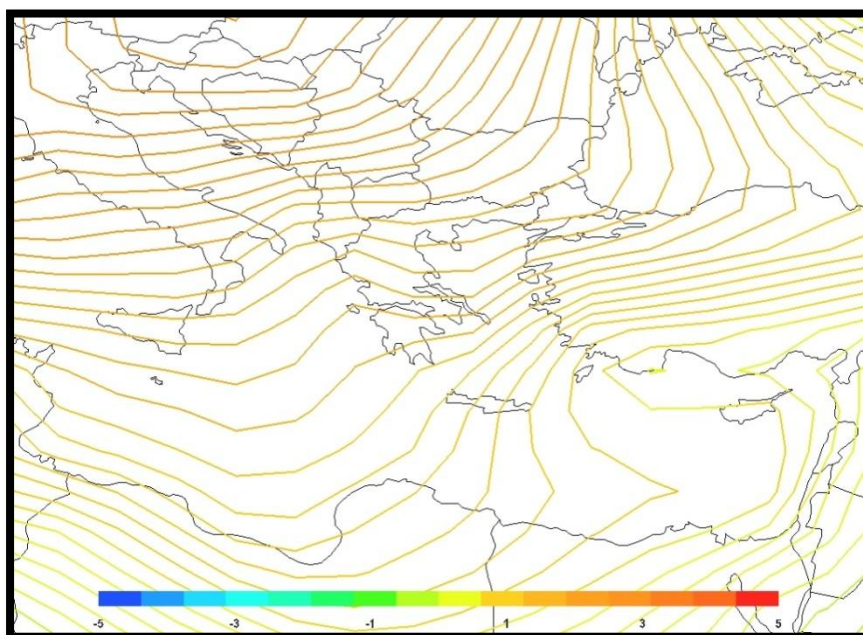
	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ(mb)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	+0,7	+0,5	+0,6	+0,8
Φεβρουάριος	-0,8	-0,7	-0,5	-0,6
Μάρτιος	+0,4	+0,3	+0,5	+0,4
Απρίλιος	-0,2	+0,2	+0,2	+0,2
Μάιος	+0,8	+0,9	+0,7	+0,9
Ιούνιος	-0,4	-0,6	-0,4	-0,6
Ιούλιος	-0,5	-0,7	-0,6	-0,7
Αύγουστος	-0,8	-0,7	-0,8	-0,9
Σεπτέμβριος	-0,9	-0,8	-0,9	-0,9
Οκτώβρης	+0,5	+0,3	+0,4	+0,5
Νοέμβριος	+1,2	+1,4	+1,5	+1,5
Δεκέμβριος	+1,4	+1,4	+1,3	+1,3

Πίνακας 5.14. Μέση μηνιαία μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030.

Για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 παρατηρούνται πιο σημαντικές μεταβολές στην ατμοσφαιρική πίεση σε σχέση με το χρονικό διάστημα από 2011 έως 2030(Πίνακας 5.15.). Παρατηρούνται και αυξήσεις, αλλά και μειώσεις κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις στην ατμοσφαιρική πίεση σημειώνονται το μήνα Απρίλιο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.28. Πιο συγκεκριμένα, για τον Απρίλιο, σημειώνεται αύξηση στην ατμοσφαιρική πίεση όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.28. έως και 2.5 mb στη μεριά του Ελλαδικού χώρου, ενώ πιο βόρεια αυξήσεις μέχρι και 3.3 mb. Οι πιο σημαντικές μειώσεις στην ατμοσφαιρική πίεση παρατηρούνται το μήνα Ιανουάριο, όπως φαίνεται και στον χάρτη 5.27. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται μείωση της ατμοσφαιρικής πίεσης σε όλη τη Μεσόγειο, κυρίως βόρεια, έως και -2 mb.



Χάρτης 5.27. Μεταβολή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Ιανουάριο.



Χάρτης 5.28. Μεταβολή της Ατμοσφαιρικής Πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065 για το μήνα Απρίλιο.

	ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΠΙΕΣΗΣ(mb)			
ΜΗΝΕΣ	Βόρεια Ελλάδα	Νότια Ελλάδα	Ανατολική Ελλάδα	Δυτική Ελλάδα
Ιανουάριος	-0,9	+0,9	-0,4	+0,5
Φεβρουάριος	+0,6	+0,7	+0,3	+0,8
Μάρτιος	+1,5	+1,7	+1,8	+1,5
Απρίλιος	+1,4	+1,5	+1,7	+1,4
Μάιος	+1,1	+0,9	+1,0	+1,2
Ιούνιος	-0,3	-0,5	-0,7	-0,4
Ιούλιος	-1,0	-1,7	-1,2	-1,4
Αύγουστος	-0,2	-0,9	-0,2	-0,8
Σεπτέμβριος	+0,2	-0,7	+0,3	-0,5
Οκτώβρης	+0,6	+0,5	-0,8	+0,6
Νοέμβριος	+1,3	+1,5	+1,6	+1,5
Δεκέμβριος	+0,9	+0,8	+0,7	+0,8

Πίνακας 5.15. Μέση μηνιαία μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2046-2065.

Από τους παραπάνω πίνακες και τους χάρτες για τις τρεις μεταβλητές που μελετώνται, μπορούν στη συνέχεια να γίνουν κάποιες διαπιστώσεις και συγκρίσεις για τα αποτελέσματα των δύο μοντέλων(CCSM3 και HADGEM1). Πιο αναλυτικά, για τη μεταβλητή της θερμοκρασίας παρατηρείται ότι για το χρονικό διάστημα 2011-2030 και τα δύο μοντέλα δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. Δηλαδή, μικρές σχετικά μεταβολές της θερμοκρασίας. Για το χρονικό διάστημα 2046-2065 δίνουν επίσης παρόμοια αποτελέσματα με τη θερμοκρασία να αυξάνεται σημαντικά. Και για το χρονικό διάστημα 2080-2099 δεν μπορεί να γίνει κάποια σύγκριση αποτελεσμάτων, καθώς για το μοντέλο HADGEM1 δεν διατίθενται δεδομένα. Για τη μεταβλητή της βροχόπτωσης παρατηρείται ότι για το χρονικό διάστημα 2011-2030 το μοντέλο HADGEM1 δίνει στα αποτελέσματά του μεγαλύτερη μείωση της βροχόπτωσης. Επίσης, και για το χρονικό διάστημα 2046-2065 το μοντέλο HADGEM1 δίνει στα αποτελέσματά του μεγαλύτερες μεταβολές της βροχόπτωσης τόσο αρνητικές όσο και θετικές. Και για το χρονικό διάστημα 2080-2099 δεν μπορεί να γίνει κάποια σύγκριση

αποτελεσμάτων, καθώς για το μοντέλο HADGEM1 δεν διατίθενται δεδομένα. Για τη μεταβλητή της ατμοσφαιρικής πίεσης παρατηρείται ότι για το χρονικό διάστημα 2011-2030 και τα δύο μοντέλα δίνουν παρόμοια αποτελέσματα. Δηλαδή, μικρές σχετικά μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Για το χρονικό διάστημα 2046-2065 δίνουν επίσης παρόμοια αποτελέσματα, όπου στα αποτελέσματα του μοντέλου CCSM3 φαίνονται λίγο μεγαλύτερες μεταβολές. Και για το χρονικό διάστημα 2080-2099 δεν μπορεί να γίνει κάποια σύγκριση αποτελεσμάτων, καθώς για το μοντέλο HADGEM1 δεν διατίθενται δεδομένα.

6. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας αποτελούν η διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη μεταβολή της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης για την ευρύτερη περιοχή του Ελλαδικού χώρου και τη Μεσόγειο, για τα χρονικά διαστήματα 2011 – 2030, 2046 – 2065 και 2070 – 2100, καθώς και η διερεύνηση των τριών παραπάνω μεταβλητών στην περιοχή μελέτης μας που είναι η ανατολική Μεσόγειος και κυρίως ο ευρύτερος Ελλαδικός χώρος.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αφορούσε στην εύρεση των νέων τιμών των μεταβλητών της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και της ατμοσφαιρικής πίεσης σε μελλοντικές χρονικές περιόδους του 21^{ου} αιώνα. Τα δεδομένα των μεταβλητών μετά από κατάλληλη επεξεργασία χρησιμοποιήθηκαν για την εύρεση της μεταβολής των τριών παραπάνω πεδίων στο μέλλον.

Από τα παραπάνω κεφάλαια παρατηρείται, ότι η μεταβολές που παρατηρούνται στη θερμοκρασία, τη βροχόπτωση, αλλά και την ατμοσφαιρική πίεση είναι αξιοσημείωτες. Και παρουσιάζονται σημαντικές μεταβολές και στα δύο κλιματικά μοντέλα.

Πιο αναλυτικά, για τη μεταβλητή της θερμοκρασίας παρατηρείται σε γενικές γραμμές ότι θα σημειωθεί αύξηση τα επόμενα χρόνια. Και τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας (CCSM3 και HADGEM1) δείχνουν ότι θα σημειωθεί σχετικά μικρή αύξηση της θερμοκρασίας για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030. Η αύξηση αυτή θα αγγίξει και τους 2°C τους καλοκαιρινούς μήνες. Πιο σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας δείχνουν επίσης και τα δύο μοντέλα ότι θα σημειωθεί το χρονικό διάστημα από το 2046-2065. Η αύξηση αυτή θα αγγίξει και τους 5°C τους καλοκαιρινούς μήνες. Για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099, μπορούν να βγουν κάποια συμπεράσματα για τη διακύμανση της θερμοκρασίας στηριζόμενοι μόνο στο μοντέλο CCSM3, καθώς για το μοντέλο HADGEM1 δεν διατίθενται δεδομένα. Έτσι, διαπιστώνεται ότι από το 2080-2099 θα σημειωθεί μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας έως και 7,5°C τους καλοκαιρινούς μήνες.

Για τη μεταβλητή της βροχόπτωσης παρατηρείται σε γενικές γραμμές ότι θα σημειωθούν μεταβολές τα επόμενα χρόνια, τόσο αρνητικές όσο και θετικές. Και τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας (CCSM3 και HADGEM1) δείχνουν ότι θα σημειωθεί μικρή αύξηση της βροχόπτωσης σε κάποιες περιοχές και μείωση σε κάποιες άλλες για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030. Πιο σημαντική μεταβολή της βροχόπτωσης δείχνουν επίσης και τα δύο μοντέλα ότι θα σημειωθεί το χρονικό διάστημα από το 2046-2065, όπου παρατηρείται κυρίως μείωση της βροχόπτωσης. Η μείωση αυτή θα φτάσει και τα 18 mm κάποιους μήνες.

Για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099, μπορούν να βγουν κάποια συμπεράσματα για τη διακύμανση της βροχόπτωσης στηριζόμενοι μόνο στο μοντέλο CCSM3, καθώς για το μοντέλο HADGEM1 δεν διατίθενται δεδομένα. Έτσι, διαπιστώνεται ότι από το 2080-2099 θα σημειωθεί μείωση της βροχόπτωσης έως και 18 mm.

Για τη μεταβλητή της ατμοσφαιρικής πίεσης παρατηρείται σε γενικές γραμμές ότι θα σημειωθούν μικρές μεταβολές τα επόμενα χρόνια. Και τα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της εργασίας (CCSM3 και HADGEM1) δείχνουν ότι θα σημειωθούν σχετικά μικρές μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης για το χρονικό διάστημα από το 2011-2030 που θα κυμαίνονται από -2 έως 2 mb. Παρόμοιες μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης όπως και για το προηγούμενο χρονικό διάστημα δείχνουν επίσης και τα δύο μοντέλα ότι θα σημειωθούν το χρονικό διάστημα από το 2046-2065. Οι μεταβολές αυτές θα κυμαίνονται και πάλι από -2 έως 2 mb. Για το χρονικό διάστημα από το 2080-2099, μπορούν να βγουν κάποια συμπεράσματα για τη διακύμανση της ατμοσφαιρικής πίεσης στηριζόμενοι μόνο στο μοντέλο CCSM3, καθώς για το μοντέλο HADGEM1 δεν διατίθενται δεδομένα. Έτσι, διαπιστώνεται ότι από το 2080-2099 θα σημειωθούν πιο σημαντικές μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης σε σχέση με τα άλλα δυο χρονικά διαστήματα που θα κυμαίνονται από -3 έως 3 mb.

7. Βιβλιογραφία

- ABC News (2004), «Οι παγετώνες στην Ανταρκτική συνεχώς μειώνονται».
- Anderson, G. P., S. A. Clough, F. X. Kneizys, J. H. Chetwynd, and E. P. Shettle, AFGL atmospheric constituent profiles (0-120 km), Technical Report AFGL-TR-86-0110, AFGL (OPI), Hanscom AFB, MA. 01736, 1986.
- Berger, A. L., Long-term variations of daily insolation and quaternary climatic changes, J. Atmos. Sci., 35, 2362–2367, 1978.
- Bonan, G. B., A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological, and atmospheric studies: Technical description and user's guide, Technical Report NCAR/TN417+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 150 pp., 1996.
- Bonan, G. B., K. W. Oleson, M. Vertenstein, S. Levis, X. Zeng, Y. Dai, R. E. Dickinson, and Z.-L. Yang, The land surface climatology of the Community Land Model coupled to the NCAR Community Climate Model, J. Climate, 15, 3123–3149, 2002.
- Briegleb, B. P., Delta-Eddington approximation for solar radiation in the NCAR Community Climate Model, J. Geophys. Res., 97, 7603–7612, 1992.
- Bryan, F. O., B. G. Kauffman, W. G. Large, and P. R. Gent, The NCAR CSM Flux Coupler, Technical Report NCAR/TN-424+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, 58 pp., 1996.
- Coakley, J. A., R. D. Cess, and F. B. Yurevich, The effect of tropospheric aerosols on the Earth's radiation budget: A parameterization for climate models, J. Atmos. Sci., 40, 116–138, 1983.
- Collins, W. D., A global signature of enhanced shortwave absorption by clouds, J. Geophys. Res., 103, 31669–31679, 1998.
- Collins, W. D., Parameterization of generalized cloud overlap for radiative calculations in general circulation models, J. Atmos. Sci., 58, 3224–3242, 2001.
- Crowell, M., Douglas, B. and Leatherman, S. (1997). On forecasting future U.S. shoreline positions: A test of algorithms. J Coastal Res, 134, 1245-1255.
- Douglas, B., Crowell, M. and Leatherman, S. (1998). Considerations for shoreline position prediction. J Coastal Res, 14, 1025-1033.

- Edwards, D. P., GENLN2: A general line-by-line atmospheric transmittance and radiance model, Technical Report NCAR/TN-367+STR, NCAR, P.O. Box 3000, Boulder, Colorado, 80307– 3000, 147 pp., January, 1992.
- Fenster, M. and Dolan, R. (1994). Large scale reversals in shoreline trends along the U.S. Mid-Atlantic coast. *Geology*, 22, 543-546.
- Galgano, F. (1998). Geomorphic analysis of models of shoreline behaviour and the influence of tidal inlets on coastal configuration, U.S. East Coast. Ph.D. dissertation, University of Maryland, College Park.
- Genz U.S. Department of Commerce National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA.
- Greenpeace, (1997) «Climate Change and the Mediterranean region», Έρευνα-Κείμενο: Jacqueline Karas, Μετάφραση: Μ. Προμπονάς Β. Παπακριβόπουλος, Αθήνα.
- Holtslag, A. A. M., E. I. F. de Bruijn, and H.-L. Pan, A high resolution air mass transformation model for short-range weather forecasting, *Mon. Wea. Rev.*, 118, 1561–1575, 1990.
- <http://www.climate.noa.gr/Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών- Κλιματική μεταβολή>.
- IPCC, 2000, Special Report on Emissions Scenarios, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart, Eds., IPCC Secretariat, Cambridge University Press, UK. pp 570.
- IPCC, 2007d,, Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)], Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Joseph, J. H., W. J. Wiscombe, and J. A. Weinman, The delta-Eddington approximation for radiative flux transfer, *J. Atmos. Sci.*, 33, 2452–2459, 1976.
- Kader, B. A., and A. M. Yaglom, Mean fields and fluctuation moments in unstably stratified turbulent boundary layers, *J. Fluid Mech.*, 212, 637–662, 1990.
- Kerry Emanuel (2008) “Κλιματικές Αλλαγές, Πόσα γνωρίζουμε”. Εκδόσεις Πολύτροπον
- Kraft, J., Allen, E., Belknap, D., John, C. and Maurmeyer, E. (1975). Delaware's changing shoreline. Technical Report No 1. Dover, DE, Delaware State Planning Office.
- Lacis, A. A., and V. Oinas, A description of the correlated k distribution method for modeling nongray gaseous absorption, thermal emission, and multiple scattering in vertically inhomogeneous atmospheres, *J. Geophys. Res.*, 96, 9027–9063, 1991.

- Lean, J., J. Beer, and R. S. Bradley, Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 3195–3198, 1995
- Moody, D. (1964). Coastal morphology and process in relation to the development of submarine sand ridges off Bethany Beach, Delaware. Ph.D. dissertation, Johns Hopkins University, Baltimore, MD.
- Morton, R., Paine, J. and Gibeaut, J. (1994). Stages and durations of post-storm beach recovery. South-eastern Texas coast, U.S.A.
- National Center For Atmospheric Research Boulder, Colorado,(2004) «Description of the
- National Observatory of Athens : Institute of Environment Research and Sustainable Development Climate Change Site, (Επεξεργασία στοιχείων : Σ. Μοιρασγιέντης)
- NCAR Community Atmosphere Model (CAM 3.0)»
- Ramaswamy, V., and S. M. Freidenreich, Solar radiative line-by-line determination of water vapor absorption and water cloud extinction in inhomogeneous atmospheres, *J. Geophys. Res.*, 96, 9133–9157, 1991.
- Rasch, P. J., and J. E. Kristjansson, A comparison of the CCM3 model climate using diagnosed and predicted condensate parameterizations, *J. Climate*, 11, 1587—1614, 1998.
- Robert Dolan, Michael S. Fenster and Stuart J. Holme(1991). Temporal analysis of Shoreline Recession and Accretion. *Journal of coastal research*,7-9, 723-744.
- Rothman, L. S., A. Barbe, D. C. Benner, L. R. Brown, C. Camy-Peyret, M. R. Carleer, K. Chance, C. Clerbaux, V. Dana, V. M. Devi, A. Fayt, J.-M. Flaud, R. R. Gamache, A. Goldman, D. Jacquemart, K. W. Jucks, W. J. Lafferty, J.-Y. Mandin, S. T. Massie, V. Nemtchinov, D. A. Newnham, A. Perrin, C. P. Rinsland, J. Schroeder, K. M. Smith, M. A. H. Smith, K. Tang, R. A. Toth, J. V. Auwera, P. Varanasi, and K. Yoshino, The HITRAN molecular spectroscopic database: Edition of 2000 including updates of 2001, *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 82, 2003.
- Rothman, L. S., A. Goldman, J. R. Gillis, R. R. Gamache, H. M. Pickett, R. L. Poynter, N. Husson, and A. Chedin, AFGL trace gas compilation – 1982 version, *Appl. Opt.*, 22, 1616–1627, 1983.
- Stamnes, K., S. C. Tsay, W. Wiscombe, and K. Jayaweera, A numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media, *Appl. Opt.*, 27, 2502–2509, 1988.
- Sundqvist, H., Parameterization of condensation and associated clouds in models for weather prediction and general circulation simulation, in *Physically-based Modeling*

and Simulation of Climate and Climate Change, Vol. 1, edited by M. E. Schlesinger, 433–461, Kluwer Academic, 1988.

- The met office-Hadley Center for climate prediction and research.
- Wiscombe, W. J., and J. W. Evans, Exponential-sum fitting of radiative transmission functions, J. Comput. Phys., 24, 416–444, 1977.
- Zeng, X., and R. E. Dickinson, Effect of surface sublayer on surface skin temperature and fluxes, J. Climate, 11, 537–550, 1998.
- Zeng, X., M. Zhao, and R. E. Dickinson, Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using TOGA COARE and TAO data, J. Climate, 11, 2628–2644, 1998.
- Zhang, K. (1998). Twentieth century storm activity and sea level rise along the U.S. east coast and the impact on shoreline position. Ph.D. dissertation, University of Maryland, College Park.
- Zhang, M., W. Lin, C. S. Bretherton, J. J. Hack, and P. J. Rasch, A modified formulation of fractional stratiform condensation rate in the NCAR community atmospheric model CAM2, J. Geophys. Res., 108 (D1), 2003.
- Αθανασίου Γεώργιος (2001): Κλίμα, Κλιματική αλλαγή, Επιπτώσεις.
- Βαρώτσος Κ., Kondratyev K., (1996), «Φυσικοχημεία Περιβάλλοντος», Τόμος Ι, «Ακτινοβολία-ΘερμικήΠιο-Κλιματική Αλλαγή», Κωσταράκη, Αθήνα.
- Δ. Βούβαλη (1998), Περιοδικό «Ρεύματα», Τεύχος 2, Οκτώβριος-Νοέμβριος 1998, Απόσπασμα από το βιβλίο «Climate» της σειράς Predictiones, εκδόσεις Phoenix, , «Η πρόβλεψη του κλίματος», Λιβάνη, Αθήνα.
- Δ. Μελάς Λέκτορας – Τμήμα Φυσικής, ΑΠΘ Γ. Ασωνίτης Διδάσκων - Τμήμα Πολιτικής Επιστήμης, Πανεπιστήμιο Κρήτης Β. Αμοιρίδης Φυσικός, M.Sc. Περιβαλλοντικής Φυσικής, ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ [Οδηγός εκπαιδευτικών]
- Ένωση Ελλήνων Φυσικών, «Ο Δορυφόρος Envisat, το καλύτερο όργανο παρατήρησης του κλίματος», (Space flight Now, BBC, 1/3/2002).
- Ένωση Ελλήνων Φυσικών, «Οι σκεπτικιστές καταγγέλουν τους επιστήμονες για το κλίμα ότι ψευδονται».
- Ι. Νιαώτη(2002) Ελευθεροτηπία, 16/8/2002, «Ένα Ασιατικό Νέφος, δαμόκλειος σπάθης»,
- Μιμίκου Μ.Α.,(2001),Σημειώσεις για το Μάθημα «Εισαγωγή στις Επιστήμες της Ανάπτυξης και του Περιβάλλοντος», Ε.Μ.Π., Αθήνα.
- Ξηράκης Π. Προέδρου Μ. (1998), «Παρατηρούμενες και Μελλοντικές Κλιματικές Αλλαγές σε Μεσόγειο και Ελλάδα», Ε.Μ.Υ., Αθήνα.

- Ρόκος Δ., (2001), «Από τη βιώσιμη ή αειφόρο στην αξιοβίωτη ολοκληρωμένη ανάπτυξη», Δ.Π.Μ.Σ. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη»/Μετσόβιο Κέντρο Διεπιστημονικής Έρευνας, ΜΕ.Κ.Δ.Ε./Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Ε.Μ.Π., Αθήνα: (1995), «Επιστήμες και απεριβάλλον στα τέλη του αιώνα. Προβλήματα και προοπτικές».
- Χατζηπαραδείση Κ. (2008) Διαχείριση Υδατικών πότων υπό συνθήκες Κλιματικών αλλαγών , Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π