ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΜΕΛΕΤΗ & ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΓΗΣ

ΚΑΤΕΡΙΝΑ ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΥ



ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ
ΓΚΕΚΑΣ ΒΑΣΙΛΗΣ (Επιβλέπων Καθηγητής)
ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΣΥΝΟΛΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Χανιά
Φεβρουάριος 2009

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Βασίλη Γκέκα για την πολύτιμη και άψογη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, καθώς και τους κ. κ. Γεώργιο Καρατζά και Κωνσταντίνο Συνολάκη οι οποίοι εδέχθησαν να συμμετάσχουν ως μέλη στην εξεταστική μου επιτροπή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ……...1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Το κλίμα της Γης.....3

1.2 Παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα……....5

1.3 Τι προκάλεσε τις Παγετώδεις Περιόδους και άλλες σημαντικές κλιματικές αλλαγές πριν τη Βιομηχανική Εποχή……..11

1.4 Κατανομή CO_2 στην ατμόσφαιρα και στους ωκεανούς……..14

1.4.1 Ωκεάνιες διαδικασίες……....15

1.5 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου……...16

1.5.1 Τα αέρια του θερμοκηπίου……....18

1.6 Η ηφαιστειακή δραστηριότητα……....25

1.7 Αλλαγές στο ρεύμα του κόλπου του Μεξικού……30

1.8 Η θεωρία του Milankovitch……..33

1.8.1 Μεταβολές στην εκκεντρότητα……....35

1.8.2 Μεταβολές στη λόξωση της ελλειπτικής……36

1.8.3 Μετάπτωση των ισημεριών……..37

1.8.4 Οι κύκλοι του Milankovitch……..38

1.8.5 Μειονεκτήματα της θεωρίας του Milankovitch……..39

1.9 Οι ηλιακές κηλίδες……...40

1.9.1 Ενδεκαετής κύκλος και Διάγραμμα Maunder……....42

1.9.2 Επιδράσεις των ηλιακών κηλίδων στη Γη…….....43

1.9.3 Επιδράσεις των ηλιακών κηλίδων στο κλίμα της Γης…….....44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Δημιουργία μοντέλου – Αποτελέσματα μοντέλου…….....46

2.1.1 Μέθοδος των Απόλυτων Τιμών…….....48

2.1.2 Μέθοδος της Κανονικοποίησης……....56

2.1.3 Εφαρμογή της Μεθόδου των Απόλυτων Τιμών για το χρονικό διάστημα 1950 – 2000……...64

2.2 Μοντέλα πρόβλεψης της μέσης θερμοκρασίας της Γης……..72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Συμπεράσματα…….75

3.2 Συζήτηση……..76

Βιβλιογραφία……...82

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είμεθα μάρτυρες δραματικών κλιματικών αλλαγών του πλανήτη μας οι οποίες έχουν αποδοθεί αφενός εις φυσικά αίτια αφετέρου σε ανθρωπογενείς παράγοντες.
Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με τον προσδιορισμό και την ανάλυση αυτών των παραγόντων που επηρεάζουν το κλίμα και τις μεταβολές του, αντίστοιχα.
Στόχος είναι ο συσχετισμός των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν το κλίμα, ήτοι: της ηλιακής ακτινοβολίας και της συγκέντρωσης του CO_2 , με τις μεταβολές της θερμοκρασίας της Γης. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε ένα μοντέλο συσχετισμού της ηλιακής ακτινοβολίας και του CO_2 , λαμβανόμενων ως παραγόντων, με απόκριση τις διακυμάνσεις της μέσης θερμοκρασίας. Και για τις τρεις μεταβλητές χρησιμοποιήθηκαν οι δεδομένες τιμές από τα τελευταία 140 έτη ανά δεκαετία, μεταξύ των ετών 1860 – 2000. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων που προέκυψαν από τις παραπάνω μελέτες συσχετισμού και τα τελικά συμπεράσματα που εξάγονται από αυτά. Τέλος ακολουθεί συζήτηση και σύγκριση όσον αφορά το ποσοστό συμβολής των ανθρωπογενών και των φυσικών παραγόντων στις κλιματικές αλλαγές. Αμφότεροι οι παράγοντες επηρεάζουν με διαφορετική μας βαρύτητα αναλόγως της χρονικής περιόδου κατά την οποία λαμβάνει χώρα η ανάλυση του συσχετισμού.

ABSTRACT

We are, today, witnessing dramatic climatic changes of our planet which have been attributed to either anthropogenic or natural factors. The present Thesis deals with the determination of the degree of the influence of each of these two on the climate of the Earth. The aim is at the correlation of two basic factors influencing the climate , namely the solar irradiation and the atmospheric concentration of CO_2 with the, so called, temperature anomaly. In order to obtain this a correlation model has been developed with the solar irradiation and the CO2 concentration being the factors and the temperature anomaly considered as the response. Data of the three parameters were used covering the last 140 years, 1860-2000, at time intervals of a decade. Then the results of this analysis in the form of diagrams are presented and discussed. The degree of influence on the climatic changes of each factor is comparatively estimated and discussed. Both factors are found to influence but the degree of their influence depends on the time scale chosen for the correlation.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Το κλίμα της Γης

Κλίμα ονομάζεται η μέση καιρική κατάσταση μιας περιοχής, που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διαφόρων μετεωρολογικών στοιχείων. Το κλίμα επομένως είναι κάτι διαφορετικό από τον καιρό, που χαρακτηρίζεται σαν μια φυσική κατάσταση της ατμόσφαιρας κατά τη διάρκεια μιας μικρής χρονικής περιόδου. Το κλίμα παίζει σπουδαιότατο ρόλο, τόσο στο φυτικό όσο και στο ζωικό βασίλειο. Από το κλίμα ορίζονται οι ζώνες της βλάστησης καθώς και η κατανομή των ζώων και των ανθρώπων πάνω στη γη.

Οι παράγοντες που συντελούν στη μεταβολή του κλίματος από τόπο σε τόπο είναι:

- Γεωγραφικό πλάτος και υψόμετρο
- κατανομή ξηράς και θάλασσας
- ανάγλυφο και κάλυψη του εδάφους
- άνεμοι
- κέντρα υψηλής και χαμηλής πίεσης κ.ά.

Η διάκριση των διάφορων ποικιλιών κλιμάτων έγινε γύρω στον 5ο αιώνα από τους αρχαίους Έλληνες. Η γη διαιρείται σε πέντε ζώνες ανάλογα με το κλίμα:

- Ισημερινή ή διακεκαυμένη
- δύο εύκρατες και
- δύο πολικές.

Η πρώτη αυτή διαίρεση της γης σε ζώνες βελτιώθηκε κι έγινε νέα διαίρεση σε ζώνες θερμοκρασίας ανέμου και βροχής. Επειδή όμως οι διάφορες ζώνες είναι φυσικό να μην έχουν το ίδιο κλίμα, έγινε μια ταξινόμηση κατά την οποία ενώνονται τα διάφορα κλιματικά στοιχεία και συνιστούν τους κλιματικούς τύπους. Οι βασικότεροι κλιματικοί τύποι είναι:

- Ηπειρωτικός ή χερσαίος
- θαλάσσιος ή ωκεάνιος και
- τύπος ορέων και ύψους.

Παράλληλα με αυτή την ταξινόμηση έγιναν τα τελευταία χρόνια κι άλλες προσπάθειες ταξινόμησης των κλιμάτων για γεωργικούς κυρίως σκοπούς. Την τελευταία ταξινόμηση την έκανε ο Άγγλος κλιματολόγος Brooks, που διαίρεσε τη γη σε εννιά ιδιαίτερες περιοχές, με βάση τον οικισμό των ανθρώπων και σε συνδυασμό με την οικονομική γεωγραφία και την ανθρώπινη δραστηριότητα. Οι ιδιότητες του κλίματος επιδρούν όχι μόνο στο υλικό, αλλά και στο ηθικό και πνευματικό στοιχείο του ανθρώπου, αυτές επιβάλλουν τον τρόπο της ζωής, αναπτύσσουν το φρόνημα και γενικά παρέχουν τα σπουδαιότερα στοιχεία της ηθικής και υλικής κατάστασης των λαών. Οι άριστοι λαοί κι οι μεγαλύτεροι πολιτισμοί αναπτύχθηκαν στα εύκρατα κλίματα, ενώ στα θερμά ή τροπικά και τα ψυχρά ο άνθρωπος άργησε να προοδέψει στον πολιτισμό. Η τοπική επίδραση της βλάστησης στο κλίμα δρα κατά γενικό τρόπο ψυκτικά, γιατί τα φυτά από τη μία μεριά απορροφούν μέρος απ' την ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια που μετατρέπουν σε δυναμική ενέργεια, από την άλλη εκθέτουν στον αέρα εκτεταμένες επιφάνειες, που εξατμίζουν την υγρασία που αντλούν από τη γη. Τα θαλάσσια κλίματα είναι γενικά βροχερότερα από τα ηπειρωτικά. **[1]**

Οι κυριότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το κλίμα της Γης είναι το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η ακτινοβολία του Ήλιου. Υπάρχουν βέβαια διάφορες επιστημονικές θεωρίες για τη μεταβολή του κλίματος στον πλανήτη και οι οποίες διχάζουν τους επιστήμονες. Αυτές αφορούν τα θαλάσσια ρεύματα του κόλπου του Μεξικού, την εκκεντρότητα και την μετάπτωση του άξονα της Γης, τις ηλιακές κηλίδες, την αύξηση της συγκέντρωσης των αέριων του θερμοκηπίου από ανθρώπινες δραστηριότητες, την αύξηση της συγκέντρωσης των αέριων του θερμοκηπίου λόγω εκπομπής από ηφαίστεια, την θάλασσα ως αποθήκη CO_2 και τη μεταβολή του κλίματος ως φυσική διακύμανση.

1.2 Παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί πρόοδος στην κατανόηση για το πώς το κλίμα αλλάζει χωρικά και χρονικά.

Από τη δεκαετία του ’60 όλο και περισσότερο λεπτομερείς παρατηρήσεις είναι διαθέσιμες για τους παγετώνες και την κάλυψη του χιονιού, αλλά και για τη στάθμη της θάλασσας και τα «φύλλα» πάγου [1] για την προηγούμενη δεκαετία. Εντούτοις, η συλλογή στοιχείων παραμένει περιορισμένη σε μερικές περιοχές.

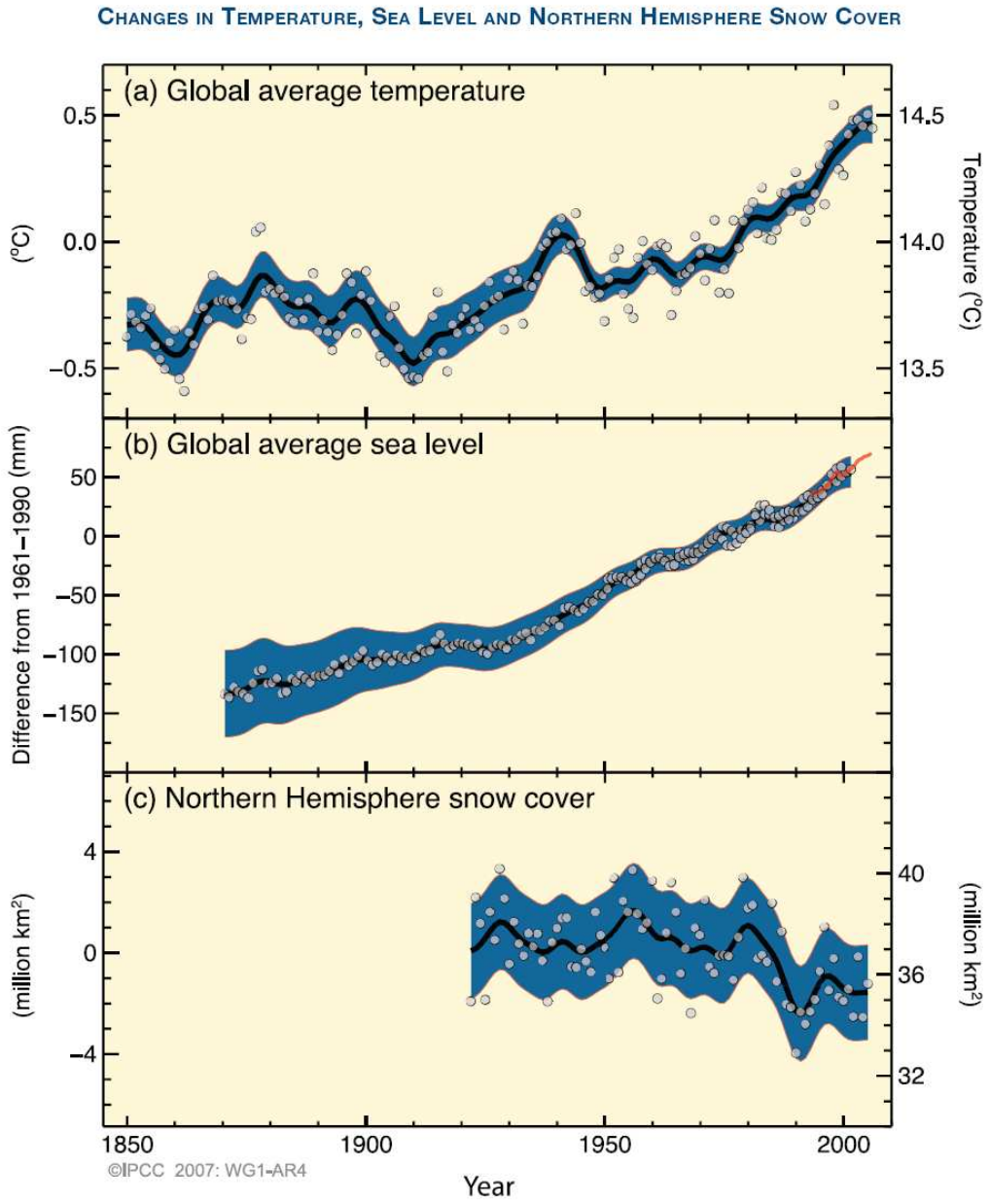
Η θέρμανση του πλανήτη είναι σαφής και εμφανής από παρατηρήσεις για την αύξηση της μέσης παγκόσμιας αέριας και ωκεάνιας θερμοκρασίας, την τήξη του χιονιού και του πάγου, και την αυξανόμενη μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας (Σχήμα 1). **[9]**

- Ένδεκα από τα τελευταία δώδεκα έτη (1995-2006) ταξινομούνται μεταξύ των 12 θερμότερων ετών στο αρχείο δεδομένων της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας (από το 1850).

- Οι νέες αναλύσεις των δορυφορικών μετρήσεων της χαμηλότερης και μέσης τροποσφαιρικής θερμοκρασίας παρουσιάζουν ποσοστά θέρμανσης που είναι παρόμοια με εκείνα της επιφανειακής θερμοκρασίας.

- Οι παρατηρήσεις από το 1961 δείχνουν ότι η μέση θερμοκρασία των ωκεανών έχει αυξηθεί σε βάθος τουλάχιστον 3000 m και ότι ο ωκεανός έχει απορροφήσει περισσότερο από το 80% της θερμότητας που προστίθεται στο σύστημα του κλίματος. Τέτοια θέρμανση αναγκάζει το νερό της θάλασσας να επεκταθεί, συμβάλλοντας στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας (**Πίνακας 1.1**).

[1] Ένα κινούμενο σώμα πάγου που μορφοποιείται στο έδαφος από τη συσσώρευση και τη συμπίεση του χιονιού, και που ρέει κατηφορικά ή εξωτερικά λόγω της βαρύτητας και της πίεσης του βάρους του.



Εικόνα 1.1 : Αλλαγές στη θερμοκρασία, τη στάθμη της θάλασσας και την κάλυψη του χιονιού μεταξύ 1850 και 2010

Παρατηρούμενες αλλαγές (α) στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία της επιφάνειας, (β) στη μέση παγκόσμια άνοδο της στάθμης της θάλασσας από το μετρητή παλίρροιας (μπλε) και τα δορυφορικά (κόκκινα) στοιχεία και (γ) στην κάλυψη χιονιού του βόρειου ημισφαιρίου για τους μήνες Μάρτιο-Απρίλιο. Όλες οι αλλαγές είναι σχετικές με τους αντίστοιχους μέσους όρους για την περίοδο 1961-1990. Οι λεπτές γραμμές στο σχήμα αντιπροσωπεύουν τις ανα δεκατία υπολογισμένες κατά μέσο όρο τιμές ενώ οι κύκλοι παρουσιάζουν ετήσιες τιμές. Οι σκιασμένες περιοχές είναι τα διαστήματα αβεβαιότητας που υπολογίζονται από μια λεπτομερή ανάλυση των γνωστών αβεβαιοτήτων (α και β) και από τη χρονική σειρά (γ). **[19, σελ.6]**

Πίνακας 1.1 (WGI) Ποσοστό ανόδου της στάθμης της θάλασσας -

Εκτιμώμενες συνεισφορές από διαφορετικές πηγές

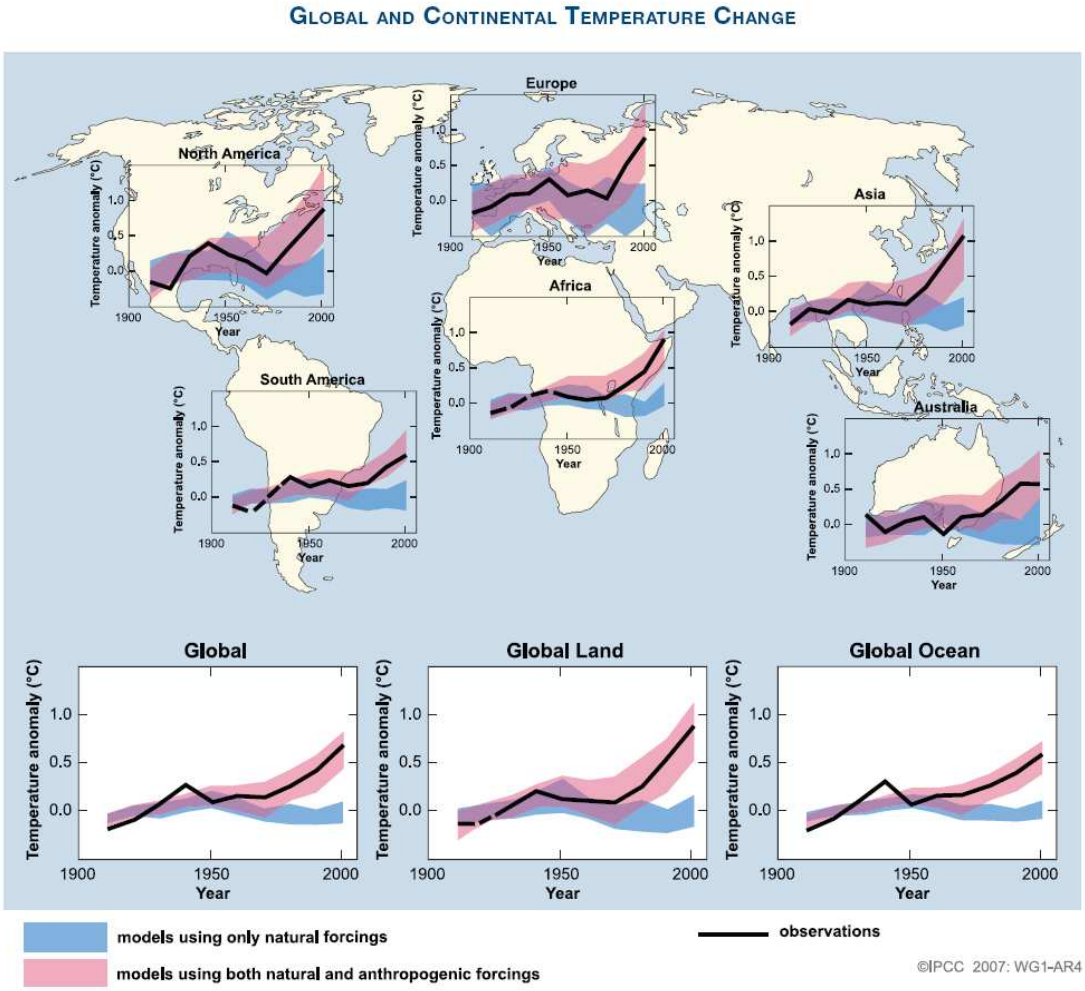
Αίτια ανόδου της στάθμης της θάλασσας	**Ποσοστό ανόδου της στάθμης της θάλασσας (mm ανά έτος)**	
	1961 – 2003	**1993 – 2003**
Σημείωση: [2] Τα δεδομένα πριν το 1993 προέρχονται από τους μετρητές παλίρροιας και μετά το 1993 από δορυφορικές μετρήσεις.		
Θερμική επέκταση	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Παγετώνες και πολικοί παγετώνες	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Φύλλα πάγου της Γροιλανδίας	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Ανταρκτικά φύλλα πάγου	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Σύνολο των εκάστοτε συνεισφορών της ανόδου της στάθμης της θάλασσας	**1.1 ± 0.5**	**2.8 ± 0.7**
Παρατηρούμενη συνολική άνοδος της στάθμης της θάλασσας	1.8 ± 0.5[a]	3.1 ± 0.7[a]
Διαφορά (Παρατηρείται αρνητικό σύνολο των κατ' εκτίμηση συνεισφορών στο κλίμα)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

[19, σελ.7]

- Τα παγόβουνα και η κάλυψη του χιονιού έχουν μειωθεί κατά μέσον όρο και στα δύο ημισφαίρια. Η εκτεταμένη μείωση των παγετώνων και των πολικών παγετώνων έχουν συμβάλει στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. (Πίνακας 1)

- Η μέση παγκόσμια στάθμη της θάλασσας ανήλθε κατά μέσο όρο 1.8 [1.3 έως 2.3] χιλ. το χρόνο κατά τη διάρκεια του 1961 ως το 2003. Η άνοδος ήταν μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια του 1993 ως το 2003, περίπου 3.1 [2.4 έως 3.8] χιλ. το χρόνο. Δεν είναι σαφές αν η αυξανόμενη άνοδος για το 1993 ως το 2003 απεικονίζει τη δεκαδική μεταβλητότητα ή μια τάση αύξησης μακροπρόθεσμα. Υπάρχει υψηλή εμπιστοσύνη στο ότι το ποσοστό της παρατηρηθείσας ανόδου της στάθμης της θάλασσας αυξήθηκε από το 19ο ως στον 20ο αιώνα. Η συνολική άνοδος του 20ού αιώνα υπολογίζεται να είναι 0.17 [0.12 έως 0.22] μ. **[2]**

Στις λεκάνες ηπειρωτικής, περιφερειακής, και ωκεάνιας κλίμακας, έχουν παρατηρηθεί πολυάριθμες μακροπρόθεσμες αλλαγές στο κλίμα. Αυτές περιλαμβάνουν αλλαγές στις αρκτικές θερμοκρασίες και τον πάγο, στα ποσά κατακρημνίσεων, την ωκεάνια αλατότητα, τη δομή των αερίων μαζών και τις περιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων, τη βαριά κατακρήμνιση, τα κύματα θερμότητας και την ένταση των τροπικών κυκλώνων.



Εικόνα 1.2 : (WGI) Αλλαγές στην παγκόσμια θερμοκρασία αλλά και στις θερμοκρασίες των ηπείρων

Σύγκριση των παρατηρούμενων αλλαγών στην επιφανειακή θερμοκρασία σε ηπειρωτική και παγκόσμια κλίμακα με τα αποτελέσματα που διαμορφώνονται από μοντέλα προσομοίωσης του κλίματος βασιζόμενα στις φυσικές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι δεκαδικοί μέσοι όροι των παρατηρήσεων παρουσιάζονται για την περίοδο 1906-2005 (μαύρη γραμμή) που λαμβάνεται εις το μέσον της δεκαετίας και σχετικά με τον αντίστοιχο μέσο όρο για το 1901-1950. Οι γραμμές είναι διακεκομμένες εκεί όπου η χωρική κάλυψη είναι μικρότερη από 50%. Οι μπλε σκιασμένες ζώνες παρουσιάζουν εύρος τιμών 5-95% (διάστημα εμπιστοσύνης) για 19 προσομοιώσεις από 5 πρότυπα κλίματος χρησιμοποιώντας μόνο φυσικές επιρροές λόγω της ηλιακής δραστηριότητας και των ηφαιστείων. Οι ροζ σκιασμένες ζώνες παρουσιάζουν αντίστοιχα εύρος τιμών 5-95% για 58 προσομοιώσεις από 14 πρότυπα κλίματος χρησιμοποιώντας και φυσικές και ανθρωπογενείς επιρροές. **[19, σελ 11]**

- Οι μέσες αρκτικές θερμοκρασίες αυξήθηκαν σχεδόν κατά δύο φορές το μέσο παγκόσμιο ποσοστό στα προηγούμενα 100 έτη. Οι αρκτικές θερμοκρασίες έχουν υψηλή δεκαδική μεταβλητότητα, και επίσης παρατηρήθηκε μια θερμή περίοδος από το 1925 ως το 1945.

- Τα δορυφορικά στοιχεία από το 1978 δείχνουν ότι ο μέσος ετήσιος αρκτικός βαθμός θαλάσσιου πάγου έχει συρρικνωθεί στα 2.7 [2.1 έως 3.3] % ανά δεκαετία, με τις μεγαλύτερες μειώσεις το καλοκαίρι 7.4 [5.0 έως 9.8] % ανά δεκαετία. Αυτές οι τιμές είναι σύμφωνες με εκείνες που αναφέρονται στην 3η Ε.Α (Εκθεση Αξιολόγησης).

- Οι θερμοκρασίες στην κορυφή του μόνιμα παγωμένου στρώματος έχουν αυξηθεί γενικά από τη δεκαετία του '80 στην Αρκτική (από μέχρι 3°C). Η μεγαλύτερη περιοχή που καλύπτεται από το εποχιακά παγωμένο έδαφος έχει μειωθεί κατά περίπου 7% στο βόρειο ημισφαίριο από το 1900, με μια μείωση την άνοιξη μέχρι 15%.

- Οι αλλαγές στις κατακρημνίσεις και την εξάτμιση πάνω από τους ωκεανούς εξαρτώνται από τα μέσου και υψηλού γεωγραφικού πλάτους νερά μαζί με την αυξανόμενη αλατότητα στα χαμηλού γεωγραφικού πλάτους νερά.

- Οι δυτικοί άνεμοι μέσου πλάτους έχουν ενισχυθεί και στα δύο ημισφαίρια από τη δεκαετία του '60.

- Εντονότερες και πιό μακροχρόνιες ξηρασίες έχουν παρατηρηθεί στις ευρύτερες περιοχές από τη δεκαετία του '70. Η αυξανόμενη ξηρασία συνδέεται με τις υψηλότερες θερμοκρασίες και τις μειωμένες κατακρημνίσεις, συμβάλλοντας στις αλλαγές στην ξηρασία.

- Η συχνότητα των ακραίων φαινομένων κατακρήμνισης έχει αυξηθεί στις περισσότερες περιοχές της γης, σύμφωνα με τη θέρμανση και τις παρατηρηθείσες αυξήσεις των ατμοσφαιρικών υδρατμών.

- Έχουν παρατηρηθεί επίσης αλλαγές στις ακραίες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των τελευταίων 50 ετών. Οι κρύες ημέρες, οι κρύες νύχτες και ο παγετός έχουν γίνει λιγότερο συχνοί, ενώ οι καυτές ημέρες, οι καυτές νύχτες, και τα κύματα θερμότητας έχουν γίνει συχνότερες. **[2], [19 σελ 5-9]**

1.3 Τι προκάλεσε τις Παγετώδεις Περιόδους και άλλες σημαντικές κλιματικές αλλαγές πριν τη Βιομηχανική Εποχή

Το κλίμα πάνω στη Γη έχει αλλάξει σε κάθε χρονική κλίμακα, πολύ πριν την επίδραση της ανθρώπινης δραστηριότητας. Μέχρι σήμερα, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην κατανόηση των αιτιών και των μηχανισμών των κλιματικών αλλαγών και φαίνεται πως η κύρια κινητήρια δύναμη τους ήταν οι αλλαγές στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας της Γης. Παρόλα αυτά, οι αιτίες των παρελθοντικών κλιματικών αλλαγών ποικίλουν.

Το παγκόσμιο κλίμα καθορίζεται από το ισοζύγιο ακτινοβολίας του πλανήτη.

Υπάρχουν τρεις θεμελιώδεις τρόποι να διαφοροποιηθεί η ισορροπία της ακτινοβολίας της Γης:

- μεταβάλλοντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (π.χ. μέσω διαφοροποιήσεων στη Γήινη τροχιά ή από τον ίδιο τον Ήλιο)
- μεταβάλλοντας την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία (π.χ. μέσω διαφοροποιήσεων στη νεφοκάλυψη, τα ατμοσφαιρικά αιωρούμενα σωματίδια ή τη βλάστηση) και
- μεταβάλλοντας τη μεγάλου μήκους κύματος εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τη Γη προς το διάστημα (π.χ. μέσω διαφοροποιήσεων των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου).

Επιπλέον, το τοπικό κλίμα εξαρτάται από την κατανομή της θερμότητας από τους ανέμους και τα ωκεάνια ρεύματα. Όλοι αυτοί οι παράγοντες έχουν παίξει ρόλο στις κλιματικές αλλαγές του παρελθόντος.

Εξετάζοντας τις παγετώδεις περιόδους που έχουν λάβει χώρα σε τακτούς κύκλους τα τελευταία περίπου 3 εκατομμύρια χρόνια, υπάρχουν έντονες ενδείξεις ότι σχετίζονται

με τακτικές μεταβολές στην τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο, τους λεγόμενους κύκλους Milankovitch. Αυτοί οι κύκλοι αλλάζουν την ποσότητα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε κάθε γεωγραφικό μήκος και εποχή (αλλά επηρεάζουν ελάχιστα το παγκόσμιο ετήσιο μέσο), και μπορούν να υπολογιστούν με αστρονομική ακρίβεια. Δεν έχει ακόμα εξακριβωθεί ο τρόπος που αρχίζουν και τελειώνουν οι παγετώδεις περίοδοι, αλλά πολλές μελέτες προτείνουν ότι το ποσοστό της θερινής ηλιοφάνειας στις βόρειες ηπείρους είναι σημαντικό: αν πέσει κάτω από μια κρίσιμη τιμή, το χιόνι που προέρχεται από τον προηγούμενο χειμώνα δε λιώνει το καλοκαίρι και η παγοκάλυψη μεγαλώνει καθώς συσσωρεύεται όλο και περισσότερο χιόνι. Οι προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων επιβεβαιώνουν ότι μια παγετώδης περίοδος μπορεί να ξεκινήσει με αυτό τον τρόπο, ενώ τα απλά θεωρητικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία προκειμένου να εντοπίσουν την απαρχή των παρελθόντων παγετώνων βασιζόμενα σε τροχιακές αλλαγές της Γης. Η επόμενη μεγάλη μείωση της θερινής ηλιοφάνειας στο Βόρειο Ημισφαίριο, η οποία θα είναι παρόμοια με εκείνες που ξεκίνησαν τις παρελθούσες παγετώδεις περιόδους, αναμένεται να ξεκινήσει σε 30.000 χρόνια.

Το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα παίζει σημαντικό ρόλο στις παγετώδεις περιόδους αν και δεν αποτελεί την πρωταρχική τους αιτία. Στοιχεία από πυρήνες πάγου της Ανταρκτικής, δείχνουν ότι η συγκέντρωση του CO_2 είναι χαμηλή στις κρύες παγετώδεις περιόδους (~ 190ppm) και υψηλή στις θερμές μεσοπαγετώδεις (~ 280ppm). Το ατμοσφαιρικό CO_2 ακολουθεί τις αλλαγές της θερμοκρασίας στην Ανταρκτική με μια καθυστέρηση μερικών εκατοντάδων χρόνων. Επειδή οι κλιματικές αλλαγές στην αρχή και το τέλος των παγετωδών περιόδων απαιτούν αρκετές χιλιάδες χρόνια, οι περισσότερες από αυτές επηρεάζονται από μια θετική προσθήκη CO_2. Δηλαδή μια μικρή αρχική ψύξη εξαιτίας των κύκλων Milankovitch μεγεθύνεται όταν μειώνεται η συγκέντρωση του CO_2.

Κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο, έλαβαν χώρα περισσότερες από 20 απότομες και σημαντικές κλιματικές αλλαγές, οι οποίες έχουν καταγραφεί ιδιαίτερα έντονα γύρω από το βόρειο Ατλαντικό. Οι αλλαγές αυτές διαφέρουν από τις παγετώδεις–μεσοπαγετώδεις διότι πιθανόν δεν επέφεραν μεγάλες μεταβολές στη μέση παγκόσμια θερμοκρασία. Δεν πραγματοποιούνται ταυτόχρονα στη Γροιλανδία και την Ανταρκτική και είναι στην αντίθετη κατεύθυνση στο Βόρειο και Νότιο Ατλαντικό. Τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν έλαβε χώρα κάποια σημαντική αλλαγή

στο παγκόσμιο ισοζύγιο ακτινοβολίας αλλά αρκούσε μια ανακατανομή της θερμότητας στο κλιματικό σύστημα. Υπάρχουν πολύ σημαντικές ενδείξεις ότι οι αλλαγές στην ωκεάνια κυκλοφορία και η μεταφορά θερμότητας μπορούν να εξηγήσουν πολλά από τα χαρακτηριστικά αυτών των απότομων συμβάντων. Στοιχεία από ιζήματα και προσομοιώσεις μοντέλων δείχνουν ότι κάποιες από αυτές θα μπορούσαν να έχουν προκληθεί από αστάθειες των παγετώνων που περιέβαλαν τον Ατλαντικό εκείνη την περίοδο και τη σχετιζόμενη κυκλοφορία γλυκών νερών στον ωκεανό.

Στην κλιματική ιστορία έχουν υπάρξει πολύ θερμότερες περίοδοι - κατά τη διάρκεια των τελευταίων 500 εκατομμυρίων χρόνων, η Γη δεν καλυπτόταν σχεδόν καθόλου από πάγους. Υπάρχει μια σχετική αβεβαιότητα για τα παλαιότερα του 1 εκατομμυρίου χρόνων στοιχεία των αερίων του θερμοκηπίου, αλλά αναλύσεις γεωλογικών δειγμάτων δείχνουν ότι οι θερμές χωρίς πάγους περίοδοι συμπίπτουν με υψηλά επίπεδα ατμοσφαιρικού CO_2. Σε χρονική κλίμακα 1 εκατομμυρίου ετών, τα επίπεδα του CO_2 αλλάζουν εξαιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας, η οποία επηρεάζει τους ρυθμούς ανταλλαγής του ωκεανού και της ατμόσφαιρας με τη χέρσο.

Μια ακόμη πιθανή αιτία των παρελθοντικών κλιματικών αλλαγών είναι οι μεταβολές στην ενεργειακή απόδοση του Ήλιου. Μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί τις τελευταίες δεκαετίες δείχνουν ότι η ηλιακή απόδοση ποικίλει ελαφρά (σχεδόν 0,1%) σε ένα 11-ετή κύκλο. Οι παρατηρήσεις των ηλιακών κηλίδων (που φτάνουν μέχρι τον $17^{ο}$ αιώνα) καθώς και στοιχεία ισοτόπων που έχουν προκύψει από την κοσμική ακτινοβολία, παρέχουν ενδείξεις για πιο μακροχρόνιες μεταβολές στην ηλιακή δραστηριότητα. Ο συσχετισμός στοιχείων και οι προσομοιώσεις που προκύπτουν από τα μοντέλα δείχνουν ότι η ηλιακή μεταβλητότητα και η ηφαιστειακή δραστηριότητα είναι πιθανό να αποτελούν τις κύριες αιτίες των κλιματικών μεταβολών κατά τη διάρκεια της τελευταίας χιλιετηρίδας, πριν την αρχή της βιομηχανικής εποχής. **[3]**

1.4 Κατανομή CO_2 μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών

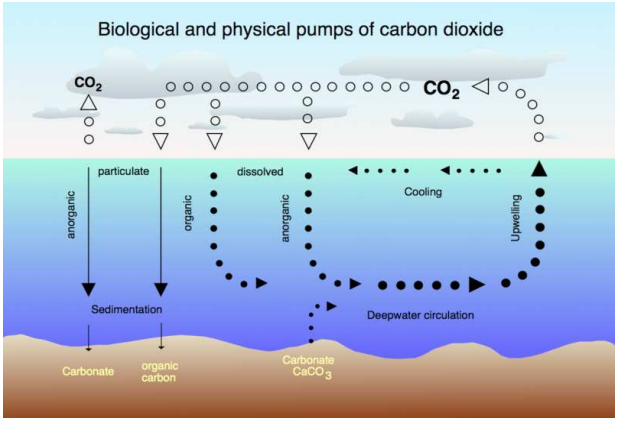
Η συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά τα προηγούμενα 400.000 χρόνια, κυμαινόταν μεταξύ 180 και 280 ppm.
Στα τέλη όμως του 18ου αιώνα, όταν ξεκίνησε η συστηματική χρήση των ορυκτών καυσίμων, το ατμοσφαιρικό CO_2 άρχισε να αυξάνεται με ανησυχητικό ρυθμό μόλις σε 100 χρόνια, από τα 280 ppm εκτινάχθηκε στα 380 ppm, όπου κυμαίνεται σήμερα.**[4]**

Σχεδόν το 50% του διοξειδίου του άνθρακα που η ανθρωπότητα ελευθέρωσε στην ατμόσφαιρα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 200 ετών, έχει απορροφηθεί από τη θάλασσα.

Συνεπώς, τα ατμοσφαιρικά επίπεδα του πιο κύριου αερίου του θερμοκηπίου δεν είναι τόσο υψηλά όσο θα μπορούσαν να είναι. [6]

Το ανθρωπογενές CO_2 που εκπέμπεται από τα ορυκτά καύσιμα:

- είτε διαλύεται στους ωκεανούς και απορροφάται από τα επίγεια οικοσυστήματα[φωτοσύνθεση κατά την αναπνοή και άλλες οξειδωτικές διαδικασίες(αποσύνθεση ή καύση οργανικού υλικού)]
- είτε διοχετεύεται στην ατμόσφαιρα **[5]**



Εικόνα 1.3 : Ο κύκλος του CO_2 στους Ωκεανούς

1.4.1 Ωκεάνιες διαδικασίες

Το ποσοστό του άνθρακα που βρίσκεται στους ωκεανούς είναι 50 φορές μεγαλύτερο από το ποσοστό στην ατμόσφαιρα. Η ανταλλαγή μεταξύ ατμόσφαιρας και ωκεανών γίνεται σε κλίμακα εκατοντάδων ετών.

Η λήψη ανθρωπογενούς CO_2 από τη θάλασσα ρυθμίζεται από φυσικούς και χημικούς μηχανισμούς. Είναι πιο έντονη στις περιοχές όπου τα νερά, που βρίσκονται για πολύ καιρό στο εσωτερικό του ωκεανού, έρχονται στην επιφάνεια και επομένως το ποσοστό ανάμειξης αυτών με τη διεπιφάνεια αέρα – θάλασσας καθορίζει και τη λήψη του ανθρωπογενούς CO_2.

Το ανθρωπογενές CO_2 διαλύεται στους ωκεανούς και βρίσκεται υπό τη μορφή CO_2 (1%), HCO_3 (91%) και CO_3 (8%). Εντός των ωκεανών βρίσκεται ο DIC (ο άνθρακας που προέρχεται από τα ποτάμια) και ο DOC (ο άνθρακας παράγεται από τη διάβρωση του ανθρακικού ασβεστίου)

Η διαλυτότητά του είναι θερμοκρασιακά εξαρτώμενη από:

- Την ψύξη των επιφανειακών υδάτων που οδηγεί σε λήψη CO_2
- Τη θέρμανση των επιφανειακών υδάτων που οδηγεί σε εξάτμιση

Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 πέρα από τα προβιομηχανικά επίπεδα προκαλεί την τάση να αυξηθεί η λήψη του CO_2 στις περιοχές συλλέκτες και να μειώσει την απομάκρυνσή του στις περιοχές που έχουμε απελευθέρωση.

Οι ωκεανοί έχουν μεγάλη ικανότητα λήψης του ανθρωπογενούς CO_2 . Το 70 –80% απορροφάται από τη θάλασσα. Λόγω του ότι υπάρχει πεπερασμένο ποσοστό ανάμειξης παίρνει αρκετές εκατοντάδες χρόνια για να συμβεί.

Τα ακαθάριστα ποσά που ανταλλάσσονται μεταξύ ατμόσφαιρας – γης και μεταξύ ατμόσφαιρας – ωκεανών αντιπροσωπεύουν ένα αρκετά μεγάλο μέρος της περιεκτικότητας του αέρα σε CO_2. Είναι κατά πολύ μεγαλύτερα από τις ανθρωπογενείς εκπομπές, καθορίζουν όμως σημαντικά αυτήν την ανταλλαγή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την λήψη ή την απομάκρυνση του CO_2 από τους ωκεανούς και το έδαφος είναι :

- Η ίδια η περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε CO_2
- Το φυσικά μεταβλητό κλίμα
- Πιθανές αλλαγές κλίματος από το CO_2 και άλλα αέρια του θερμοκηπίου
- Αλλαγές στην ωκεάνια κυκλοφορία και βιολογία
- Μετατροπή του εδάφους (από φυσική βλάστηση σε γεωργία και αντίστροφα)
- Πυρκαγιές
- Διαχείριση εδάφους **[5]**

1.5 Το Φαινόμενο του Θερμοκηπίου

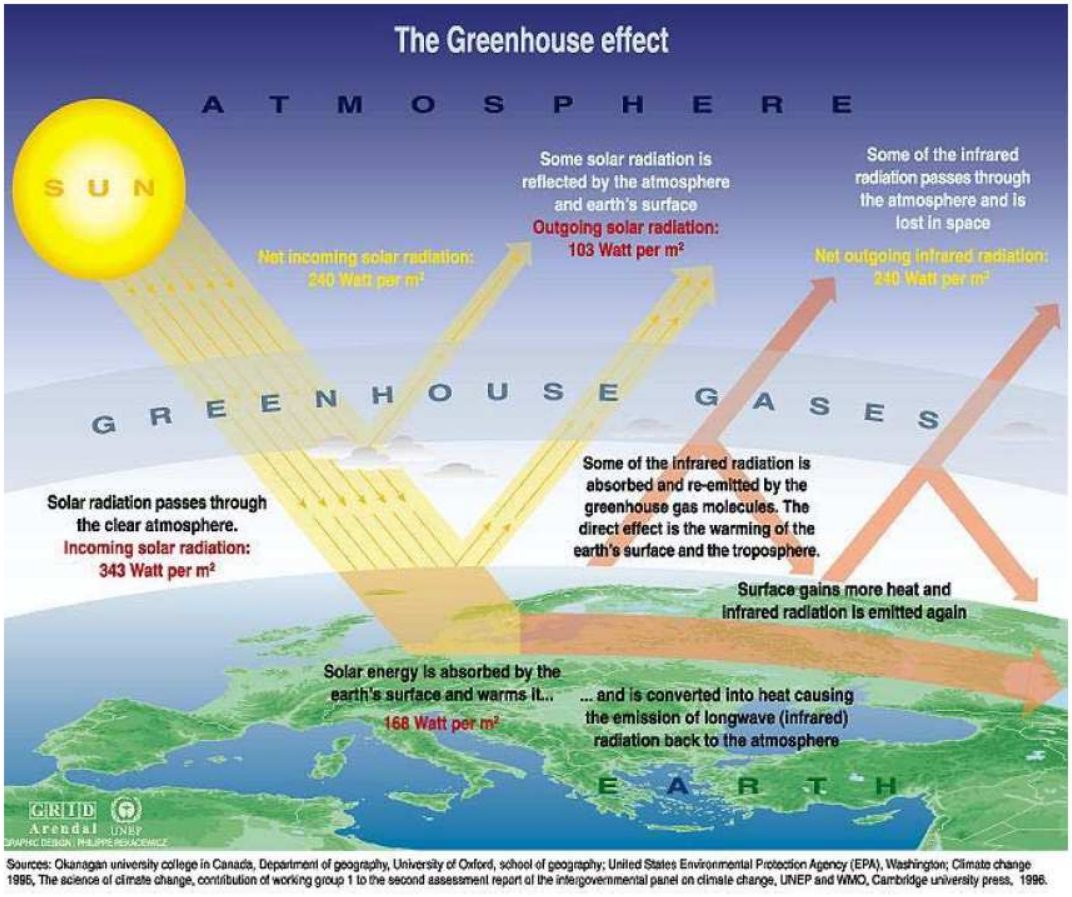
Το σύνολο σχεδόν των συστατικών της Ατμόσφαιρας επιτρέπει τη διέλευση της ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας (αφού το στρατοσφαιρικό όζον και το οξυγόνο παρεμποδίζουν τη διέλευση της υπεριώδους ακτινοβολίας) προκειμένου να φθάσει στην επιφάνεια της Γης και να τη θερμάνει. Στη συνέχεια τα αέρια της Ατμόσφαιρας, απορροφούν σε μεγάλο βαθμό την εκπεμπόμενη γήινη ακτονοβολία, παρεμποδίζοντας την να εξέλθει προς το διάστημα. Η συμπεριφορά αυτή της Ατμόσφαιρας είναι γνωστή ως «φαινόμενο του θερμοκηπίου» **[22]**

Αναλυτικά το σύστημα του κλίματος της γης ελέγχεται από μια συνεχή ροή ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο. Η Γη δέχεται συνολικά ηλιακή ακτινοβολία, που αντιστοιχεί σε ροή περίπου 1366 watt/m^2, στο όριο της ατμόσφαιρας. Για να ισορροπήσει την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια, η Γη εξάγει το ίδιο ποσό ενέργειας στο διάστημα υπό μορφή μεγαλου μήκους κύματος ακτινοβολία (υπέρυθρη). Ένα μέρος αυτής απορροφάται από το σύστημα Γη-ατμόσφαιρα, ενώ το υπόλοιπο διαφεύγει στο διάστημα. Περίπου το 30% της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ανακλάται, σε ποσοστό 6% από την ατμόσφαιρα, 3% από τα νέφη και 4% από την επιφάνεια της Γης. Το 70% της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται, κατά 16% από την ατμόσφαιρα (συμπεριλαμβανομένου και του στρατοσφαιρικού στρώματος του όζοντος), κατά 3% από τα νέφη και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό (51%) από την επιφάνεια και τους ωκεανούς.

Λόγω της θερμοκρασίας της, η Γη εκπέμπει επίσης θερμική ακτινοβολία (κατά τρόπο ανάλογο με τον Ήλιο), η οποία αντιστοιχεί σε μεγάλα μήκη κύματος, σε αντίθεση με την αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία, που είναι μικρού μήκους κύματος. Η ατμόσφαιρα της Γης, διαθέτει μεγάλη αδιαφάνεια στην, μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία, έχει δηλαδή την ικανότητα να απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της, ποσοστό περίπου 71%. Η ίδια η ατμόσφαιρα, επανεκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, μέρος της οποίας απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, η οποία θερμαίνεται περαιτέρω. Η γήινη ατμόσφαιρα, συμπεριφέρεται με τον τρόπο αυτό, ως μία δεύτερη - μαζί με τον Ήλιο - πηγή θερμότητας. Αποτέλεσμα του συνολικού φαινομένου είναι η αύξηση της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας, γεγονός που καθιστά τη Γη κατοικήσιμη. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας θα ήταν σε παγκόσμια και ετήσια βάση περίπου -18 ^{o}C. **[7]**

Τα αέρια της ατμόσφαιρας τα οποία έχουν τη δυνατότητα να απορροφούν και διαδοχικά να εκπέμπουν την υπέρυθρη ακτινοβολία είναι γνωστά ως αέρια του θερμοκηπίου. Οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου επηρεάζουν την ενεργειακή ισορροπία της γης. Μια αύξηση στη συγκέντρωση αυτών των ενώσεων προκαλεί ενίσχυση της ιδιότητας της ατμόσφαιρας να παγιδεύει θερμική ακτινοβολία και τείνει να θερμάνει τα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και τη γήινη επιφάνεια. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) έχει ονομάσει αυτήν την διαδικασία «ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου».

Από τη βιομηχανική επανάσταση, οι ανθρώπινες δραστηριότητες αυξάνουν συνεχώς τη συγκέντρωση των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Το μέγεθος της θέρμανσης πιθανόν να εξαρτάται από το μέγεθος αυτής της αύξησης και από τις ιδιότητες της ακτινοβολίας των αερίων. **[20]**



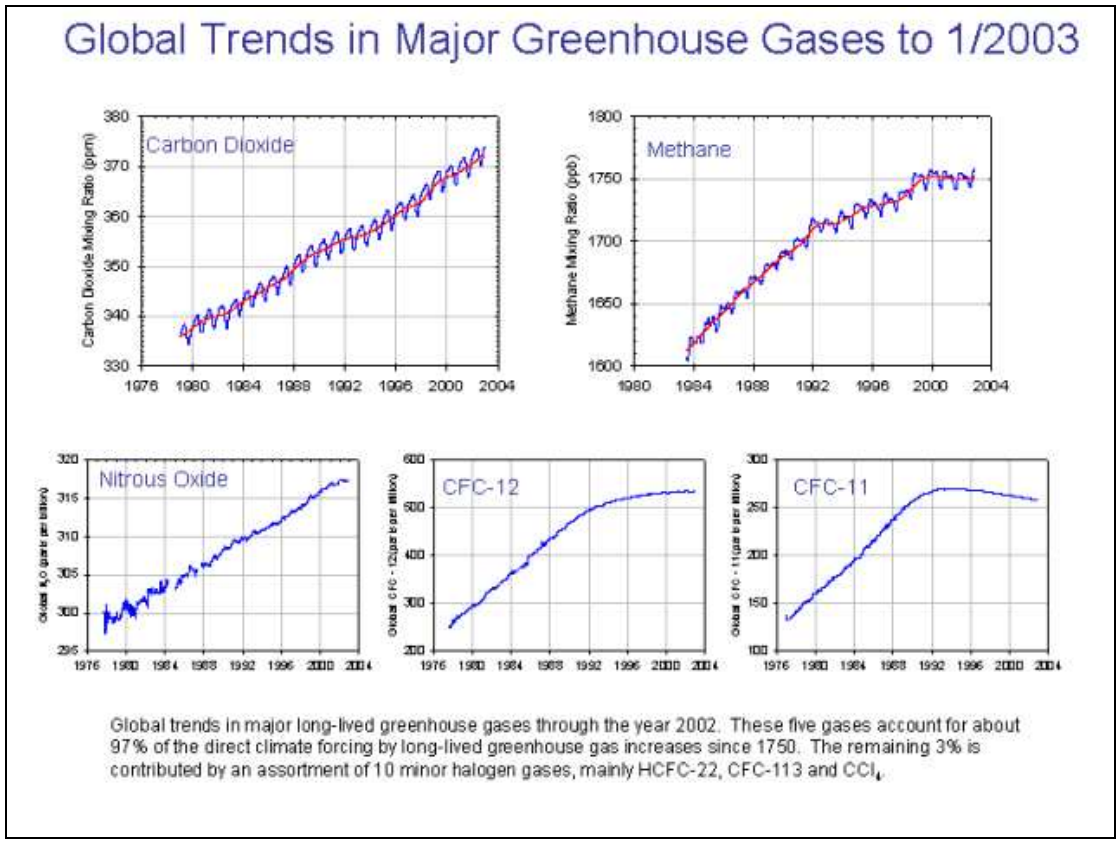
Εικόνα 1.4 : Μια απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου [**21]**

1.5.1 Τα αέρια του θερμοκηπίου

Τα βασικότερα αέρια του θερμοκηπίου είναι οι υδρατμοί (H_2O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4), το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) το όζον (O_3), οι αλογονάνθρακες και τα αεροζόλ. **[22]**

Όλα τα αέρια συστατικά της ατμόσφαιρας που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, αναφέρονται συνολικά με τον όρο *αέρια του θερμοκηπίου*. Απορροφούν την μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία και επανεκπέμπουν θερμική ακτινοβολία θερμαίνοντας την επιφάνεια. Ορισμένα αέρια, όπως το όζον, έχουν αδιαφάνεια και στην ηλιακή ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να απορροφούν ένα μέρος της, συμβάλλωντας σε ένα βαθμό και στην ψύξη της γήινης επιφάνειας.

Περίπου το 86% της κατακρατούμενης από την ατμόσφαιρα γήινης ακτινοβολίας, οφείλεται στην παρουσία υδρατμών (H_2O), διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και νεφών. Οι υδρατμοί αποτελούν το πλέον ενεργό συστατικό, κατά ποσοστό 60%, ενώ μικρότερη συνεισφορά έχουν και τα αέρια μεθανίου (CH_4), οξειδίου του νατρίου (N_2O) και όζοντος (O_3) (περίπου 8%).



Εικόνα 1.5 : Η αυξητική τάση στη συγκέντρωση βασικών αερίων του θερμοκηπίου (στοιχεία μεχρι 1/2003). **[7]**

Παρακάτω, συνοψίζουμε εν συντομία την εξέλιξη των κυρίων αερίων του θερμοκηπίου και αεροζόλ στην ατμόσφαιρα, και τις διαδικασίες ανατροφοδότησης που είναι πιθανό να τροποποιήσουν την αντίδραση του κλίματος.

- **CO_2**

Συστατικό αέριο της ατμόσφαιρας του οποίου η περιεκτικότητα παρουσιάζει χρονική και τοπική μεταβλητότητα και είναι περίπου 0,0355% κατά όγκο (ή 355 ppm – parts per million). Οι ωκεανοί, τα ιζηματογενή ανθρακικά πετρώματα, η βιόσφαιρα και η ατμόσφαιρα αποτελούν φυσικές πηγές του. Η εισαγωγή του στην ατμόσφαιρα γίνεται από:

- Τις βιολογικές διεργασίες της αναπνοής και του μεταβολισμού της οργανικής ύλης των ζώντων οργανισμών τόσο της ξηράς όσο και της θάλασσας.
- Την αποσύνθεση των οργανικών στοιχείων μέσα στο έδαφος.
- Τις καύσεις της οργανικής ύλης (άνθρακας, πετρέλαιο, ξύλα, υγραέριο κλπ.)
- Φυσικές πηγές (εκρήξεις των ηφαιστείων, αέρια των θερμοπηγών, διάβρωση των ανθρακικών πετρωμάτων κ.α.).

Τη συνεχή παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα περιορίζει ένας αντισταθμιστικός μηχανισμός ο οποίος δεσμεύει κάποια από την ποσότητα του, εξασφαλίζοντας έτσι μια μορφή ισορροπίας. Σε αντίθεση με το γεγονός ότι το CO_2 παρουσιάζει σχετικά μικρή συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα, η θερμο-οικονομία του πλανήτη του οφείλει πολλά καθότι ενώ στη μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία είναι σχεδόν διαπερατό, απορροφά τη μεγάλου μήκους κύματος γήινη ακτινοβολία, το μεγαλύτερο μέρος της οποίας επανεκπέμπεται κατ' αυτόν τον τρόπο πίσω στη Γη. Οι ετήσιες εκπομπές του έχουν αυξηθεί μεταξύ των ετών 1970 και 2004 κατά περίπου 80%, από 21 έως 38 gigatonnes (GT), και αντιπροσωπεύει το 77% των συνολικών ανθρωπογενών εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου το 2004.

- **Μεθάνιο CH_4**

Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες είναι υπεύθυνες περίπου για το 60-80% των εκπομπών μεθανίου. Η αλλαγή κλίματος μπορεί να έχει μια αναδρομική ισχύ στις εκπομπές μεθανίου με την έμμεση αύξηση των εκπομπών λόγω μεγαλύτερης μικροβιακής δραστηριότητας. Πάντως τα ποσοστά αύξησης έχουν μειωθεί από τις αρχές της δεκαετίας του '90, σύμφωνα με τις συνολικές εκπομπές (ποσό των ανθρωπογενών και φυσικών πηγών) που είναι σχεδόν σταθερές κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. **[23]**

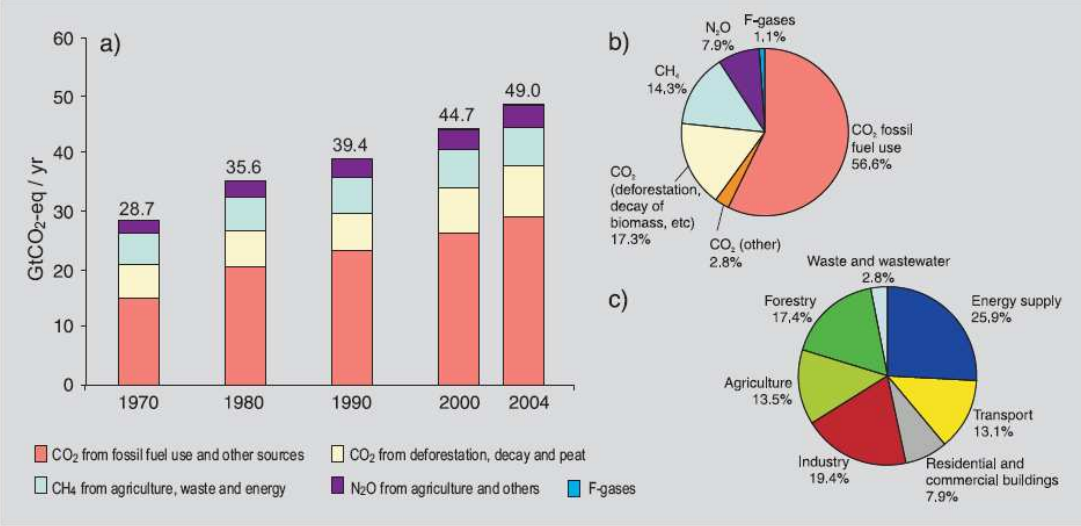
Αν και η συγκέντρωση του μεθανίου στην ατμόσφαιρα είναι κατά πολύ μικρότερη σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα και τους υδρατμούς (περίπου 1,7 ppm), συγκαταλέγεται και αυτό μεταξύ των αερίων που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η μεγάλη του σπουδαιότητα, ως αέριο του θερμοκηπίου, οφείλεται στην ιδιότητα του να είναι 20 έως 30 φορές πιο αποτελεσματικό στην απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη Γη, σε σχέση με το CO_2. Για να παραχθεί το μεθάνιο απαιτούνται αναερόβιες βιολογικές διεργασίες ζύμωσης. Έτσι παραγωγή μεθανίου παρατηρείται από αναερόβια βακτήρια σε υγρότοπους όπως οι βάλτοι ,οι βιολογικοί καθαρισμοί ακόμη και οι χώροι υγειονομικής ταφής, όπου υπάρχει έλλειψη οξυγόνου. Όσο αφορά στον ανθρώπινο παράγοντα, μεθάνιο παράγεται και κατά τη διαδικασία εξόρυξης κάρβουνου, την άντληση πετρελαίου και φυσικού αερίου. **[22]**, **[24]**

Η ατμοσφαιρική συγκέντρωση του CH_4 έχει υπερβεί μέχρι το 2005 κατά πολύ τη φυσική σειρά κατά τη διάρκεια των τελευταίων 650.000 ετών, συγκεκριμένα έχει αυξηθεί από 715ppb (προβιομηχανική περίδο) περίπου, στα 1732ppb στις αρχές της δεκαετίας του 1990, και ήταν 1774ppb το 2005. **[25]**

- **<u>Υποξείδιο του Αζώτου (N_2O)</u>**

Οι συγκεντρώσεις νιτρώδων οξειδίων έχουν αυξηθεί από τους προβιομηχανικούς χρόνους από 270 ppbv σε 319 ppbv ως το 2005. Συγκεκριμένα η σπουδαιότητα του υποξειδίου του αζώτου έγκειται στο γεγονός ότι ο μέσος χρόνος ζωής των μορίων του αγγίζει τα 150 χρόνια παρόλο που δεν παράγεται στους ίδιους ρυθμούς των αερίων που εξετάσαμε προηγουμένως. Οι σημαντικότερες πηγές που συμβάλλουν στην παραγωγή εκπομπών N_2O είναι οι φυσικές που είναι πιθανώς δύο φορές μεγαλύτερες από τις ανθρωπογενείς. Παράγεται βασικά από αναερόβια βακτήρια του εδάφους κατά τη διαδικασία απονιτροποίησης νιτρικών ενώσεων καθώς και από την καύση ορυκτών καυσίμων σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. **[22]**, **[24]**

Εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ανθρωπογενείς πηγές



Εικόνα 1.6 :

(α). Ετήσιες παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από ανθρωπογενείς πηγές από το 1970 ως το 2004

(β). Ποσοστό κάθε αερίου στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές του 2004 από την άποψη του CO2-eq.

(γ). Ποσοστό των διαφορετικών παραμέτρων στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου το 2004 από την άποψη του CO2 -CO2-eq. **[26]**

- **Αλογονάνθρακες**

Είναι ενώσεις που περιέχουν το φθόριο, το χλώριο, το βρώμιο και το ιώδιο. Η εκπομπή πολλών αλογονανθράκων οφείλεται αποκλειστικά στις ανθρωπογενείς πηγές. Σε αντίθεση με τα αέρια του θερμοκηπίου που προαναφέρθηκαν, η παρουσία συγκεκριμένα των χλωροφθορανθράκων (CFCs) στον ατμοσφαιρικό αέρα δεν δικαιολογείται. Περιέχονται σε διάφορες χημικές ουσίες, οι οποίες βρίσκουν εφαρμογή στη λειτουργία των ψυγείων και των κλιματιστικών. Η καταστροφική τους επίδραση στο στρατοσφαιρικό όζον τους προσέδωσε κακή φήμη, ενώ παράλληλα η σχέση τους με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη είναι κάτι που ακόμα διερευνείται. Παρόλα αυτά ως αέρια του θερμοκηπίου είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικά και παραμένουν στην ατμόσφαιρα για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. **[22]**, **[24]**, **[25]**

- **Όζον (O_3)**

Το όζον εμφανίζεται γενικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις, αποτελεί μόνο το 0.00006% της ατμόσφαιρας της Γης και έχει πολλές βιομηχανικές και καταναλωτικές εφαρμογές.

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις του στην ατμόσφαιρα βρίσκονται στην περιοχή 10-50 km πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, στο λεγόμενο στρώμα του όζοντος, που βρίκσκεται στην στρατόσφαιρα. Το στρατοσφαιρικό όζον απορροφά την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία εμποδίζοντάς την να φτάσει στην επιφάνεια του εδάφους.

Τις τελευταίες δεκατίες το ποσοστό του όζοντος στην στρατόσφαιρα μειώθηκε εξαιτίας κυρίως εκπομπών χλωροφθορανθράκων και παρόμοιων χλωριωμένων και βρωμιωμένων οργανικών μορίων.

Αντίθετα το τροποσφαιρικό όζον αποτελεί ατμοσφαιρικός ρύπος και είναι επιβλαβής για το αναπνευστικό σύστημα των ζώων και των ανθρώπων. Δεν εκπέμπεται απευθείας από τις μηχανές των αυτοκινήτων ή τις βιομηχανικές εφαρμογές. Δημιουργείται από την αντίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας με τον αέρα, ο οποίος περιέχει υδρογονάνθρακες και οξείδια του αζώτου.

- **<u>Υδρατμοί</u>**

Η συγκέντρωση υδρατμών παρουσιάζει ιδιαίτερη χωρική και χρονική μεταβλητότητα. Με την αύξηση του ύψους η ταχύτητα τους μειώνεται πολύ γρήγορα, έτσι μόλις ξεπεράσουν τα 10 Km η συγκέντρωση τους είναι αρκετά μικρή και όσο το ύψος αυξάνεται τόσο πιο αμελητέα γίνεται. Οι υδρατμοί, είναι σημαντικοί φορείς της θερμικής ενέργειας του πλανήτη και ευθύνονται για το σχηματισμό πολλών μετεωρολογικών φαινομένων. Πρόσθετα, χάρη στην ιδιότητα τους να απορροφούν σημαντικό ποσοστό της ακτινοβολίας που εκπέμπει η Γη, συνεισφέρουν σημαντικά στη διατήρηση της ισορροπίας της θερμικής ενέργειας μεταξύ της επιφάνειας της Γης και της ατμόσφαιρας. **[22]**, **[24]**

- **<u>Αεροζόλ</u>**

Μια αύξηση στη φυσική και ανθρωπογενή συγκέντρωση των αεροζόλ στη χαμηλότερη ατμόσφαιρα είναι ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει το παγκόσμιο και τοπικό κλίμα. Τα αεροζόλ είναι μικρά μόρια και σταγονίδια που δημιουργούνται από φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές. Μεγάλες ποσότητες φυσικών αεροζόλ παράγονται από την ηφαιστειακή δραστηριότητα. Αυτά τα αεροζόλ μπορούν να προκαλέσουν μια προσωρινή επίδραση ψύξης στη γήινη επιφάνεια και τη χαμηλότερη ατμόσφαιρα. Τα αποτελέσματα ψύξης γενικά δεν διαρκούν περισσότερο από λίγα έτη όπως παρατηρήθηκε μετά από μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις (π.χ. στο Pinatubo στις Φιλιππίνες το 1991). Τα ανθρωπογενή αεροζόλ θειικού άλατος είναι τα πιο γνωστά και μελετημένα αεροζόλ που παράγονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων - που εκπέμπουν το διοξείδιο του θείου στην ατμόσφαιρα - καθώς επίσης και από τις δευτερεύουσες πηγές όπως η καύση της βιομάζας. αποτελούνται κυρίως από θειικό οξύ. Η υψηλή περιφερειακή μεταβλητότητα της διανομής των αεροζόλ και η ελλειπής κατανόηση της έμμεσης επίδρασης των αεροζόλ, καθιστά την εκτίμηση του ρόλου τους στο φαινόμενο του θερμοκηπίου σύνθετη και αβέβαιη. **[20]**

1.6 Η ηφαιστειακή δραστηριότητα

Ένα ηφαίστειο είναι ένα άνοιγμα, ή ρήγμα, στην επιφάνεια ενός πλανήτη, το οποίο επιτρέπει καυτά, λειωμένα πετρώματα, τέφρα, και αέρια να διαφύγουν στην επιφάνεια από το εσωτερικό. Η ηφαιστειογενής δραστηριότητα που περιλαμβάνει την εκτόξευση των πετρωμάτων τείνει να διαμορφώνει τα βουνά ή παρόμοιους σχηματισμούς για μια χρονική περίοδο.

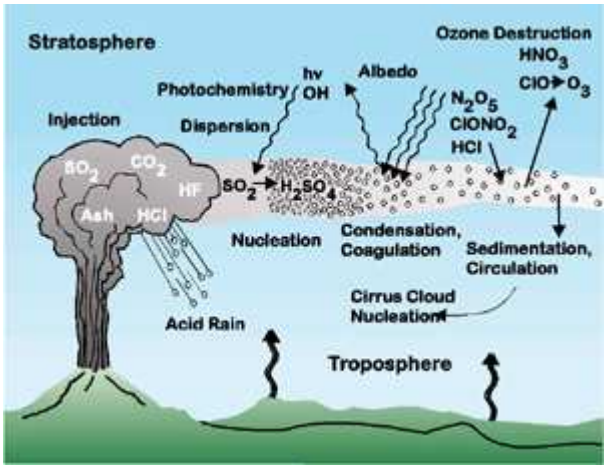
Τα ηφαίστεια βρίσκονται γενικά όπου οι τεκτονικές πλάκες αποκλίνουν ή συγκλίνουν. Αντίθετα, συνήθως δεν δημιουργούνται όπου δύο τεκτονικές πλάκες γλιστρούν η μία πάνω στην άλλη. **[8]**

Το μάγμα, που βρίσκεται κάτω από τα ηφαίστεια περιέχει άφθονα αέρια που απελευθερώνονται στην επιφάνεια πριν, κατά τη διάρκεια, και μετά από τις εκρήξεις. Αυτά τα αέρια κυμαίνονται μεταξύ σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας ατμούς ως τα πυκνά καυτά σύννεφα του αποπνικτικού όξινου καπνού που διαφεύγει από το εσωτερικό της Γης.

Οι συγκεντρώσεις των διαφόρων ηφαιστειακών αερίων μπορούν να ποικίλουν αρκετά από το ένα ηφαίστειο στο άλλο. Οι υδρατμοί είναι χαρακτηριστικά το αφθονότερο ηφαιστειακό αέριο, που ακολουθείται από το διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο θείου. Άλλα κύρια ηφαιστειακά αέρια είναι το σουλφίδιο υδρογόνου, το υδροχλώριο, και το φθορίδιο υδρογόνου. Ένας μεγάλος αριθμός αερίων που βρίσκονται επίσης στις ηφαιστειακές εκπομπές σε ίχνη είναι παραδείγματος χάριν το υδρογόνο, το μονοξείδιο του άνθρακα, και τα πτητικά χλωρίδια μετάλλων.

Οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις εκτοξεύουν υδρατμούς (H_2O), διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), διοξείδιο θείου (SO_2), υδροχλώριο (HCL), φθορίδιο υδρογόνου (HF) και τέφρα (κονιοποιημένοι βράχοι και ελαφρόπετρα) στη στρατόσφαιρα σε ύψη 10-20 μίλια επάνω από την επιφάνεια της Γης. Οι περισσότερο σημαντικές επιπτώσεις από αυτές τις εγχύσεις προέρχονται από τη μετατροπή του διοξειδίου θείου σε θειικό οξύ (H_2SO_4), το οποίο συμπυκνώνεται γρήγορα στη στρατόσφαιρα για να διαμορφώσει τα λεπτά αεροζόλ θειικού άλατος. Τα αεροζόλ αυξάνουν την αντανάκλαση της ακτινοβολίας από τον ήλιο πίσω στο διάστημα και δροσίζουν έτσι την τροπόσφαιρα, εντούτοις απορροφούν επίσης τη θερμότητα που ακτινοβολείται επάνω από τη γη, θερμαίνοντας με αυτόν τον τρόπο την στρατόσφαιρα. Διάφορες εκρήξεις κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα έχουν προκαλέσει μια πτώση

στη μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης της τάξης του μισού βαθμού (της κλίμακας Fahrenheit) για περιόδους από ένα έως τρια έτη. Τα αεροζόλ θειικού άλατος προωθούν επίσης σύνθετες χημικές αντιδράσεις στις επιφάνειές τους που αλλάζουν τα χημικά είδη χλωρίου και αζώτου στη στρατόσφαιρα. Αυτή η επίδραση, μαζί με τα αυξανόμενα στρατοσφαιρικά επίπεδα χλωρίου από τη ρύπανση χλωροφλωρανθράκων, παράγει το μονοξείδιο του χλωρίου (ClO), το οποίο καταστρέφει το όζον (O_3). Καθώς τα αεροζόλ αυξάνονται και συμπυκνώνονται, εγκαθίστανται κάτω στην ανώτερη τροπόσφαιρα όπου χρησιμεύουν ως πυρήνες για τη δημιουργία των σύννεφων και τροποποιούν περαιτέρω την ισορροπία της ακτινοβολίας της Γης. Το μεγαλύτερο μέρος του υδροχλωρίου (HCL) και του φθοριδίου υδρογόνου (HF) διαλύεται στα σταγονίδια νερού στα σύννεφα που προκαλούνται από την έκρηξη και πέφτουν γρήγορα στο έδαφος ως όξινη βροχή. Η εκτοξευμένη τέφρα πέφτει επίσης γρήγορα από τη στρατόσφαιρα το μεγαλύτερο μέρος της οποίας απομακρύνεται μέσα σε μερικές μέρες ή εβδομάδες. Τέλος, οι ηφαιστειακές εκρήξεις απελευθερώνουν διοξείδιο του άνθρακα και παρέχουν έτσι μια σημαντική πηγή άνθρακα για τους βιογεωχημικούς κύκλους.



Εικόνα 1.7 [31]

Τα αέρια που απελευθερώνονται από τα ηφαίστεια δίνουν αφορμή για τις πολυάριθμες επιδράσεις στο κλίμα, το περιβάλλον, και τους ανθρώπους.

Μια στήλη τέφρας δημιουργήθηκε από την έκρηξη του Mount Pinatubo, ένα ηφαίστειο στις Φιλιππίνες στο ηφαιστειακό τόξο Luzon, στις 12 Ιουνίου του 1991.

Η τελική έκρηξη του Mount Pinatubo πραγματοποιήθηκε τρεις μέρες αργότερα, στις 15 Ιουνίου του 1991, και ήταν μία από τις μεγαλύτερες εκρήξεις του αιώνα.

Το γεγονός διάρκεσε περίπου 9 ώρες και εκτοξεύθηκαν πάνω από ένα κυβικό μίλι βραχώδη υλικά. Απελευθέρωσε ένα σύννεφο διοξειδίου του θείου 20 εκατομμύρων τόνων στη στρατόσφαιρα σε ένα ύψος περισσότερο από 20 μίλια. Ήταν το μεγαλύτερο σύννεφο διοξειδίου του θείου που παρουσιάστηκε από το 1978, όταν ξεκίνησαν τέτοιου είδους παρατηρήσεις από δορυφόρους.

Θεωρείται ότι από τα αεροζόλ που απελευθερώθηκαν προκλήθηκε η μεγαλύτερη διαταραχή του αιώνα στην στρατόσφαιρα, αν και μικρότερη από τις διαταραχές που εκτιμήθηκαν από τις εκρήξεις των Tambora το 1815 και Krakatau το 1883. Τα αεροζόλ θειικού άλατος, που διαμορφώθηκαν στη στρατόσφαιρα από το διοξείδιο του θείου στο σύννεφο του Pinatubo, αύξησαν την αντανάκλαση της ακτινοβολίας από τον ήλιο πίσω στο διάστημα. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ψύξη της επιφάνειας της Γης κατά $1.3^{o}F$ για τα επόμενα 3 έτη μετά την έκρηξη. Επίσης τα αερολύματα θειικού άλατος επιτάχυναν τις χημικές αντιδράσεις που, μαζί με τα αυξανόμενα στρατοσφαιρικά επίπεδα χλωρίου λόγω της ανθρωπογενής ρύπανσης με χλωροφλωροάνθρακες (CFC), οδήγησαν στην καταστροφή του όζοντος αλλά και στα χαμηλότερα επίπεδα όζοντος που καταγράφηκαν ποτέ στη στρατόσφαιρα μέχρι σήμερα.

Ένα σημαντικό συστατικό της έρευνας όσον αφορά τα ηφαιστεικά αέρια περιλαμβάνει τη μέτρηση των ποσοτήτων αερίου που τα ηφαίστεια απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα. Τα τεράστια ποσά ηφαιστειακών αερίων, αεροζόλ και τέφρας εγχέονται στη στρατόσφαιρα κατά τη διάρκεια δυνατών εκρήξεων. Μερικά αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, είναι αέρια θερμοκηπίου, δηλαδή ενισχύουν την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου, ενώ άλλα, όπως το διοξείδιο του θείου, μπορούν να προκαλέσουν μια ψύξη παγκόσμιας κλίμακας, την καταστροφή όζοντος, και το μολυσμένο αέρα γνωστό ως ηφαιστειακή αιθαλομίχλη ή «vog». Οι μελέτες των ηφαιστειακών εκπομπών επιτρέπουν στους επιστήμονες να συγκρίνουν την ηφαιστειακή παραγωγή αερίου με τις ανθρωπογενείς

εκπομπές για να αξιολογήσουν τα αποτελέσματα προηγούμενων και μελλοντικών εκρήξεων στο κλίμα της Γης.

Τα ηφαιστειακά αέρια μπορεί επίσης να είναι άμεσα επιβλαβή στους ανθρώπους, τα ζώα, τα φυτά, τις γεωργικές συγκομιδές, και τις ιδιοκτησίες. Συνήθως, οι κίνδυνοι από τα ηφαιστειακά αέρια είναι πιο καταστροφικοί στις περιοχές που περιβάλλουν τα ηφαίστεια. Αλλά αυτοί οι κίνδυνοι μπορούν να εμμείνουν και για τις μεγάλες αποστάσεις μετά από τις μεγάλες εκρήξεις, ή από ηφαίστεια που εκτοξεύουν πλούσιο σε αέρια μάγμα.

Οι κίνδυνοι για την υγεία κυμαίνονται από τους μικρότερους ως τους πιο απειλητικούς για τη ζωή. Η έκθεση στα όξινα αέρια όπως το διοξείδιο του θείου, το σουλφίδιο υδρογόνου, και το υδροχλώριο μπορεί να βλάψει τα μάτια και τις βλεννώδεις μεμβράνες μαζί με το αναπνευστικό σύστημα και, υπό ακραίες συνθήκες, μπορεί να οδηγήσει στο θάνατο. Οι επιπτώσεις στην υγεία από έκθεση σε παρατεταμένες περιόδους ηφαιστειακής αιθαλομίχλης δεν είναι ικανοποιητικά τεκμηριωμένες, αλλά οι κοινές παρατηρήσεις περιλαμβάνουν πονοκέφαλους, κούραση, αναπνευστικές δυσκολίες και αλλεργικές αντιδράσεις. Η τοξικότητα του μονοξειδίου του άνθρακα είναι γνωστή, αν και είναι σπάνια αρκετό στα ηφαιστειακά αέρια ώστε να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα. Πολύ σοβαρός κίνδυνος μπορεί να εμφανιστεί υπό ορισμένες συνθήκες από τις ηφαιστειακές εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι βαρύτερο από τον αέρα και μπορεί να συγκεντρωθεί στις χαμηλές και κακώς αερισμένες περιοχές. Σχεδόν δύο χιλιάδες άνθρωποι έχουν πεθάνει από ασφυξία εξαιτίας του διοξειδίου του άνθρακα κοντά στα ηφαίστεια τις προηγούμενες δύο δεκαετίες, οι περισσότεροι των οποίων ήταν στο Καμερούν, στην Αφρική, και στην Ινδονησία.
Τα ηφαιστειακά αέρια μπορούν επίσης να βλάψουν σοβαρά τη βλάστηση. Η άμεση έκθεση στο συγκεντρωμένο ηφαιστειακό αέριο ή η μακροπρόθεσμη έκθεση στο αραιό ηφαιστειακό αέριο είναι θανατηφόρα στους περισσότερους τύπους φυλλωμάτων.

Τα σύννεφα καπνού από τα ηφαίστεια περιέχουν επίσης σταγονίδια νερού στα οποία τα όξινα αέρια διαλύονται. Τα περισσότερα από αυτά τα σταγονίδια πέφτουν τελικά στη γη ως όξινη βροχή, αλλά όταν παραμένουν στην ατμόσφαιρα, μπορούν επίσης να

προκαλέσουν τη διάβρωση της επιφάνειας των υλικών και των μηχανών των αεροσκαφών. Ο εξοπλισμός επικοινωνιών, τα αγροτικά μηχανήματα, τα οχήματα, και άλλα μεταλλικά αντικείμενα διαβρώνονται όταν εκτίθενται στα ηφαιστειακά αέρια ή την όξινη βροχή. Η επίμονη όξινη βροχή αναγκάζει τα γαλβανισμένα καρφιά ή την ύλη συγκολλήσεως μολύβδου στα συστήματα συλλογής νερού προκαλεί την επιδείνωση και την απελευθέρωση τοξικών μετάλλων στο πόσιμο νερό. **[10]**, **[27]**

Η εποχικότητα στις εκρήξεις προσθέτει άλλο ένα κομμάτι στο πάζλ της δραστηριότητας στα βάθη της Γης, που φανερώνει ότι αλλαγές στο περιβάλλον, δηλαδή στον καιρό, στο κλίμα και στη στάθμη της θάλασσας, επηρεάζουν τα ηφαίστεια όσο και τα ηφαίστεια επιδρούν στο περιβάλλον.

Επιστήμονες θεωρούν ότι οι ηφαιστειακές εκρήξεις είναι πιθανότερο να εμφανιστούν όταν είναι χειμώνας στο Βόρειο ημισφαίριο, και λιγότερο κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών - μια ανακάλυψη που θα μπορούσε μια μέρα να βοηθήσει να σωθούν πολλές ζωές, από τους περίπου 500 εκατομμύρια ανθρώπους που ζουν κοντά στα ηφαίστεια.

Κάθε χρόνο σε, περίπου, 60 ηφαίστεια ρέει η λάβα ή εκσφενδονίζονται υπέρθερμα αέρια και τέφρα χιλιόμετρα ψηλά στον αέρα. Οι David Pyle, Ben Mason και άλλοι μελέτησαν τα ιστορικά στοιχεία από περισσότερες από 3.200 εκρήξεις, μεταξύ του 1700 και 1999. Διαπίστωσαν ότι από τις Άνδεις έως την Αλάσκα, και γύρω από το Ηφαιστειακό Δακτύλιο του Ειρηνικού, οι βίαιες εκρήξεις και οι εκρήξεις της λάβας είναι 18% πιθανότερο να συμβούν μεταξύ του Νοεμβρίου και του Μαρτίου απ' ότι κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών.

Η πρόβλεψη της έκρηξης είναι ακόμα μια αβέβαιη επιστήμη. Αλλά υπάρχουν άλλοι λόγοι για την έρευνα. Για δεκαετίες, οι επιστήμονες του κλίματος έχουν υποψιαστεί μια μακροχρόνια σύνδεση μεταξύ των κλιματικών προτύπων και της ηφαιστειακής δραστηριότητας. Το 95% των ηφαιστείων βρίσκεται κοντά στη θάλασσα γι' αυτό και επηρεάζονται από την κίνηση των νερών.**[28]**

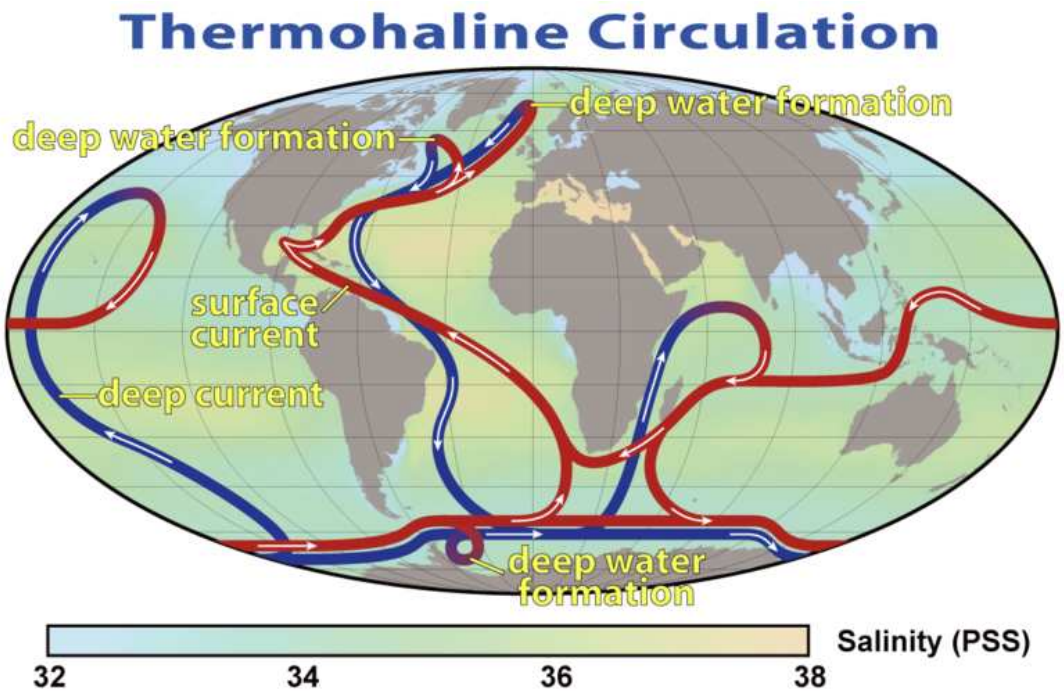
1.7 Αλλαγές στο ρεύμα του κόλπου του Μεξικού

Ερευνητές για την αλλαγή του κλίματος έχουν ανιχνεύσει τα πρώτα σημάδια μιας επιβράδυνσης στο Ρεύμα του Κόλπου - το ωκεάνιο ρεύμα που εμποδίζει τη Μεγάλη Βρετανία και την Ευρώπη από το να παγώσει. Η ταχύτητα του Ρεύματος επιβραδύνεται, επειδή το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει εξασθενήσει έναν από τους 'κινητήρες' του - τη βύθιση παγωμένου νερού στη θάλασσα της Γροιλανδίας - στο ένα τέταρτο και λιγότερο της προηγούμενης ισχύος του.

Τα νερά των ωκεανών στην επιφάνεια θερμαίνονται στους τροπικούς και στη συνέχεια κινούνται προς τους πόλους – καθοδηγούμενα από τους ανέμους και την περιστροφή της γης – όπου χάνουν τη θερμότητά τους, αυξάνεται η αλατότητά τους, γίνονται πυκνότερα, καταβυθίζονται και συνεχίζουν την κυκλοφορία μέσα στους ωκεανούς. Έως και 1.000 χρόνια είναι απαραίτητα για την ολοκλήρωση της επανακυκλοφορίας των νερών στους ωκεανούς.

Από τα ωκεάνια ρεύματα, το ρεύμα του κόλπου του Μεξικού είναι ένα από τα ισχυρότερα. Μεταφέρει θερμότητα στην Ευρώπη και στη Βόρειο Αμερική. Στην πραγματικότητα, η μέση ετήσια θερμοκρασία στη Βορειοδυτική Ευρώπη είναι γύρω στους 9°C υψηλότερη σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία σε αυτό το γεωγραφικό πλάτος, λόγω του ρεύματος του κόλπου. Συγκεκριμένα το Ρεύμα του Κόλπου, που ξεκινάει από τον Κόλπο του Μεξικού, θερμαίνεται από τον τροπικό ήλιο και ρέει προς τον Βορρά, στη διαδρομή διαχωρίζεται και μερικά ρεύματα οδεύουν προς τη Μεγάλη Βρετανία και την Βόρειο δυτική Ευρώπη ανεβάζοντας τη θερμοκρασία τους. Το κύριο Ρεύμα φτάνει στην Γροιλανδία, στο οποίο ενσωματώνεται το αλάτι που απελευθερώνεται από το νεοσχηματιζόμενο θαλάσσιο πάγο, γίνεται βαρύτερο και βυθίζεται. Καθώς βυθίζεται, στην παγοκρηπίδα του Odden, οδηγείται προς το Νότο περισσότερο νερό, με αποτέλεσμα να διατηρείται η ροή του Ρεύματος του Κόλπου, δηλαδή, κανονικά τα αλμυρά ρεύματα ψυχρού νερού (οι γνωστές καμινάδες) βυθίζονται, ώστε να σχηματιστούν υποθαλάσσια ρεύματα προς το Νότο (όπου θα θερμανθούν) και να συνεχιστεί το φαινόμενο. Το φαινόμενο αυτό όμως τώρα ανατρέπεται, γιατί η θέρμανση εμποδίζει την ικανοποιητική βύθιση του αλμυρού ψυχρού νερού, ώστε να ξεκινήσει η διαδικασία επιστροφής του στον Τροπικό Κύκλο.

Το παρακάτω διάγραμμα του 'παγκόσμιου ιμάντα μεταφοράς' δείχνει τον τρόπο με τον οποίο οι ωκεανοί μεταφέρουν θερμική ενέργεια από τους τροπικούς προς τους πόλους και το αντίστροφο, μέσω του οποίου ρυθμίζεται το κλίμα της γης.



Εικόνα 1.8 : Ρεύματα κυκλοφορίας θερμότητας και αλατότητας. [11]

Στο σχήμα, τα θερμά επιφανειακά νερά έχουν κόκκινο χρώμα και τα κρύα νερά του πυθμένα έχουν μπλε χρώμα. Σε γενικές γραμμές, οι ωκεανοί διαχωρίζονται σε δύο στρώματα: ένα θερμό, επιφανειακό στρώμα που είναι πολύ πιο λεπτό σε σχέση με το κρύο, βαρύτερο και κατώτερο στρώμα. Το κρύο, κατώτερο στρώμα είναι σημαντικό, επειδή κατακρατά μεγάλες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων που αποτελούν και τη βάση της θαλάσσιας τροφικής αλυσίδας.

Η αποδυνάμωση, που προκλήθηκε προφανώς λόγω της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας, θα μπορούσε να φέρει μεγάλες αλλαγές στο ρεύμα κατά τα επόμενα χρόνια ή δεκαετίες. Και αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει τη Μεγάλη Βρετανία και τις χώρες της βορειοδυτικής Ευρώπης σε μια απότομη πτώση των θερμοκρασιών. Μια τέτοια αλλαγή έχει προβλεφθεί καιρό τώρα από τους επιστήμονες. Μετά από νέα έρευνα που πραγματοποιήθηκε κάτω από τη θάλασσα της Γροιλανδίας, στους αιώνιους πάγους της Αρκτικής παρατηρήθηκαν οι αποδείξεις του φαινομένου αυτού. Πρόκειται για την αρχή μιας κλιματικής αναστάτωσης.

Συγκεκριμένα μέχρι πριν από λίγο καιρό, υπήρχαν γιγάντιες "καμινάδες" στη θάλασσα, στις οποίες στήλες κρύου, πυκνού νερού βυθίζονταν από την επιφάνεια σε βάθος 3.000 μέτρων, όμως τώρα έχουν σχεδόν εξαφανιστεί (αναφέρει ο καθηγητής Wadhams της ωκεάνιας φυσικής στο πανεπιστήμιο του Cambridge). Καθώς το νερό βυθίζεται αντικαθίσταται από ζεστό νερό που φθάνει από τον Νότο, διατηρώντας έτσι μια συνεχή κυκλοφορία. Εάν ο μηχανισμός αυτός επιβραδυνθεί, πάει να πει ότι λιγότερη θερμότητα φθάνει στην Ευρώπη.

Μια τέτοια αλλαγή θα μπορούσε να ασκήσει μεγάλη επίδραση στη Μεγάλη Βρετανία, η οποία βρίσκεται στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος με τη Σιβηρία και κανονικά αν δεν υπήρχε το Ρεύμα θα ήταν πολύ πιο ψυχρή.

Προβλέπεται δε ότι η επιβράδυνση του Ρεύματος του Κόλπου είναι πιθανό να συνοδευτεί και από άλλα αποτελέσματα, όπως η πλήρης τήξη του αρκτικού πάγου κατά το καλοκαίρι το νωρίτερο το 2020 και σχεδόν βέβαια μέχρι το 2080. Αυτό θα ήταν καταστροφή για την αρκτική άγρια φύση, όπως η πολική αρκούδα, η οποία θα μπορούσε ακόμα και να εξαφανιστεί.

Μετά από έρευνες και μετρήσεις κάτω από τον βόρειο πολικό πάγο μετρήθηκε πως ο πάγος έχει γίνει λεπτότερος κατά 46% στα 20 προηγούμενα χρόνια. Βάσει των αποτελεσμάτων από αυτές τις έρευνες εστιάζεται η προσοχή στο κρηπίδωμα του πάγου Odden, το οποίο πρέπει να αυξάνεται κάθε χειμώνα στη θάλασσα της Γροιλανδίας και να υποχωρεί το καλοκαίρι. Η αύξηση αυτού του κρηπιδώματος θα πρέπει να προκαλεί τον ετήσιο σχηματισμό των βυθισμένων υδάτινων στηλών. Καθώς το θαλάσσιο νερό παγώνει για να σχηματίσει το στρώμα του πάγου, οι κρύσταλλοι του πάγου αποβάλλουν το άλας τους στο περιβάλλον νερό, καθιστώντας το έτσι βαρύτερο από το υποκείμενο νερό.

Εντούτοις, το κρηπίδωμα του πάγου Odden έχει σταματήσει να σχηματίζεται. Για τελευταία φορά εμφανίστηκε πλήρως το 1997. Στο παρελθόν ήταν ορατές 9 έως 12 γιγαντιαίες στήλες κάτω από το κρηπίδωμα κάθε χρονιά. Στην πιο πρόσφατη έρευνα που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή βρέθηκαν μόνο δύο και ήταν τόσο αδύνατες που το βυθισμένο νερό δεν θα μπορούσε να φθάσει στο βυθό.

Η ακριβής επίδραση τέτοιων αλλαγών είναι δύσκολο να προβλεφθεί επειδή τα ρεύματα και τα καιρικά συστήματα θέλουν χρόνια μέχρι να ενεργοποιηθούν και επειδή υπάρχουν δύο άλλες περιοχές γύρω από το Βόρειο Ατλαντικό, όπου το νερό βυθίζεται, βοηθώντας έτσι να διατηρηθεί η κυκλοφορία. Λίγα είναι γνωστά για το τι επιπτώσεις έχει σε αυτές η αλλαγή του κλίματος.

Η κυκλοφορία των ρευμάτων στον Ατλαντικό Ωκεανό αναστατώνεται, επειδή η βύθιση του ψυχρού νερού στον Βόρειο Ατλαντικό επιβραδύνεται. Εάν συνεχιστεί το φαινόμενο, θα γίνει πιο ψυχρό το κλίμα της βόρειας Ευρώπης.
Μια δυνατότητα είναι ότι η Ευρώπη θα παγώσει, μια άλλη είναι ότι η επιβράδυνση του Ρεύματος του Κόλπου μπορεί να κρατήσει την Ευρώπη ψυχρή καθώς ο υπόλοιπος κόσμος θα θερμαίνεται - αλλά με περισσότερα ακραία καιρικά φαινόμενα.
[11], [12]

1.8 Η θεωρία του Milankovitch

Είναι ευρέως γνωστό ότι η εναλλαγή των 4 εποχών οφείλεται στην κλίση που παρουσιάζει ο άξονας περιστροφής της Γης. Αν ο άξονας ήταν κάθετος στην εκλειπτική, δηλαδή στο επίπεδο περιφοράς της Γης γύρω από τον Ήλιο, δε θα υπήρχαν οι γνωστές μας 4 εποχές. Γνωρίζουμε επίσης ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ της Γης και του Ήλιου, που είναι γνωστή ως ***τροχιακή παράλλαξη,*** αλλάζει τη διεύθυνση του άξονα, τις αποστάσεις ανάμεσα στη Γη και στον Ήλιο. Συνεπώς αλλάζει και το κλίμα της Γης. Οι αλλαγές στην κλίση επηρεάζουν το πόσο έντονες φαίνονται οι εποχές. Όσο πιο μικρή είναι η κλίση τόσο πιο ήπιες είναι οι εποχές(δροσερά καλοκαίρια και θερμότεροι χειμώνες). Αντιθέτως μεγάλη κλίση σημαίνει βαρύτερες εποχές.

Η αστρονομική θεωρία της εναλλαγής των εποχών και γενικότερα των κλιματικών αλλαγών, αναπτύχθηκε από το Σέρβο αστρονόμο-αστροφυσικό Milutin Milankovitch (1879-1958). Ο Milankovitch αφιέρωσε τη σταδιοδρομία του στην ανάπτυξη μιας μαθηματικής θεωρίας για το κλίμα. Βασίστηκε δε στις εποχιακές καθώς και στις μεταβολές της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει στη Γη ανάλογα με το πλάτος ενός τόπου. Η εργασία του Milankovitch ήταν μια προσπάθεια για την εξήγηση των Εποχών του Πάγου και την έχτισε πάνω σε προηγούμενες αστρονομικές θεωρίες για την μεταβολή του κλίματος, από τους Joseph Adhemar και James Croll τον 19ο αιώνα.

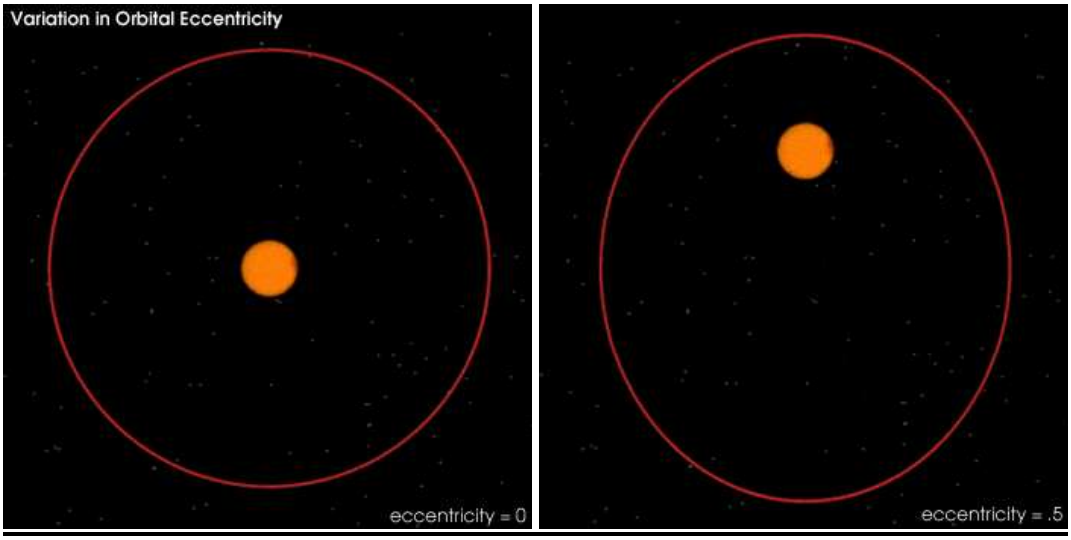
Η θεωρία Milankovitch, αναφέρει ότι καθώς η Γη κινείται στο διάστημα γύρω από τον ήλιο, συνδυάζονται οι περιοδικές μεταβολές τριών στοιχείων της γεωμετρίας Γης - Ήλιου, για να δημιουργήσουν περιοδικές μεταβολές στο ποσό της ηλιακής ενέργειας που φθάνει στη Γη:

- Μεταβολές στην εκκεντρότητα της γήινης τροχιάς, δηλαδή στη μορφή της τροχιάς γύρω από τον ήλιο.
- Αλλαγές στην λόξωση της ελλειπτικής, δηλαδή αλλαγές στη γωνία που σχηματίζει ο γήινος άξονας με το επίπεδο της γήινης τροχιάς.
- Μετάπτωση των ισημεριών δηλαδή η μεταβολή στην κατεύθυνση του γήινου άξονα της περιστροφής, δηλαδή ο άξονας της περιστροφής συμπεριφέρεται όπως ο άξονας περιστροφής μιας σβούρας, σχηματίζοντας έναν κύκλο στην ουράνια σφαίρα σε 26.000 χρόνια.

Οι άνωθι περίοδοι των τροχιακών κινήσεων ονομάζονται συνολικά ***κύκλοι του Milankovitch.*** **[13], [14]**

1.8.1 Μεταβολές στην εκκεντρότητα

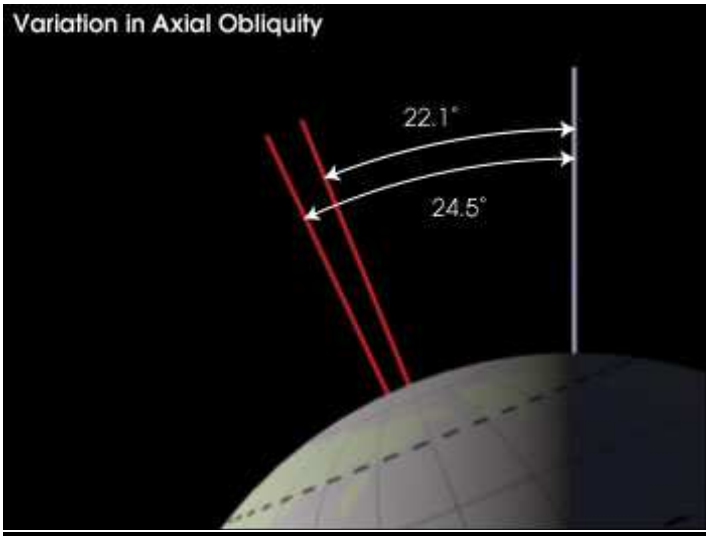
Η εκκεντρότητα είναι η αλλαγή στη μορφή της γήινης τροχιάς γύρω από τον ήλιο. Η μορφή της τροχιάς της Γης παρουσιάζει μια περιοδικότητα ανάμεσα σε μια ελλειπτική τροχιά υψηλής εκκεντρότητας μέχρι μιας σχεδόν κυκλικής (χαμηλή εκκεντρότητα). Η περίοδος της μεταβολής του σχήματος είναι μεταξύ 90.000 και 100.000 ετών. Όταν η τροχιά είναι ιδιαίτερα ελλειπτική, το ποσό της ηλιακή ενέργειας ανά μονάδα επιφανείας που λαμβάνεται στο περιήλιο είναι 20 έως 30% μεγαλύτερη από ό,τι στο αφήλιο, με συνέπεια να υπάρχει ένα ουσιαστικά διαφορετικό κλίμα από αυτό που έχουμε σήμερα. **[13], [14]**



Εικόνα 1.9

1.8.2 Μεταβολές στην λόξωση της ελλειπτικής

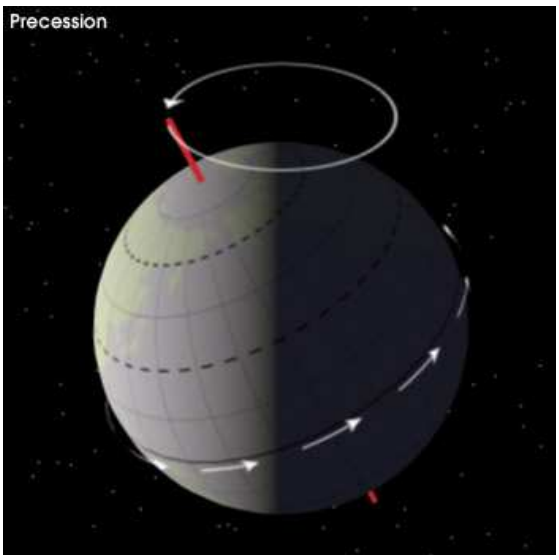
Με μια περίοδο 42.000 ετών, η Γη ταλαντεύεται καθώς αλλάζει και η γωνία του άξονα της με το επίπεδο της εκλειπτικής μεταξύ 22.1° και 24.5°. Η μείωση της γωνίας από την τρέχουσα τιμή των 23.45° σημαίνει λιγότερες εποχιακές διαφορές μεταξύ των βόρειων και νότιων ημισφαιρίων, ενώ μια μεγαλύτερη γωνία σημαίνει μεγαλύτερες εποχιακές διαφορές (δηλ. ένα θερμότερο καλοκαίρι και ένα πιο βαρύ χειμώνα). Τα δροσερά καλοκαίρια (μικρότερη κλίση), θεωρούνται υπεύθυνα για τη διατήρηση του χιονιού και του πάγου όλο το χρόνο στα ψηλά γεωγραφικά πλάτη, δημιουργώντας τελικά τεράστια παγόβουνα. Υπάρχουν θετικές ανατροφοδοτήσεις στο σύστημα του κλίματος επίσης, επειδή μια Γη που καλύπτεται με περισσότερο χιόνι ανακλά περισσότερη ενέργεια του ήλιου στο διάστημα, προκαλώντας έτσι πρόσθετη ψύξη. **[13], [14]**



Εικόνα 1.10

1.8.3 Μετάπτωση των ισημεριών

Οι μεταβολές στην κατεύθυνση του άξονα της Γης αλλάζουν τις ημερομηνίες του περιηλίου και του αφηλίου, και συνεπώς αυξάνουν την εποχιακή αντίθεση στο ένα ημισφαίριο και μειώνουν την εποχιακή αντίθεση στο άλλο ημισφαίριο. Η μετάπτωση των ισημεριών οφείλεται στις βαρυτικές ροπές που ασκούνται από το φεγγάρι και τον Ήλιο στην περιστροφή της ελαφρώς πεπλατυσμένης Γης. Σε 12.000 χρόνια από τώρα το βόρειο ημισφαίριο θα έχει καλοκαίρι το Δεκέμβριο και χειμώνα τον Ιούνιο, επειδή ο άξονας της Γης θα δείχνει στο αστέρι Βέγα αντί του Βόρειου Πολικού Αστέρα. Αυτή η εποχιακή αντιστροφή δεν θα συμβεί ξαφνικά αλλά οι εποχές θα μετατοπιστούν βαθμιαία κατά τη διάρκεια μιας περιόδου χιλιάδων ετών. Η περίοδος της μετάπτωσης αυτής είναι περίπου 26.000 χρόνια και για πρώτη φορά μελετήθηκε από τον ***Έλληνα αστρονόμο Ίππαρχο το 120 π.Χ***. **[13], [14]**



Εικόνα 1.11

1.8.4 Οι κύκλοι του Milankovitch

Ο Milankovitch είπε ότι ο συνδυασμός μερικών τμημάτων αυτών των προηγουμένων κυκλικών παραλλαγών και η σύγχρονη εμφάνισή τους, είναι η αιτία για τις μεταβολές του Γήινου κλίματος. Ο συνδυασμός δηλαδή του κύκλου των 41.000 ετών της κλίσης και των κύκλων μετάπτωσης των 22.000 ετών, συν την μικρότερη εκκεντρότητα, έχει επιπτώσεις στη σχετική ένταση του καλοκαιριού και του χειμώνα, και θεωρείται ότι μπορεί να ελέγχει την αύξηση και την υποχώρηση των παγόβουνων. Τα δροσερά καλοκαίρια στο βόρειο ημισφαίριο, που υπάρχει περισσότερη στεριά, επιτρέπουν στο χιόνι και τον πάγο να μένουν και κατά τον επόμενο χειμώνα. Αυτό βοηθάει στην ανάπτυξη μεγάλων παγόβουνων για εκατοντάδες έως χιλιάδες χρόνων. Αντιθέτως, τα θερμότερα καλοκαίρια μειώνουν την έκταση των παγόβουνων τήκοντας περισσότερο πάγο από τη συσσώρευση που έγινε κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ο Milankovitch με τη βοήθεια ενός μαθηματικού μοντέλου υπολόγισε τις διαφορές, στα διάφορα πλάτη, της ηλιακής έκθεσης ανά μονάδα επιφανείας και την αντίστοιχη θερμοκρασία επιφάνειας, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 600.000 ετών. Προσπάθησε, έπειτα, να συσχετίσει αυτές τις αλλαγές με την αύξηση και την υποχώρηση των εποχών πάγου. Για να το πετύχει ο Milankovitch δέχτηκε ότι οι αλλαγές στην ακτινοβολία σε μερικά γεωγραφικά πλάτη και οι εποχές είναι σημαντικότερες στην αύξηση και την διάσπαση των παγόβουνων από αυτές σε κάποιες άλλες περιοχές. Η θεωρία του προτείνει ότι η αρχική αιτία των Εποχών του Πάγου είναι η συνολική θερινή ακτινοβολία που πέφτει στις βόρειες περιοχές (πλησίον των 65 μοιρών), όπου στο παρελθόν έχουν σχηματιστεί μεγάλα παγόβουνα. Οι προηγούμενες Εποχές του Πάγου συσχετίζονται αρκετά με την ηλιακή έκθεση στις 65ο βόρεια. Οι αστρονομικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι στις 65ο η θερινή ηλιακή έκθεση πρέπει να αυξηθεί βαθμιαία κατά τη διάρκεια των επόμενων 25.000 ετών, και ότι δεν αναμένεται να προκληθεί μια νέα Εποχή Πάγου στα επόμενα 100.000 έτη. **[13], [14]**

1.8.5 Μειονεκτήματα της θεωρίας του Milankovitch

1. Οι κύκλοι του Milankovitch δεν λαμβάνουν υπ'όψην τον παράγοντα άνθρωπο.

2. Πρόσφατα στοιχεία, που δημοσιεύτηκαν το 2000, δείχνουν ότι το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα μπορεί να διαδραματίζει έναν κύριο ρόλο ενισχυτικό της τροχιακής επίδρασης. Εντούτοις, μερικοί ερευνητές έχουν ακόμα αμφιβολίες για τη σύζευξη μεταξύ του κύκλου του κλίματος των 100.000 ετών και των τροχιακών παραλλαγών.

3. Οι ακριβείς μηχανισμοί από τους οποίους σχετικά μέτριες μεταβολές στην κατεύθυνση της τροχιάς και των αξόνων της Γης οδηγούν σε τέτοια μεγάλα αποτελέσματα, όπως οι Εποχές του Πάγου δεν αποδεικνύονται ικανοποιητικώς.

4. Μπορεί ο κύκλος του περιηλίου των 21.000 ετών και ο κύκλος της κλίσης των 41.000 ετών να παίζουν ρόλο στο κλίμα της Γης κατά το παρελθόν, αλλά ο κυρίαρχος κύκλος κλίματος φαίνεται να έχει μια περίοδο περίπου 100.000 ετών. **[13], [14]**

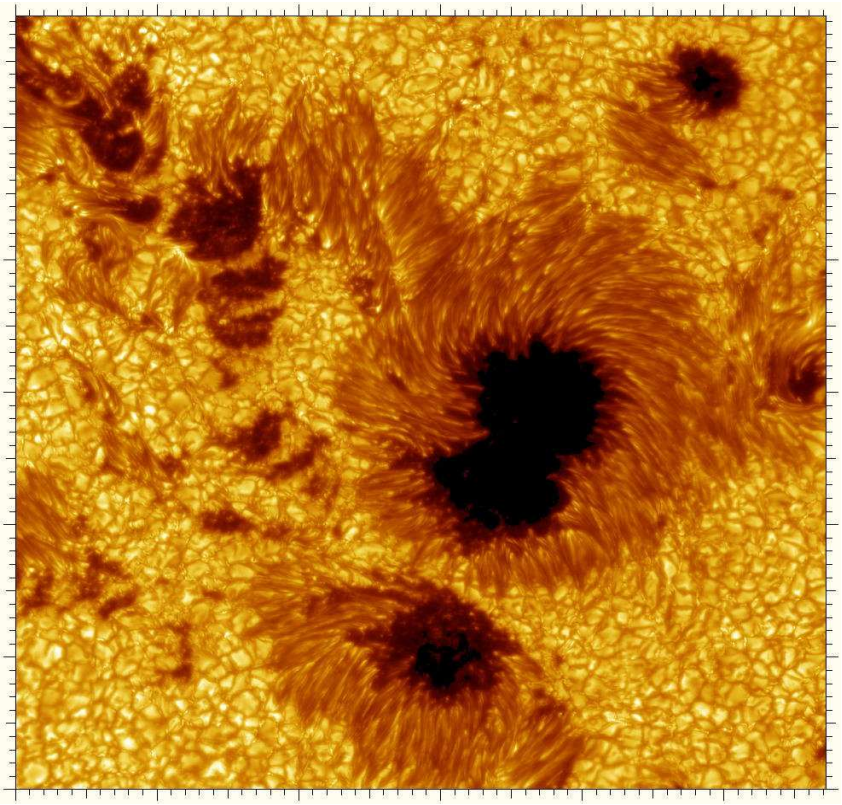
1.9 Ηλιακές κηλίδες

Αν παρατηρήσουμε τον ήλιο (ακόμα και με μικρό τηλεσκόπιο) με ηλιακό φίλτρο εύκολα θα διακρίνουμε τις ηλιακές κηλίδες. Είναι μικρές μαύρες περιοχές στην επιφάνεια του ήλιου. Ο λόγος που οι ηλιακές κηλίδες φαίνονται μαύρες είναι η χαμηλή θερμοκρασία τους σε σχέση με τη θερμοκρασία της φωτόσφαιρας που τις περιβάλει. Υπολογίζεται ότι η θερμοκρασία της σκιάς είναι περίπου 4100 K ενώ της φωτόσφαιρας είναι περίπου 5800 K. Αν απομονώναμε μια ηλιακή κηλίδα από το λαμπρό υπόβαθρο της φωτόσφαιρας θα την βλέπαμε να λάμπει με φαινόμενο μέγεθος -12. Το φαινόμενο μέγεθος του ηλιακού δίσκου είναι -26,74. Η πρώτη παρατήρηση των ηλιακών κηλίδων έγινε το 1610 από τον Γαλιλαίο και έκτοτε συνεχίζεται η παρακολούθησή τους μέχρι σήμερα. Συνήθως εμφανίζονται ανάμεσα στους κόκκους της φωτόσφαιρας, για να αναπτυχθούν στη συνέχεια παίρνοντας μεγάλες διαστάσεις ως και πάνω από 100.000 χλμ. Σε μερικές περιπτώσεις καταλαμβάνουν τεράστια έκταση έως και 15 μοίρες στον ηλιακό δίσκο. Οι πρώτοι παρατηρητές των ηλιακών κηλίδων ήταν οι εξής: ο Γαλιλαίος, ο Harriot, ο Fabricious και ο Scheiner ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο.

Σε κάθε ηλιακή κηλίδα διακρίνουμε τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τη **σκιά (umbra)**: μαύρη κεντρική περιοχή.
- Την **παρασκιά (penumbra)**: λιγότερο σκοτεινή ζώνη γύρω από τη σκιά.
- Τα **νήματα (filaments)**: διακρίνονται μέσα στην παρασκιά και έχουν κατεύθυνση ακτινική προς το κέντρο της σκιάς. **[29]**

Τα χαρακτηριστικά αυτά διακρίνονται εύκολα στην **εικόνα 1**:

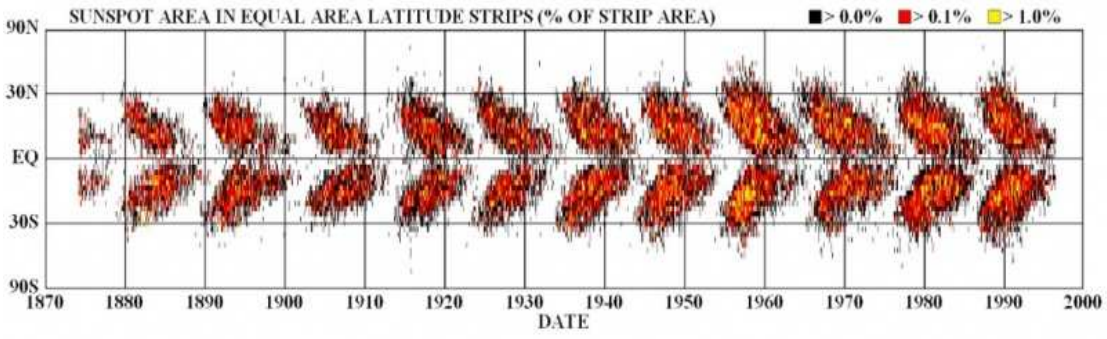


Εικόνα 1.12

Οι κηλίδες εμφανίζονται στην αρχή σχεδόν πάντα σε ομάδες σαν μαύρες κουκίδες σε απόσταση 1.000 χλμ μεταξύ τους η μια από την άλλη. Μετά απομακρύνονται και γρήγορα φτάνουν στο μέγιστο μέγεθός τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις διακρίνουμε σε κάθε ομάδα δυο κηλίδες που είναι σαφώς μεγαλύτερες από τις άλλες και βρίσκονται στο ίδιο περίπου ηλιακό πλάτος. Από αυτές τις δύο κηλίδες αυτή που προηγείται κατά τη διεύθυνση της περιστροφής του ήλιου λέγεται **ρ-κηλίδα** (*preceding-ηγουμένη*) ενώ η άλλη ονομάζεται **f-κηλίδα** (*Following-επόμενη*). Το μέγεθος μιας κηλίδας είναι περίπου 10.000χλμ ενώ το συνολικό μήκος μιας ομάδας στην οποία ανήκει είναι περίπου 100.000χλμ. Σπάνια η διάμετρος μιας μεγάλης κηλίδας μπορεί να φτάσει στα 80.000 χλμ και τότε μπορεί να γίνει ορατή κατά την ανατολή και δύση του ηλίου με γυμνό μάτι. Ο χρόνος ζωής των κηλίδων είναι για τις πολύ μικρές μερικές μέρες ενώ για τις μεγαλύτερες κηλίδες ή ομάδες κηλίδων είναι μέχρι και 100 μέρες, δηλαδή 4 ηλιακές περιστροφές. Στατιστικά όμως το 95% του συνολικού αριθμού των ηλιακών κηλίδων έχει χρόνο ζωής μικρότερο από 11 μέρες. Οι κηλίδες συνήθως εμφανίζονται σε δυο ζώνες βόρεια και νότια από τον ηλιακό ισημερινό σε ηλιακό πλάτος ±5 μοίρες έως ±35 μοίρες. Η συχνότητα εμφάνισης και στα δυο ημισφαίρια είναι η ίδια.

1.9.1 Ενδεκαετής κύκλος και Διάγραμμα Maunder

Ο αριθμός των κηλίδων και των ομάδων κηλίδων που εμφανίζονται μεταβάλλεται με τον χρόνο. Συγκεκριμένα η εμφάνιση των κηλίδων παρουσιάζει έναν 11ετή κύκλο δραστηριότητας, δηλαδή ο αριθμός τους αυξάνεται και ελαττώνεται περιοδικά κάθε 11 χρόνια **(Εικόνα 1.13)**. Ωστόσο σε αυτό το σημείο έχουμε να παρατηρήσουμε το εξής. Το μαγνητικό πεδίο μιας κηλίδας εξέρχεται από τη σκιά της και εισέρχεται στην επιφάνεια του ήλιου σε μια γειτονική κηλίδα αντίθετης πολικότητας . Για το λόγο αυτό η πολικότητα της ηγούμενης κηλίδας είναι συνήθως διαφορετική από της επόμενης. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι η πολικότητα των ηγούμενων κηλίδων στο βόρειο ημισφαίριο είναι διαφορετική από αυτή στο νότιο ημισφαίριο. Η πολικότητα αυτή αντιστρέφεται κάθε 11 χρόνια περίπου με αποτέλεσμα ο κύκλος δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων να θεωρείται 22ετής πλέον και όχι 11ετής. Οι πρώτες κηλίδες ενός νέου κύκλου εμφανίζονται συνήθως σε μια πλατιά ζώνη που απέχει γύρω στις 40ο από τον ηλιακό ισημερινό. Καθώς όμως ο κύκλος εξελίσσεται οι κηλίδες μετατοπίζονται προς τον ισημερινό και τελικά τον πλησιάζουν μετά από 11 περίπου χρόνια. Συγχρόνως τότε εμφανίζονται οι πρώτες κηλίδες του νέου κύκλου με αντίθετη πολικότητα. Οι επιστήμονες κατέγραψαν την κατανομή των κηλίδων κατά ηλιογραφικό πλάτος. Η κατανομή αυτή είναι γνωστή σαν διάγραμμα πεταλούδας ή και ως διάγραμμα Maunder (εικόνα 3). Η θεωρία που ερμηνεύει το διάγραμμα της πεταλούδας είναι αυτή του Babcock. **[15]**, **[29]**



Εικόνα 1.13 [9vi]

1.9.2 Επιδράσεις των ηλιακών κηλίδων στη Γη

Οι επιστήμονες σήμερα έχουν ανακαλύψει πολλά σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι ηλιακές κηλίδες επιδρούν στην γη. Σύμφωνα με τον Dearborn, " η ηλιακή κηλίδα από μόνη της, η σκοτεινή περιοχή του ήλιου, δεν επιδρά στην γη. Εντούτοις, προάγεται από ένα μαγνητικό πεδίο, και εκείνο το μαγνητικό πεδίο όχι μόνο δεν σταματά , αλλά έρχεται στην επιφάνεια και επεκτείνεται έξω επάνω από την επιφάνεια….». Το καυτό υλικό που καλείται πλάσμα κοντά σε μια ηλιακή κηλίδα αλληλεπιδρά με τα μαγνητικά πεδία, και το πλάσμα μπορεί να εκραγεί επάνω και έξω από τον ήλιο, σε αυτό που καλείται ηλιακή φλόγα. Τα ενεργητικά μόρια, οι ακτίνες Χ και τα μαγνητικά πεδία από αυτές τις ηλιακές φλόγες βομβαρδίζουν τη γη σε αυτά που καλούνται γεωμαγνητικές θύελλες. Όταν αυτές οι θύελλες φθάνουν στη γη, έχουν επιπτώσεις σε μας με πολλούς τρόπους.

Συνήθως, το μαγνητικό πεδίο του ήλιου προστατεύει τη γη από το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών του ήλιου. Αλλά κατά τη διάρκεια των περιόδων έντονης δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων, που συμπίπτουν με τις ηλιακές φλόγες, η γεωμαγνητική ροή από τον ήλιο είναι πολύ ισχυρότερη. Οι μαγνητικές αυτές καταιγίδες παράγουν, θεαματικές επιδείξεις της αυγής Borealis και της αυγής Australis.

Συγκεκριμένα οι ηλιακές κηλίδες επιδρούν στη διαμόρφωση των γήινων κλιματολογικών συνθηκών καθώς και στην ανάπτυξη των δέντρων. Τα μέγιστα των ηλιακών κηλίδων συμπίπτουν με την μέγιστη ανάπτυξη των δέντρων (θερμή εποχή με άφθονες βροχοπτώσεις). Μια σημαντική αλλά μη αποδεδειγμένη εποχή είναι η εποχή του ελαχίστου Maunder περίοδος μεταξύ των ετών 1645-1715 που θεωρείται ότι συμπίπτει με την παντελή έλλειψη ηλιακών κηλίδων με το δριμύ ψύχος που επικρατούσε τότε σε όλο το βόρειο ημισφαίριο. Η εποχή αυτή τεκμηριώνεται από ιστορικά δεδομένα και ονομάζεται μικρή εποχή των παγετώνων κατά τη διάρκεια της οποίας τα ποτάμια πάγωναν και τα χιόνια παρέμεναν και στα χαμηλά υψόμετρα χωρίς να λιώνουν. Υπάρχουν βέβαια αποδείξεις ότι ο ήλιος διένυσε τέτοιες περιόδους και στο πιο μακρινό παρελθόν. Η σχέση μεταξύ της ηλιακής δραστηριότητας και του γήινου κλίματος διερευνάται ακόμη και σήμερα. **[16]**

1.9.3 Επιδράσεις των ηλιακών κηλίδων στο κλίμα της Γης

Ακόμα κι αν οι ηλιακές κηλίδες είναι σκοτεινότερες, οι πιο δροσερές περιοχές στην επιφάνεια του ήλιου, περίοδοι υψηλής δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων συνδέονται με μια πολύ μικρή αύξηση της συνολικής ενέργειας του ήλιου. Οι σκοτεινές περιοχές των ηλιακών κηλίδων περιβάλλονται από περιοχές αυξανόμενης φωτεινότητας, γνωστές ως κηλίδες ηλίου. Μερικά κομμάτια του ηλιακού φάσματος, ειδικά η υπεριώδης ακτίνα, παρουσιάζει μία μεγάλη αύξηση κατά τη διάρκεια της δραστηριότητας της ηλιακής κηλίδας. Ακόμα κι αν η υπεριώδης ακτινοβολία έχει πολύ λίγη συμβολή στη συνολική ενέργεια που προέρχεται από τον ήλιο, αλλάζει σε αυτόν τον τύπο ακτινοβολίας που μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στην ατμόσφαιρα της γης, ειδικά στην ενεργειακή ισορροπία και την χημεία της εξωτερικής ατμόσφαιρας. Εν τούτοις η σύνδεση μεταξύ της δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων και του κλίματος της γης συζητείται ακόμα, είναι γνωστό ότι μια περίοδος ασυνήθιστης χαμηλής δραστηριότητας των ηλιακών κηλίδων από 1645-1715, γνωστή ως Maunder Minimum, συνέπεσε με μια περίοδο εκτεταμένων κρύων χειμώνων και χαμηλών θερμοκρασιών στη δυτική Ευρώπη, αποκαλούμενη συχνά και ως " Μικρός Παγετώνας." Πιο πρόσφατα διαπιστώθηκε ότι ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων κατά τη διάρκεια 1861-1989 δείχνει έναν αξιοσημείωτο παραλληλισμό με την ταυτόχρονη μεταβολή στο βόρειο ημισφαίριο των μέσων θερμοκρασιών. Διαισθητικά θα μπορούσε να ειπωθεί ότι η συνολική ηλιακή ακτινοβολία μειώνεται, καθώς ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων αυξάνεται. Ωστόσο άμεσες δορυφορικές μετρήσεις της ακτινοβολίας έδειξαν ακριβώς το αντίθετο να συμβαίνει. Αυτό σημαίνει ότι οι περισσότερες ηλιακές κηλίδες μεταφέρουν περισσότερη ενέργεια στην ατμόσφαιρα, έτσι ώστε οι παγκόσμιες θερμοκρασίες να αυξάνονται. **[30]**

Σύμφωνα με τον Fischer, «Είναι αμφισβητούμενο εάν ο ηλιακός κύκλος έχει επίδραση στο κλίμα της γης. Ένα πράγμα που είναι σίγουρα γνωστό είναι ότι η ηλιακή δραστηριότητα, που είναι αυτό που καλούμε γενικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της ύπαρξης μαγνητικού πεδίου στον ήλιο, αλλάζει την φωτεινότητα του ήλιου -δηλαδή πόση ενέργεια βγαίνει από τον ήλιο-στο επίπεδο μερικών δεκάτων τοις εκατό. Αυτός θα μπορούσε να αλλάξει το κλίμα της γης με αυτόν τον κυκλικό τρόπο, αλλά αυτό έρχεται σε σύγκρουση." Η διαμάχη οφείλεται στην πολυπλοκότητα του κλίματος της γης. Είναι δύσκολο να διαλευκανθούν οι πολλοί παράγοντες που συμβάλλουν στην αλλαγή του κλίματος. που υφίστανται από τις αλλαγές στην ηλιακή

δραστηριότητα. Πρόσφατες έρευνες δείχνουν ότι η συνδυασμένη επίδραση των ηλιακών κηλίδων επέφερε αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία και η αύξηση των αερίων θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα προσφέρουν την καλύτερη εξήγηση για την άνοδο που παρατηρήθηκε στην παγκόσμια μέση θερμοκρασία κατά τον περασμένο αιώνα. Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο του παγκόσμιου κλίματος που βασιζόταν στην εξοικονόμηση ενέργειας, ο Lane κατασκεύασε ένα προφίλ του κλίματος που στηριζόταν στις συνδυασμένες αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου μεταξύ 1880 και 1993. Ανακάλυψαν ότι οι μεταβολές της θερμοκρασίας είχαν προβλέψει από το μοντέλο τους και αντιπροσώπευαν μέχρι και το 92% από τις αλλαγές της θερμοκρασίας που όντως είχαν παρατηρηθεί κατά τη διάρκεια της περιόδου - ένα εξαιρετικό αποτέλεσμα για την εν λόγω περίοδο. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν επίσης ότι η ευαισθησία του κλίματος στις επιπτώσεις της ηλιακής ακτινοβολία είναι περίπου 27% υψηλότερη σε σχέση με την ευαισθησία που προκαλείται από τα αέρια του θερμοκηπίου. Εντούτοις, περισσότερη έρευνα στις ηλιακές κηλίδες χρειάζεται να γίνει. **[16]**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 Δημιουργία μοντέλου - Αποτελέσματα

Στο μοντέλο που ακολουθεί γίνεται ένας συσχετισμός μεταξύ των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν το κλίμα. Αυτοί είναι κατ' αρχήν δύο:

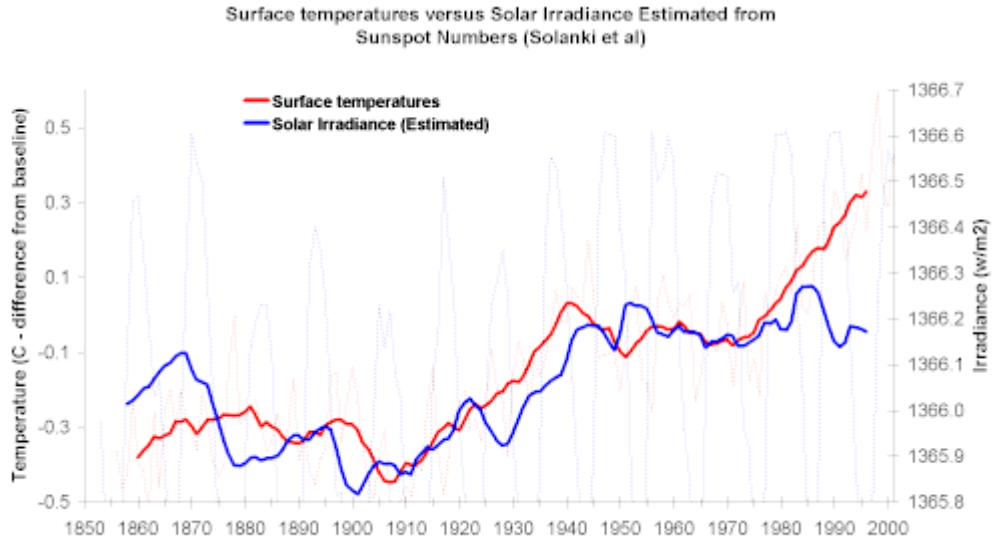
- η συγκέντρωση του CO_2 και
- η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

και η απόκριση είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας. Ο συσχετισμός αυτός βασίζεται σε δεδομένες τιμές των δυο παραγόντων για τα προηγούμενα 140 έτη ανά δεκαετία, μεταξύ 1860 – 2000. Σύγκριση γίνεται με παρόμοιο συσχετισμό και για το χρονικό διάστημα 1950-2000. Οι τιμές παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1

Decades	**Temperature anomaly (^oC)**	**Solar irradiance (W/m^2)**	**CO2 Concentration (ppm)**
1860	-0.38	1366,05	280
1870	-0.30	1366,09	280
1880	-0.26	1365,89	280
1890	-0.34	1365,95	280
1900	-0.30	1365,82	280
1910	-0.40	1365,87	280
1920	-0.30	1366	280
1930	-0.19	1365,95	280
1940	0.03	1366,1	280
1950	-0.10	1366,14	280
1960	-0.04	1366,18	311
1970	-0.09	1366,11	325
1980	0.05	1366,18	339
1990	0.20	1366,16	353
2000	0.36	1366,5	367

Τα δεδομένα για την δημιουργία του μοντέλου λήφθηκαν από τη NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) και σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα για την ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 2.1

Για το συσχετισμό των τριών παραγόντων ακολουθήσαμε δύο μεθόδους :

- Η διακύμανση των τιμών του CO_2 και της ηλιακής ακτινοβολίας (Variation)
- Η κανονικοποίηση των τιμών του CO_2 και της ηλιακής ακτινοβολίας (Normalization)

2.1.1 Μέθοδος Απόλυτων Τιμών

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο παίρνουμε τις απόλυτες τιμές της ηλιακής ακτονοβολίας και της συγκέντρωσης του CO_2 αφαιρώντας από μία σταθερή τιμή, 1366 W/m^2 και 280 ppm αντίστοιχα για τις δύο παραμέτρους. Οι τιμές παρατίθενται στον πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2

Decades	Temperature anomaly C	Solar Irrad. Variation	CO2 variation
1860	-0,38	0,05	0
1870	-0,30	0,09	0
1880	-0,26	-0,11	0
1890	-0,34	-0,05	0
1900	-0,30	-0,18	0
1910	-0,40	-0,13	0
1920	-0,30	0	0
1930	-0,19	-0,05	0
1940	0,03	0,10	0
1950	-0,10	0,14	0
1960	-0,04	0,18	31
1970	-0,09	0,11	45
1980	0,05	0,18	59
1990	0,20	0,16	73
2000	0,36	0,50	87

Στη συνέχεια με τη χρήση του προγράμματος Excel αναπαρίσταται σε γραφικές παραστάσεις ο συσχετισμός της διακύμανσης της θερμοκρασίας με τις απόλυτες τιμές της συγκέντρωσης του CO_2 και της ηλιακής ακτινοβολίας.

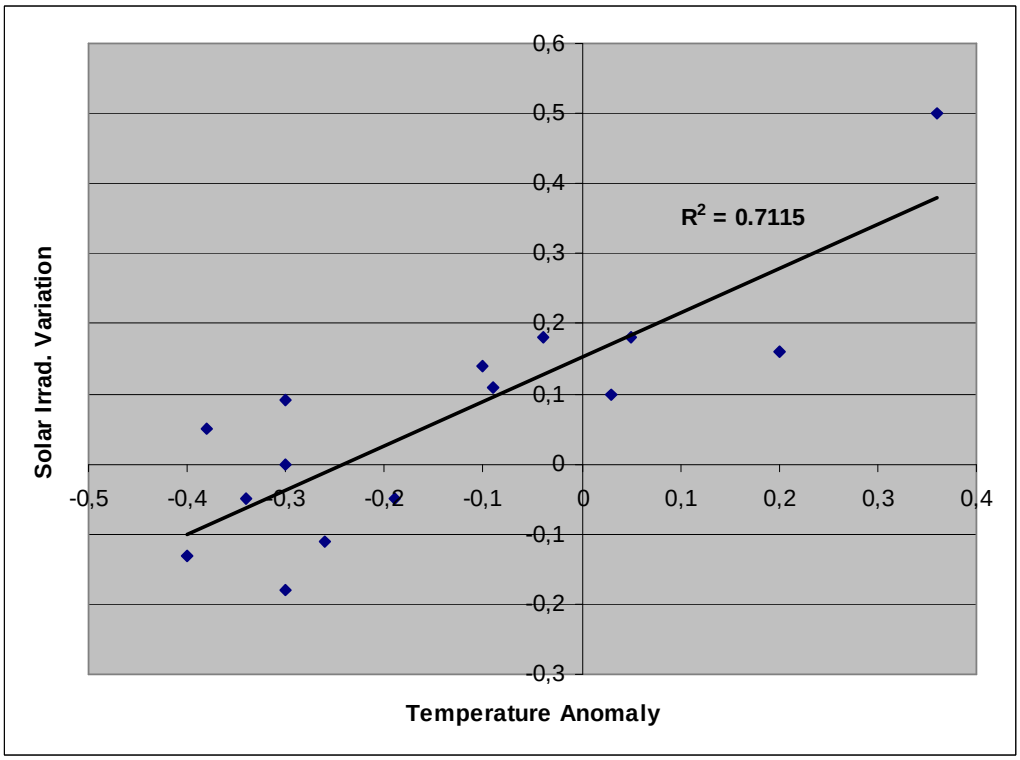
Σε κάθε γραφική παράσταση μεταβάλλεται το ποσοστό συμβολής του CO_2 και της ηλιακής ακτινοβολίας σύμφωνα με τον πίνακα 2.3 για την εύρεση του βέλτιστου συσχετισμού.

S : Solar Irradiance Variation

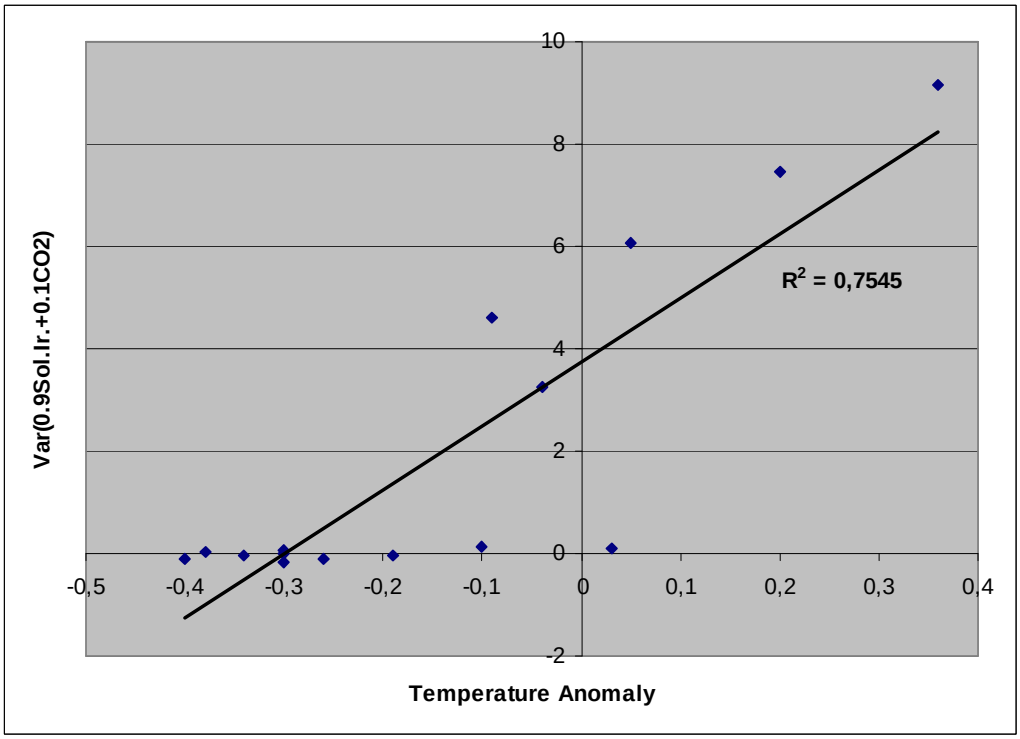
C : CO_2 Concentration Variation

Πίνακας 2.3

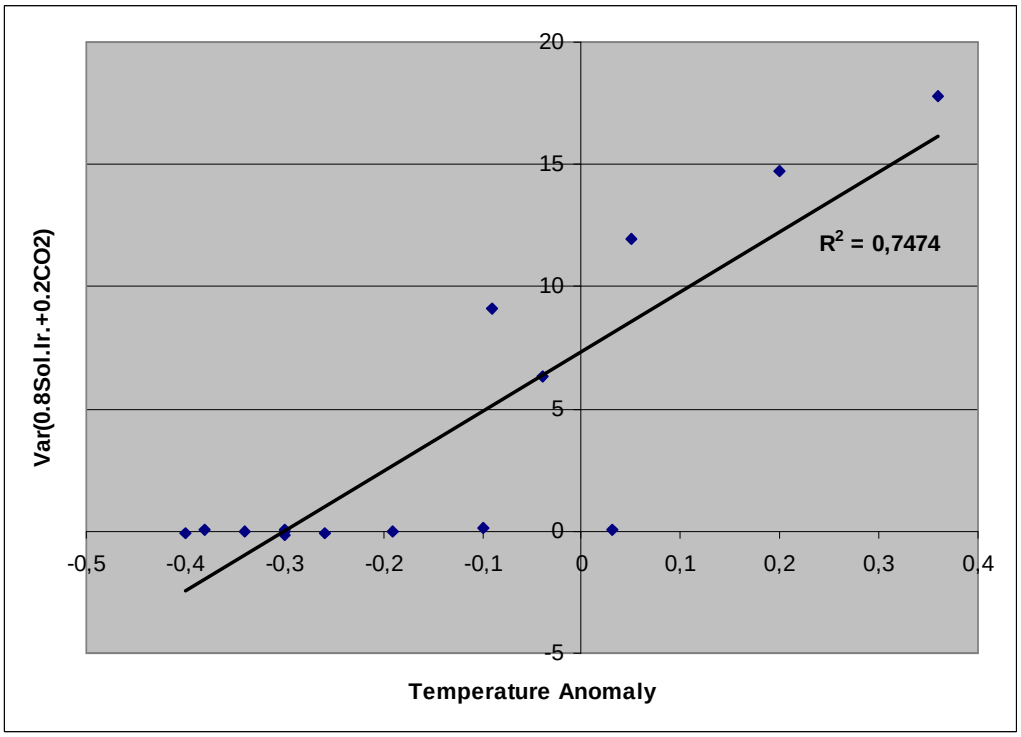
(0.5S+0.5C)	(0.6S+0.4C)	(0,4S+0,6C)	(0,7S+0,3C)	(0,3S+0,7C)	(0,8S+0,2C)	(0,2S+0,8C)	(0,9S+0,1C)	(0,1S+0,9C)
0,025	0,03	0,02	0,035	0,015	0,04	0,01	0,045	0,005
0,045	0,054	0,036	0,063	0,027	0,072	0,018	0,081	0,009
-0,055	-0,066	-0,044	-0,077	-0,033	-0,088	-0,022	-0,099	-0,011
-0,025	-0,03	-0,02	-0,035	-0,015	-0,04	-0,01	-0,045	-0,005
-0,09	-0,108	-0,072	-0,126	-0,054	-0,144	-0,036	-0,162	-0,018
-0,065	-0,078	-0,052	-0,091	-0,039	-0,104	-0,026	-0,117	-0,013
0	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,025	-0,03	-0,02	-0,035	-0,015	-0,04	-0,01	-0,045	-0,005
0,05	0,06	0,04	0,07	0,03	0,08	0,02	0,09	0,01
0,07	0,084	0,056	0,098	0,042	0,112	0,028	0,126	0,014
15,59	12,508	18,672	9,426	21,754	6,344	24,836	3,262	27,918
22,555	18,066	27,044	13,577	31,533	9,088	36,022	4,599	40,511
29,59	23,708	35,472	17,826	41,354	11,944	47,236	6,062	53,118
36,58	29,296	43,864	22,012	51,148	14,728	58,432	7,444	65,716
43,75	35,1	52,4	26,45	61,05	17,8	69,7	9,15	78,35



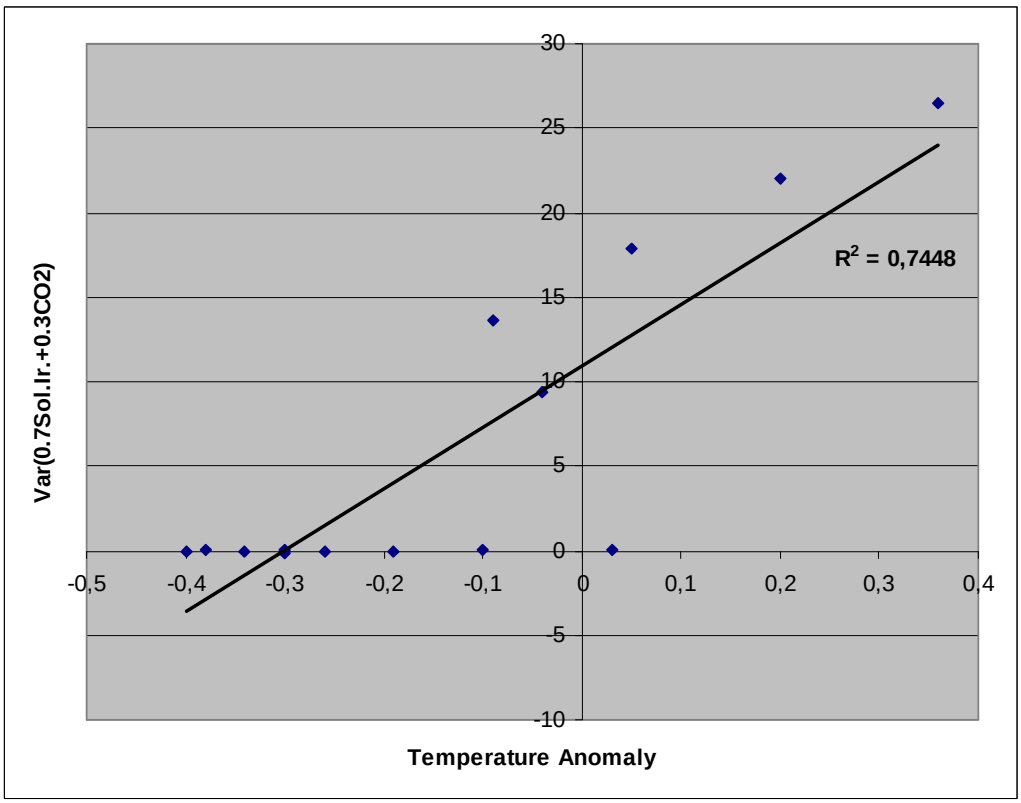
Διάγραμμα 2.1 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 100% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 0% της συγκέντρωσης του CO_2.



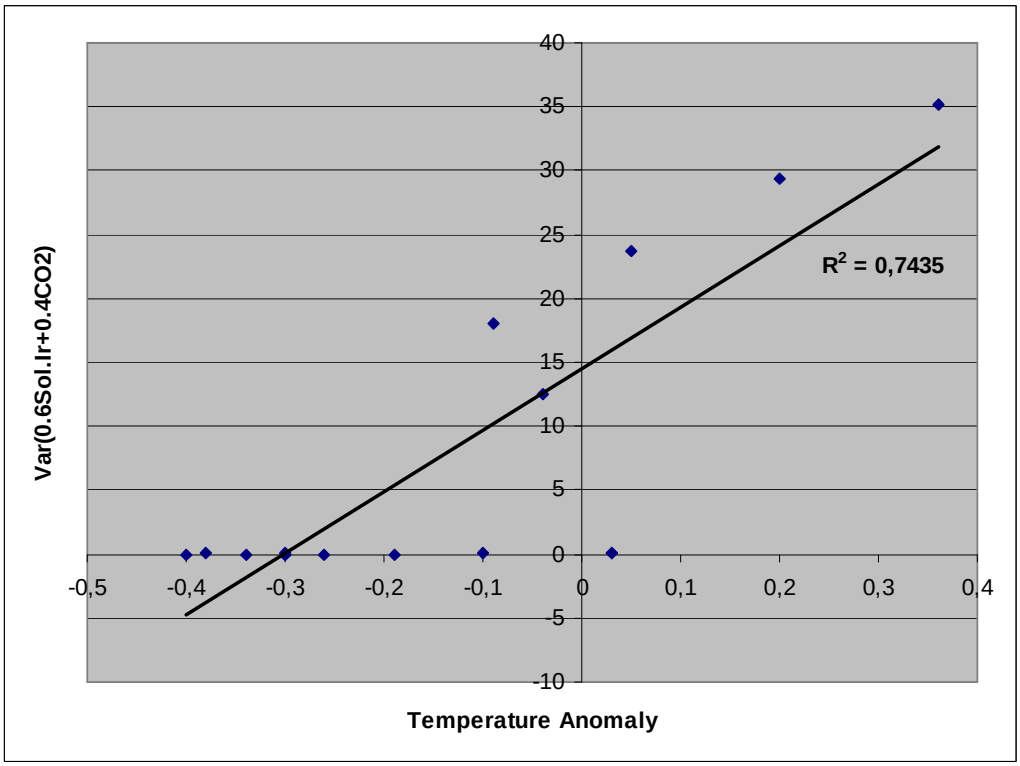
Διάγραμμα 2.2 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 90% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 10% της συγκέντρωσης του CO_2.



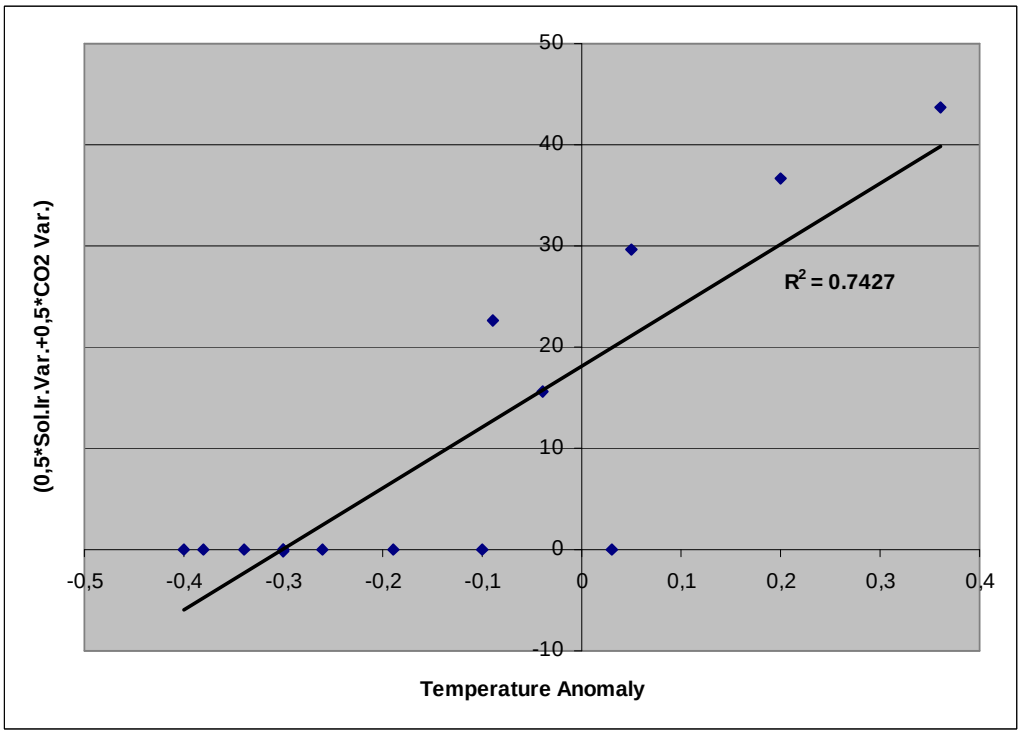
Διάγραμμα 2.3 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 80% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 20% της συγκέντρωσης του CO_2.



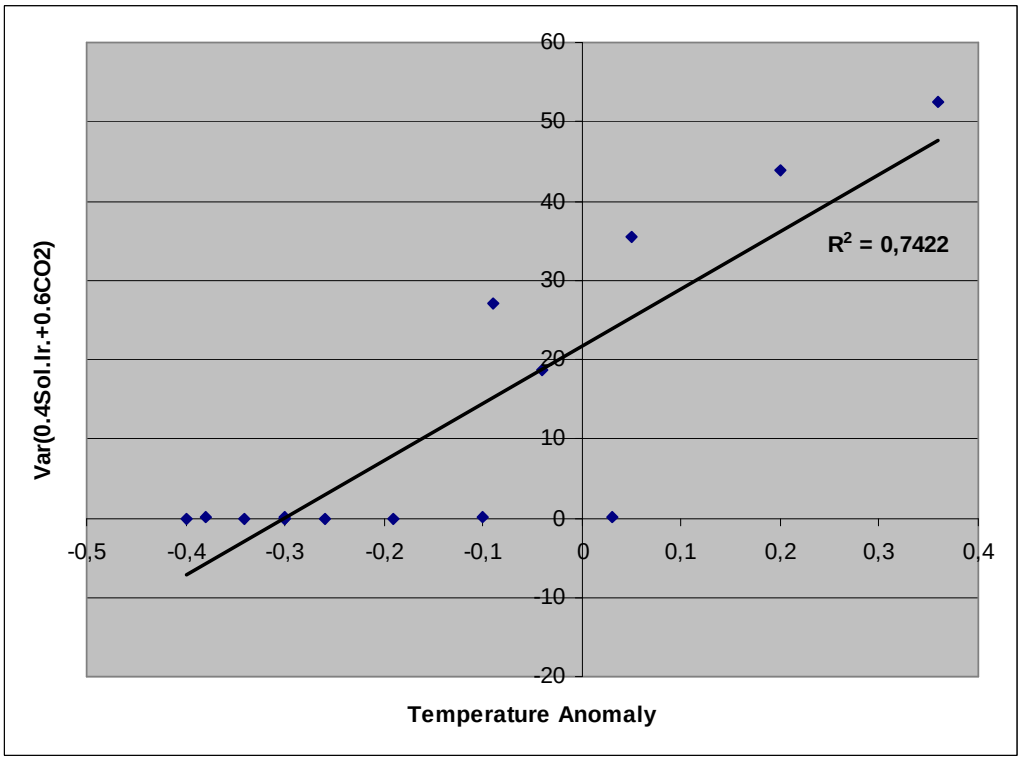
Διάγραμμα 2.4 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 70% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 30% της συγκέντρωσης του CO_2.



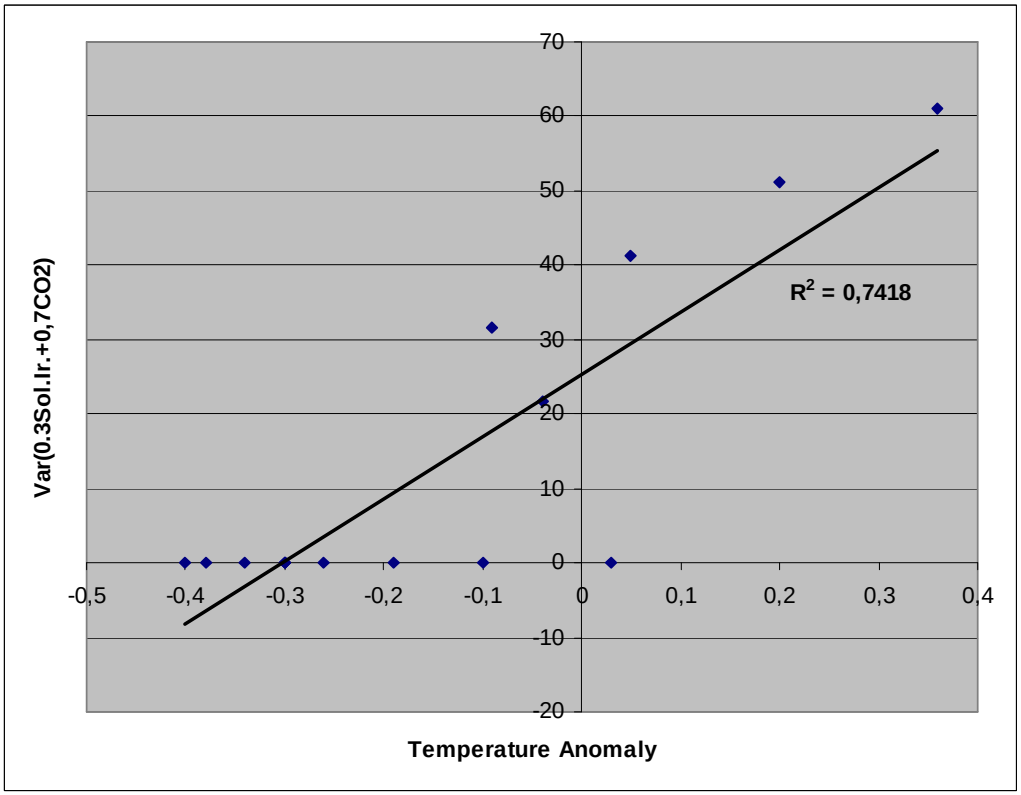
Διάγραμμα 2.5 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 60% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 40% της συγκέντρωσης του CO_2.



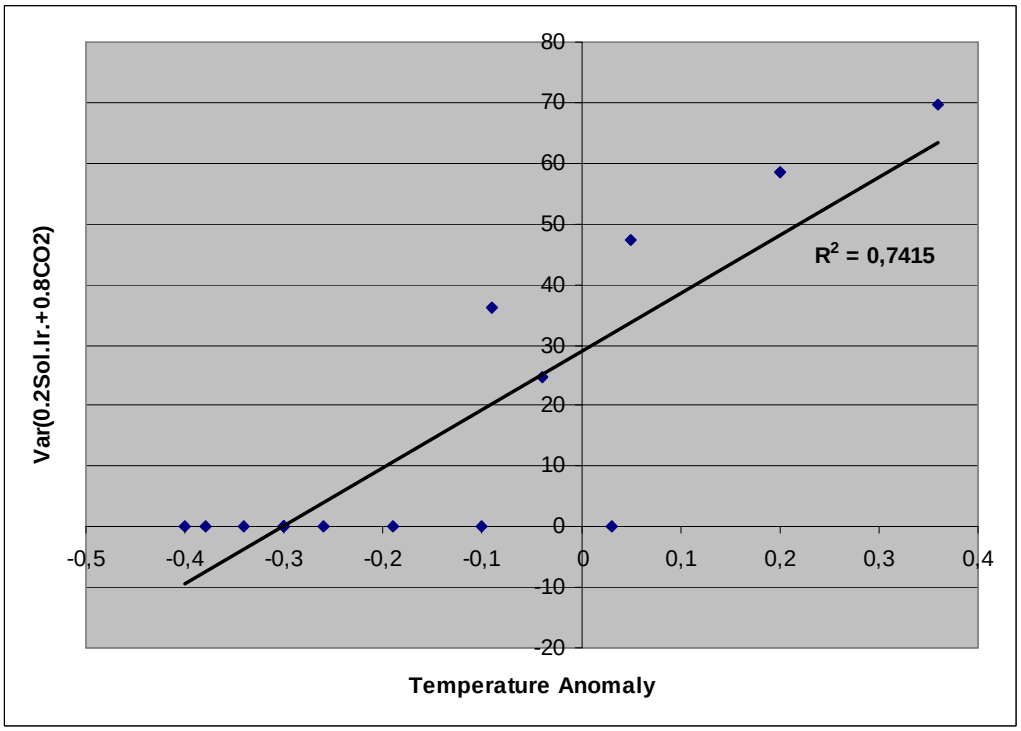
Διάγραμμα 2.6 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 50% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 50% της συγκέντρωσης του CO_2.



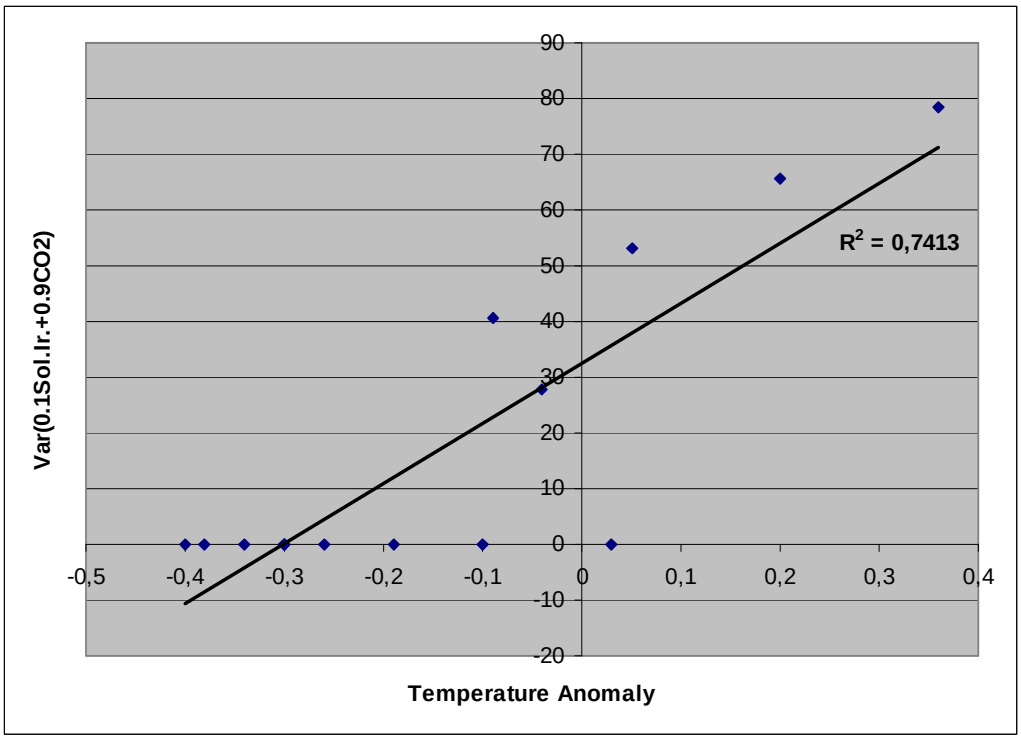
Διάγραμμα 2.7 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 40% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 60% της συγκέντρωσης του CO_2.



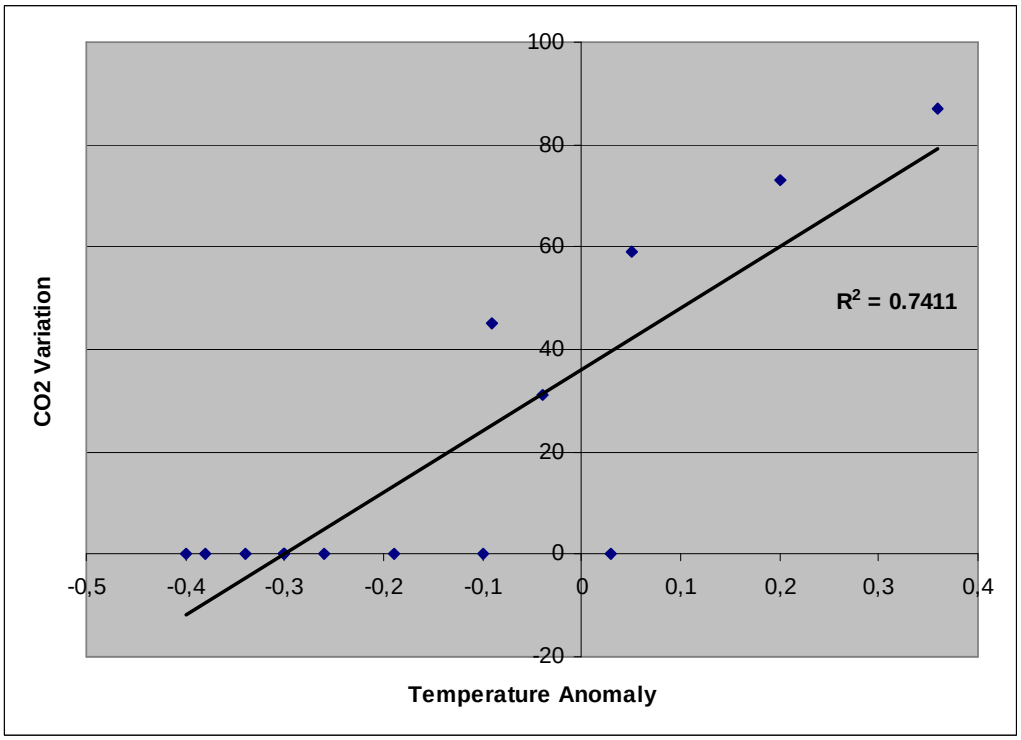
Διάγραμμα 2.8 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 30% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 70% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.9 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 20% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 80% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.10 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 10% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 90% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.11 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 0% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 100% της συγκέντρωσης του CO_2.

Παρατηρώντας τα παραπάνω διαγράμματα της απόκρισης των απόλυτων τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας και της συγκέντρωσης του CO_2 στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, βλέπουμε ότι ο δείκτης συσχετισμού κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,7115 – 0,7545.

Η χαμηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο διάγραμμα όπου θεωρούμε ότι το CO_2 δεν συμβάλλει καθόλου στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας (0%) αλλά εξ'ολοκλήρου η ηλιακή ακτινοβολία (100%). Η μέγιστη τιμή του δείκτη συσχετισμού, η οποία αντιστοιχεί και στη βέλτιστη όσον αφορά αυτή τη μέθοδο, παρατηρείται στο διάγραμμα όπου η ακτινοβολία συμβάλλει κατά 90% και το CO_2 κατά 10% στις διακυμάνσεις τις θερμοκρασίας.

Γενικά, εξαιρώντας τις δύο ακραίες τιμές, οι ενδιάμεσες, που αντιστοιχούν σε ποσοστά συμβολής μεταξύ 20 – 80% και για τους δύο παράγοντες, δεν διαφέρουν πολύ μεταξύ τους, παρά μόνο στο $3^{ο}$ και $4^{ο}$ δεκαδικό ψηφίο, διαφορά δηλαδή αμελητέα.

2.1.2 Μέθοδος της Κανονικοποίησης

Σύμφωνα με τη μέθοδο της κανονικοποίησης διαιρέσαμε τις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας (solar irradiance) με μία σταθερή τιμή, 1366 W/m^2. Αντίστοιχα τις τιμές της συγκέντρωσης του CO_2 τις διαιρέσαμε με τη σταθερή τιμή των 280 ppm. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 2.4.

Πίνακας 2.4

Decades	Temperature anomaly (^oC)	(Sol.Irrad.)/1366	CO2/280
1860	-0.38	1.000036603	1
1870	-0.30	1.000065886	1
1880	-0.26	0.999919473	1
1890	-0.34	0.999963397	1
1900	-0.30	0.999868228	1
1910	-0.40	0.999904832	1
1920	-0.30	1	1
1930	-0.19	0.999963397	1
1940	0.03	1.000073206	1
1950	-0.10	1.000102489	1
1960	-0.04	1.000131772	1.110714286
1970	-0.09	1.000080527	1.160714286
1980	0.05	1.000131772	1.210714286
1990	0.20	1.00011713	1.260714286
2000	0.36	1.000366032	1.310714286

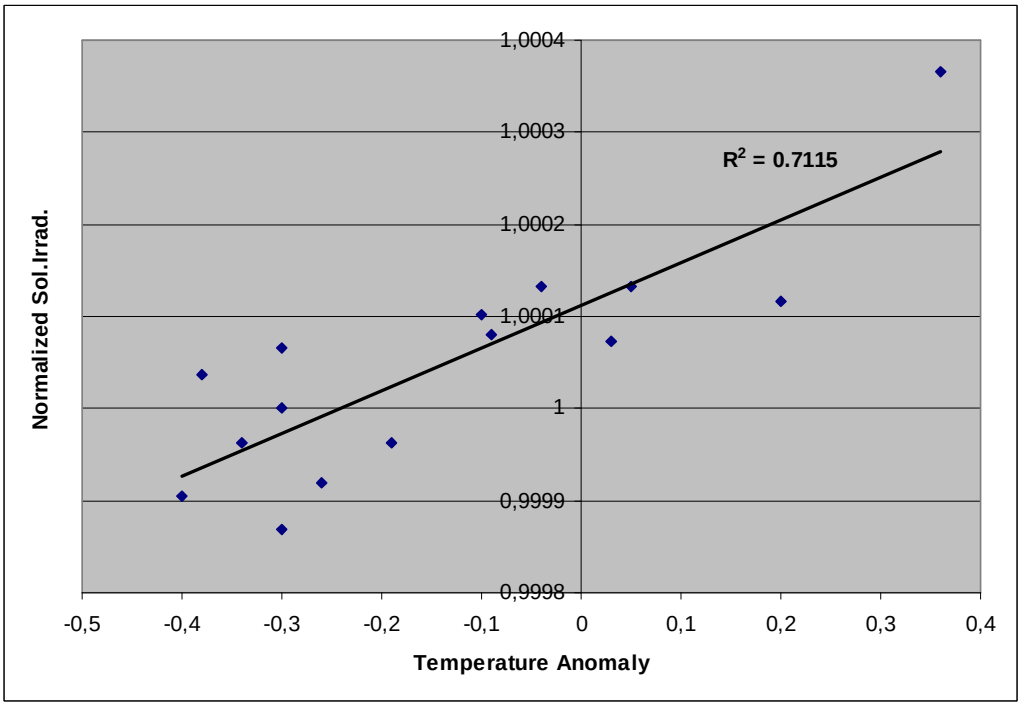
Στη συνέχεια με τη χρήση του προγράμματος Excel αναπαρίσταται σε γραφικές παραστάσεις ο συσχετισμός της διακύμανσης της θερμοκρασίας με τις κανονικοποιημένες τιμές της συγκέντρωσης του CO_2 και της ηλιακής ακτινοβολίας.
Σε κάθε γραφική παράσταση μεταβάλλεται το ποσοστό συμβολής του CO_2 και της ηλιακής ακτινοβολίας σύμφωνα με τον πίνακα 2.5 για την εύρεση του βέλτιστου συσχετισμού.

S : Normalized Solar Irradiance

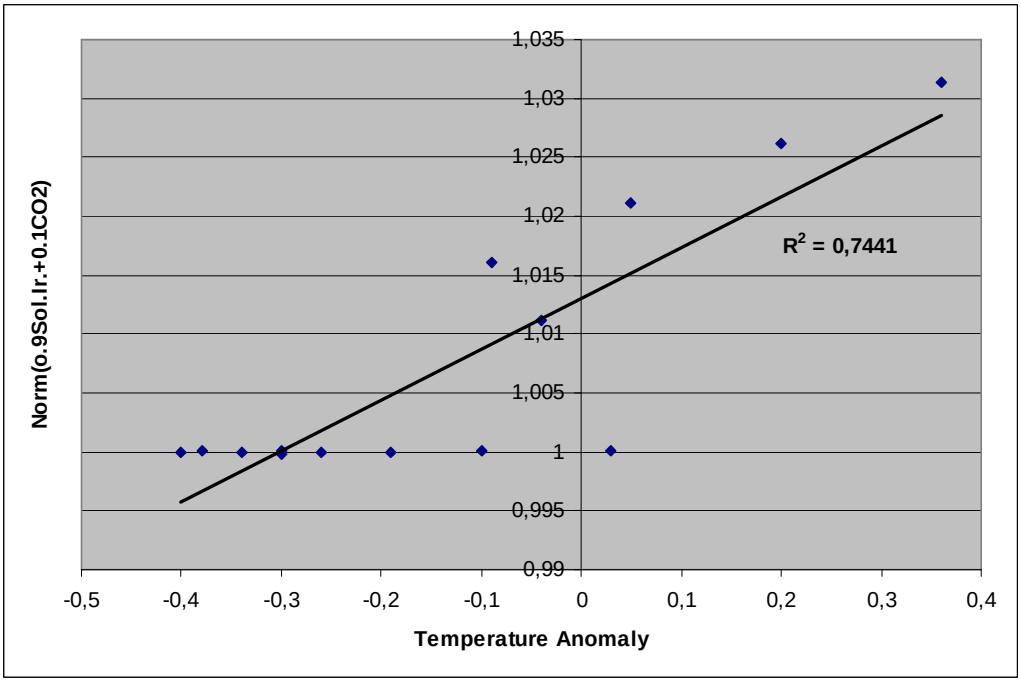
C : Normalized CO_2 Concentration

Πίνακας 2.5

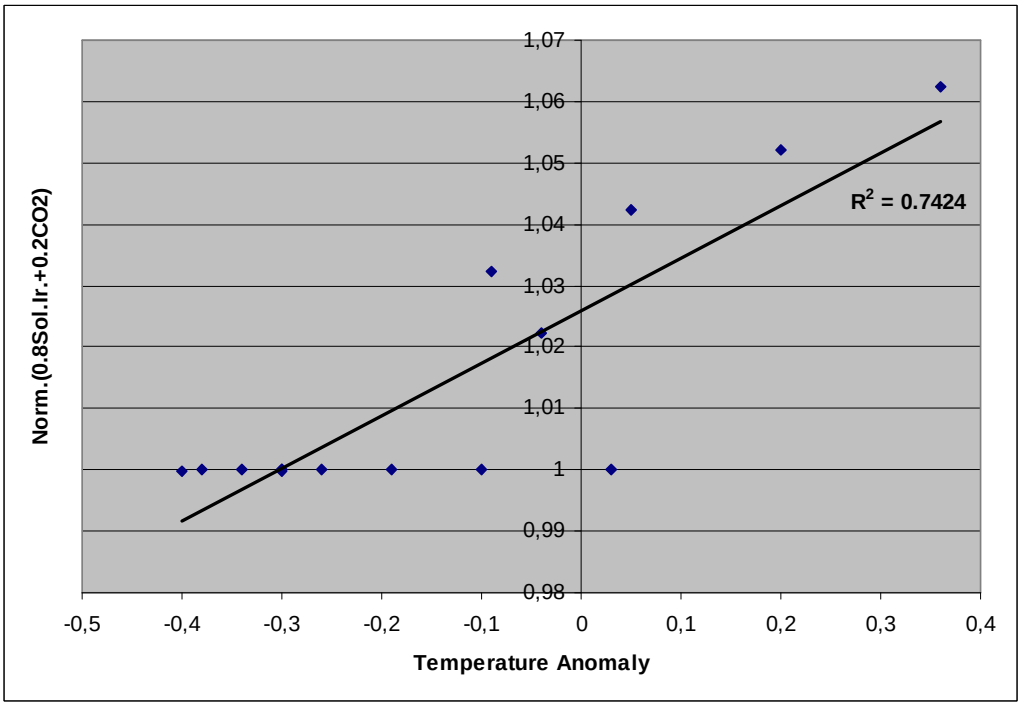
(0.5S+O.5C)	(0.6S+0.4C)	(0.4S+0.6C)	(0.3S+0.7C)	(0.7S+0.3C)	(0.8S+0.2C)	(0.2S+0.8C)	(0.9S+0.1C)	(0.1S+0.9C)
1.000018302	1.000021962	1.000014641	1.000010981	1.000025622	1.0000293	1.000007321	1.000032943	1.00000366
1.000032943	1.000039531	1.000026354	1.000019766	1.00004612	1.0000527	1.000013177	1.000059297	1.000006589
0.999959736	0.999951684	0.999967789	0.999975842	0.999943631	0.9999356	0.999983895	0.999927526	0.999991947
0.999981698	0.999978038	0.999985359	0.999989019	0.999974378	0.9999707	0.999992679	0.999967057	0.99999634
0.999934114	0.999920937	0.999947291	0.999960469	0.99990776	0.9998946	0.999973646	0.999881406	0.999986823
0.999952416	0.999942899	0.999961933	0.999971449	0.999933382	0.9999239	0.999980966	0.999914348	0.999990483
1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.999981698	0.999978038	0.999985359	0.999989019	0.999974378	0.9999707	0.999992679	0.999967057	0.99999634
1.000036603	1.000043924	1.000029283	1.000021962	1.000051245	1.0000586	1.000014641	1.000065886	1.000007321
1.000051245	1.000061493	1.000040996	1.000030747	1.000071742	1.000082	1.000020498	1.00009224	1.000010249
1.055423029	1.044364777	1.06648128	1.077539531	1.033306526	1.0222483	1.088597783	1.011190023	1.099656034
1.080397406	1.064334031	1.096460782	1.112524158	1.048270655	1.0322073	1.128587534	1.016143903	1.14465091
1.105423029	1.084364777	1.12648128	1.147539531	1.063306526	1.0422483	1.168597783	1.021190023	1.189656034
1.130415708	1.104355992	1.156475424	1.182535139	1.078296277	1.0522366	1.208594855	1.026176846	1.23465457
1.155540159	1.124505334	1.186574984	1.21760981	1.093470508	1.0624357	1.248644635	1.031400858	1.27967946



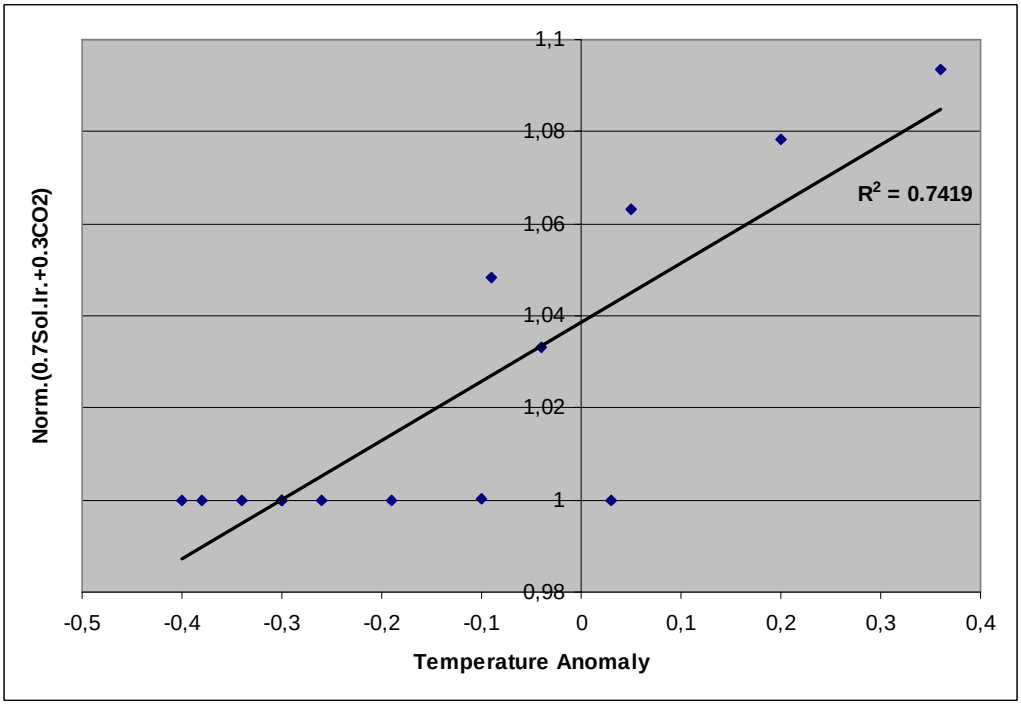
Διάγραμμα 2.12 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 100% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 0% της συγκέντρωσης του CO_2.



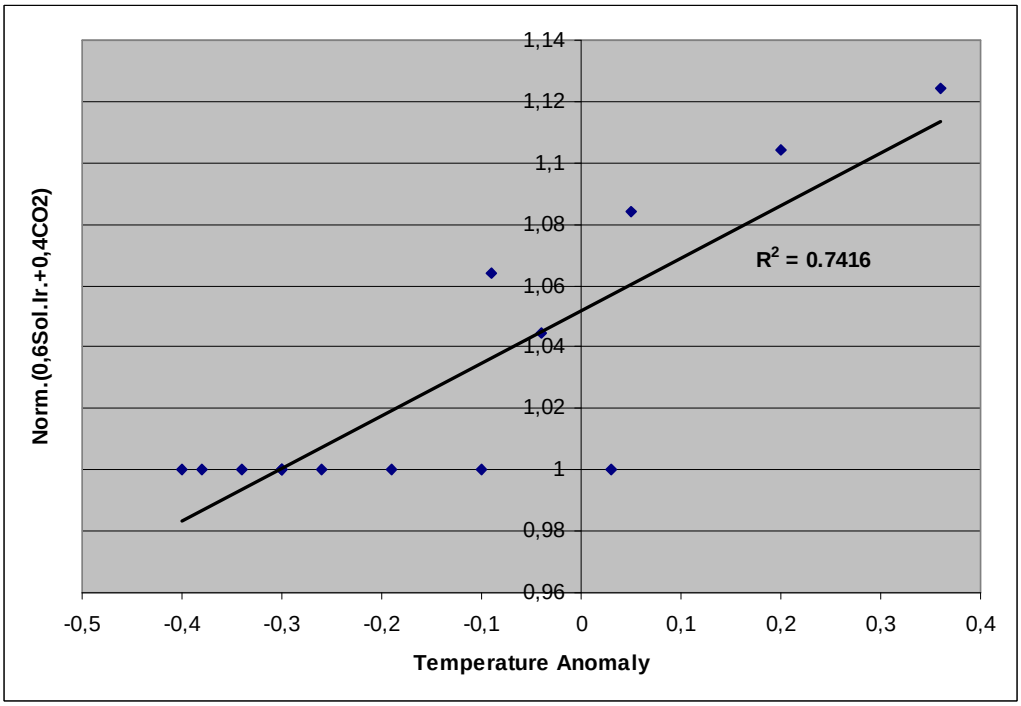
Διάγραμμα 2.13 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 90% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 10% της συγκέντρωσης του CO_2.



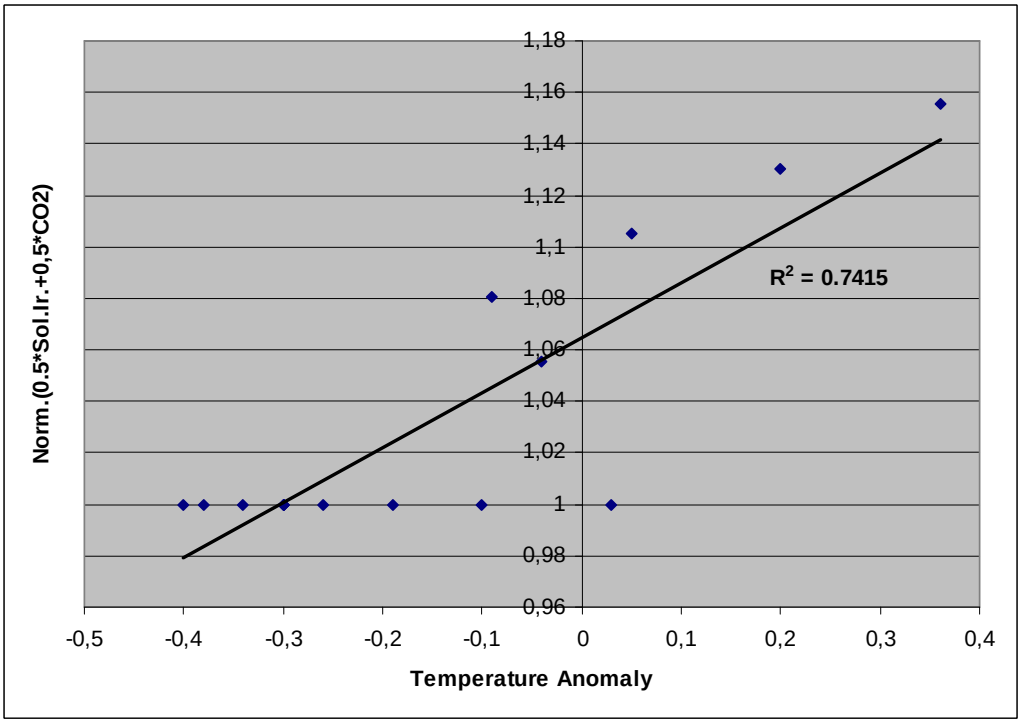
Διάγραμμα 2.14 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 80% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 20% της συγκέντρωσης του CO_2.



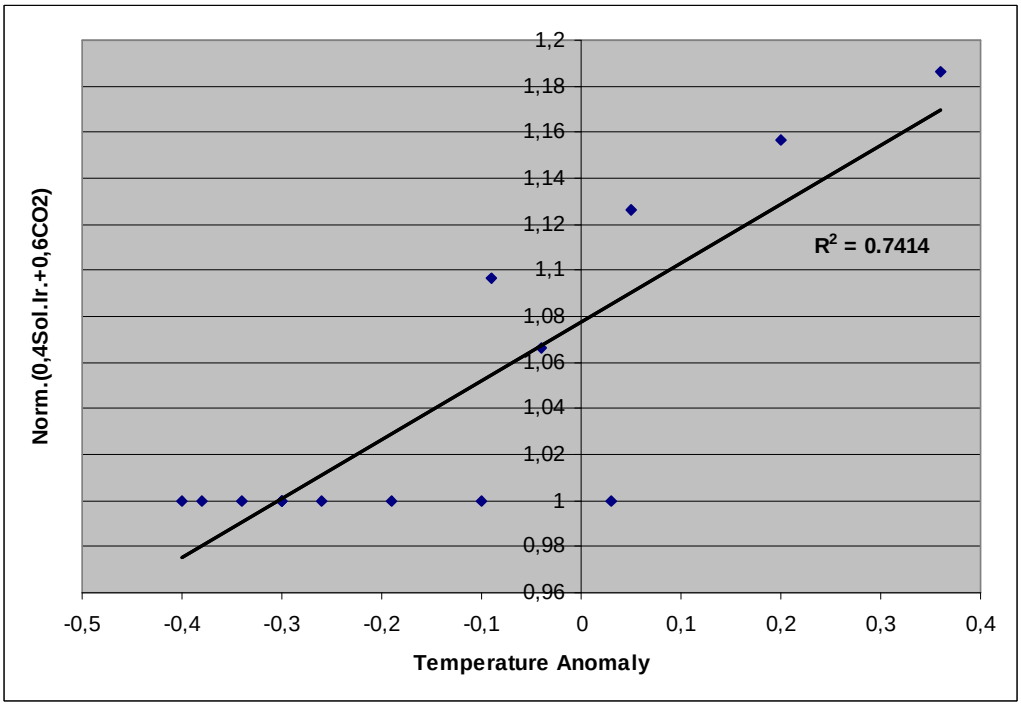
Διάγραμμα 2.15 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 70% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 30% της συγκέντρωσης του CO_2.



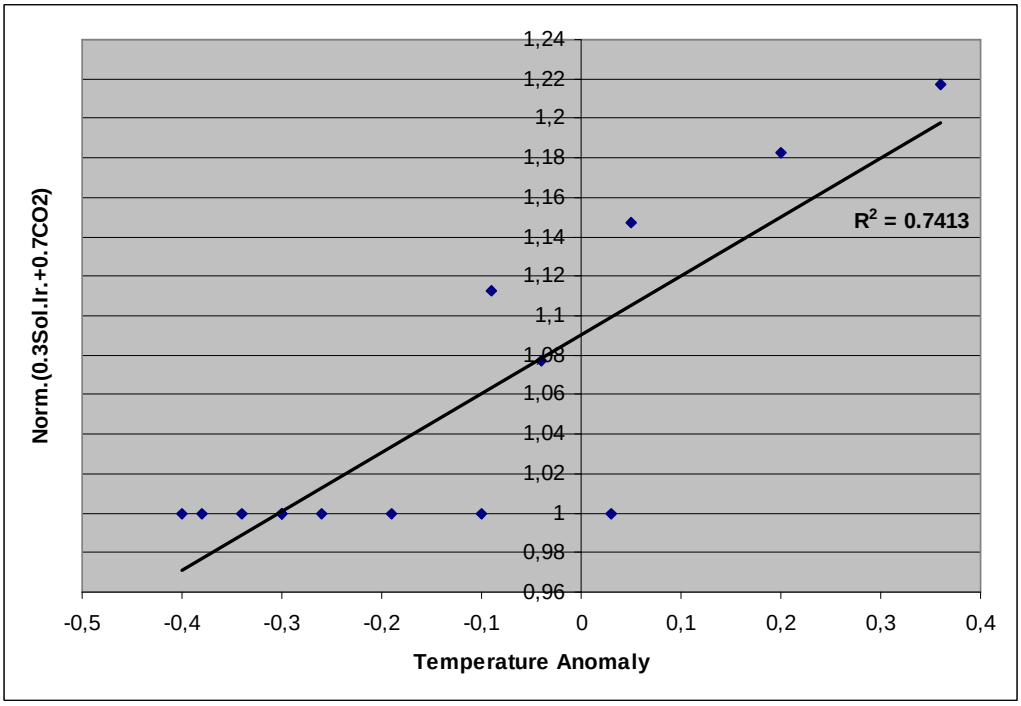
Διάγραμμα 2.16 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 60% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 40% της συγκέντρωσης του CO_2.



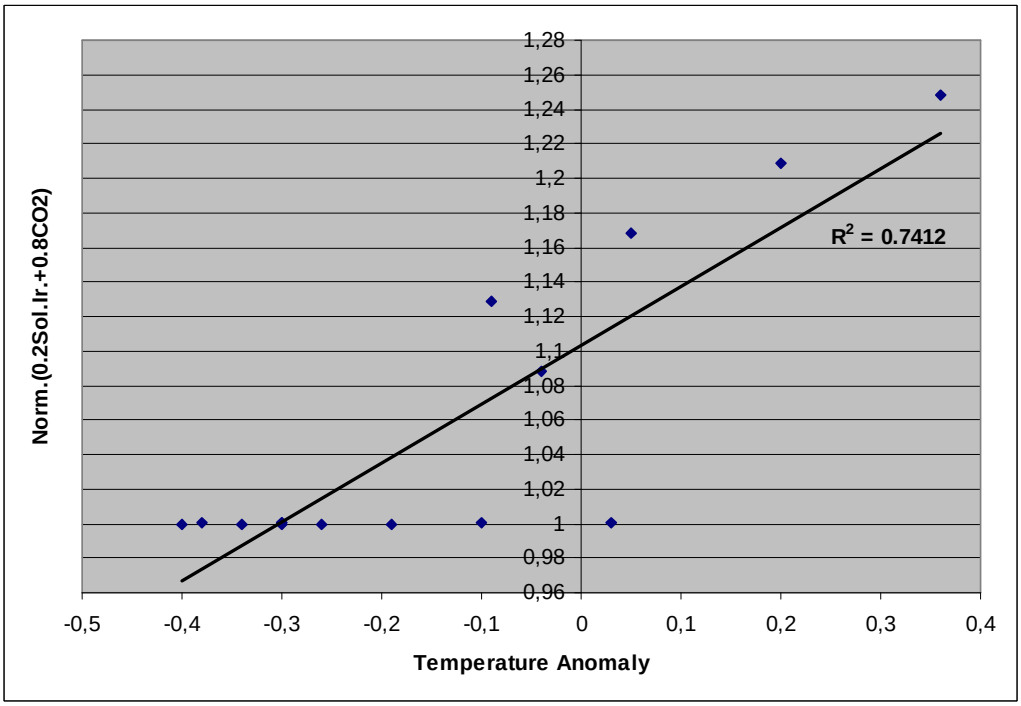
Διάγραμμα 2.17 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 50% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 50% της συγκέντρωσης του CO_2.



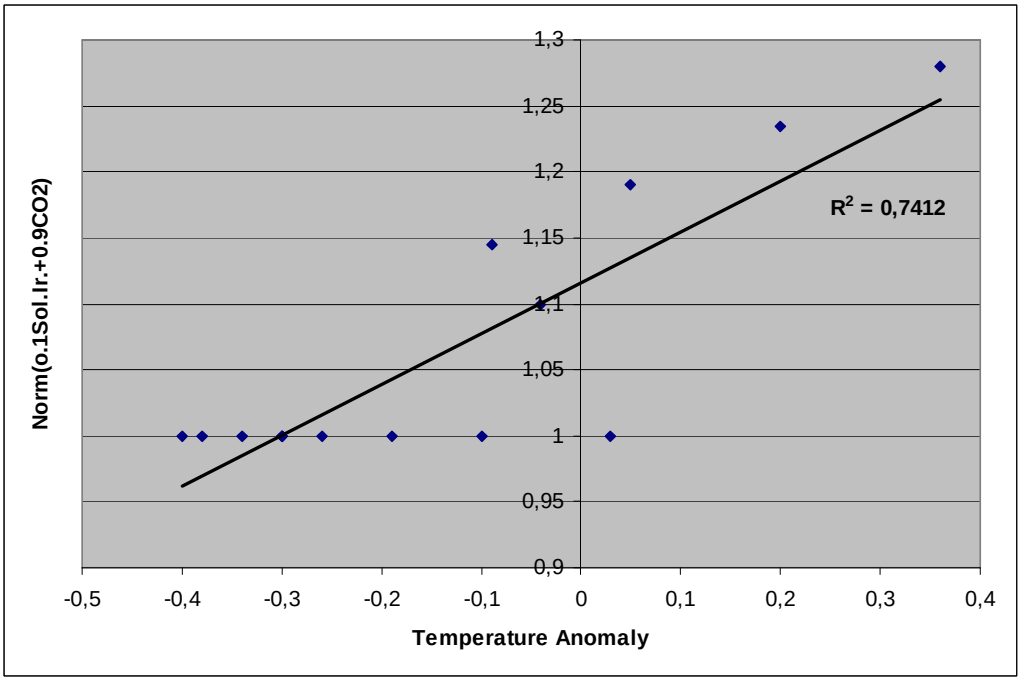
Διάγραμμα 2.18 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 40% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 60% της συγκέντρωσης του CO_2.



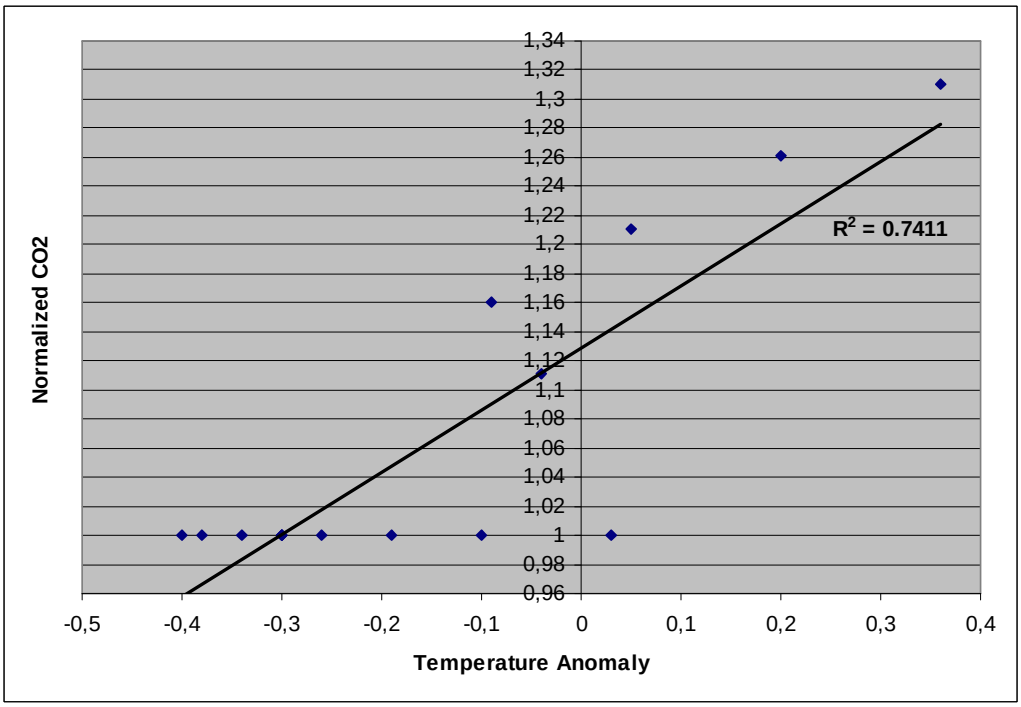
Διάγραμμα 2.19 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 30% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 70% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.20 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 20% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 80% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.21 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 10% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 90% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.22 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 0% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 100% της συγκέντρωσης του CO_2.

Βλέπουμε ότι στα αποτελέσματα της μέθόδου κανονικοποίησης οι τιμές του δείκτη συσχετισμού, στα διαγράμματα των κανονικοποιημένων τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας και της συγκέντρωσης του CO_2 με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, είναι παρόμοιες με εκείνες που έχουμε από την προηγούμενη μέθοδο. Οι τιμές του δείκτη συσχετισμού κυμαίνονται μεταξύ 0,7115 – 0,7441.

Η χαμηλότερη τιμή παρουσιάζεται στο διάγραμμα όπου θεωρούμε ότι το CO_2 δεν συμβάλλει καθόλου στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας (0%) αλλά εξ'ολοκλήρου η ηλιακή ακτινοβολία (100%). Η μέγιστη τιμή του δείκτη συσχετισμού, η οποία αντιστοιχεί και στη βέλτιστη όσον αφορά αυτή τη μέθοδο, παρατηρείται στο διάγραμμα όπου η ακτινοβολία συμβάλλει κατά 90% και το CO_2 κατά 10% στις διακυμάνσεις τις θερμοκρασίας.

Τα αποτελέσματα λοιπόν που έχουμε από τις δύο μεθόδους είναι σχεδόν ίδια.

Συγκεκριμένα ο βέλτιστος συσχετισμός παρουσιάζεται στην περίπτωση που η συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας είναι 90% και της συγκέντρωσης του CO_2 10%, αλλά με μία απόκλιση στις τιμές. Στη μέθοδο των απόλυτων τιμών έχουμε βέλτιστη τιμή του δείκτη συσχετισμού 0,7545 ενώ στη μέθοδο της κανονικοποίησης 0,7441. Αντίστοιχα παρατηρούμε μια αντίστοιχη μεταβολή του δείκτη συσχετισμού, όσο μεταβάλλεται το ποσοστό συμβολής των παραμέτρων, και στις δύο μεθόδους.

Επιλέγουμε λοιπόν ως καλύτερη μέθοδο για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων την μέθοδο των απόλυτων τιμών, αφού μας δίνει μεγαλύτερο δείκτη συσχετισμού.

2.1.3 Εφαρμογή της Μεθόδου των Απόλυτων Τιμών για το χρονικό διάστημα 1950 – 2000.

Στη συνέχεια, για να έχουμε πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα ακολουθούμε την ίδια διαδικασία συσχετισμού της ηλιακής ακτινοβολίας και του CO_2 με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μόνο για το χρονικό διάστημα 1950 – 2000 , όπου παρατηρείται μια απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2, λόγω ανθρωπογενών παραγόντων, με χρήση της μεθόδου των απόλυτων τιμών.
Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με αυτή για όλο το χρονικό διάστημα των 140 ετών (1860 – 2000), περιοριζόμαστε όμως στο διάστημα 1950 – 2000, και οι τιμές που χρησιμοποιούνται φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

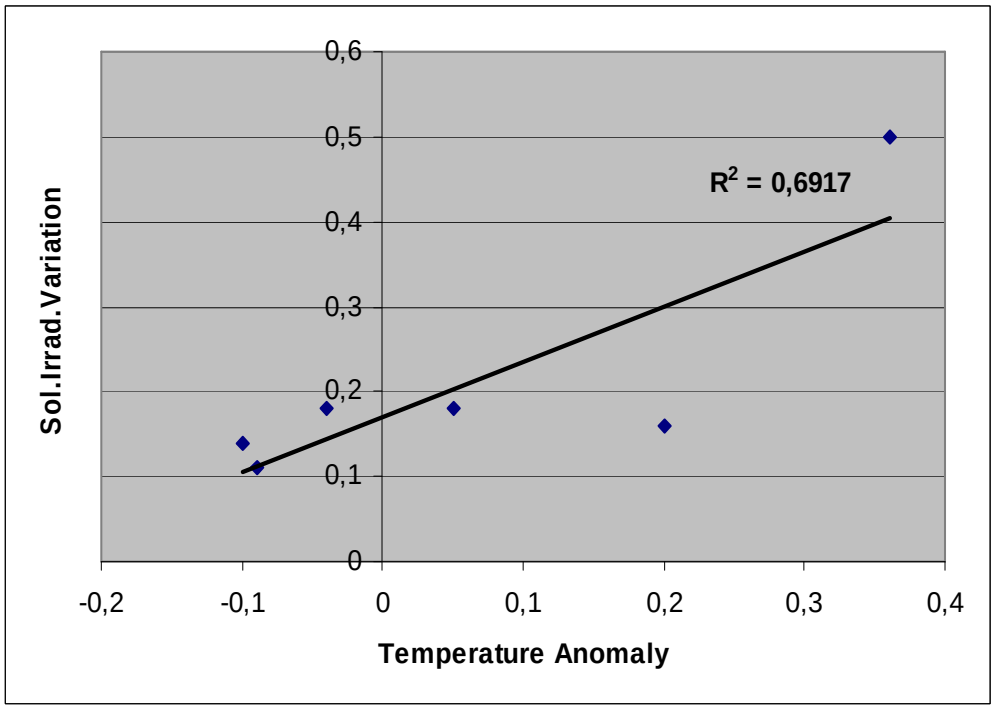
Πίνακας 2.6

Decades	Temperature anomaly C	Solar Irrad. Variation	CO2 variation
1950	-0,10	0,14	0
1960	-0,04	0,18	31
1970	-0,09	0,11	45
1980	0,05	0,18	59
1990	0,20	0,16	73
2000	0,36	0,50	87

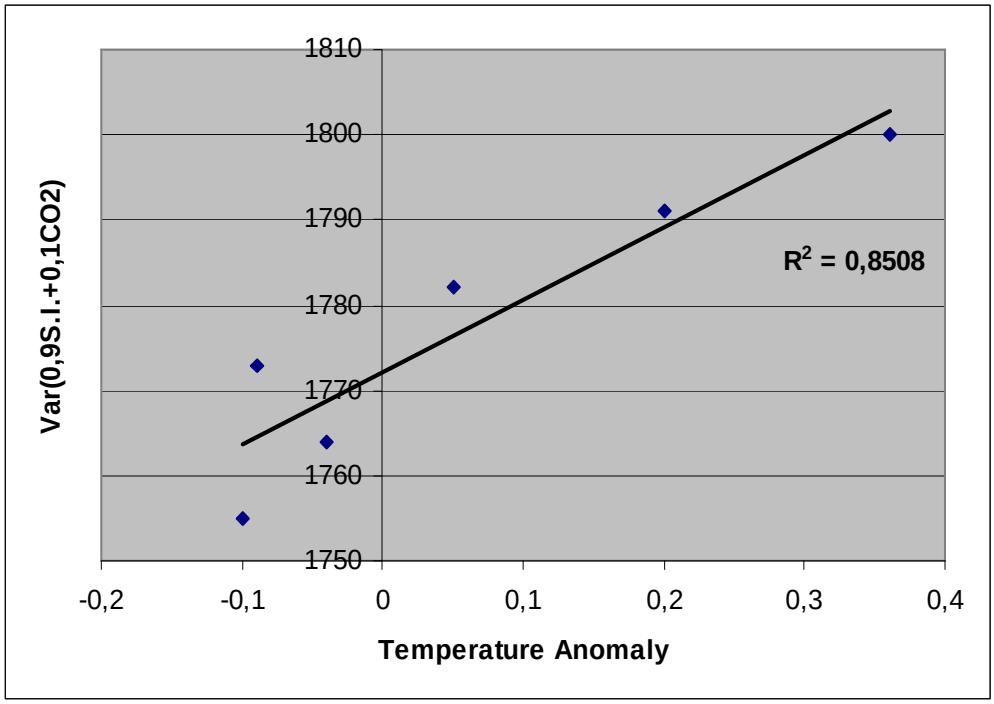
Πίνακας 2.7

(0.5E+0.5F)	(0.6E+0.4F)	(0,4E+0,6F)	(0,7E+0,3F)	(0,3E+0,7F)	(0,8E+0,2F)	(0,2E+0,8F)	(0,9E+0,1F)	(0,1E+0,9F)
974,95	1169,96	779,94	1364,97	584,93	1559,98	389,92	1754,99	194,91
979,98	1175,984	783,976	1371,988	587,972	1567,992	391,968	1763,996	195,964
984,955	1181,964	787,946	1378,973	590,937	1575,982	393,928	1772,991	196,919
990,025	1188,02	792,03	1386,015	594,035	1584,01	396,04	1782,005	198,045
995,1	1194,08	796,12	1393,06	597,14	1592,04	398,16	1791,02	199,18
1000,18	1200,144	800,216	1400,108	600,252	1600,072	400,288	1800,036	200,324

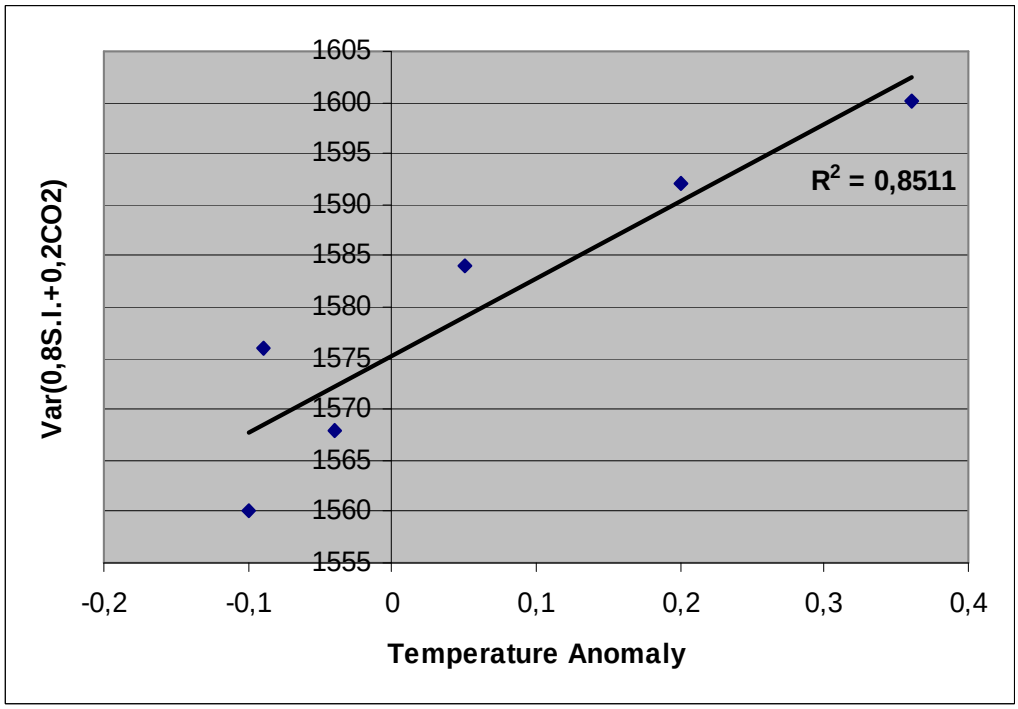
Ακολουθούν τα διαγράμματα συσχετισμού των απόλυτων τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας και της συγκέντρωσης του CO_2 με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, μεταβάλλοντας το ποσοστό συμβολής της κάθε παραμέτρου όπως και προηγουμένως.



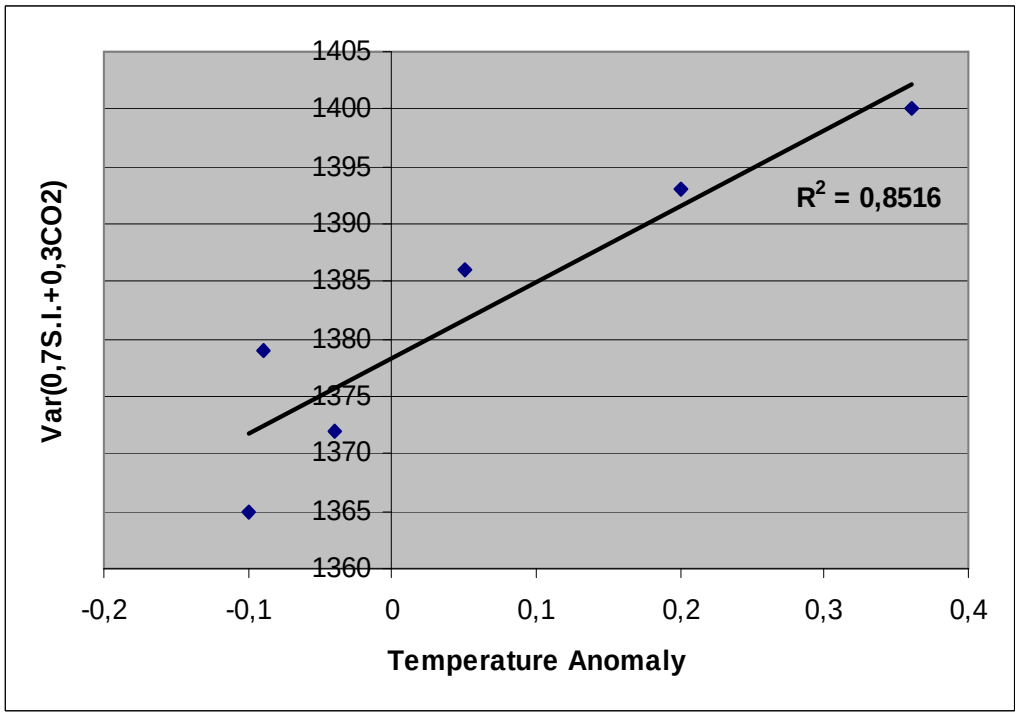
Διάγραμμα 2.23 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 100% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 0% της συγκέντρωσης του CO_2.



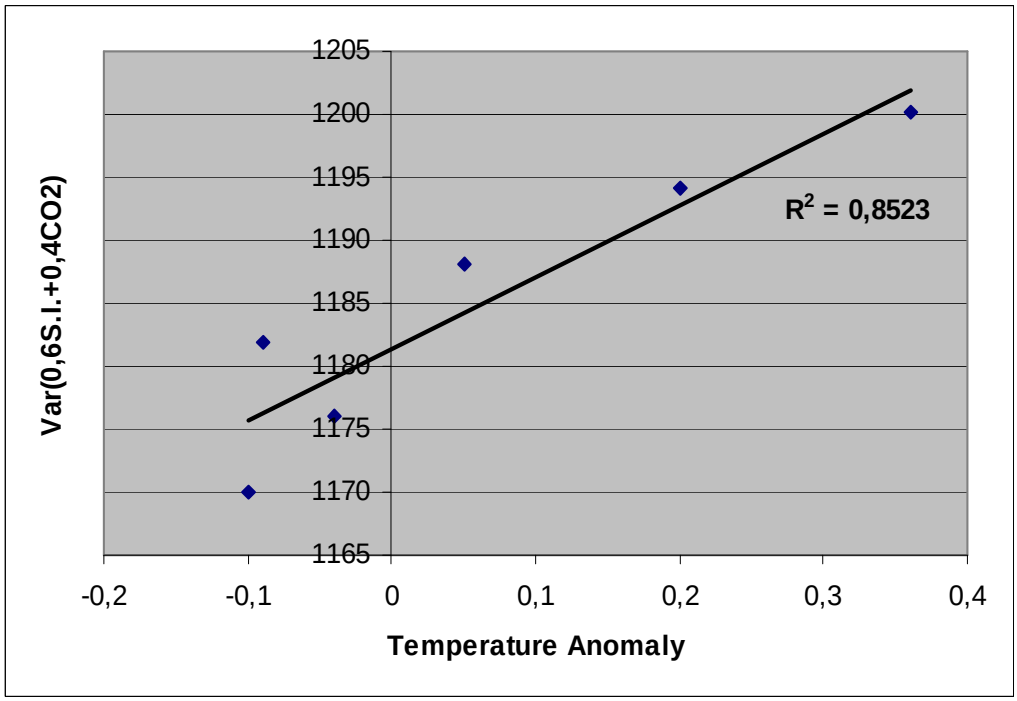
Διάγραμμα 2.24 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 90% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 10% της συγκέντρωσης του CO_2.



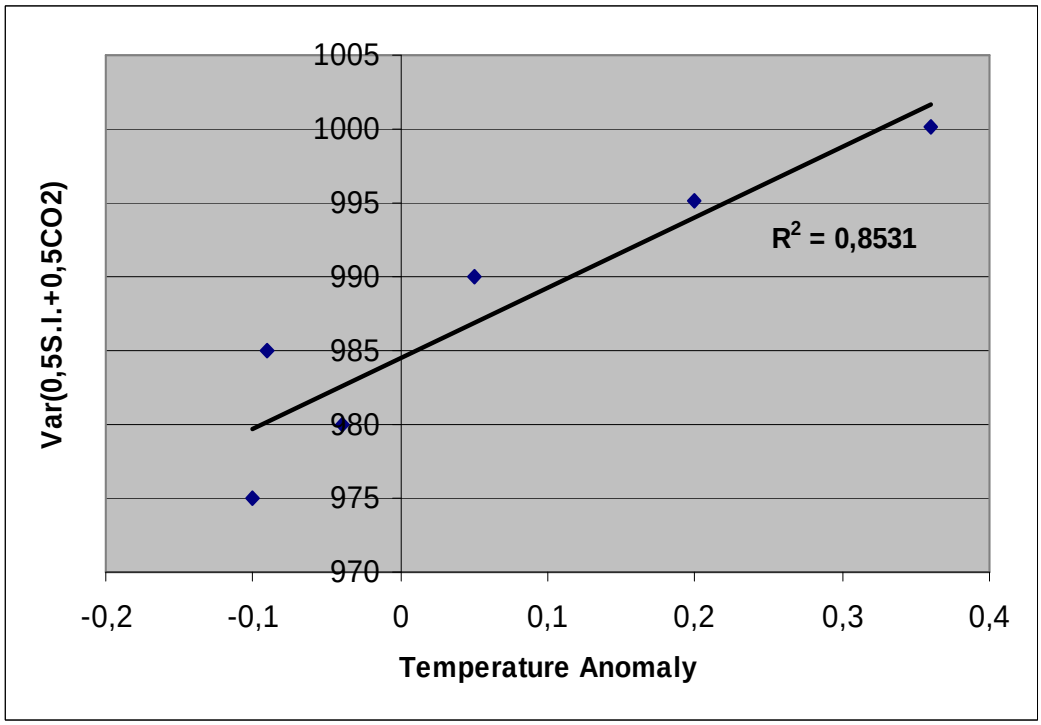
Διάγραμμα 2.25 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 80% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 20% της συγκέντρωσης του CO_2.



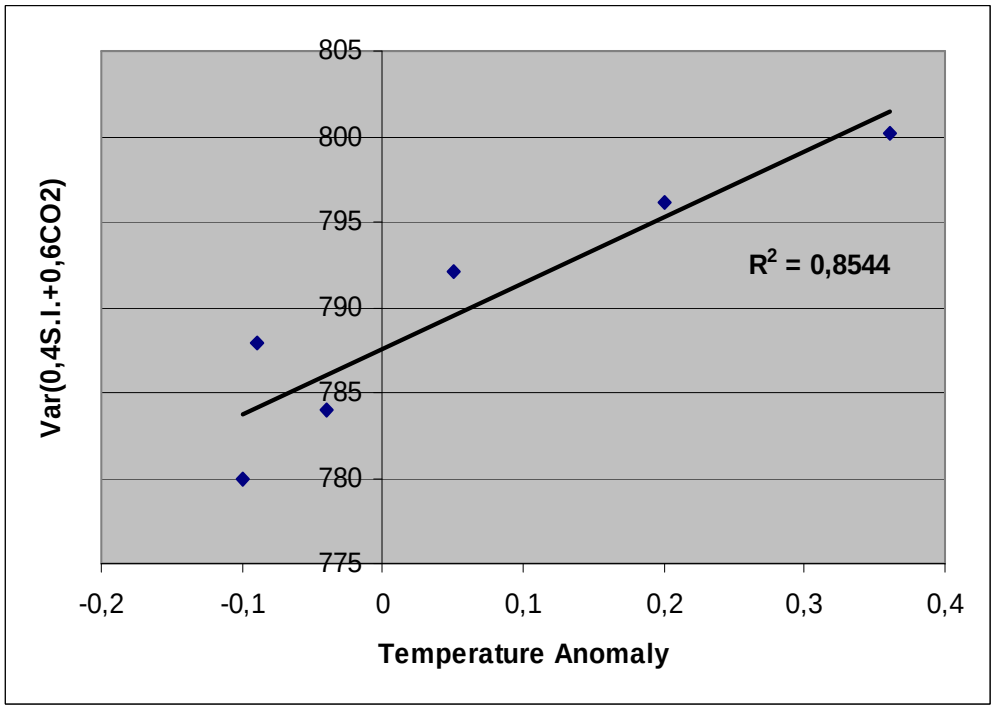
Διάγραμμα 2.26 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 70% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 30% της συγκέντρωσης του CO_2.



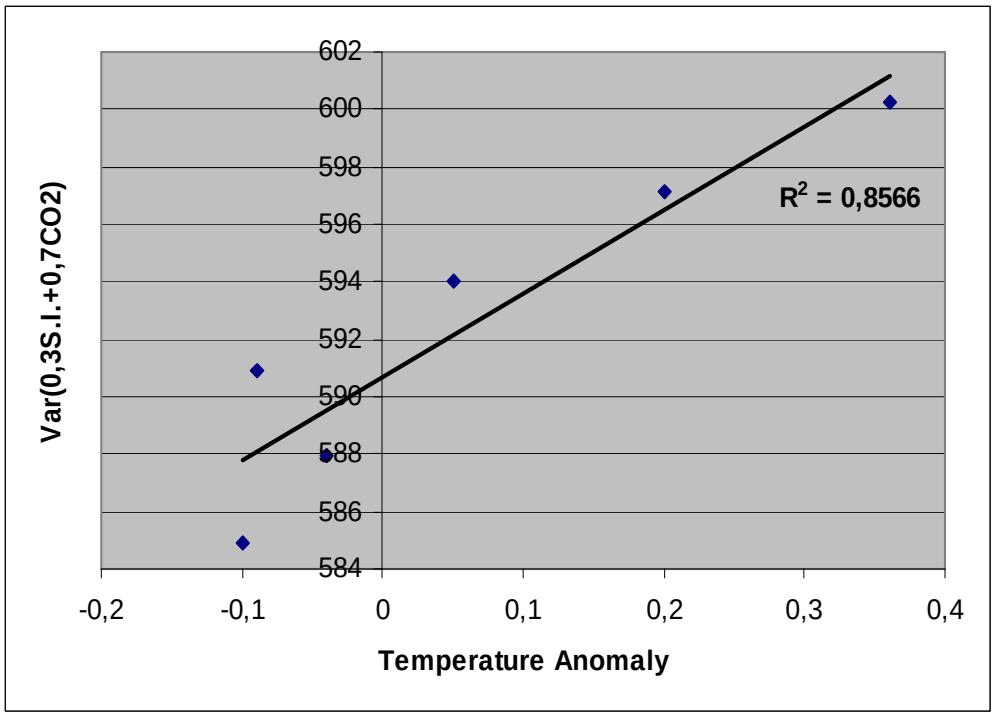
Διάγραμμα 2.27 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 60% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 40% της συγκέντρωσης του CO_2.



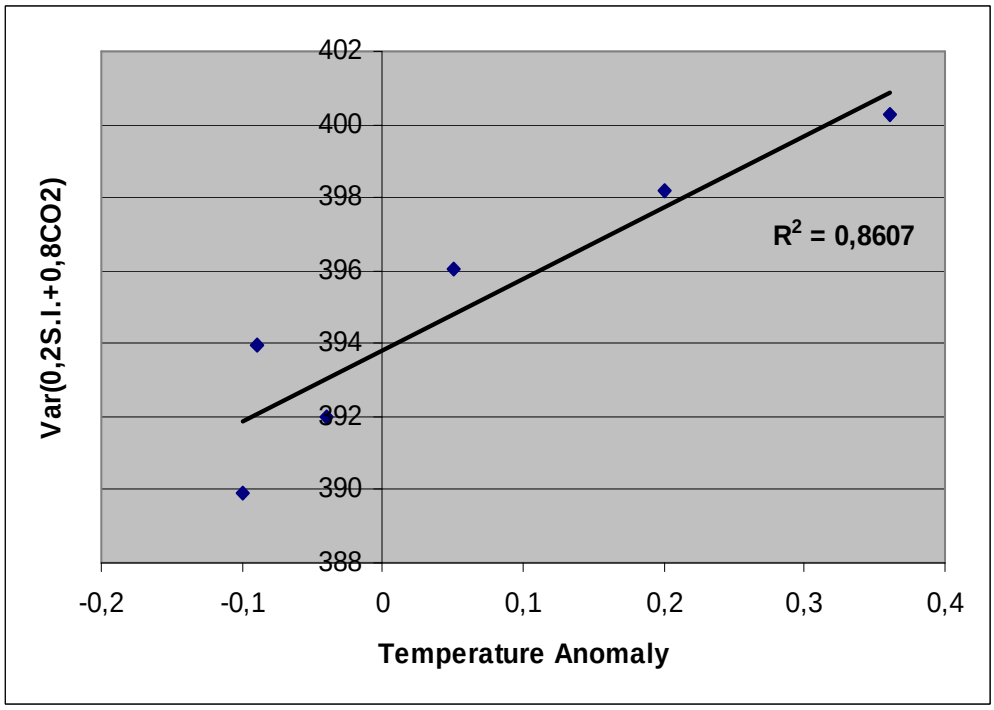
Διάγραμμα 2.28 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 50% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 50% της συγκέντρωσης του CO_2.



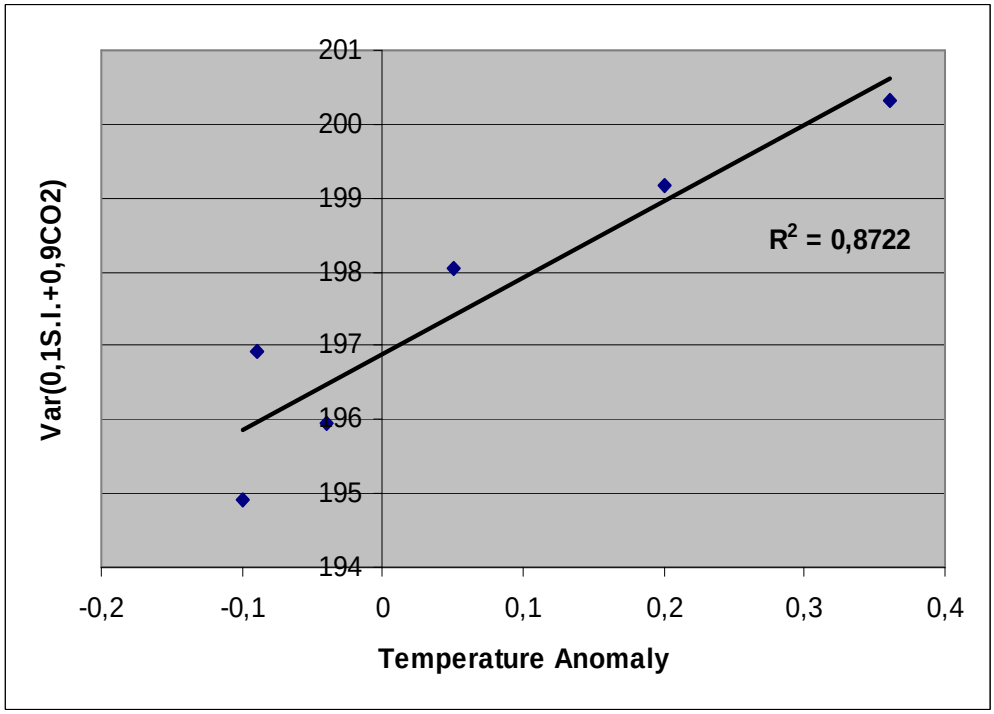
Διάγραμμα 2.29 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 40% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 60% της συγκέντρωσης του CO_2.



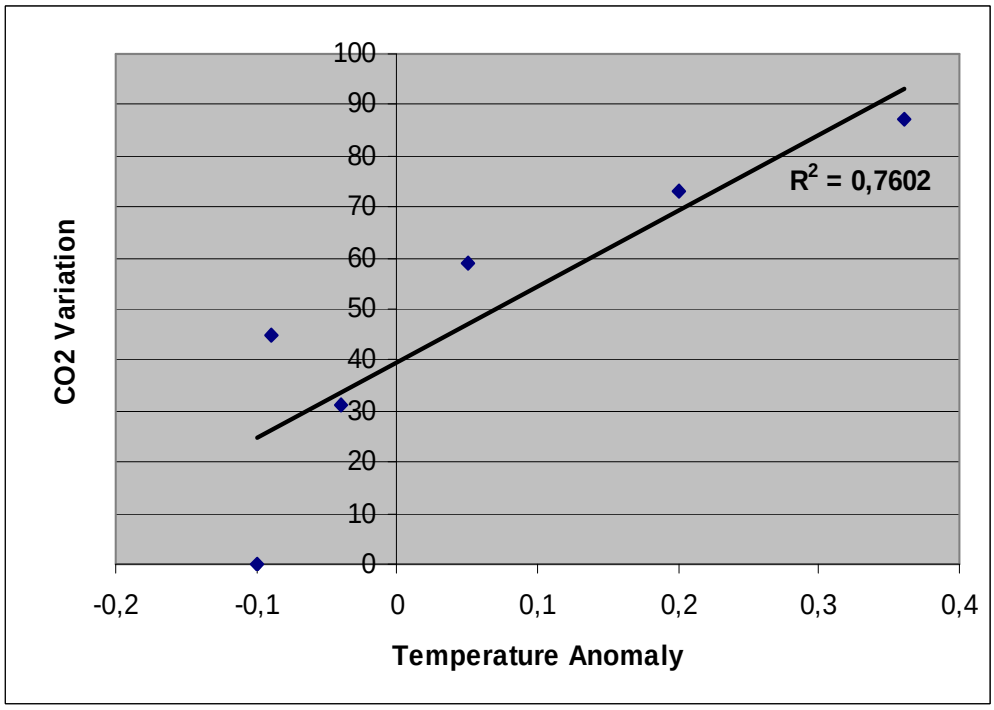
Διάγραμμα 2.30 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 30% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 70% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.31 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 20% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 80% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.32 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 10% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 90% της συγκέντρωσης του CO_2.



Διάγραμμα 2.33 : Συσχετισμός διακύμανσης της θερμοκρασίας με 0% συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και 100% της συγκέντρωσης του CO_2.

Σ'αυτά τα διάγραμματα ο δείκτης συσχετισμού κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 0,6917 – 0,8722.

Η μέγιστη τιμή του δείκτη συσχετισμού παρουσιάζεται στο διάγραμμα με ποσοστό συμβολής της ηλιακής ακτινονοβολίας 10% και της συγκέντρωσης του CO_2 90%. Στα υπόλοιπα διαγράμματα , εξαιρώντας την ελάχιστη τιμή του δείκτη συσχετισμού που παρουσιάζεται στο διάγραμμα 2.23, όπου μοναδικός παράγοντας επιρροής θεωρείται η ηλιακή ακτινοβολία, οι τιμές του δεν διαφέρουν αισθητά μεταξύ τους καθώς μεταβάλλεται το ποσοστό συμβολής.

Επιλέγοντας λοιπόν το διάγραμμα με τη μέγιστη τιμή του δείκτη συσχετισμού, 0,8722 καταλήγουμε στην παραδοχή ότι ειδικά για το χρονικό διάστημα μεταξύ των ετών 1950 – 2000 τα ποσοστά συμβολής της ηλιακής ακτινοβολίας και του CO_2 αλλάζουν, και συγκεκριμένα αντιστρέφονται. Δηλαδή, την τελευταία πεντηκονταετία η απότομη αύξηση της συγκέντρωσης του CO_2 έχει συμβάλλει κατά 90% στην αλλαγή του κλίματος ενώ η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά 10%, σε αντίθεση με τις προηγούμενες δεκαετίες που ελέγξαμε (μέχρι το 1850) όπου ίσχυε το αντίστροφο.

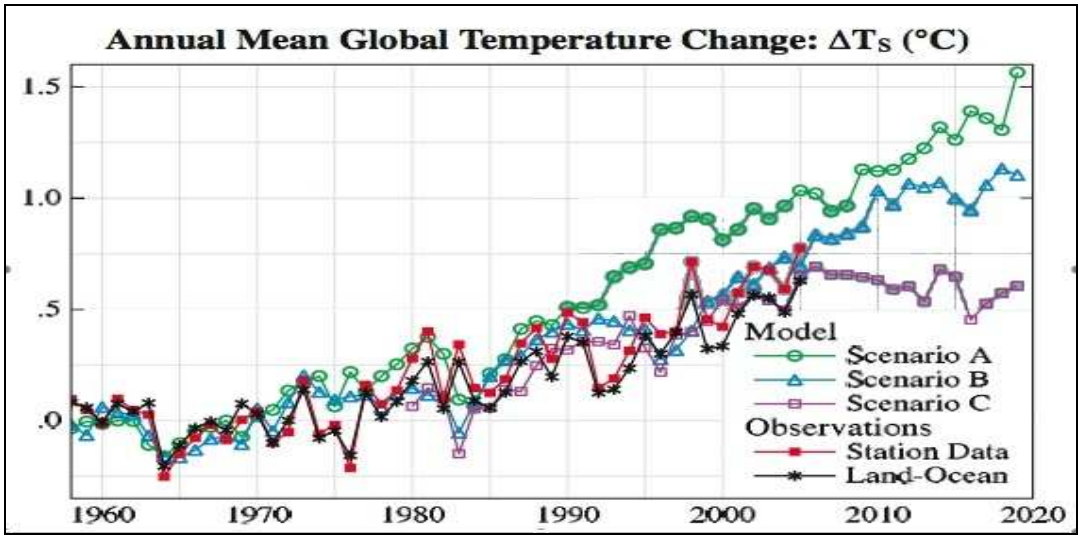
2.2 Μοντέλα πρόβλεψης της μέσης θερμοκρασίας

Στην προσπάθειά τους να προβλέψουν την μέση θερμοκρασία της Γης, οι επιστήμονες έχουν δημιουργήσει διάφορα μοντέλα πρόβλεψης. Τα μοντέλα αυτά λαμβάνουν υπ' όψιν τους διάφορες παραμέτρους όπως είναι οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου, διάφορα μετεωρολογικά δεδομένα (ηλιοφάνεια, νεφοκάλυψη, υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση κ.α.). Επίσης σε μερικά μοντέλα λαμβάνεται υπ' όψιν και ωκεάνιες μεταβλητές όπως είναι το ύψος της θάλασσας η θερμοκρασία της θάλασσας και η αλατότητα. Βέβαια η σημαντικότητα, δηλαδή ο βαθμός που λαμβάνονται υπόψη οι παράμετροι αυτοί είναι διαφορετικοί σε κάθε μοντέλο. Κάποια άλλα μοντέλα χρησιμοποιούν αστρονομικά μεγέθη, όπως οι ηλιακές κηλίδες και η θέση των πλανητών.

Επίσης ακολουθούν κάποια παγκόσμια μελλοντικά σενάρια, και δεν εξετάζουν συγκεκριμένα ή μεμονωμένα τις εκπομπές αερίου θερμοκηπίου. Αντί αυτού, είναι περισσότερο γενικές «ιστορίες» πιθανών μελλοντικών κόσμων.

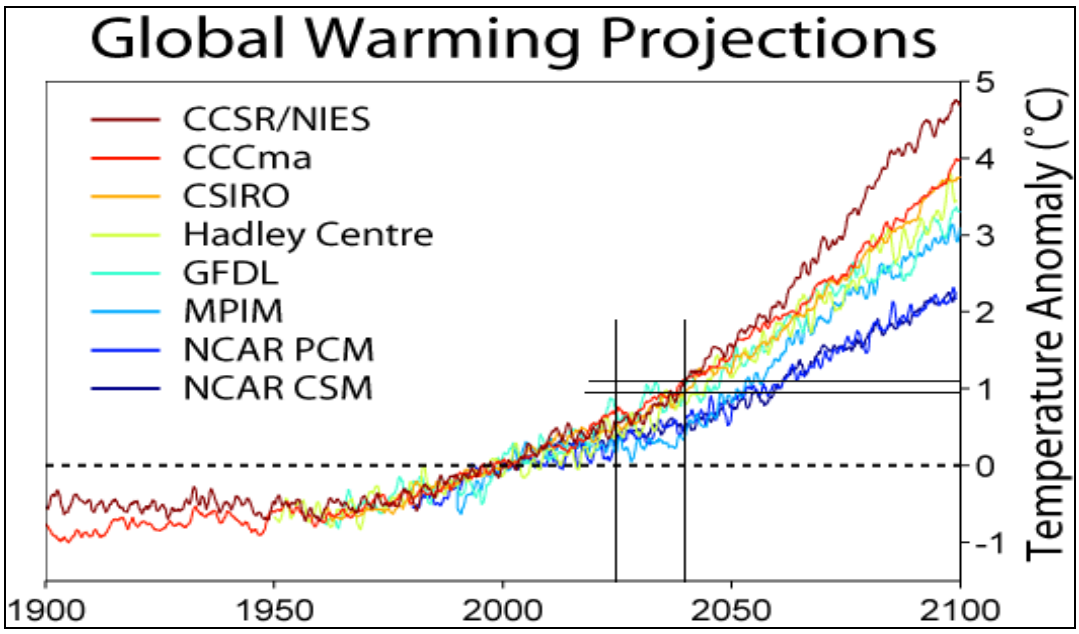
Στην συνέχεια παρουσιάζονται παραδειγματικά κάποια μοντέλα.

Αρχίζοντας από τα γραφικά αποτελέσματα του μοντέλου του Hansen (1988), ο οποίος κάνει μια πρόβλεψη της μέσης θερμοκρασίας της Γης συσχετίζοντάς την κυρίως με τις συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα. Στο σενάριο Α, υποθέτει μια ακραία αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου, στο σενάριο C έναν μικρό ρυθμό αύξησης ενώ στο σενάριο Β μια μέση αύξηση.



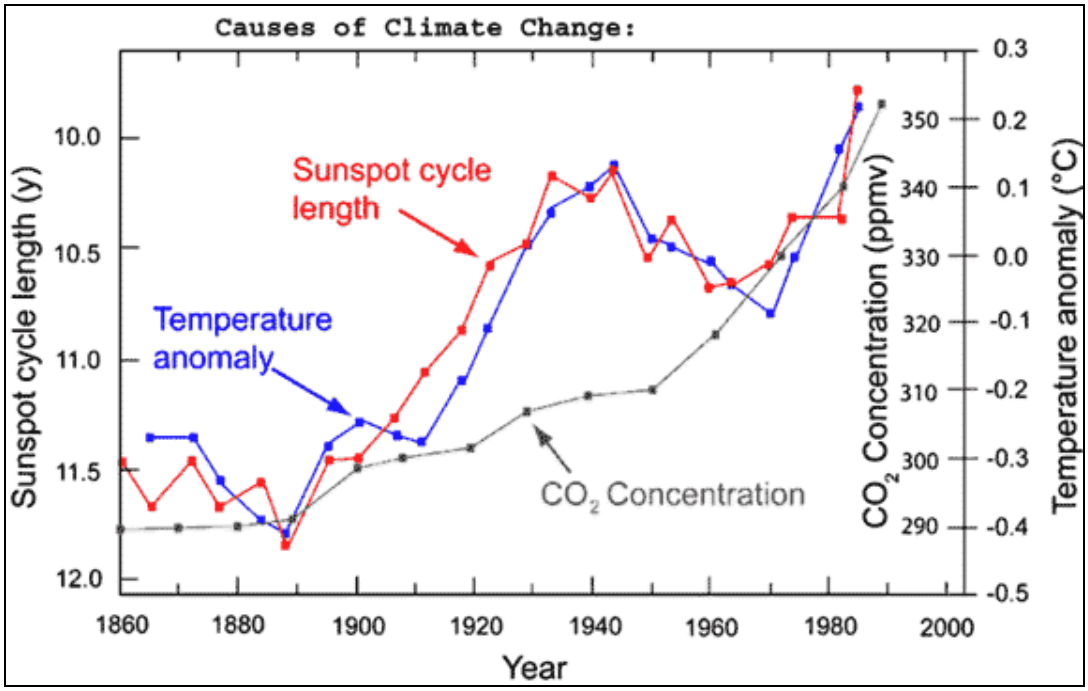
Εικόνα 2.1 : Αποτελέσματα μοντέλου Hansen

Προβλέψεις για την μέση θερμοκρασία της Γης για τα επόμενα επίσης έχουν κάνει και διάφορα ινστιτούτα και οργανισμοί ανά τον κόσμο. Τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στην παρακάτω εικόνα του γραφήματος.



Γράφημα 2.2 : Πρόβλεψη θερμοκρασίας από διάφορα ινστιτούτα

Επίσης έχει γίνει μια προσπάθεια από διάφορους επιστήμονες να συσχετίσουν την μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας με διάφορα αστρονομικά μεγέθη και κυρίως με τις ηλιακές κηλίδες. Μια τέτοια προσπάθεια του Dave Roberts φαίνεται στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3 : Ηλιακές κηλίδες και θερμοκρασία σύμφωνα με μια ομάδα επιστημόνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Συμπεράσματα

Στο 2^{ο} κεφάλαιο αναπτύξαμε ένα μοντέλο συσχετισμού το οποίο βασίζεται στην απόκριση της έντασης της ακτινοβολίας και της συγκέντρωσης του CO_2 στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Ύστερα από αρκετές δοκιμές, επιλέξαμε την κατάλληλη μέθοδο και διαγράμματα που αποδείχθηκαν αντιπροσωπευτικά για να γίνει η αναπαράσταση της σχέσης που έχουν οι δύο αυτοί παράγοντες με τη μέση θερμοκρασία της Γης.

Καταλήξαμε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι για μεγάλες χρονικές κλίμακες η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ευθύνεται κατά 90% για τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, ενώ η συγκέντρωση του CO_2 κατά 10%.

Γνωρίζουμε επίσης ότι τις τελευταίες δεκαετίες λόγω της αυξανόμενης ανθρώπινης δραστηριότητας η συγκέντρωση του CO_2 έχει σημειώσει μία απότομη και εμφανή αύξηση. Ακολουθήσαμε λοιπόν την ίδια μέθοδο για τα τελευταία 50 έτη, όπου η συγκέντρωση ξεπερνάει τη σταθερή τιμή των 280 ppm για να εξακριβώσουμε την επιρροή της αύξησης του CO_2 στη θερμοκρασία.

Το συμπέρασμα γι' αυτή την περίοδο είναι ότι η συγκέντρωση του CO_2 συμβάλλει στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά 90% ενώ η ηλιακή ακτινοβολία κατά 10%. Αυτό είναι λογικό αν λάβουμε υπόψη την ραγδαία αύξηση του CO_2.

Μέσα από το μοντέλο αυτό έχουμε από τη μία πλευρά μία γενική εικόνα για την επιρροή των παραγόντων αυτών στη μέση θερμοκρασία της Γης, και από την άλλη έχουμε μία πιο ειδική εικόνα για ένα συγκεκριμένο, απρόσμενο, με βάση τα φυσικά δεδομένα, γεγονός, την αύξηση δηλαδή της συγκέντρωσης του CO_2.

Καταλήγουμε έτσι στο συμπέρασμα ότι τελικά οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας επηρεάζονται και από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και από τη συγκέντρωση του CO_2. Αυτό που ίσως αλλάζει είναι το ποσοστό επιρροής ανάλογα τη χρονική κλίμακα ή είτε την ένταση, είτε το μέγεθος του κάθε παράγοντα όπως παρατηρούμε με βάση τα παραπάνω..

3.2 Συζήτηση

Από ιστορικά στοιχεία είναι γνωστό ότι και το κλίμα στη Γη μεταβάλλεται. Στις μεταβολές αυτές ρόλο παίζουν τόσο φυσικοί παράγοντες, όπως η μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία, τα ηφαίστεια, όσο και ανθρωπογενείς παράγοντες. Καθημερινά διαβάζουμε ότι οι επιστήμονες προειδοποιούν την ανθρωπότητα γιατί πιστεύουν ότι η θερμοκρασία του πλανήτη μας αυξάνεται και ότι αυτό οφείλεται κυρίως στα παραγόμενα από τον άνθρωπο ρυπογόνα αέρια (κυρίως στο διοξείδιο του άνθρακα), που εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αύξηση αυτή της θερμοκρασίας, αν συνεχιστεί με αυτόν τον ρυθμό, πιστεύεται ότι θα έχει δραματικές συνέπειες, καθώς θα καταστήσει πολύ σύντομα το γήινο περιβάλλον ιδιαίτερα εχθρικό για τη ζωή.

Είναι όμως φανερό ότι για να μπορέσουμε να μελετήσουμε τον ρόλο που παίζουν οι ανθρωπογενείς παράγοντες στην παρατηρούμενη σήμερα αύξηση της θερμοκρασίας ή στην καταστροφή του όζοντος και πώς αυτή θα εξελιχθεί μελλοντικά πρέπει να είμαστε σε θέση να πούμε αν σε αυτήν συνεισφέρει, και σε ποιον βαθμό, η μεταβαλλόμενη ηλιακή ακτινοβολία.

Έχει προταθεί ότι ο ηλιακός άνεμος και το μαγνητικό πεδίο του Ηλίου μπορούν να περιορίσουν τον αριθμό των κοσμικών ακτινών που εισέρχονται στη γήινη ατμόσφαιρα. Οι κοσμικές ακτίνες είναι αυτές που συγκρούονται με τα μόρια αέρα για να παραγάγουν τα δευτερογενή σωματίδια που δίνουν τους τύπους των σύννεφων που ενεργούν για να ψύξουν τη Γη.

Αλλά η δραστηριότητα του Ήλιου επηρεάζει τη ροή των κοσμικών ακτινών. Σε γενικές γραμμές, όσο περισσότερες κοσμικές ακτίνες φθάνουν στη Γη, τόσο χαμηλά νέφη υπάρχουν. Πάντως, μια μεγαλύτερη ηλιακή δραστηριότητα οδηγεί σε χαμηλότερη ροή κοσμικών ακτινών και σε μείωση των χαμηλών νεφών.

Τα χαμηλά νέφη ψύχουν τη Γη ανακλώντας περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο διάστημα, έτσι που μια ελάττωση στην ποσότητα των χαμηλών νεφών συμβάλλει στην συνολική αύξηση της θερμοκρασίας. Αντιθέτως τα υψηλά νέφη τείνουν να θερμαίνουν τη Γη, ανακλώντας προς τη Γη περισσότερη υπέρυθρη ακτινοβολία. **[17]**

Η ποσότητα των νεφών έχει επιπτώσεις στο ποσό της ακτινοβολίας που φθάνει από τον ήλιο στην επιφάνεια του πλανήτη μας, που στη συνέχεια έχει επιπτώσεις στην παγκόσμια θερμοκρασία.

Τα στοιχεία που συλλέγονται από τους δορυφόρους δείχνουν ότι η ποσότητα των χαμηλών νεφών πάνω από τη Γη ακολουθεί στενά την ποσότητα των κοσμικών ακτινών που φθάνουν στη Γη.

Η προκύπτουσα θέρμανση, λοιπόν, που οφείλεται σε αυτό το φαινόμενο κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα θα μπορούσε να συγκριθεί με την ποσότητα της θέρμανσης, που οι άνθρωποι νομίζουν ότι οφείλεται στην επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Με άλλα λόγια, η αυξανόμενη ηλιακή δραστηριότητα σημαίνει λιγότερες κοσμικές ακτίνες, λιγότερα σύννεφα, και περισσότερη θέρμανση.

Αν προσθέσουμε σε αυτό το φαινόμενο και τις άλλες επιδράσεις που οφείλονται στον ήλιο, τότε τα αέρια του θερμοκηπίου γίνονται κατά 50% λιγότερο υπεύθυνα για τις αυξανόμενες παγκόσμιες θερμοκρασίες.

Οι ειδικοί επιστήμονες πάνω στο κλίμα έχουν παρατηρήσει ήδη τις αλλαγές που σχετίζονται με τη δραστηριότητα των κηλίδων του ήλιου - και τις μακροπρόθεσμες αλλαγές στη φωτεινότητα του ήλιου, η οποία έχει έναν κύκλο που διαρκεί επί αιώνες.

Όμως, έχουν απορρίψει την επίδραση και των δύο φαινομένων στην αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του τελευταίου αιώνα, είτε γιατί αυτές συμβαίνουν σε ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα είτε γιατί είναι πάρα πολύ ασθενείς.

Αλλά μέχρι τώρα έχουν παραλείψει να πάρουν υπ' όψιν τους δύο άλλους παράγοντες:

- Οι μεταβολές στην ποσότητα της υπεριώδους ακτινοβολίας που έρχεται από τον ήλιο έχουν επιπτώσεις στο στρώμα του όζοντος. Το στρώμα του όζοντος είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της ατμόσφαιρας γιατί εκεί γίνονται πολλές χημικές αντιδράσεις, που παίζουν ρόλο στον τρόπο που εξελίσσεται και η υπόλοιπη ατμόσφαιρα.
- Το μαγνητικό πεδίο του ήλιου και ο ηλιακός άνεμος - κυρίως υπό μορφή ηλεκτρονίων και πρωτονίων που εξέρχονται από τον ήλιο, προστατεύουν ολόκληρο το ηλιακό σύστημα ενεργώντας σαν ένα είδος ασπίδας εναντίον των κοσμικών ακτινών.

Επίσης οι σκεπτικιστές υποστηρίζουν ότι τα σενάρια της μελλοντικής αλλαγής του κλίματος που παράγονται από τα πρότυπα των υπολογιστών δεν είναι τόσο καλά υπολογισμένα. Θεωρούν ότι ο στόχος της εξομοίωσης των περιπλοκών του συστήματος του κλίματός μας είναι πέρα από τις ικανότητες ακόμη και των πιο γρήγορων υπερυπολογιστών.

Ορισμένα φαινόμενα, όπως ο σχηματισμός σύννεφων, η ωκεάνεια μεταφορά θερμότητας και η μίξη του αέρα, είναι ακόμα τόσο ανεπαρκώς κατανοητά, που πρέπει να γίνουν ορισμένες νέες υποθέσεις για τον τρόπο που η ατμόσφαιρα συμπεριφέρεται. **[18]**

Εκτός από τα παραπάνω είναι απαραίτητο να σημειωθούν οι εξής παρατηρήσεις :

- Η ουσιαστική αύξηση της θερμοκρασίας σημειώθηκε πριν τη δεκαετία του 1940, όπου εμφανίζεται η πραγματική αύξηση του CO_2
- Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας δεν είναι αντιπροσωπευτικές λόγω του ότι οι σταθμοί βρίσκονται κοντά σε αστικές περιοχές, αλλά και αυτοί που είναι τοποθετημένοι σε κατάλληλες περιοχές είναι πολύ λίγοι.
- Οι χρονικές κλίμακες με βάση τις οποίες λειτουργούν τα μοντέλα είναι ουσιαστικά πολύ μικρές ώστε να δώσουν επαρκή και αξιόπιστα αποτελέσματα
- Τα δορυφορικά αρχεία θερμοκρασιών δεν συμφωνούν με τα αποτελέσματα που διεξάγονται από τα κλιματικά μοντέλα
- Τέλος δεν παρατηρούνται η αύξηση της θερμοκρασίας και το ποσοστό τήξης των πάγων στην Αρκτική όπως προέβλεπαν τα κλιματικά μοντέλα. Παρατηρούνται αλλαγές στις αρχές του $19^{ου}$ αι. που οφείλονται σε άλλους φυσικούς παράγοντες .

Από την άλλη μεριά ένα σημαντικό γεγονός που δεν έχει ληφθεί υπόψη λόγω της συνολικής προσοχής μας στο CO_2 , είναι η αύξηση της συγκέντρωσης δύο ακόμα σημαντικών αερίων του θερμοκηπίου, του μεθανίου (CH_4) και του τριφθοριούχου αζώτου (NF_3).

Σύμφωνα με δύο νέες μελέτες, τα τελευταία χρόνια τα δύο αυτά αέρια έχουν αυξηθεί σημαντικά στην ατμόσφαιρα, μία αύξηση που δεν έχει συνυπολογιστεί στα μοντέλα πρόβλεψης της ανόδου της θερμοκρασίας στο μέλλον.

Θεωρείται ότι η επίπτωση του μεθανίου στην παγκόσμια υπερθέρμανση είναι περίπου το ένα τρίτο αυτής που προέρχεται από το διοξείδιο του άνθρακα. Πριν πολλές χιλιάδες χρόνια, δισεκατομμύρια τόνοι μεθανίου δημιουργήθηκαν από τα αποσυντιθεμένα φυτά στον Αρκτικό κύκλο, οι οποίοι σήμερα βρίσκονται παγωμένοι στο βυθό των ωκεανών του Βόρειου Πόλου. Υπάρχει λοιπόν ο φόβος, αν η Αρκτική θερμανθεί κι άλλο, το μεθάνιο αυτό θα απελευθερωθεί επιδεινώνοντας δραματικά το ήδη σοβαρό πρόβλημα του θερμοκηπίου. Οι επιστήμονες προσπαθούν να καταλάβουν αν αυτή η διαδικασία έχει ήδη αρχίσει.

Επίσης το τριφθοριούχο άζωτο έχει υπερτετραπλασιατεί την τελευταία δεκαετία (κυρίως στο Βόρειο Ημισφαίριο) και έχει αυξηθεί κατά 30 φορές από το 1978. Συνεισφέρει μόνο 0,04 % στην παγκόσμια υπερθέρμανση, είναι όμως κατά 12 εώς 20 χιλιάδες φορές πιο ικανό από το διοξείδιο του άνθρακα στο να παγιδεύει τη θερμότητα. Το διοξείδιο του άνθρακα όμως παραμένει πιο επικίνδυνο για την κλιματική αλλαγή εξαιτίας της μεγάλης του ποσότητας στην ατμόσφαιρα.

Διαπιστώνουμε ότι μια άποψη που τον τελευταίο καιρό αναπτύσσεται αρκετά, τονίζει τη δραστηριότητα του Ήλιου ως σημαντικότερο παράγοντα στην αλλαγή του κλίματος. απ' όσο οι ανθρώπινες δραστηριότητες, δηλαδή των εκπομπών των αερίων που ελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα και της παγίδευσης μέσα σε αυτήν της θερμότητας.
Επίσης η αρχική άποψη για την κύρια επιρροή της αύξησης του CO_2 στην κλιματική αλλαγή συνεχίζει να υποστηρίζεται από ένα άλλο ποσοστό επιστημόνων.
Είναι γεγονός λοιπόν ότι όσον αφορά τα αίτια θέρμανσης του πλανήτη οι απόψεις διίστανται προς δύο κατευθύνσεις.

Η μία που αποδίδει την αλλαγή αυτή σε φυσικούς παράγοντες, όπως η δραστηριότητα του Ήλιου, και η άλλη που θεωρεί ότι οφείλεται στις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, έχοντας ως αποτέλεσμα την αύξηση και απελευθέρωση στην ατμόσφαιρα των αερίων του θερμοκηπίου.

Έχει παρατηρηθεί ότι ορισμένες διαδικασίες πάνω στον ήλιο, θα μπορούσαν να έχουν επίδραση στην θερμοκρασία της Γης, όπως και οι αυξανόμενες εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).

Όμως η ενέργεια που εκπέμπεται από τον ήλιο είναι υπεύθυνη για το σύστημα του κλίματος, και οι φυσικές αλλαγές στη συμπεριφορά του ήλιου μπορούν να έχουν μια πολύ μεγαλύτερη επίδραση από ότι η ανθρώπινη δραστηριότητα πάνω στο κλίμα.

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον Ήλιο δεν είναι σταθερή, μεταβάλλεται συνεχώς σε όλα τα μήκη κύματος και σε όλες τις χρονικές κλίμακες (από μερικά δευτερόλεπτα έως αιώνες). Οι μεταβολές αυτές εμφανίζουν μια περιοδικότητα με ελάχιστα και μέγιστα να εναλλάσσονται κυκλικά ανά περίπου 11,22,80,200, αλλά και περισσότερα, χρόνια. Μια τέτοια περιοδική συμπεριφορά παρουσιάζει και η εμφάνιση διαφόρων σχηματισμών πάνω στην επιφάνεια του Ηλίου. Οι πιο γνωστοί σχηματισμοί, που χρησιμοποιούνται ως δείκτες της ηλιακής δραστηριότητας, είναι οι ηλιακές κηλίδες, οι μεταβολές διαφόρων σωματιδίων (πρωτόνια, ηλεκτρόνια), αλλά και η μεταβολή της ροής της κοσμικής ακτινοβολίας (πολύ ενεργητικά σωματίδια αλλά και ακτινοβολία από το εξωτερικό διάστημα).

Μερικοί σκεπτικιστές του φαινομένου του θερμοκηπίου υποστηρίζουν ότι αυτός ο συσχετισμός μεταξύ της γήινης θερμοκρασίας και της ηλιακής δραστηριότητας είναι καλύτερος και ομαλότερος απ' ότι ο οποιοσδήποτε συσχετισμός με το CO_2.

Σκεπτικισμός εκφράζεται κατά πόσον το CO_2 είναι κυρίως ανθρωπογενές από πολλούς επιστήμονες. Σκανδιναβοί επιστήμονες, και μάλιστα του αστεροσκοπείου της Κοπεγχάγης (Danish National Space Center) , δεν θεωρούν το CO_2 ρύπο (Friis-Christensen and Lassen, ομιλία της 18^{ης} Απριλίου 2007). Ανάλογες απόψεις εκφράζουν οι επιστήμονες της Σχολής της Οικολογίας στο Πανεπιστήμιο του Lund Σουηδίας. Επίσης πάνω από 31 000 Αμερικανοί Επιστήμονες που πολλοί από αυτούς

κατέχουν διδακτορικό δίπλωμα καθώς και ερευνητές και Καθηγητές Πανεπιστημίου, έναντι 2500, κυρίως υπαλλήλων του ΟΗΕ, αρνούνται ότι το λεγόμενο global warming είναι ανθρωπογενές. Θα αναφέρουμε τον Dr Arthur Robinson Διευθυντή του Oregon Institute for Science and Medicine.

Τη στιγμή που γράφονται αυτές οι γραμμές η Διευθυντής του ΙΓΜΕ κ. Κασσιανή Παπανικολάου μας πληροφορεί ότι ένα ισοζύγιο άνθρακα στα έτη από το 1960 και μετά, όπου παρατηρείται το άλμα από τα 280 στα 380 ppm CO_2, δεν δικαιολογεί ενοχοποίηση των υδρογονανθράκων και μόνον. Αβίαστα λοιπόν το εξαγόμενο συμπέρασμα είναι ότι υπάρχει σημαντική **μη** ανθρωπογενής συνεισφορά στην αύξηση του αερίου αυτού στην ατμόσφαιρα. Μία πλήρης ανάλυση των αντιπαραθέσεων των δύο αυτών σχολών ξεφεύγει από την έκταση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Έκρινα όμως απαραίτητο και με την καθοδήγηση του Επιβλέποντα Καθηγητή μου να αναφερθώ με όση μεγαλύτερη αντικειμενικότητα ήτο δυνατόν και στις δύο.

Μια επόμενη εργασία πάνω στο θέμα θα μπορούσε να λάβει υπόψη τα στοιχεία της παρούσας Συζήτησης σε μια προσπάθεια να επιτευχθεί ακόμη καλύτερη προσέγγιση ανάμεσα στο μοντέλο και την πραγματικότητα όσον αφορά τις κλιματικές αλλαγές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ιστότοποι

1. el.wikipedia.org/wiki/Κλίμα
2. http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Print_SPM.pdf
3. www.rewebis.gr/material/8.pdf
4. www.physics4u.gr/articles/2005/takeoutcarbon.html
5. http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/DELIGIORGI%20KATERINA.ppt.
6. www.physics4u.gr/news/2004/scnews1547.html
7. el.wikipedia.org/wiki/Φαινόμενο_του_θερμοκηπίου
8. www.wikipedia.org/wiki/volcanoes
9. http://www.greenfacts.org/en/climate-change-ar4/index.htm#2
10. http://pubs.usgs.gov/of/1997/of97-262/of97-262.html
11. http://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_circulation
12. http://www.physics4u.gr/news/2005/scnews1954.html
13. http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Milankovitch/
14. http://www.physics4u.gr/articles/2004/milankovitch.html
15. http://www.astronomia.gr/wiki/index.php?title=Ηλιακή_Κηλίδα
16. http://www.exploratorium.edu/sunspots
17. http://www.physics4u.gr/articles/questghouse.html
18. http://www.physics4u.gr/articles/2003/sunandclimatechange.html

Εντυπο υλικό

19. Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers (2007), IPCC Fourth Assessment Report (AR4)
20. Climate Change Impacts on the Mediterranean Coastal Zones, 2001
21. EPA 1996
22. Ρύπανση & Έλεγχος Ρύπανσης Αέρα, Οικονομόπουλος 1999
23. IPCC 1996
24. Περιβαλλοντική Μετεωρολογία & Μοντέλα Ποιότητας Αέρα, Λαζαρίδης 2005
25. IPCC 2007
26. IPCC, Climate Change 2007 Synthesis Report

27. Impacts of Volcanic Gases on Climate, the Environment, and People, U.S. Geological Survey Open-File Report 97-262 By Kenneth A. McGee, Michael P. Doukas, Richard Kessler, and Terrence M. Gerlach, May 1997
28. Marti, Joan and Ernst, Gerald. (2005). Volcanoes and the Environment. Cambridge University Press.
29. First sunspot of new solar cycle glimpsed, NewScientist (retrieved 8 January 2008)
30. K. G. Strassmeier, 1999-06-10, University of Vienna, "starspots vary on the same (short) time scales as Sunspots do".
31. Richard Turco in American Geophysical Union Special Report: Volcanism and Climate Change, May 1992