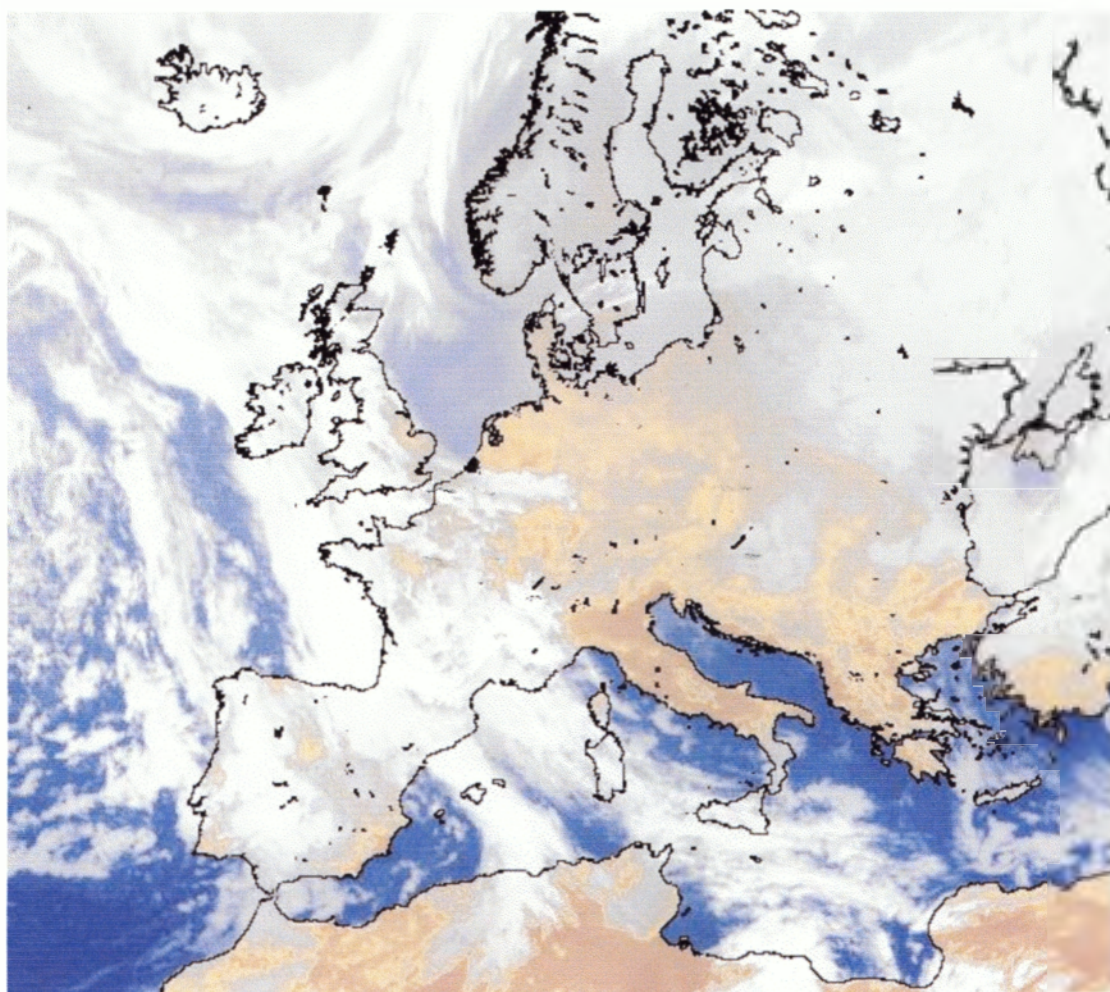


**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΓΕΩΠΟΝΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ: ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ  
ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ (ΘΕ.ΚΑ)**



**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΚΑΜΟΥΤΣΗΣ**

**ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ANNA ΓΚΑΝΑ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΙ ΟΙ  
ΕΠΗΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΚΑΜΟΥΤΣΗΣ  
ΜΕΛΗ :

*Αφιέρωση  
στον σύζυγο μου*

ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥΣ  
ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

## **Πίνακας Περιεχομένων**

<b>Κεφάλαιο 1: Παγκόσμια κλιματική αλλαγή</b> .....	1
1.1: Γενικά.....	1
1.2: Μεταβολές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γής κατά τα τελευταία 140 χρόνια και την τελευταία χιλιετία .....	1
1.3: Η επίδραση της αστικοποίησης στην αύξηση της θερμοκρασίας .....	5
1.4: Η χρήση των πιθανοτήτων του φαινομένου του θερμοκηπίου στο πρωτόκολλο του Kyoto .....	8
1.5: Μεταβλητότητα κλίματος στα Νότια Βαλκάνια στις περιόδους 1675-1715 και 1780-1830 και η επίδρασή της στη ζωή των ανθρώπων .....	10
1.6: Κλιματικές συνθήκες κατά τις περιόδους LMM (1675-1715) και EIP (1780-1830) ..	11
1.7: Η επίδραση του κλίματος στη ζωή των ανθρώπων.....	12
1.8: Σχέση ανάμεσα στο κλίμα και τις καλλιέργειες.....	13
1.9: Σχέση ανάμεσα στις κλιματικές μεταβλητές και επιδημίες .....	14
1.10: Μπορούμε να υπολογίσουμε τη πιθανότητα κλιματικών αλλαγών στο 2100;.....	19
1.11: Σενάρια κοινωνικών συνθηκών .....	22
<b>Κεφάλαιο 2: Κλιματικές αλλαγές στη Μεσόγειο</b> .....	25
2.1: Γενικά.....	25
2.2: Παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα της Μεσογείου .....	28
Θερμοκρασία.....	28
Βροχόπτωση .....	33
2.3: Ακραία καιρικά φαινόμενα.....	35
2.4: Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας .....	36
2.5: Υγρές και Ξηρές Μηνιαίες ανωμαλίες γύρω από τη Μεσόγειο και η σχέση τους με την κυκλοφορία, 1860-1990 .....	36
<b>Κεφάλαιο 3: Ο ρόλος του ύδατος και των πυρκαγιών στην εμφάνιση της κλιματικής αλλαγής</b> .....	37
3.1: Βροχόπτωση – Μια παράμετρος που αλλάζει το κλίμα και που τροποποιείται από την αλλαγή του κλίματος.....	37
3.2: Αλλαγές στην βροχόπτωση .....	38
3.3: Αλλαγή στην ένταση της βροχόπτωσης και στη συχνότητα ξηρασίας .....	40
3.4: Τα χαρακτηριστικά πλημμύρας μεγάλων ποταμών Ηνωμένου Βασιλείου (Αγγλίας) ενδεχόμενα αποτελέσματα της αλλαγής του κλίματος και χρήσης της γής .....	43
3.5: Η ευαισθησία του Αυστραλιανού κινδύνου πυρκαγιών στην κλιματική αλλαγή.....	45
3.6: Στοιχεία και Μοντέλα – Μοντέλο Φωτιάς.....	47
<b>Κεφάλαιο 4: Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στη γεωργία</b> .....	51
4.1: Γενικά.....	51
4.2: Μοντέλα Επιδράσεων.....	51
4.2: Οι αντιδράσεις του οικοσυστήματος καλλιεργειών στην κλιματική αλλαγή .....	56
4.2.1: Σιτάρι.....	56
4.2.2: Καλαμπόκι.....	57
4.2.3: Βαμβάκι.....	62
4.2.4: Ριζώδεις και Βολβώδεις καλλιέργειες – Λαχανοκομικά είδη .....	66
4.2.5: Δενδρώδεις καλλιέργειες.....	69
4.3: Η παραγωγή και εφαρμογή διαγραμμάτων για την εκτίμηση της επίδρασης της Κλιματικής αλλαγής στη παραγωγικότητα των καλλιεργειών (RSD) .....	70

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1° ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

### 1.1 Γενικά

Η θερμοκρασία έχει αυξηθεί τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας (πάχους 8 χιλιομέτρων). Από τα τέλη της δεκαετίας του 1950 η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας στα χαμηλότερα 8 χιλιόμετρα της ατμόσφαιρας και η αύξηση στην επιφάνεια είναι παρόμοιες, στο  $0.1^{\circ}\text{C}$  ανά δεκαετία. Από την έναρξη του δορυφορικού αρχείου το 1979, οι μετρήσεις και των δορυφόρων και των αερόστατων δείχνουν ότι η μέση παγκόσμια θερμοκρασία των 8 χαμηλότερων χιλιομέτρων έχει αλλάξει κατά  $+0.05 \pm 0.10^{\circ}\text{C}$  ανά δεκαετία. Η διαφορά στα ποσά είναι στατιστικά σημαντική. Αυτή η διαφορά συμβαίνει κυρίως πάνω από τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές.

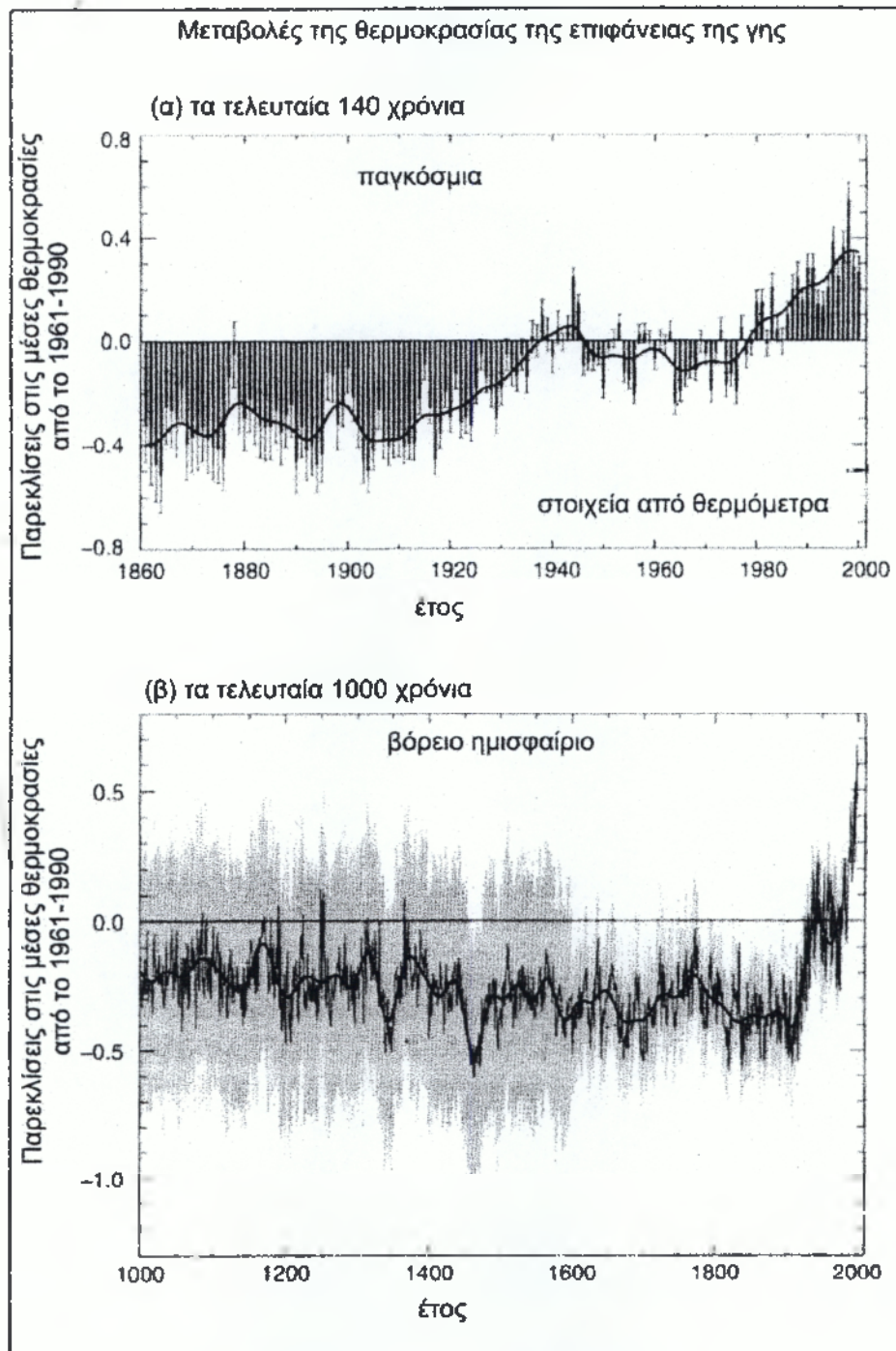
Τα χαμηλότερα 8 χιλιόμετρα της ατμόσφαιρας και η επιφάνεια επηρεάζονται διαφορετικά από παράγοντες όπως η μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα, ατμοσφαιρικό αεροζόλ και το φαινόμενο Ελ Νίνιο. Έτσι, είναι πιθανόν ότι σε μικρό χρονικό διάστημα (π.χ. 20 χρόνων) μπορεί να υπάρχουν διαφορές στη κατεύθυνση της θερμοκρασίας (Διάγραμμα 1).

### 1.2 Μεταβολές της θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης κατά τα τελευταία 140 χρόνια και τη τελευταία χιλιετία.

Η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης δείχνεται ανά έτος και ανά δεκαετία. Υπάρχουν αβεβαιότητες ως προς τα ετήσια στοιχεία που οφείλονται σε κενά που υπάρχουν στα στοιχεία, τυχαία λάθη των οργάνων και αβεβαιότητες, αβεβαιότητες ως προς τις προκατελημμένες διορθώσεις στα στοιχεία της θερμοκρασίας της επιφάνειας των ωκεανών και τις προσαρμογές που έγιναν για την αστικοποίηση περιοχών. Η καλύτερη εκτίμηση είναι ότι τα τελευταία 140 χρόνια όπως και τα τελευταία 100 χρόνια η μέση παγκόσμια θερμοκρασία έχει αυξηθεί (1α)

Επιπλέον, οι ετήσιες και μέσες ανά 50 χρόνια (μαύρη καμπύλη) μεταβολές της μέσης θερμοκρασίας στο Βόρειο Ημισφαίριο τα τελευταία 1000 χρόνια (1β) έχουν αναπαρασταθεί από αναντικατάστατα στοιχεία προσαρμοσμένα σε στοιχεία από θερμόμετρα. Το 95% της ακτίνας σιγουριάς στα ετήσια στοιχεία αντιπροσωπεύεται από τη γκρι περιοχή. Οι αβεβαιότητες αυξάνονται στις πιο μακρινές περιόδους εξαιτίας της χρήσης αναντικατάστατων στοιχείων. Παρ' όλα αυτά ο ρυθμός και η διάρκεια της αύξησης της θερμοκρασίας στον 20<sup>ο</sup> αιώνα είναι πολύ μεγαλύτερος από οποιαδήποτε άλλη περίοδο των τελευταίων εννέα αιώνων.

Παρομοίως, είναι πιθανόν ότι η δεκαετία του 1990 ήταν η πιο θερμή δεκαετία και το 1998 η πιο θερμή χρονιά της χιλιετίας.

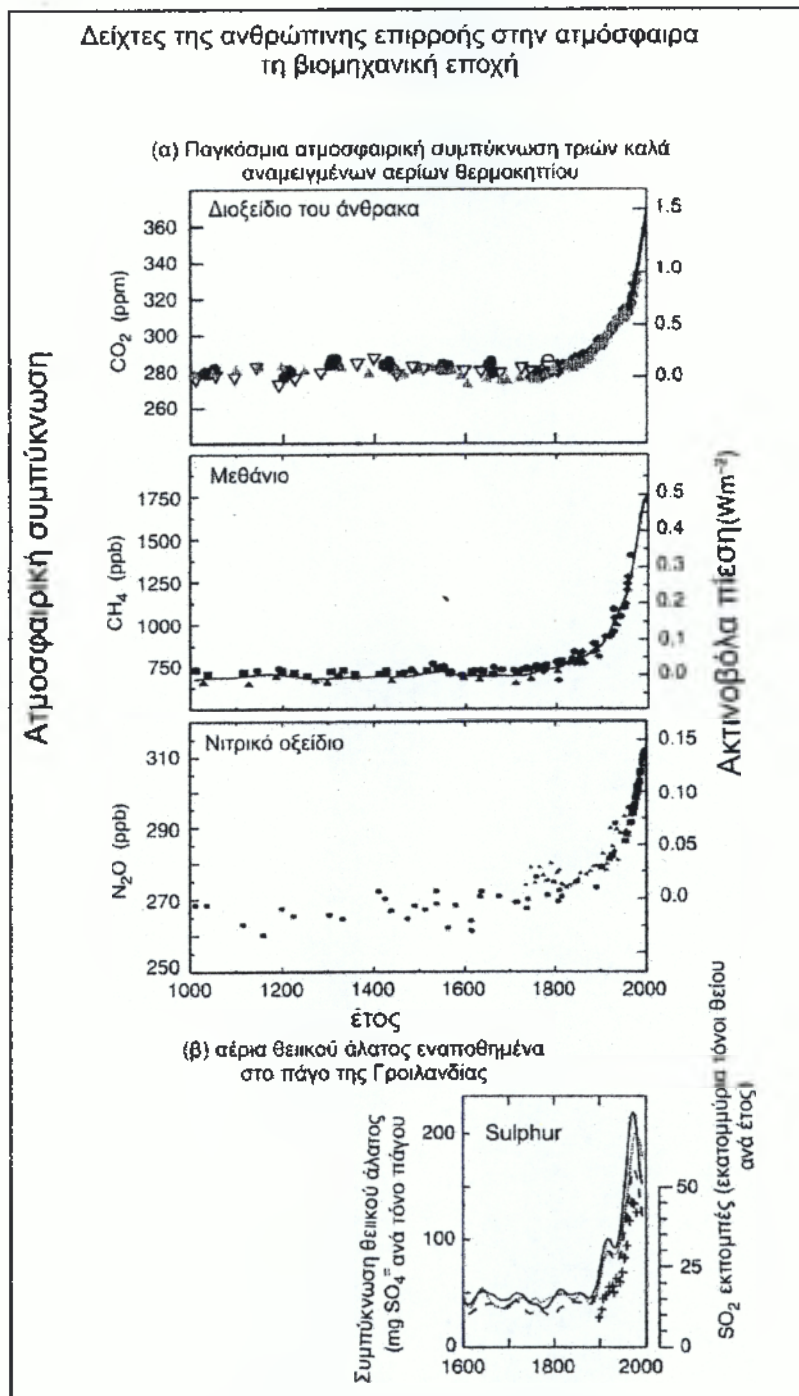


Διάγραμμα 1. Μεταβολές της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης (κατά National Observatory of Athens, 2002a).

Στο διάγραμμα 2α φαίνονται οι αλλαγές στην ατμοσφαιρική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μεθανίου ( $\text{CH}_4$ ) και νιτρικού οξειδίου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) κατά τα τελευταία 1000 χρόνια.

Στοιχεία από πυρήνα πάγου και χιονιού από διάφορα μέρη της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας συμπληρώνονται με στοιχεία από ατμοσφαιρικά δείγματα των τελευταίων δεκαετιών (δείχνονται με τη γραμμή για  $\text{CO}_2$  και ενσωματώνονται στη καμπύλη που αντιπροσωπεύει το μέσο παγκόσμιο  $\text{CH}_4$ ). Η υπολογισμένη θετική ακτινοβολία πίεση του κλιματικού συστήματος από αυτά αέρια υποδηλώνεται στη δεξιά κλίμακα. Εφόσον αυτά τα αέρια έχουν ατμοσφαιρική διάρκεια ζωής μιας δεκαετίας ή και περισσότερο είναι καλά αναμειγμένα και η συμπύκνωση τους δηλώνει εκπομπή από πηγές σ' όλο τον κόσμο. Μα οι τρεις καταγραφές δείχνουν τα αποτελέσματα της μεγάλης και συνεχιζόμενης αύξησης των ανθρωπογόνων εκπομπών στη Βιομηχανική εποχή.

Το 2β δείχνει την επιρροή βιομηχανικών εκπομπών στο ατμοσφαιρικό θειικό άλας το οποίο παράγει αρνητική ακτινοβολία πίεση. Επίσης δείχνει την ιστορία της συμπύκνωσης του θειικού άλατος, όχι στην ατμόσφαιρα αλλά σε πυρήνες πάγου στη Γροιλανδία (δείχνεται με γραμμές, και έχει αφαιρεθεί η επίδραση ηφαιστειακών εκρήξεων). Τα στοιχεία δείχνουν την τοπική εναπόθεση των αερίων του θειικού άλατος στην περιοχή, και απεικονίζουν την εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα του θείου ( $\text{SO}_2$ ) στις περιοχές που βρίσκονται στο μέσο του Βόρειου Ημισφαιρίου. Αυτή η καταγραφή δείχνει τη μεγάλη αύξηση των ανθρωπογόνων εκπομπών διοξειδίου του θείου στη Βιομηχανική εποχή (National Observatory of Athens, 2002a).



Διάγραμμα 2: Μακρά αρχεία παρελθόντων αλλαγών στην ατμοσφαιρική σύνθεση παρέχουν το γενικό πλαίσιο της επιρροής ανθρωπογόνων εκπομπών (κατά National Observatory of Athens, 2002a)



### 1.3 Η επίδραση της αστικοποίησης στην αύξηση της θερμοκρασίας

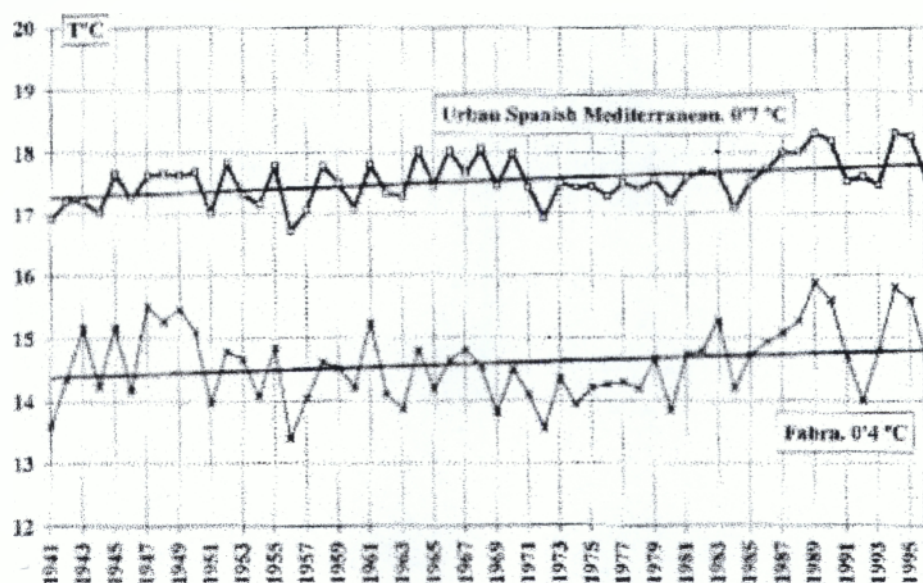
Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή θεωρείται σημαντική επιστημονική πρόκληση καθώς το κύριο περιβαλλοντικό θέμα τα επόμενα πενήντα ή εκατό χρόνια θα είναι η αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων στην ατμόσφαιρα. Θεωρείται βέβαιο ότι η θερμοκρασία της γης αυξήθηκε από 0,3 σε 0,6° C τον τελευταίο αιώνα. Αυτός ο υπολογισμός βασίζεται στην ανάλυση θερμομετρικών δεδομένων από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της υφγλίου. Ωστόσο, η ανάλυση δεν είναι απλό θέμα καθώς μη – κλιματικές διαδικασίες όπως η επίδραση των πόλεων που εξαπλώνονται ως τα αστεροσκοπεία και η μετακίνηση των περισσότερων αστεροσκοπειών πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ενδεικτικά αναφέρεται σημαντική τάση αύξησης της θερμοκρασίας του αέρος σε περιοχές της Ισπανίας που βρίσκονται κοντά στη Μεσόγειο. Η ανάλυση αυτής της τάσης είναι δύσκολη και μπορεί δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη η το φαινόμενο της αστικοποίησης καθώς δε και η μετακίνηση των σταθμών που τυχόν έγιναν για διάφορους λόγους. **Ετσι η πραγματική αύξηση της θερμοκρασίας πιθανόν να είναι μηδενική ή αμελητέα γι' αυτό και δεν πρέπει να απορριφθεί η υπόθεση για τη σταθερότητα της θερμοκρασίας στις περιοχές της Ισπανίας που συνορεύουν με τη Μεσόγειο.**

Ένα μεγάλο μέρος της καταγραφόμενης αύξησης της θερμοκρασίας στα πρώτα αστεροσκοπεία μπορεί να προήλθε από αστική επίδραση. Αυτά τα αστεροσκοπεία, που τον περασμένο αιώνα ήταν εγκατεστημένα στα περίχωρα πόλεων, σταδιακά περιβλήθηκαν στον αστικό ιστό. Μερικοί περιορίζουν την επίδραση της αστικοποίησης στο 0,001° ή 0,1° C καθόλη όλη τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> αιώνα.

Βρέθηκε ότι το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος μειώθηκε σε κάθε αστεροσκοπείο, με χρονικές και χωρικές αποκλίσεις. Η μείωση αυτή ήταν σταθερή από το 1957 στα αστεροσκοπεία της Βαλέντσια, Πάλμα ντε Μαγιόρκα, Αλικάντε, Μούρτσια, Μαχόν, Γιβλαρτάρ και Σάν Φερνάντο ενώ σε άλλα αστεροσκοπεία η διαδικασία άρχισε αργότερα και δεν ήταν τόσο έντονη. Βέβαια η μείωση αυτή δεν αποτελεί ξεκάθαρα ένδειξη της αστικής επίδρασης. Μπορεί να είναι μια ένδειξη μιας γενικής τάσης των πρόσφατων κλιματικών αλλαγών - η ελάχιστη θερμοκρασία αυξάνεται πιο γρήγορα από τη μέγιστη σε πολλά μέρη του κόσμου ακόμα και στις εξοχικές (αγροτικές, επαρχιακές) περιοχές. Ωστόσο, στην περιοχή μας τουλάχιστον υπάρχουν ενδείξεις ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν επηρεάσει αισθητά σχεδόν όλους τους σταθμούς των Ισπανικών αστεροσκοπειών που είναι εγκατεστημένοι σε Μεσογειακές περιοχές.

Το 1984 το Εθνικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο της Ισπανίας ίδρυσε ένα σταθμό στην εύφορη περιοχή 15χλμ έξω από τη πόλη Μούρσια και ταυτόχρονα διατήρησε τον παλιό σταθμό στο κέντρο της πόλης αυτής. Οι ταυτόχρονες καταγραφές δείχνουν ότι ενώ οι μέγιστες θερμοκρασίες είναι ακριβώς ίδιες και στα δύο αστεροσκοπεία οι ελάχιστες θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλότερες στην αγροτική περιοχή.

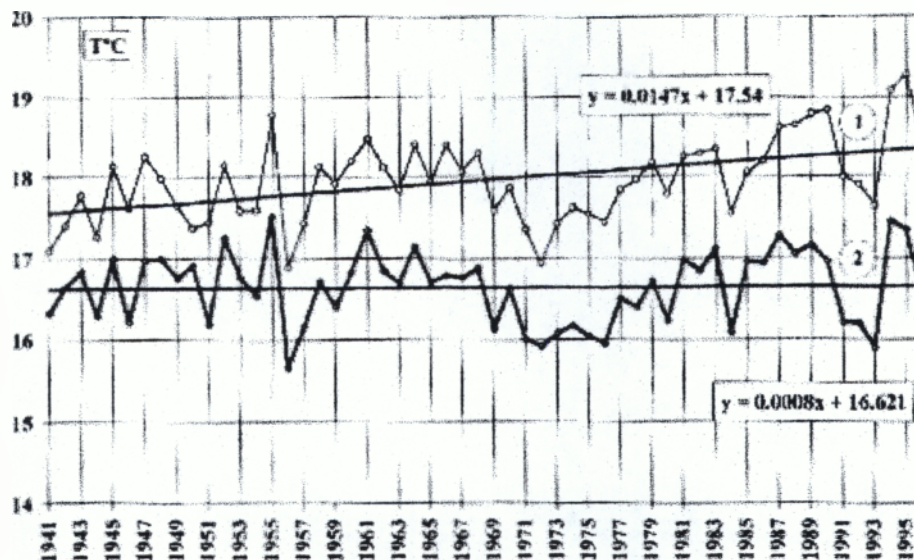
Το Αστεροσκοπείο Μπαρσελόνα – Φάμπρα που βρίσκεται σε ύψος 412 μέτρων στα περίχωρα της πόλης ήταν ο μόνος σταθμός που δεν επηρεάστηκε από τη γειτονική πόλη (διάγραμμα 3).



Διάγραμμα 3.

Τάση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας στο σταθμό Μπαρσελόνα και στα Ισπανικά Μεσογειακά αστεροσκοπεία με πιθανή αστική επίδραση.

Για να υπολογιστεί η αύξηση της θερμοκρασίας που οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα απαιτήθηκε χρονοσειρά του ίδιου γεωγραφικού μήκους όπως και είχε γίνει για τα αστεροσκοπεία που δεν είχαν εκτεθεί σε αστική επίδραση. Τέτοιες “αγροτικές” χρονικές σειρές είναι διαθέσιμες μόνο για τα τελευταία πενήντα χρόνια και ανταποκρίνονται σ’ ένα δεύτερο δίκτυο που αποτελείται από 27 αστεροσκοπεία με ομοιόμορφα στοιχεία για την περίοδο 1940-1996. Έτσι έγινε δυνατή η σύγκριση της αύξησης της θερμοκρασίας που κατεγράφη στο πρώτο και δεύτερο δίκτυο όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4.



Διάγραμμα 4.

Σύγκριση της τάσης ανόδου των τριών κοντινότερων πρώτων αστεροσκοπειών (Μούρσια, Αλικάντε, Βαλένσια). (1) με την τάση του δεύτερου δικτύου (2)

Η σύγκριση δείχνει ότι τουλάχιστον στις περιοχές Μούρσια, Αλικάντε και Βαλένσια η διαφορά στις τάσεις θερμοκρασίας οφείλεται στην αστική επίδραση και όχι στη διαφορά των περιοχών.

Υποθέτοντας ότι η τάση του δεύτερου δικτύου αντιπροσωπεύει τη “φυσική τάση θερμοκρασίας” τα αποτελέσματα δηλώνουν ότι η αστική ανάπτυξη και οι ανθρώπινες δραστηριότητες είναι υπεύθυνες για την κατά  $0,57^{\circ}\text{C}$  αύξηση θερμοκρασίας την περίοδο 1940–1996.

Αυτά τα στοιχεία δείχνουν ότι σχεδόν όλη η αύξηση της θερμοκρασίας στα πρώτα αστεροσκοπεία οφείλεται στην αστική επίδραση. Η μελέτη της εξέλιξης της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας έδειξε μια αξιοσημείωτη τάση ανόδου. Η μέση τάση ανά περιοχή έφτασε τιμές των  $0,71^{\circ}\text{C}$  ανά αιώνα και  $0,9^{\circ}\text{C}$  για την περίοδο 1870-1996. Ωστόσο, οι διαφορετικές τιμές των αστεροσκοπειών οι οποίες κυμαίνονται από  $0,5^{\circ}\text{C}$  σε  $1,2^{\circ}\text{C}$  δείχνουν ότι η άνοδος δεν είναι ομοιόμορφη.

Διαπιστώθηκε ότι η (κατά  $0,57^{\circ}\text{C}$ ) αύξηση της θερμοκρασίας στο δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα μπορεί να ήταν το αποτέλεσμα της αστικής επίδρασης καθώς τα αστεροσκοπεία περιβάλλονται από την επέκταση των πόλεων. Αυτή η διαδικασία οδήγησε σε μια πιο έντονη αύξηση της ελάχιστης παρά της μέγιστης θερμοκρασίας και συνεπώς και σε μείωση του ημερήσιου θερμομετρικού εύρους στα πρώτα αστεροσκοπεία. Τα στοιχεία δείχνουν ότι, εκτός από τις αστικοποιημένες περιοχές, δεν υπάρχουν συστηματικές αλλαγές στη θερμοκρασία του αέρα τα τελευταία εκατό

χρόνια. Επομένως, η υπόθεση ότι υπάρχει σταθερότητα θερμοκρασίας στην Ισπανική Μεσόγειο δεν πρέπει να απορριφθεί (Sala et al., 2000).

#### 1.4 Η χρήση των πιθανοτήτων του φαινομένου του θερμοκηπίου στο πρωτόκολλο του Kyoto.

Αν τεθεί σε ισχύ το πρωτόκολλο του Kyoto θα θέσει περιορισμούς στο σύνολο των ανθρώπινων εκπομπών CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC<sub>5</sub>, PFC<sub>5</sub> και SF<sub>6</sub>. Επίσης προσδιορίζει ότι οι πιθανότητες του φαινομένου του θερμοκηπίου (GWP), που είναι αποδεκτές από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του κλίματος (IPCC), θα χρησιμοποιούν για να υπολογιστεί η «ισοδυναμία διοξειδίου του άνθρακα». Οι τιμές του GWP για κάθε αέριο θα αναθεωρούνται κατάλληλα αλλά ταυτόχρονα αποφασίστηκε ότι τα GWP 100 χρόνων όπως δημοσιεύθηκαν στη Δεύτερη Αναφορά του IPCC θα χρησιμοποιηθούν για την πρώτη περίοδο δέσμευσης (2008-2012). Αυτό σημαίνει ότι π.χ. σύμφωνα με το πρωτόκολλο η μείωση κατά ένα τόνο στις εκπομπές μεθανίου για την περίοδο 2008-2012, ισοδυναμεί με τη μείωση εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα κατά 21 τόνους.

Η πρώτη δυσκολία είναι ότι το κλιματικό σύστημα είναι μη – γραμμικό. Αυτό σημαίνει ότι ο τρόπος που χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει τα GWP δίνει αποτελέσματα κατά προσέγγιση, τα οποία εξαρτώνται από την υποτιθέμενη ατμόσφαιρα στην οποία εκτιμούνται οι αλλαγές.

Το αποτέλεσμα θα είναι μεγαλύτερο μακροπρόθεσμο όφελος αλλά και μεγαλύτερη υπολειμματική μακροπρόθεσμη αύξηση της θερμοκρασίας. Θα πρέπει να ανησυχούμε για το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας τα επόμενα 30 χρόνια υποθέτοντας ότι οι συγκεντρώσεις αερίων θα αρχίσουν να εξισορροπούν μετά ή θα πρέπει να ανησυχούμε για τη μακροπρόθεσμη αύξηση της στάθμης της θάλασσας η οποία δεν αντιστρέφεται εφ' όσον ξεκινήσει;

Τα GWP που υιοθετήθηκαν στο πρωτόκολλο του Kyoto είναι σίγουρα λανθασμένα με την έννοια ότι υπάρχει μικρή πιθανότητα ότι η συνολική ανθρώπινη ευημερία θα μεγιστοποιηθεί με το να κάνουμε τον ένα τόνο μεθανίου ισοδύναμο με 21 τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Ο δρόμος για τη βελτίωση των υπολογισμών δεν είναι ξεκάθαρος.

Η επανεξέταση των τεχνικών και πολιτικών επιλογών στις οποίες βασίζονται τα τρέχοντα GWP είναι αναγκαία. Ωστόσο δεν υπάρχει τρόπος ώστε να αποφευχθεί ο προσδιορισμός μιας σχετικής τιμής για τα διάφορα αέρια του θερμοκηπίου. Αυτό

μπορεί να γίνει με τρόπο κατηγορηματικό όπως στο πρωτόκολλο ή σιωπηρός μέσο του σχετικού κόστους των αποφάσεων που ελέγχουν το κάθε αέριο ξεχωριστά. Μάλλον θα ήταν καλύτερα αν οι επιλογές γίνονταν με σαφήνεια και αναθεωρούνταν τακτικά καθώς μαθαίνουμε περισσότερα (Lashof, 2000).

### 1.5 Μεταβλητότητα κλίματος στα Νότια Βαλκάνια στις περιόδους 1675 – 1715 και 1780 – 1830 και η επίδραση της στη ζωή των ανθρώπων

Οι περίοδοι απο 1675 – 1715 (LMM) και 1780 – 1830 (EIP) σκιαγραφούν σημαντικά μέρη της λεγόμενης “Μικρής Εποχής Παγετών” (LIA) κατά την οποία η Ευρώπη πέρασε περίοδο μείωσης θερμοκρασίας.

Στοιχεία από αρχεία, παρμένα από διάφορες πηγές, έχουν χρησιμοποιηθεί για να περιγράψουν γεγονότα στα Νότια Βαλκάνια και Ανατολική Μεσόγειο. Τα συμπεράσματα χρησιμοποιήθηκαν πρώτον για την έρευνα φαινομένων όπως γονιμότητα, λιμός και επιδημίες και τη σχέση τους με το κλίμα και δεύτερον για την ανάλυση του μεγέθους μεταβλητότητας ιδιαίτερα την παρουσία ακραίων φαινομένων, όπως δριμείς χειμώνες (κρύοι, υγροί και χιόνια), μεγάλες περίοδοι ξηρασίας και υγρές περίοδοι. Περισσότερες τέτοιες ακραίες καταστάσεις είναι φανερές στις περιόδους LMM και EIP παρά στα τελευταία 50 χρόνια του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Από τα στοιχεία που έχουμε για αυτές τις δύο περιόδους μπορούμε να χαρακτηρίσουμε το χειμερινό και ανοιξιάτικο κλίμα στα Νότια Βαλκάνια και την Ανατολική Μεσόγειο (ιδιαίτερα στη LMM) ως ψυχρότερο και σχετικά πιο βροχερό με μεγαλύτερη μεταβλητότητα, σε σύγκριση με τις τελευταίες δεκαετίες.

Ένας από τους σκοπούς του ADVICE (Ετήσια σε Δεκαετή Μεταβλητότητα του κλίματος στην Ευρώπη), ενός προγράμματος έρευνας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ήταν η συλλογή, η σύνταξη και ο ποιοτικός έλεγχος στοιχείων για τις περιόδους LMM = 1675 – 1715 και EIP = 1780- 1830 στην νοτιοανατολική Ευρώπη για να μπορέσουν να ενσωματώσουν αυτά τα στοιχεία σε αναπαραστάσεις μηνιαίων ατμοσφαιρικών σχεδίων κυκλοφορίας καθώς επίσης και σε μηνιαίους πίνακες βροχόπτωσης και θερμοκρασίας για την Ελλάδα. Η περίοδος 1716 – 1779 δεν ερευνήθηκε επειδή τα στοιχεία που υπάρχουν είναι λιγότερο αξιόπιστα. Τα στοιχεία χρησιμοποιούνται στην ερεύνηση της σχέσης ανάμεσα στην γονιμότητα, λιμό, επιδημίες και στο κλίμα στα νότια Βαλκάνια. Έτσι, δίνουμε μια σύντομη εικόνα των κλιματικών συνθηκών στις LMM και EIP, της επίδρασης κλίματος στη ζωή των ανθρώπων, τη γνωστή σχέση ανάμεσα στο κλίμα και στις καλλιέργειες καθώς επίσης ανάμεσα στο κλίμα και στις επιδημίες (λοιμός).

## 1.6 Κλιματικές συνθήκες κατά τις περιόδους LMM (1675 – 1715) και EIP (1780 - 1830)

Οι κλιματική μεταβλητότητα χαρακτηρίζει τις περιόδους 1675 – 1715 και 1780 – 1830. Η θερμοκρασία επιφάνειας ήταν κατά καιρούς χαμηλότερη κατά  $0,7^{\circ}\text{C}$  απ' ό τι τη περίοδο 1901 – 1960 ιδιαίτερα στη Βόρεια Ευρώπη. Οι μακροπρόθεσμες μέσες ετήσιες και καλοκαιρινές θερμοκρασίες στο Βόρειο Ημισφαίριο δείχνουν ψυχρές περιόδους στη περίοδο 1645 – 1715, μια περίοδο με μειωμένη ηλιακή δραστηριότητα και χαμηλή ηλιοφάνεια και αρκετά γεγονότα εκρήξεων ηφαιστειών. Σ' όλη την περίοδο οι θερμοκρασίες στο Βόρειο Ημισφαίριο ήσαν γύρω στο  $0,1^{\circ} - 0,4^{\circ}\text{C}$  χαμηλότερες απ' ό τι τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (1902 – 1980), με ένα ελάχιστο των LMM το οποίο είναι το αποκορύφωμα της “Μικρής Εποχής Παγετώνων” με ιδιαίτερα ψυχρούς χειμώνες, μακρές σειρές χειμερινής και ανοιξιάτικης ξηρασίας και βροχερά καλοκαίρια στη δυτική και κεντρική Ευρώπη. Η περίοδος μετά την LMM μέχρι το τέλος του 18<sup>ου</sup> αιώνα δείχνει γενική αύξηση της θερμοκρασίας σ' όλο το Βόρειο Ημισφαίριο και στην Ευρώπη. Από το 1780 και μετά, όπου οι παρατηρήσεις με όργανα είναι διαθέσιμες, μέχρι τα μέσα του 19<sup>ου</sup> αιώνα, που το Βόρειο Ημισφαίριο υπέστη ψύξη πάλι. Πρόσφατες μελέτες τονίζουν ότι ο κύριος παράγοντας κατά τον 17<sup>ο</sup> και 18<sup>ο</sup> αιώνα ήταν η ηλιακή ακτινοβολία αν και οι εκρήξεις μεγάλου αριθμού ηφαιστείου (π.χ. Ταμπόρα, Ινδονησία, Απρίλιος 1815) ήταν επίσης σημαντικές.

### 1.7 Η επίδραση του κλίματος στη ζωή των ανθρώπων

Όλες οι μεταβλητές κλίματος και καιρού έχουν κάποια επιρροή στην ζωή των ανθρώπων. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι άμεσο πάνω στο ανθρώπινο σώμα ή έμμεσο δια μέσου της επίδρασης οργανισμών που προκαλούν ασθένειες. Αν και σε μια συγκεκριμένη μελέτη μπορούν να εξεταστούν τα αποτελέσματα της μεταβολής ενός μόνο καιρικού στοιχείου, αυτό το στοιχείο δεν λειτουργεί ανεξάρτητα, π.χ. αλλαγές στην υγρασία τροποποιούν την επίδραση της θερμοκρασίας.

Οι πιο δύσκολες επιλογές της μελέτης στοιχείων είναι οι επιλογές των επιδράσεων και των συνεπειών. Είναι χρήσιμο να ξεχωρίζουμε τις επιδράσεις πρώτης τάξεως, συνήθως βιοσωματικές, από άλλες επιδράσεις που αποτελούνται από κοινωνικοοικονομική εκτίμηση, αντίδραση προσαρμογής και μακρυπρόθεσμη αλλαγή. Είναι επίσης σημαντικό να αναγνωρίσουμε το διπλό χαρακτήρα των επιδράσεων: κέρδη και χασούρες ακμή και παρακμή.

Υπάρχουν τρεις γενικές κατηγορίες στις οποίες οι κλιματικοί παράγοντες κάνουν αισθητή τη παρουσία τους στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία: μέσο άμεσης επίδρασης στην υγεία, μέσο μετακίνησης και συμπεριφοράς πληθυσμών, και μέσο της επίδρασης στη διατροφή.

Ο λιμός είναι η απόλυτη έλλειψη τροφής που επηρεάζει ένα μεγάλο πληθυσμό σε μεγάλη χρονική περίοδο. Ο λιμός περιγράφεται ως 'γεγονός που αναστατώνει την λειτουργία μιας κοινωνίας σε τέτοιο βαθμό που δεν μπορεί να επιβιώσει χωρίς εξωτερική βοήθεια'. Θεωρείται επίσης 'γενική πείνα που επηρεάζει μεγάλο αριθμό ανθρώπων σαν συνέπεια μη διαθεσιμότητας τροφής για μεγάλο χρονικό διάστημα'. Η πείνα δεν είναι λιμός. Είναι παρόμοια με τον υποσιτισμό και σχετίζεται με τη φτώχεια. Όταν η πείνα κρατά για μεγάλη χρονική περίοδο, καλύπτοντας μεγάλο μέρος του πληθυσμού και οδηγεί σε μαζική μετανάστευση και θάνατο τότε γίνεται λιμός. Ο υποσιτισμός είναι ανεπαρκής θρέψη, μια κατάσταση όπου από τη διατροφή παραλείπονται τροφές, που είναι αναγκαίες για την υγεία. Είναι η πιο κοινή βιολογική ένδειξη κλιματικής επιθετικότητας. Η πείνα και ο υποσιτισμός είναι τοπικά φαινόμενα που μόνο τυχαία συνδέονται με το δυναμικό της αγροτικής παραγωγής.



## 1.8 Σχέση ανάμεσα στο κλίμα και τις καλλιέργειες

Μετεωρολογικές παράμετροι όπως η θερμοκρασία και η υγρασία αέρος, η βροχόπτωση, η ηλιακή ακτινοβολία ως επίσης και η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub>, η κατάσταση του εδάφους ελέγχουν την ανάπτυξη καλλιεργειών, συνεπώς και το μέγεθος και την ποιότητα της σοδειάς, την εξάπλωση και επιδείνωση επιδημιών και τελικά επηρεάζουν εμφάνιση πείνας και λιμού.

Η ανάπτυξη των φυτών και η παραγωγή εξαρτώνται από τη μέση θερμοκρασία και ακραία φαινόμενα θερμοκρασίας. Οι ακραίες θερμοκρασίες είναι σημαντικές γιατί πολλές καλλιέργειες έχουν κρίσιμα κατώφλια, και προς τα πάνω και προς τα κάτω, πέρα από τα οποία καταστρέφονται. Επιπλέον, οι αλλαγές στην κατανομή εποχιακής βροχόπτωσης είναι πιο σημαντικές για τις καλλιέργειες από ότι οι αλλαγές στην ετήσια βροχόπτωση και πιθανή εξάτμιση. Η ξηρασία ή η μεγάλη βροχόπτωση μπορεί να καταστρέψει τη σοδειά ή να εμποδίσει την έγκαιρη σπορά ή τη συγκομιδή. Επίσης, η πολλή βροχή μπορεί να προκαλέσει ασθένειες ενώ η πολύ λίγη βροχή μπορεί να καταστρέψει την παραγωγή. Η αλληλεπίδραση της ανάπτυξης καλλιεργειών με το τοπικό κλίμα και τις γεωργικές μεθόδους είναι πολύ σημαντική. Το κλίμα καθορίζει το είδος των καλλιεργειών ενώ άλλοι παράγοντες όπως, κεφάλαιο, τιμές, διαθεσιμότητα αγοράς, έλεγχος παρασίτων, γεωργικές μέθοδοι και λιπάσματα καθορίζουν το μέγεθος της παραγωγής.

Στα ξηρά κλίματα όπως στην ανατολική Μεσόγειο, με την απουσία άλλων αποθεμάτων νερού εκτός από τη βροχόπτωση, η αποφυγή ξηρασίας είναι μεγάλο πρόβλημα. Η ζήτηση του νερού γενικά υπερβαίνει την προσφορά και αυτός είναι ο κύριος παράγοντας που καθορίζει την γεωργική παραγωγή.

Για τη Μεσόγειο, η μείωση της βροχόπτωσης οδηγεί σε χαμηλότερη παραγωγή και υψηλότερη ανά έτος διακύμανση παραγωγής. Η επίδραση των κλιματικών μεταβολών στις Μεσογειακές καλλιέργειες εξαρτάται περισσότερο από την κατανομή των παραμέτρων (βροχόπτωση, θερμοκρασία, μη-ακτινοβολία) στην περίοδο ενός έτους παρά στις μεταβολές των ετήσιων συνόλων αυτών των παραμέτρων και αυτό ελέγχεται από εποχιακές και ακανόνιστες αλλαγές στο σχέδιο γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας. Ένα ξηρό και ηλιόλουστο καλοκαίρι ωφελεί και τα χειμερινά και τα ανοιξιάτικα δημητριακά ιδιαίτερα αν υπάρχουν αποθέματα υγρασίας στο έδαφος.

Ένας καύσωνας μπορεί να οδηγήσει στο κάψιμο του ανώριμου σπόρου και να προκαλέσει πρώιμο και μικρό τρύγο. Το απροσδόκητο κρύο μπορεί επίσης να κάνει ζημιά στα διάφορα στάδια της ανάπτυξης. Άφθονη και επίμονη βροχή στην αρχή ή στο

τέλος της περιόδου ανάπτυξης μπορεί να είναι καταστροφική ενώ οι δυνατές βροχές το φθινόπωρο και το χειμώνα προκαλούν κατακράτηση νερού στο έδαφος που πνίγει τους σπόρους, δεν αφήνει τη ρίζα να αναπτυχθεί και αποδυναμώνει τη δομή του φυτού.

### 1.9 Σχέση ανάμεσα στις κλιματικές μεταβλητές και επιδημίες

Τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής στην υγεία εξαρτώνται από την ευαισθησία του πληθυσμού. Για παράδειγμα, η επίδραση μιας σχετιζόμενης με το κλίμα αύξησης της έκθεσης σε μολύνσεις θα εξαρτηθεί από παλιότερη επαφή (ανοσία αγέλης), από τη γενική βιολογική αντίσταση, από τη πυκνότητα του πληθυσμού και από το είδος διαπροσωπικών σχέσεων. Η κοινωνική υποδομή και το επίπεδο ιατρικής περίθαλψης επίσης θα καθορίζουν την επίδραση. Γενικά, οι πιο ευάλωτοι πληθυσμοί ή κοινότητες θα είναι αυτοί που ζουν στη φτώχεια όπου κυριαρχεί ο υποσιτισμός, η χρόνια έκθεση σε μολύνσεις και η ανεπαρκής πρόσβαση στη κοινωνική υποδομή.

Η επιδημιολογία μιας μεταδοτικής ασθένειας πρέπει να εναρμονιστεί με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές, οικολογικές και κοινωνικές συνθήκες. Η πλειοψηφία των αρχείων που βρέθηκαν για τις περιόδους LMM και EIP αναφέρονται στο χειμώνα. Ο χειμώνας είναι μια σημαντική εποχή για την ανατολική Μεσόγειο επειδή συνήθως είναι υγρός και επειδή είναι η εποχή πρώιμης ανάπτυξης.

Η ξηρασία του χειμώνα, ιδιαίτερα αν διαρκέσει πολύ, επηρεάζει τη φύση της επόμενης σοδειάς. Η αλληλεπίδραση φθινοπωρινής βροχόπτωσης, χειμωνιάτικου κρύου και ξηρασίας καθώς επίσης και ανοιξιάτικης βροχόπτωσης είναι σημαντική στη Μεσόγειο για το μέγεθος της σοδειάς των δημητριακών τον επόμενο χρόνο. Η κλιματική μεταβλητότητα του χειμώνα επηρεάζει τους ανθρώπους, την σοδειά τους και τη περιουσία τους και γι' αυτό είναι η πιο σημαντική εποχή για τους κατοίκους της περιοχής.

Οι πληροφορίες για τις ελιές, αμπέλια και οπωροφόρα δέντρα είναι περιορισμένες. Ερευνητές υποστήριξαν ότι δε έχουν βρεθεί αποδείξεις για δριμείς χειμώνες στο τέλος του 17<sup>ου</sup> αιώνα που να προκαλέσει ζημιά στα ελαιόδενδρα και στη παραγωγή λαδιού. Ωστόσο τα χρόνια 1691 και 1692 αναφέρονται από τους Lampros (1910) και Stavrinidis (1976) σα χρονιές με χαμηλή σοδειά λαδιού. Παρόλο οι χειμώνες που κατέστρεψαν τη σοδειά λαδιού υπήρξαν τον 20<sup>ο</sup> αιώνα στη Μεσόγειο (Κρήτη-1991/1992, Νότια Γαλλία-Φλεβάρη 1956). Οι συνέπειες της καταστροφής της σοδειάς μπορεί να είναι έλλειψη τροφής ή αύξηση του κόστους τροφής που συντελεί σε υποσιτισμό.

Μόνο μετά από μία εξαιρετικά χαμηλή σοδειά παρουσιάζεται αύξηση των τιμών αμέσως. Συνήθως τα αποτελέσματα φαίνονται τον επόμενο χρόνο. Μια σημαντική ένδειξη για την εμφάνιση έλλειψη τροφής και λιμού είναι η διακύμανση των τιμών επειδή οι τιμές είναι άμεσα συνδεδεμένες με την καταναλωτική δύναμη των ανθρώπων και με την ευημερία τους. Ωστόσο, η σχέση ανάμεσα σε συνθήκες μεγάλης καιρικής ανωμαλίας και στις συνέπειες που έχουν στις τιμές περιλαμβάνει μια χρονική επιβράδυνση. Για παράδειγμα στη Μεσόγειο, μια περίοδος ξηρασίας κατά τη διάρκεια ανάπτυξης ή αμέσως μετά τη σπορά μπορεί να προκαλέσει μεγάλη ζημιά στη σοδειά. Αυτή η ζημιά γίνεται εμφανής μήνες αργότερα και μπορεί, αν η ξηρασία διαρκέσει πολύ, να επηρεάζει τη σοδειά του επόμενου χρόνου. Επειδή η έλλειψη σπόρου οδηγεί σε αυξήσεις τον επόμενο χρόνο και μπορεί να επηρεάζει ακόμα και την επόμενη σπορά. Τα αποτελέσματα μελέτης γονιμότητας, διακύμανσης τιμών και συνθηκών λιμού στην Ελλάδα βασισμένη σε πηγές που αναφέρονται σε μετεωρολογικές συνθήκες και τις τιμές των αγροτικών προϊόντων έδειξαν ότι οι λιμοί που εμφανίστηκαν σε συγκεκριμένες περιοχές της Ελλάδας προκλήθηκαν από κλιματικές διακυμάνσεις μόνο σε ορισμένα χρόνια, δηλ. το 1683, 1700, 1775, και 1779/1783. Η περίοδος 1780-1783 χαρακτηρίστηκε από σειρά βαρυχειμωνιάς, εκτός από το 1781 και οι πηγές αναφέρουν την εμφάνιση λιμού στις περιοχές όπου το φαινόμενο ήταν έντονο. Έτσι, μια ξηρασία ή μια καιρική καταστροφή μπορεί να οδηγήσει μια περιοχή σε κρίση τροφής αλλά το αν αυτή κρίση εξελιχθεί σε λιμό εξαρτάται από τους κοινωνικό – οικονομικούς θεσμούς. Σε άλλη μελέτη βρέθηκε ότι αυτό είδος μιας σειράς κρίσιμων καιρικών συνθηκών εμφανίζεται στα χρόνια που υπήρξε έλλειψη τροφής στην Ευρώπη.

Οι συνέπειες του κακού καιρού που μπορούν να δημιουργήσουν δυσκολίες για ένα ή δύο χρόνια και λίγα χρόνια ανάκαμψης αλλά δεν μπορούν να αντιστρέψουν το καλό οικονομικό και δημογραφικό κλίμα μιας περιοχής. Η δυναμικά αναμιγμένη οικονομία μιας περιοχής εξηγεί αυτό το φαινόμενο. Μια κακή σοδειά που προκλήθηκε από κακοκαιρία μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις σε μια περιοχή της οποίας η οικονομία στηρίζεται σ' ένα και μόνο προϊόν. Είναι γενικά αποδεκτό ότι οι βραχυπρόθεσμες μεταβολές του καιρού και του κλίματος που έχουν άμεση επίδραση στη σοδειά και σε άλλες οικονομικές δραστηριότητες, σχετίζονται με βραχυπρόθεσμες οικονομικές μεταβολές. Ωστόσο η κρίση στη διατροφή που προκαλείται από έντονα κλιματικά φαινόμενα πρέπει να συζητηθεί με προσοχή.

Οι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν αυτό το είδος κρίσης περιλαμβάνουν, πόλεμο, ληστεία, την υποχρέωση της περιφέρειας να εφοδιάζει τα

πολιτικά κέντρα όπως επίσης και τον Οθωμανικό στρατό με σιτάρι, υψηλή φορολογία, παράνομη εξαγωγή σιτηρών και διαφθορά των κυβερνητικών στελεχών.

Παρά τη μικρή ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι αγρότες στα νότια Βαλκάνια μπόρεσαν να βρουν μεθόδους για να προφυλαχθούν από τις απρόσμενες κλιματικές διακυμάνσεις. Μια από αυτές ήταν οι καλλιέργειες διάφορων ειδών στο ίδιο ή σε διαφορετικά χωράφια. Μ' αυτό τον τρόπο ο αγρότης μπορούσε να έχει καλή σοδειά σ' ένα προϊόν π.χ. καλαμπόκι το οποίο σπέρνεται την άνοιξη ενώ η σοδειά του σταριού να ήταν ανεπαρκής εξ' αιτίας της ξηρασίας ή της υπερβολικής βροχής το φθινόπωρο και χειμώνα. Η σημασία της πολύ – καλλιέργειας ιδιαίτερα των δημητριακών κατανοείται από το γεγονός ότι οι φτωχοί άνθρωποι συνήθως έτρωγαν ψωμί φτιαγμένο από κριθάρι και σιτάρι ή κριθάρι και σίκαλη και κρατούσαν το κύριο μέρος της σοδειάς του σταριού για να το πουλήσουν και να καλύψουν τις οικονομικές τους υποχρεώσεις. Έτσι μια απροσδόκητη κακή σοδειά δημητριακών θα σήμαινε δυστυχία για τον τοπικό πληθυσμό αλλά όχι απαραίτητα λιμό. Εκτός απ' αυτό, η καλλιέργεια αμπελώνων και οπωροφόρων και η κάτοχοι κατοικίδιων ζώων έσωζε τους αγρότες από το λιμό Βέβαια, υπήρχαν ομάδες ανθρώπων όπως οι κτηνοτρόφοι στα βουνά οι οποίοι υπέφεραν περισσότερο από τους δριμείς χειμώνες ή τις έντονες κλιματικές διακυμάνσεις αφού ο θάνατος των κοπαδιών σήμαινε το χάσιμο του εισοδήματός τους. Οι έντονες κλιματικές συνθήκες μπορούσαν επίσης να προκαλέσουν δυστυχία σε μέρη όπως τα νησιά του Αιγαίου όπου οι οικονομικές ευκαιρίες ήταν περιορισμένες.

Οι ψυχρότερες και πιο βροχερές συνθήκες κατά τη διάρκεια της LMM (σε σύγκριση με τη περίοδο 1961 –1990) είναι σε αντίθεση με την κεντρική και δυτική Ευρώπη όπου η περίοδος LMM ήταν ένα διάλειμμα με εξαιρετικά κρύους και ξηρούς χειμώνες και άνοιξη. Αυτός ο υπολογισμός συμφωνεί με παρόμοιες κλιματικές συνθήκες που αναπαραστάθηκαν για τη δυτική Μεσόγειο αλλά διαφωνούν μερικώς με τα αποτελέσματα για την ανατολική και κεντρική Μεσόγειο.

Οι κύριες συνοπτικές καταστάσεις, υπεύθυνες για το κρύο και τις χιονοπτώσεις στην περιοχή χαρακτηρίζονται από βόρειο – βορειοδυτικό ή βορειοανατολικό ρεύμα αέρα με υψηλή πίεση πάνω από τη βόρεια Ευρώπη και χαμηλότερη πίεση πάνω από τη κεντρική ή ανατολική Μεσόγειο. Επιπλέον, αυτές οι καταστάσεις μαζί με τα ζεστά SST του Αιγαίου και την ορογραφία μπορεί να προκαλέσουν μεγαλύτερη βροχοπτώση απ' ότι συνήθως εξ' αιτίας της ατμοσφαιρικής αστάθειας.

Παρόμοιες συνθήκες από τον 20<sup>ο</sup> αιώνα βρίσκονται στη βόρεια Ελλάδα. Στη Θεσσαλονίκη ο χειμώνας του 1954 ήταν ο πιο ψυχρός της περιόδου 1901-1998. Η Θεσσαλονίκη ανέφερε 25 μέρες με χιόνια από το Δεκέμβρη του 1953 και το Φλεβάρη

του 1954 (η μέση τιμή για τη περίοδο 1950-1998 είναι 8 ημέρες) και δυλάσια ποσότητα βροχόπτωσης σε σύγκριση με το μακρυπρόθεσμο μέσο όρο (1901-1998) των 120mm. Επιπλέον, μετρήθηκαν τιμές θερμοκρασίας κάτω από τις κανονικές και τιμές βροχόπτωσης πάνω από τις κανονικές για την Αθήνα. Ένα άλλο παράδειγμα ψύχους στην Ελλάδα ήταν ο χειμώνας του 1928/1929 με παρόμοια κατανομή πίεσης. Ωστόσο, τέτοια ακραία φαινόμενα ήταν πιο εμφανή στις LMM και EIP περιόδους παρά στον 20<sup>ο</sup> αιώνα.

Καταστάσεις όπως το καλοκαίρι του 1700 που υπήρξε στρώμα χιονιού στα βουνά της Κρήτης είναι πολύ σπάνιες. Από την άλλη, η καλοκαιρινή χιονόπτωση στον Όλυμπο είναι και στις μέρες μας συνηθισμένο φαινόμενο. Αυτό συμβαίνει περίπου τρεις φορές κάθε καλοκαίρι. Όμως, το χιόνι παραμένει στο έδαφος μόνο για λίγες ώρες.

Οι αντικυκλώνες πάνω από τη κεντρική και δυτική Ευρώπη και πάνω από την ανατολική Μεσόγειο μπλοκάρουν τα συστήματα χαμηλής πίεσης από τα δυτικά. Ιδιαίτερα το χειμώνα αλλά επίσης την άνοιξη και το φθινόπωρο, μακρές περιόδους ξηρασίας σ' όλη τη Μεσόγειο σχετίζονται με μια θετική φάση της Ταλάντωσης του Βόρειου Ατλαντικού. Η ξηρασία του χειμώνα και στην αρχή της άνοιξης μπορεί επίσης να αποδοθεί στην επέκταση προς το νότο του ηπειρωτικού αντικυκλώνα πάνω από την ανατολική Ευρώπη, που καλύπτει τα Βαλκάνια και συνδέεται με συνθήκες υποχώρησης και σταθερότητας και έτσι με εξαιρετική ξηρασία. Παρατηρούμε ότι η συνοπτική κατάσταση το χειμώνα του 1695/1696 συγκρίνεται με το χειμώνα 1988/1989 που ήταν ξηρότερος στη Θεσσαλονίκη και δεύτερος ξηρότερος στην Αθήνα του 20<sup>ο</sup> αιώνα.

Βροχόπτωση άνω της κανονικής στην ανατολική Μεσόγειο μπορεί να αποδοθεί στο συνδυασμό υψηλής πίεσης στο βορρά και χαμηλής πίεσης στον λεκάνη της Μεσογείου. Δεν έχει βρεθεί στον 20<sup>ο</sup> αιώνα χειμώνας όπως αυτός του 1684/1685 με μεγάλη βροχόπτωση στη βόρεια Ελλάδα, στο Αιγαίο και στην Αθήνα.

Η επίδραση των κλιματικών συνθηκών στη ζωή των ανθρώπων είναι ορατή στο ξέσπασμα του λοιμού, μιας πραγματικής πληγής των προ-βιομηχανικών κοινωνιών. Σπάνια έχουμε λοιμό σε ακραίες κλιματικές συνθήκες, ιδιαίτερα σε κρύους και ξηρούς χειμώνες. Τη περίοδο 1712-1714 αναφέρεται λοιμός στη περιοχή της Θεσσαλονίκης και οι καιρικές συνθήκες δεν συντελούν στο ξέσπασμα λοιμού. Ο λοιμός υποβοηθήθηκε από την φτωγή διατροφή των ανθρώπων. Οι μετεωρολογικές συνθήκες συνεισφέρουν στην ανάπτυξη επιδημιών χωρίς όμως να μπορούν να τις προκαλέσουν.

Σε σύγκριση με την πληθώρα στοιχείων που βρέθηκαν στη κεντρική και δυτική Ευρώπη, τα στοιχεία για τις περιοχές και περιόδους της μελέτης μας είναι λίγα και αυτό αποδίδεται στην Τουρκοκρατία που κράτησε από το 15<sup>ο</sup> ως το 19<sup>ο</sup> αιώνα. Τα περισσότερα αρχεία αναφέρονται στους χειμώνες. Ωστόσο έχουν αναπαρασταθεί πίνακες για την μηνιαία θερμοκρασία και βροχόπτωση για την Ελλάδα την LMM περίοδο.

Από τα στοιχεία συμπεραίνουμε ότι για τις περιόδους 1675-1715 και 1780 -1830 το κλίμα στα νότια Βαλκάνια του χειμώνα και την άνοιξη μπορεί να χαρακτηριστεί αρκετά ψυχρό και σχετικά βροχερό με μεγαλύτερη μεταβλητότητα απ' ό τι τη περίοδο 1961-1990.

Η μεγαλύτερη συχνότητα ψυχρών χειμώνων μπορεί να οφείλεται είτε στην επιμονή και ένταση των ηπειρωτικών αντικυκλώνων πάνω στη δυτική και κεντρική Ευρώπη είτε στην επιμονή και ένταση του συστήματος υψηλής πίεσης πάνω από την Σκανδιναβία και βορειοανατολική Ευρώπη. Αυτές οι συνθήκες μπορούν να εξηγήσουν τα περιστασιακά ρεύματα ψυχρού αέρα προς τα νότια Βαλκάνια και την Ανατολική Μεσόγειο. Η υψηλότερη πίεση στο βορρά σε συνδυασμό με τη χαμηλότερη πίεση στη κεντρική και ανατολική Μεσόγειο μπορεί να εξηγήσει την υψηλότερη συχνότητα και ποιότητα χιονιού στην Ελλάδα και την ανατολική Μεσόγειο. Οι ξηρασίες κατά τη διάρκεια της LMM μπορεί να αποδοθούν στην παρουσία και επιμονή των ίδιων αντικυκλώνων προς τα νότια.

Οι πιο σημαντικές καλλιέργειες στα Βαλκάνια στις LMM και EIP ήταν τα δημητριακά, οι ελιές και τα σταφύλια. Οι κακές καιρικές συνθήκες οδηγούσαν σε έλλειψη τροφής και λιμό. Στα Βαλκάνια οι πιο σημαντικοί παράγοντες για τη σοδειά είναι η βροχόπτωση και η θερμοκρασία ιδιαίτερα, η ποσότητα βροχόπτωσης το φθινόπωρο, η ηπιότητα ή δριμύτητα του χειμώνα και η ποσότητα βροχόπτωσης την άνοιξη. Ωστόσο χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να βρούμε την αντίδραση συγκεκριμένων καλλιεργειών στη θερμοκρασία, υγρασία και άνεμο σε διαφορετικές εποχές. Επίσης, περισσότερη έρευνα χρειάζεται για τη περίοδο 1716-1779 όσον αφορά τη σχέση της μεταβλητότητας του κλίματος και της ζωής των ανθρώπων στα νότια Βαλκάνια τους τελευταίους αιώνες (Χορλακί et al., 2001).

### 1.10 Μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα κλιματικών αλλαγών στο 2100;

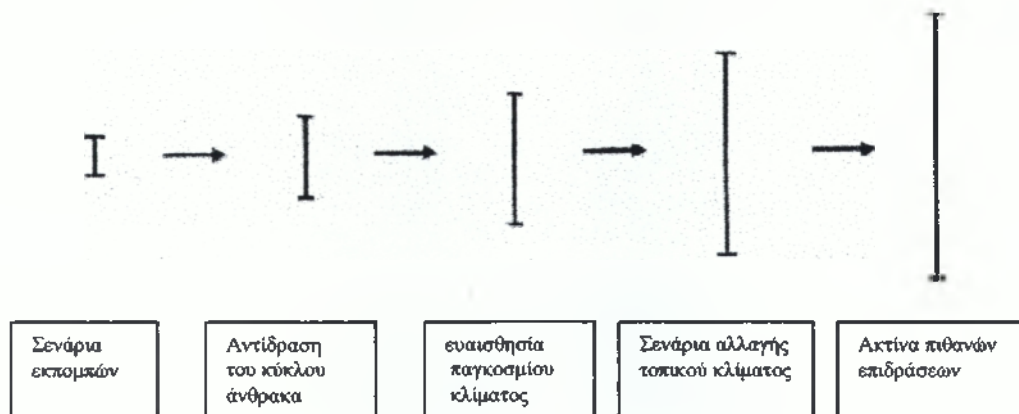
Το 1988 μετά τους φοβερούς καύσωνες στη Βόρεια Αμερική, ο Τζέιμς Χάνσεν, διευθυντής του Ινστιτούτου Goddard της NASA ισχυρίστηκε ότι είναι καιρός να αποδεχτούμε το γεγονός ότι οι ανοδικές τάσεις θερμοκρασίας στα τέλη του 20<sup>ου</sup> αιώνα οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες, ιδιαίτερα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκλήθηκε από την αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Μ' αυτόν τον επίμαχο ισχυρισμό ο Χάνσεν κέρδισε την έχθρα αυτών που ασχολούνται στην βιομηχανία ορυκτών καυσίμων και τον έπαινο των περιβαλλοντολόγων.

Μια άλλη διαμάχη προκλήθηκε όταν 12 χρόνια αργότερα, ο Χάνσεν και οι συνάδελφοι του δημοσίευσαν μια μελέτη τον Αύγουστο 2000 την οποία οι αρχικοί δυσφημιστές του Χάνσεν αποκάλεσαν 'δήλωση μετανοίας'. Ο Χάνσεν δημοσίευσε την απάντησή του στην κριτική που δέχτηκε από τον Wuebbles και η αντυπαράθεσή τους είναι ακόμα επίκαιρη.

Ο Wuebbles δεν δέχεται το γεγονός ότι στο σενάριο του Χάνσεν με τις χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα δεν είναι συνεπές με τις άλλες δημοσιεύσεις ιδιαίτερα με την Ειδική Αναφορά στα Σενάρια Εκπομπών (SPES) του IPCC, στην οποία οι εκπομπές του Χάνσεν είναι πιο κάτω από τα χαμηλότερα επίπεδα αυτού του σεναρίου. Σ' αυτή την έκδοση ο Wuebbles εκφράζει ανησυχία για την πιθανή παρεξήγηση του σεναρίου του Χάνσεν και ο Χάνσεν υποστηρίζει την θέση του. Το άρθρο μου είχε σαν κίνητρο αυτή τη διαμάχη η οποία θέτει το βασικό ερώτημα που βοήθησε τη δημιουργία της – ίσως χωρίς να υπάρχει ανάγκη: Τα σενάρια του SPES για τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα τον 21<sup>ο</sup> αιώνα δεν είναι καθορισμένες πιθανότητες. Γι' αυτό το λόγο, οποιοδήποτε ισχυρισμός μπορεί να γίνει για πιθανές εκπομπές και την επακόλουθη αλλαγή κλίματος χωρίς επιστημονικούς διαπληκτισμούς.

Το Διάγραμμα 5 δείχνει τον «καταρράκτη των αβεβαιοτήτων» που οδηγεί σε αυξανόμενες μελλοντικές πιθανότητες εξ' αιτίας της πρόσθεσης αβεβαιοτήτων σε κάθε βήμα της διαδικασίας. Έτσι, υπολογίζοντας την όλη πιθανότητα ενός δεδομένου βαθμού αλλαγής κλίματος σε μια μελλοντική χρονιά, π.χ. το 2100 είναι αναγκαίο, για κάθε εκτίμηση αυτού που αποτελεί «επικίνδυνη ανθρωπογόνο παρέμβαση στο κλιματικό σύστημα» να θυμηθούμε τη διάσημη φράση του Συνεδρίου για την Αλλαγή κλίματος των Ηνωμένων Εθνών το 1992.

Ότι ένας τέτοιος υπολογισμός της μελλοντικής αλλαγής κλίματος θα είναι οπωσδήποτε υποκειμενικός. Επιπλέον αυτός ο υπολογισμός θα αλλάξει με το καιρό καθώς συγκεντρώνονται και επανεκτιμούνται πληροφορίες.



Διάγραμμα 5. Ακτίνα σημαντικών αβεβαιοτήτων που είναι χαρακτηριστικές σε εκτιμήσεις επίδρασης και δείχνουν την έκρηξη αβεβαιότητας καθώς αυτές οι ακτίνες πολύνται για να ενσωματώσουν μια ευρεία ακτίνα μελλοντικών συνεπειών περιλαμβανομένων φυσικών, οικονομικών, κοινωνικών και πολιτικών επιδράσεων.

Τέτοιοι υπολογισμοί θα είναι υποκειμενικοί αλλά το να μην προσπαθείς να παράγεις πιθανούς υπολογισμούς για τέτοια σενάρια είναι σαν να απηφάς το κλασσικό ορισμό του κινδύνου: πιθανότητα επί συνέπειες. Είναι πολύ δύσκολο για αυτούς που καθορίζουν την πολιτική γραμμή να έχουν ένα «μόνο συνέπειες» ορισμό κινδύνου στον οποίο μόνο ακτίνες πιθανών σεναρίων δίνονται άσχετα με το πόσες πιθανότητες υπάρχουν να συμβούν. Αν ήταν έτσι οι επιστήμονες θα έπρεπε να μελετούν τρόπους αποφυγής της σύγκρουσης ενός τεράστιου αστεροειδούς με τη Γη, γεγονός του οποίου οι συνέπειες θα ήταν πολύ μεγαλύτερες από οποιοδήποτε περιβαλλοντικό γεγονός φυσικό ή ανθρωπογόνο. Ο λόγος που δεν ασχολούμαστε με το πρόβλημα της σύγκρουσης αστεροειδή είναι ότι οι πιθανότητες που δίνονται για ένα τέτοιο γεγονός μετριούνται στη τάξη του εκατομμυριοστού ανά έτος ενώ η πιθανότητα αλλαγής κλίματος είναι σίγουρα πολύ μεγαλύτερη. Η πιθανότητα μετράει πολύ σ' ένα κόσμο με περιορισμένα αποθέματα ειδικά όταν προσπαθείς να προσδιορίζεις την προτεραιότητα για επενδύσεις. Παρ' όλα αυτά αναγνωρίζω ότι ο προσδιορισμός τέτοιων πιθανοτήτων είναι γεμάτος από αβεβαιότητα π.χ. ενώ ο κίνδυνος είναι πιθανότητα χ συνέπεια, η πιθανότητα κάποιου επιπέδου μελλοντικής αλλαγής δεν καθορίζεται άμεσα μια σειρά πειραμάτων συχνότητας.

Αντίθετα, βασιζόμαστε κατά κάποιο βαθμό στη επιστημονική κρίση η οποία βασίζεται κυρίως σε εμπειρική παρατήρηση. Αλλά, αυτές οι εμπειρικές παρατηρήσεις



δεν θα είναι του μελλοντικού κλίματος αλλά της συμπεριφοράς των συστατικών ενός μοντέλου πολύπλοκων συστημάτων το οποίο μετά χρησιμοποιείται για να γίνει η προβολή στο μέλλον. Έτσι η απόφαση είναι υποκειμενική βασισμένη στη περιορισμένη εμπειρική επικύρωση των συστατικών του μοντέλου, και όχι στην απόδοση του όλου συστήματος στο μέλλον.

Οι πιθανότητες στις φυσικές επιστήμες είναι διαφορετικές από αυτές στις κοινωνικές επιστήμες εφ' όσον μπορούμε να κάνουμε πειράματα συχνότητας στις πρώτες ενώ στις δεύτερες πρέπει να κρίνουμε με τη λογική. Ωστόσο, οι επιστημονικές προβολές για το μέλλον απαιτούν κρίση καθώς δεν μπορούμε να κάνουμε πειράματα συχνότητας πριν από ένα γεγονός. Επιπλέον, υπάρχουν υποθέσεις και για τις φυσικές επιστήμες και οι λύσεις είναι και στα φυσικά και στα κοινωνικά συστήματα εξαρτημένες από τις υποθέσεις. Υπάρχει όμως μια πλευρά στην οποία τα κοινωνικά συστήματα είναι πιο δύσκολο να προβλεφτούν από τα φυσικά. Αν και στα δύο συστήματα η αλληλεπίδραση μεταξύ υποσυστημάτων μπορεί να προκαλέσει μετατροπές, στα κοινωνικά συστήματα, οι εξελισσόμενες συμπεριφορές και τα πιστεύω μπορούν να συντελέσουν στη μετατροπή των επιλογών. Η ιδιότητα των κοινωνικών συστημάτων είναι διαφορετικά σε είδος από τις προβλέψεις των φυσικών συστημάτων αλλά και τα δύο συστήματα περιλαμβάνουν την ανάγκη διάπλασης διαδικασιών ανατροφοδότησης και έτσι είναι πολύ παρόμοια. Αν απλώς αναπροσδιορίσουμε το κλασσικό ορισμό του κινδύνου σε συνέπειες μόνο τότε δεν μπορούμε να δώσουμε συμβουλές στα κέντρα αποφάσεων γιατί χωρίς πιθανότητες είναι δύσκολο να ασχοληθείς με την διευθέτηση κινδύνου. Μπορεί να υπάρχει μια στρατηγική που μπορεί να βοηθήσει: αντί του υπολογισμού της πιθανότητας που έχει ένα συγκεκριμένο γεγονός να συμβεί θα ήταν καλύτερος να μελετηθεί η πιθανότητα της υπέρβασης ενός αναγνωρισμένου κρίσιμου κατωφλιού. Πρέπει να ψάξουμε για λύσεις στις οποίες μια ευρεία ακτίνα σεναρίων οδηγούν σε παρόμοιες αντιδράσεις όσον αφορά τις αποφάσεις. Ωστόσο και αυτή η μέθοδος ανάλυσης απαιτεί τη κατασκευή ακτινών των μελλοντικών αποτελεσμάτων – πράγμα που είναι υποκειμενική εκτίμηση.

Άρα η υποκειμενικότητα είναι έμφυτη σ' όλες τις μελλοντικές προβολές είτε είναι στις φυσικές ή στις κοινωνικές επιστήμες.

Το πρόβλημα της εκτίμησης της πιθανότητας μιας 'επικίνδυνης ανθρωπογόνου παρέμβασης στο κλιματικό σύστημα είναι ακόμα πιο περίπλοκο. Πρώτον, ο όρος «επικίνδυνο» είναι θέμα κρίσης ως προς το πόσο χτυπητή θα είναι μια επίδραση και πριν μπούμε στη διαδικασία κρίσης θα πρέπει να θυμηθούμε ότι μία «επικίνδυνη αλλαγή κλίματος» περιλαμβάνει, όπως στο Διάγραμμα 3 ένα χείμαρρο αβεβαιοτήτων ως προς τις εκπομπές την αντίδραση του κύκλου του άνθρακα, την αντίδραση του κλίματος και τις επιδράσεις. Δηλαδή, πρέπει να υπολογίσουμε πιθανότητες για μελλοντικούς πληθυσμούς, μελλοντικά επίπεδα οικονομικής ανάπτυξης και τεχνολογικές εξελίξεις που επηρεάζουν την ακτινοβολία πίεση της ατμόσφαιρας μέσω εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα, πρέπει να ασχοληθούμε με τις πιθανότητες που σχετίζονται με την αβεβαιότητά της διάπλασης του κύκλου του άνθρακα και την κλιματική ευαισθησία που υπολογίζεται δοκιμασμένα σε παλαιοκλιματικές συνθήκες. Εδειξε ότι μπορούμε να καταλήξουμε σε πολύ διαφορετικούς υπολογισμούς της (υποκειμενικής) πιθανότητας επικίνδυνων κλιματικών αλλαγών στο 2100 εξ' αιτίας της έλλειψης προσδιορισμού από το IPCC της ανεξαρτησίας των διάφορων σεναρίων ή των ευαισθησιών των κλιματικών μοντέλων ή τις αντίστοιχες πιθανότητες τους. Η Ομάδα 1 του IPCC (IPCC Working Group) παρουσίασε την ευρεία ακτίνα σεναρίων εκπομπών σε ακτινοβολίες πιέσεις οι οποίες παράγουν μια ευρεία ακτίνα προβολής θερμοκρασίας μέσω 7 γενικών μοντέλων κυκλοφορίας (GCM) τα οποία παρουσίασαν μια ακτίνα ισορροπίας κλιματικής ευαισθησίας από 1,7 ως 4,2° C για διπλάσιο CO<sub>2</sub>. Το αποτέλεσμα ήταν η αναθεωρημένη προβολή θερμοκρασίας για το 2100 1,4 – 5,8° C αύξηση – μεγάλη διαφορά από τη 1-3,5° C της Δευτέρας Εκτίμησης.

Το πρόβλημα με την έλλειψη πιθανοτήτων σε κάθε σενάριο SPES είναι ότι αφήνει στην φαντασία τον αριθμό πιθανοτήτων.

### **1.11 Σενάρια Κοινωνικών Συνθηκών**

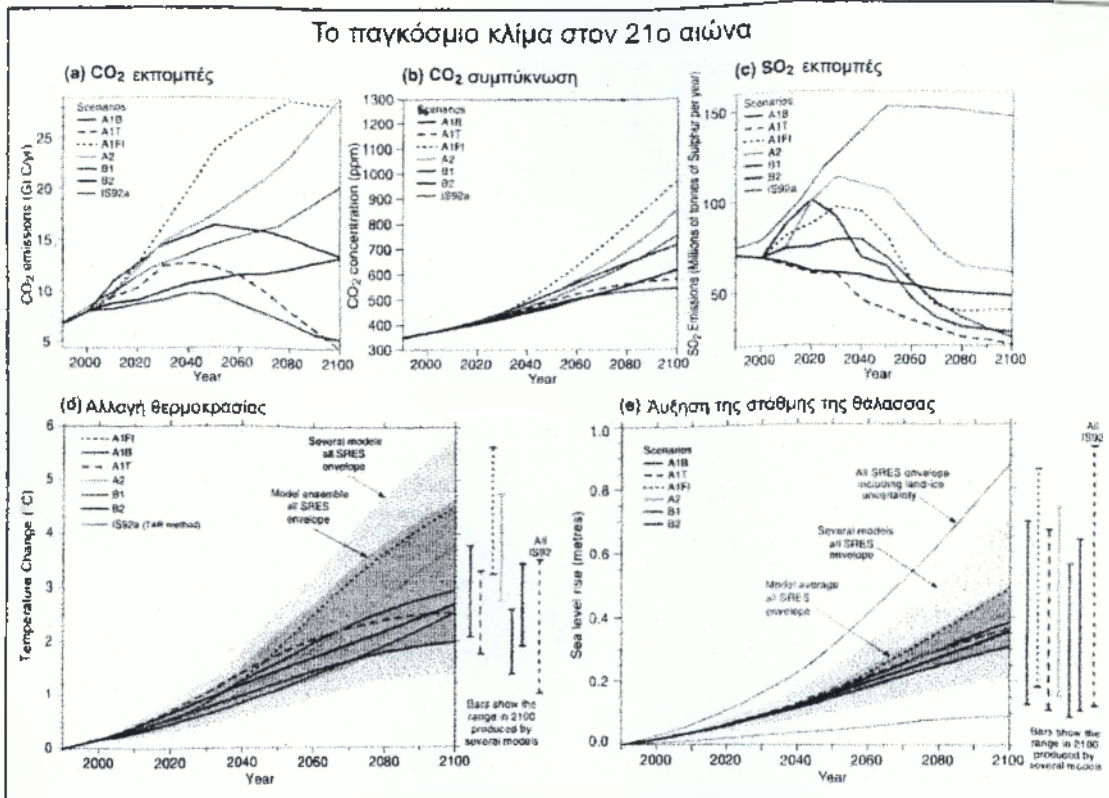
Δεν είναι μόνο η ακτίνα των πιθανών μελλοντικών εκπομπών που θα πρέπει να προσέξουν τα κέντρα αποφάσεων.

Οι συνθήκες της οικονομίας και του δικαίου που καθορίζουν τις εκπομπές βοηθούν επίσης στο να δημιουργήσουν τις προϋποθέσεις για την προσαρμογή ενός κοινωνικού γκρουπ ή για την καταπράυνση της κλιματικής αλλαγής. Μ' άλλα λόγια, όχι μόνο οι εκπομπές αλλά και οι ικανότητες προσαρμογής και καταπράυνσης

αλληλοεξαρτούνται από τη δομή της κοινωνίας στο μέλλον. Η διαμάχη ανάμεσα στο Wuebbles και του Χάνσεν μου επιτρέπει να εστιάσω σ' αυτό που θεωρώ ότι είναι το κύριο θέμα στην εκτίμηση του μελλοντικού κλίματος: το πώς και πότε να προσδιορίσουμε πιθανότητες στις μελλοντικές προβολές. Έχω εκφράσει την ανησυχία μου για την απουσία πιθανοτήτων στην ευαισθησία κλίματος ή για την επιλογή αποχής χρησιμοποιώντας τεχνικές που δίνουν πιο συνεπείς υπολογισμούς των υποκειμενικών πιθανοτήτων. Παρ' όλα αυτά η προσέγγιση του IPCC και SPES έκαναν μεγάλη πρόοδο στην εκτίμηση της αντίδρασης της αλλαγής του κλίματος. Είναι αναγκαίο τέτοιες δραστηριότητες να συνεχιστούν ή να εξελίσσονται παρά τις ανεπάρκειες που έχουν αναφερθεί (Schneider, 2002).

**Το παγκόσμιο κλίμα του 21<sup>ο</sup> αιώνα θα εξαρτηθεί από φυσικές αλλαγές και την αντίδραση του κλιματικού συστήματος στις ανθρώπινες δραστηριότητες.**

Τα κλιματικά μοντέλα προβάλλουν την αντίδραση πολλών κλιματικών μεταβλητών – όπως αυξήσεις στην παγκόσμια θερμοκρασία επιφάνειας και στη στάθμη της θάλασσας – σε διάφορα σενάρια των αερίων θερμοκηπίου και άλλων ανθρωπογόνων εκπομπών. Το 6a δείχνει την εκπομπή CO<sub>2</sub> (διοξειδίου άνθρακα). Το 6b δείχνει τη συμπύκνωση CO<sub>2</sub>. Το 6c δείχνει ανθρωπογόνες εκπομπές SO<sub>2</sub> (διοξειδίου του θείου). Εκπομπές άλλων αερίων και αεροζόλ περιλαμβάνονται στο μοντέλο αλλά δεν δείχνονται στο διάγραμμα. Το 6d και 6e δείχνουν τη προβαλλόμενη θερμοκρασία και στάθμη θάλασσας αντίστοιχα. Αξίζει να προσέξει κανείς ότι η αύξηση θερμοκρασίας και η αύξηση της στάθμης της θάλασσας θα συνεχιστούν και μετά το 2100. Επίσης το διάγραμμα δεν περιλαμβάνει αβεβαιότητες που σχετίζονται με δυναμικές αλλαγές στο πάγο της Δυτικής Ανταρκτικής (National Observatory of Athens, 2002).



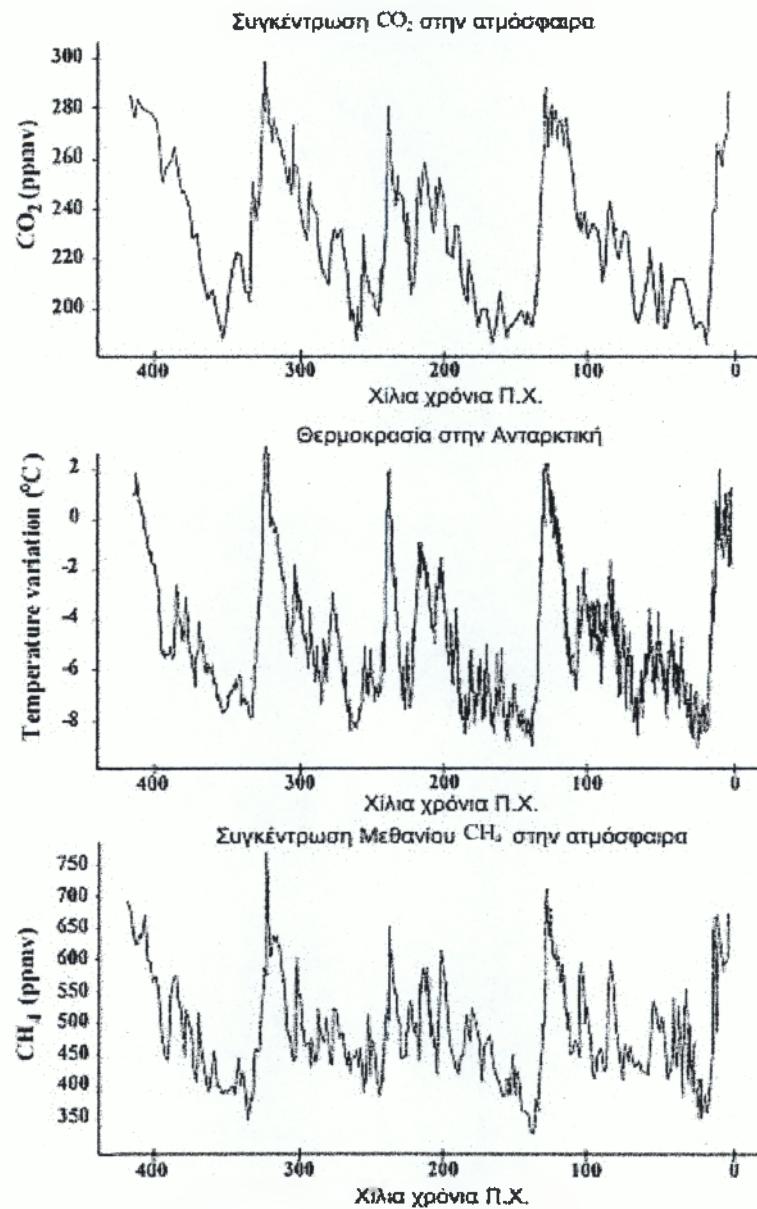
Διάγραμμα 6. Σενάρια για το παγκόσμιο κλίμα τον 21ο αιώνα (National Observatory of Athens, 2002).

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

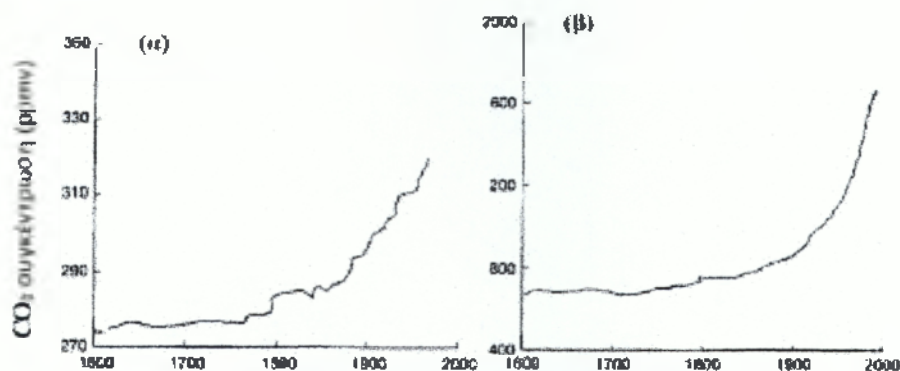
### ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΣΤΗ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

#### 2.1 Γενικά

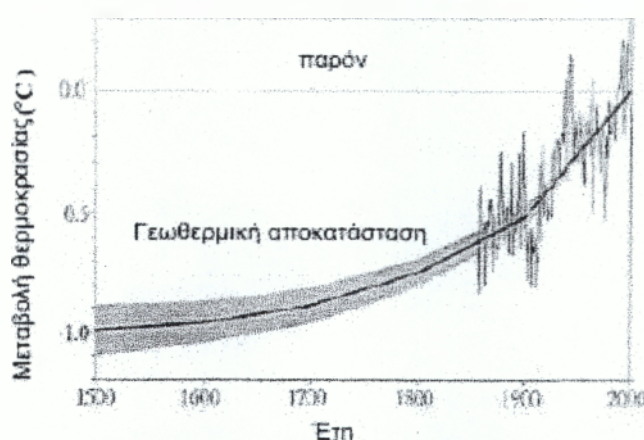
Τα τελευταία 420.000 χρόνια η γη έχει υποστεί πάνω από τέσσερις κλιματικές αλλαγές. Η τελευταία περίοδος των παγετώνων άρχισε πριν από 120.000 χρόνια και τελείωσε πριν από 16.000 χρόνια ακολουθούμενη από μια ζεστή περίοδο μέχρι και τώρα. Η σχέση ανάμεσα σε φυσικής προέλευσης αέρια του θερμοκηπίου, διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) και μεθάνιο ( $\text{CC}_4$ ), και του κλίματος της Ανταρκτικής κατά την τελευταία κλιματική αλλαγή έχει επιβεβαιωθεί κατά τις τέσσερις κλιματικές αλλαγές που εκτείνονται 420.000 χρόνια (Διάγραμμα 1). Με τη βιομηχανική Επανάσταση του 18<sup>ου</sup> αιώνα ο άνθρωπος προκάλεσε τη γρήγορη αύξηση αυτών των δυο αερίων του θερμοκηπίου στα σημερινά χαμηλά επίπεδα.



Αυτή η αύξηση σχετίζεται με μια αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της γης που κυμαίνεται ανάμεσα σε 0,4° C, και 0,8° C από το 1860 (Διαγράμματα 2 και 3).

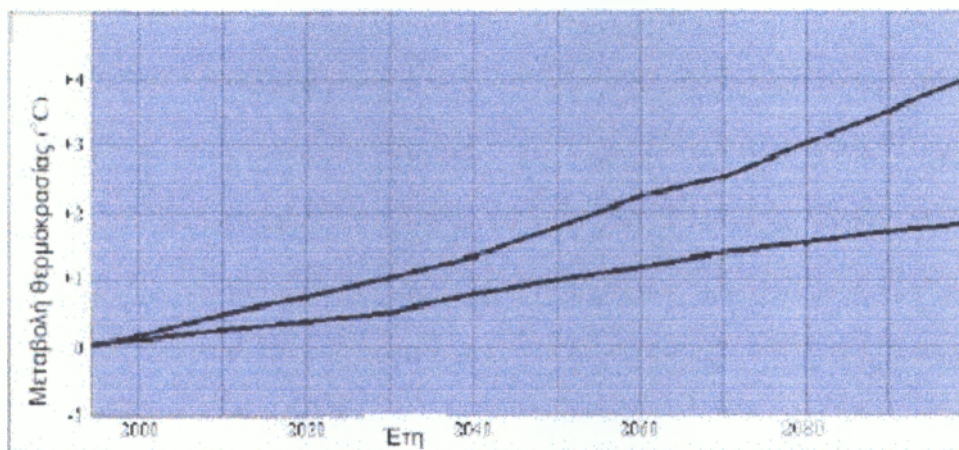


Διάγραμμα 2. Η μεταβολή στην παρατηρημένη ατμοσφαιρική συγκέντρωση (α) Διοξειδίου του Ανθρακα ( $CO_2$ ) και (β) Μεθανίου ( $CH_4$ ) από 1600 έως 1995.



Διάγραμμα 3. Αναπαράσταση της παγκόσμιας επιφανειακής θερμοκρασίας τους τελευταίους πέντε αιώνες. Οι σκιώδεις περιοχές αντιπροσωπεύουν  $\pm$  λάθους για τις μέσες ημέρες.

Η περισσότερη αύξηση σημειώθηκε σε δυο περιόδους 1910 - 1945 και από το 1976 ως σήμερα. Η θερμότητα του 20ου αιώνα φαίνεται ότι έχει (προκληθεί) από ένα φυσικό συστατικό. Ωστόσο ο ρυθμός της θερμότητας του 20ου αιώνα φαίνεται ότι είναι πολύ μεγάλος για να μπορεί να εξηγηθεί από φυσικές επιρροές μόνο. Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ιδιαίτερα γοργή και όλα τα οκτώ ζεστά χρόνια έχουν καταγραφεί μετά το 1983. Πιθανόν η δεκαετία του 1990 να ήταν η πιο ζεστή της χιλιετίας στο Βόρειο Ημισφαίριο ενώ το 1998 φαίνεται να ήταν η πιο ζεστή χρονιά. Οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες στο Βόρειο Ημισφαίριο κατά τις πρόσφατες δεκαετίες είναι πιο ζεστές για τουλάχιστον έξι αιώνες. Η μέση θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια της γης το 1999 ήταν η 5<sup>η</sup> υψηλότερη που έχει καταγραφεί μέχρι τώρα, περίπου  $0,33^\circ C$  υψηλότερη από το μέσο όρο του 1961 - 90. Η πτώση από το 1998 ως 1999 αποδόθηκε στο φαινόμενο Ελ Νίνιο που εμφανίστηκε στον Ειρηνικό Ωκεανό το 1998. Όσον αφορά την βροχόπτωση έχει βρεθεί ότι στην επιφάνεια της γης συνεχίζει να αυξάνεται στις περιοχές με μεσαίο υψηλό γεωγραφικό πλάτος του Βορείου Ημισφαιρίου ενώ οι τροπικές περιοχές έχουν γίνει ξηρότερες.



Διάγραμμα 4. Η μέση παγκόσμια αλλαγή θερμοκρασίας από το 1990 έως το 2100 σύμφωνα με τα σενάρια της Διακυβερνητικής επιτροπής. Η ακτίνα της αλλαγής περιγράφεται μέσα σε μια ζώνη περιορισμένη από μέγιστες και ελάχιστες τιμές που προήλθαν από τέσσερα διαφορετικά σενάρια.

Σύμφωνα με τα σενάρια της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή κλίματος η σημαντική αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου θα προκαλέσει την αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης από  $1,7^{\circ}\text{C}$  ως  $4,0^{\circ}\text{C}$  μέχρι το 2100 (Διαγρ.4) ως την αύξηση από στάθμης της θάλασσας από 22 ως 75 εκατοστά ενώ χρονικά και τοπικά χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης θα αλλάξουν. Όπως έχει αλλάξει το κλίμα σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι το αναμενόμενο ότι το κλίμα της Μεσογείου έχει αλλάξει. Το παρόν εξετάζει την εγκυρότητα αυτής της υπόθεσης μελετώντας τα αποτελέσματα πρόσφατων μελετών. Πιθανές μελλοντικές αλλαγές μαζί με πρόσφατες εστιάζοντας στη Μεσόγειο και ιδιαίτερα στην Ελλάδα.

## 2.2 Παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα της Μεσογείου

Η ανάλυση των μελετών δείχνει ασυμφωνία, ακόμα οι διαμάχες στα αποτελέσματα. Αν και η παρατηρημένη τάση κλιματικών στοιχείων θα μπορούσε να αποδοθεί σε ανθρώπινες δραστηριότητες οι εναλλαγές είναι τέτοιες έτσι ώστε να μπορούν να υπάγονται σε φυσικές κλιματικές παραλλαγές.

Ωστόσο κάποια στοιχεία αναφέρονται κάτωθι:

### Θερμοκρασία

#### α. Ευρώπη

Αν και υπάρχει διαφορά από περιοχή σε περιοχή, η θερμοκρασία στην περισσότερη Ευρώπη έχει αυξηθεί κατά  $0,8^{\circ}\text{C}$  στον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Στη δεκαετία 1981 – 1990 οι μέσες ετήσιες επιφανειακές θερμοκρασίες σε μεγάλο μέρος της Ευρώπης ήταν υψηλότερες από τις μέσες θερμοκρασίες της περιόδου 1951 – 80 με εξαίρεση την ανατολική Μεσόγειο.. Συνεπώς η δεκαετία του 1990 ήταν η πιο θερμή του 20<sup>ου</sup> αιώνα.



## β. Μεσόγειος

Ο εντοπισμός αλλαγής κλίματος σε τέτοια κλίμακα είναι εξαιρετικά δύσκολος καθώς οι μεγάλες εναλλαγές στα τοπικά κλίματα κρύβουν τη μεταβλητότητα υπό τύπο φυσικών διακυμάνσεων. Επιπλέον, η βραχύτητα της περιόδου υπό παρατήρηση καθιστά την αναγνώριση ξεκάθαρων τάσεων δύσκολη και δημιουργεί αβεβαιότητα ως προς το μέγεθος της φυσικής εναλλαγής.

Η ανάλυση της θερμοκρασίας του αέρα υποδηλώνει μια εξέλιξη παρόμοια με αυτήν που καταγράφηκε σε παγκόσμια κλίμακα ή κλίμακα ημισφαιρίων. Δηλαδή μια πτώση κατά τη διάρκεια της περιόδου 1955 –1975 ως μια αισθητή άνοδο στη δεκαετία του 80 και του πρώτου μισού της δεκαετίας του 1990. Ωστόσο οι τάσεις στη διαφορά θερμοκρασίας του αέρα και της θάλασσας μεταξύ ανατολικής και δυτικής Μεσογείου είναι αξιοσημείωτη.

Τα στοιχεία για τη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στη Μεσόγειο, ιδιαίτερα την ανατολική Μεσόγειο, δείχνουν μια γρήγορη πτώση στη δεκαετία του 70 ενώ άνοδος άρχισε να σημειώνεται στα τέλη της δεκαετίας. Η πτώση στην ανατολική Μεσόγειο ήταν πολύ πιο αισθητή από αυτή στη δυτική Μεσόγειο. Όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα στη Μεσόγειο, τα περισσότερα αποτελέσματα των μελετών συμφωνούν στο ότι υπήρξε μια θετική τάση στη δυτική Μεσόγειο και μια αρνητική τάση στην ανατολική Μεσόγειο για τις περιόδους 1950 –1990 και 1975 – 1990.

Η θερμοκρασία του αέρα στην Ανατολική Μεσόγειο παρουσιάζει αρνητική τάση από το 1960 με ελάχιστο στα 1970 από τότε η θερμοκρασία ανεβαίνει. Το 1999 ήταν αρκετά θερμό για την ανατολική Μεσόγειο σε σύγκριση με τις μέσες τιμές της περιόδου 1961 – 90 και με τη παγκόσμια κλίμακα. Αυτό οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες και φθινοπωρινές θερμοκρασίες.

Η μέση θερμοκρασία στη κεντρική και δυτική Μεσόγειο για τον 20<sup>ο</sup> αιώνα δείχνει μια αύξηση περίπου 0,8<sup>ο</sup> C ανά 100 χρόνια.

## γ. Ελλάδα

Η Ελλάδα διαφέρει από την υπόλοιπη Ευρώπη γιατί η θερμοκρασία παρουσιάζει μια μικρή αρνητική τάση τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Οι περισσότεροι σταθμοί στην Ελλάδα παρουσιάζουν αρνητική τάση θερμοκρασίας από το 1950 έως το 1990. Αυτή η τάση έχει αντιστραφεί σε μερικές περιοχές μετά το 1975 μάλλον εξ' αιτίας της ταυτόχρονης ανοδικής τάσης των

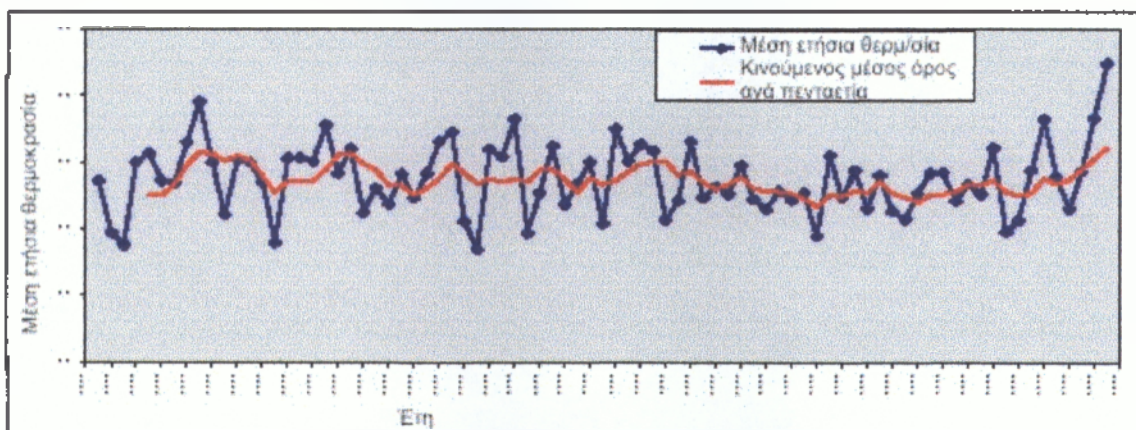
καλοκαιρινών θερμοκρασιών, παρά την σημαντική καθοδική τάση των χειμερινών θερμοκρασιών μετά το 1985.

Η δεκαετία του '70 ήταν η ψυχρότερη του 20<sup>ου</sup> αιώνα στην Ελλάδα. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι είναι μια άνοδος της θερμοκρασίας είναι ξεκάθαρη στην Ελλάδα από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η οποία σταδιακά δυναμώνει. Μια συνεχής τάση για πιο ζεστά καλοκαίρια έχει εμφανιστεί από τα μέσα της δεκαετίας του 70 μέχρι σήμερα ενώ το 1999 ήταν η πιο ζεστή χρονιά του αιώνα στην Αθήνα. Το καλοκαίρι του 2000 ήταν τόσο ζεστό όσο και του 1998, πράγμα που δείχνει ότι οι καλοκαιρινές θερμοκρασίες τα τελευταία τρία χρόνια είναι εξαιρετικά υψηλές.

Υπάρχουν ενδείξεις αλλά όχι και αποδείξεις για τα αποτελέσματα της αστικοποίησης στο κλίμα της Αθήνας. Ούτε υπάρχουν μελέτες που να αποδεικνύουν τα αποτελέσματα της αστικοποίησης εξετάζοντας τις διάφορες θερμοκρασίες μεταξύ Αθήνας και άλλων περιοχών.

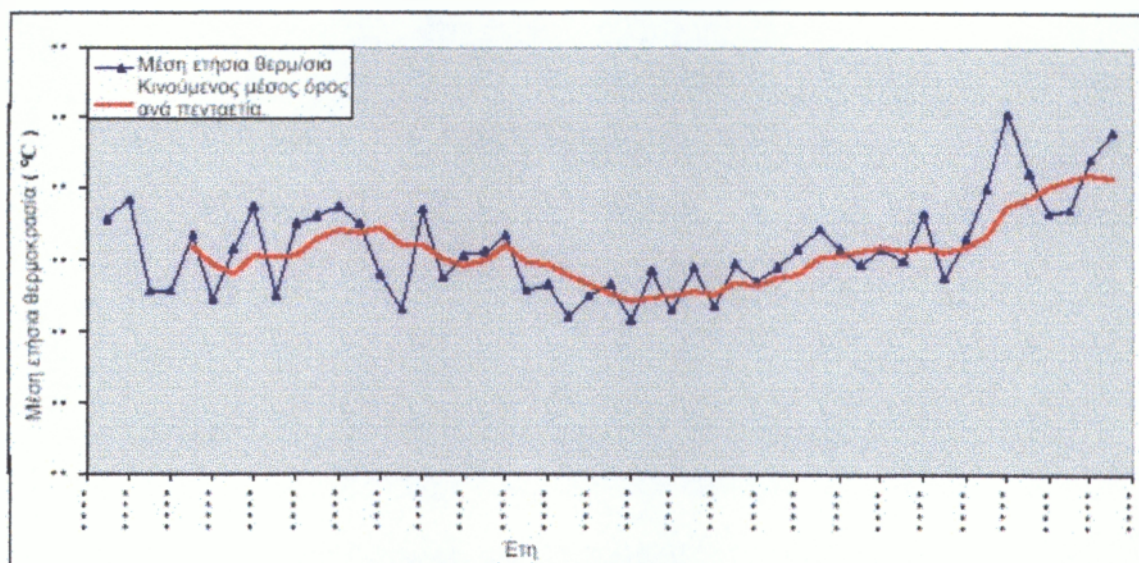
Στη Θεσσαλονίκη δεν έχει σημειωθεί άνοδος τον 20<sup>ου</sup> αιώνα. Αντιθέτως μια κάθοδος έχει εντοπιστεί η οποία είναι πιο έντονη το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην Αθήνα και Θεσσαλονίκη φαίνεται να έχει αυξηθεί σταδιακά μετά το 1980, κυρίως εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών. Μια γοργή άνοδος είναι παρούσα στην Αθήνα από τις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Διάγραμμα 5).

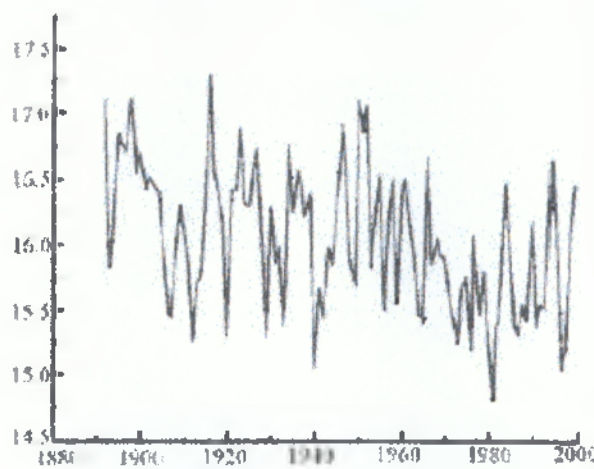


Διάγραμμα 5. Μέση ετήσια θερμοκρασία στην Αθήνα για τη περίοδο 1918 έως 1999

Μια σταδιακή αύξηση έχει παρατηρηθεί από το 1980 στην Θεσσαλονίκη. Ενώ κατά τα τελευταία τέσσερα χρόνια (1996 – 1999) έχει εντοπιστεί μια γοργή άνοδος παρόμοια μ' αυτή της Αθήνας (Διαγράμματα 6 και 7).



Διάγραμμα 6. Μέση ετήσια θερμοκρασία για Θεσσαλονίκη την περίοδο 1951 έως 1999.



Διάγραμμα 7. Μέση ετήσια θερμοκρασία για τη Θεσσαλονίκη από 1892 έως 1949.

Ωστόσο το μέγεθος αυτών των θετικών τάσεων είναι μικρότερο από αυτό που έχει παρατηρηθεί στην Αθήνα.

Οι αλλαγές της θερμοκρασίας του 20ου αιώνα έτσι όπως έχουν σημειωθεί σε διάφορες μελέτες περιλαμβάνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Αλλαγές θερμοκρασίας τον 20ο αιώνα.  
(Οι παραρτήσεις πητές έχουν υπολογιστεί στο περίπου σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία).

	1900-2000	1900-10	1910-20	1920-30	1930-40	1940-50	1950-60	1960-70	1970-80	1980-90	1990-00
Ευρώπη	Στο μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης έχει ανέβει κατά 0.8C	0.65°C				T	T	-	0.25°C	0.55°C	Η πιο δυνατή βροχόπτωση
Ανατολική Μεσόγειος		--	+	T	T	T	--	0.55°C	+		
Δυτική Μεσόγειος	Μέση θερμοκρασία παρουσιάζει ανοδικό κατά 0.8 C ανά 100 χρόνια.										
Ελλάδα	Σε διάφορες περιοχές υπάρχει ελαφρά πτώση θερμοκρασίας									+	+
Αθήνα	Καμία σημαντική τσση	--	+	++	T	-	T	--	0.40°C	+	++
Θεσσαλονίκη	Αρνητική τσση	--	+	-	-	++	-	--	0.70°C	+	++
		0.85°C	0.40°C	0.55°C		0.80°C	0.60°C		0.70°C	0.70°C	1.00°C

- + Αύξηση
- ++ Μεγάλη Αύξηση
- Μείωση
- Μεγάλη Αύξηση μείωσης
- ± Σταθερό

## Βροχόπτωση

### α. Ευρώπη

Οι ετήσιες τιμές βροχόπτωσης του 20<sup>ο</sup> αιώνα δείχνουν γενική αύξηση στη Βόρεια Ευρώπη με εξαίρεση τη Φιλανδία. Ενώ υπάρχουν ενδείξεις για πτώσεις στη Νότια Ευρώπη και τη Μεσόγειο. Ειδικά, στη δεκαετία του 80 σε σχέση με τις μέσες τιμές της περιόδου 1951 - 80 παρατηρήθηκε μια γενική πτώση της βροχόπτωσης στο μεγαλύτερο μέρος της Νότια Ευρώπης ενώ την ίδια περίοδο η βόρεια Ευρώπη γινόταν πιο υγρή.

### β. Μεσόγειος

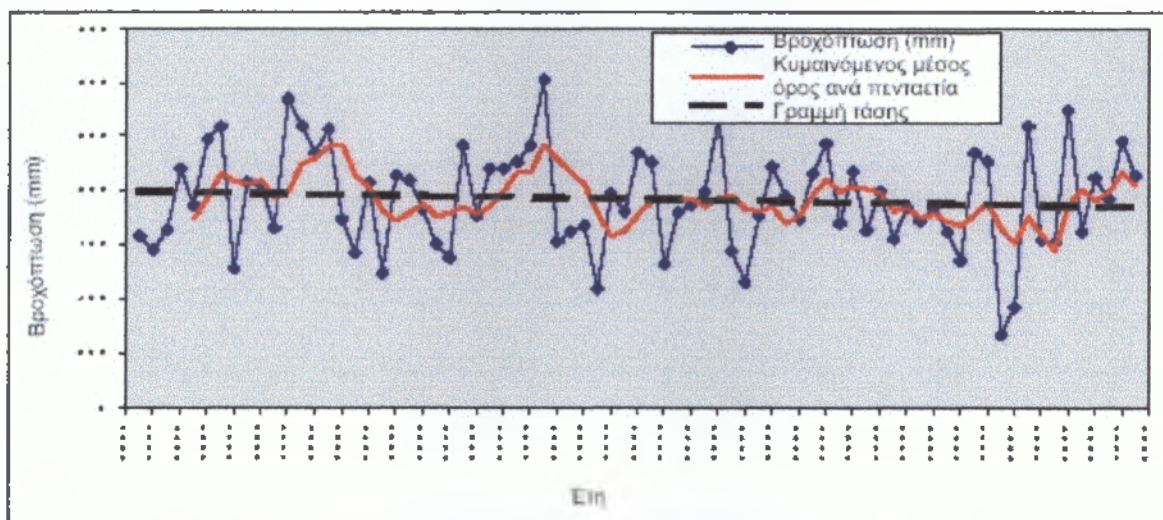
Από το 1900 η βροχόπτωση έχει μειωθεί κατά 5% στις περιοχές που βρέχονται από τη Μεσόγειο με εξαίρεση το κομμάτι από τη Τυνησία όπου υπήρξε μικρή αύξηση.

Μια γενική ξηρότητα είναι εμφανής στη νοτιοανατολική Ευρώπη και Ελλάδα μέχρι και το 1990. Ωστόσο η αυξανόμενη βροχόπτωση τα πρόσφατα χρόνια θα πρέπει να σημειωθεί. Επίσης μια πτώση βροχόπτωσης μια πτώση βροχόπτωσης έχει παρατηρηθεί στη κεντρική – δυτική Μεσόγειο τα τελευταία πενήντα χρόνια.

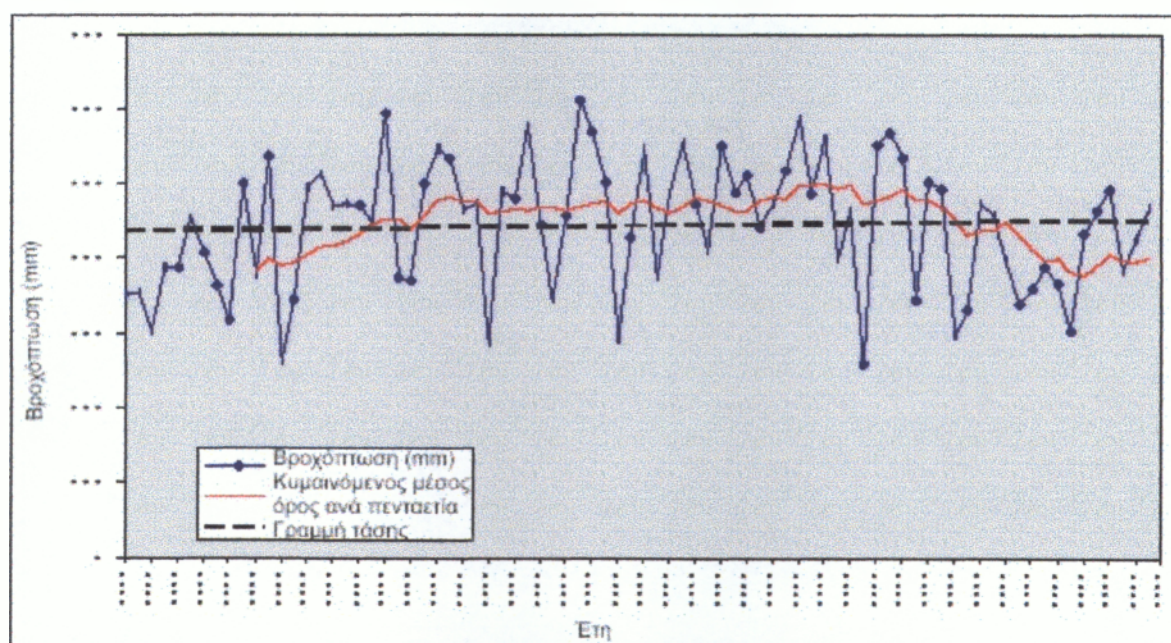
### γ. Ελλάδα

Στην Ελλάδα μια αρνητική τάση σε βροχόπτωση είναι εμφανής τα τελευταία είκοσι χρόνια της περιόδου 1951 – 1990. Ενώ από τότε αυτή η τάση είναι αντίστροφη. Η βροχόπτωση στη βόρεια Ελλάδα μειώθηκε μετά το 1967 και μπορεί να αποδίδεται στην αντίστοιχη μείωση που παρατηρήθηκε τους πιο κρύους μήνες του χρόνου (Οκτώβρη μέχρι Μάη). Αυτή η αρνητική τάση είναι στο μέγιστο στη βόρειο – δυτική Ελλάδα και στο ελάχιστο στη ανατολική Μακεδονία και Θράκη.

Στην Αθήνα, η βροχόπτωση παρουσίασε αρνητική τάση (10%) κατά τη περίοδο 1925 – 1999 πράγμα το οποίο όμως δεν είναι στατιστικά σημαντικό (Διαγρ. 8). Από το 1976 ως 1990 σταδιακά μειώθηκε και κατέληξε στη μεγάλη ξηρασία του 1989 – 1990. Από τότε, έχει σημειωθεί μια σημαντική αύξηση μέχρι το 1999. Ωστόσο, τα στοιχεία για την βροχόπτωση για το 2000 δείχνουν ξηρασία στην Αθήνα. Στη Θεσσαλονίκη επίσης παρουσιάστηκε μικρή αρνητική τάση (7%) τη περίοδο 1920 – 1999 το οποίο ωστόσο δεν είναι στατιστικά σημαντικό (Διάγρ. 9). Η σύγκριση των τιμών για Αθήνα και Θεσσαλονίκη, παρουσίασε μια αξιοσημείωτη θετική τάση από το 1920 και 1980. Στη δεκαετία του 1980 μια σημαντική πτώση παρατηρήθηκε. Κατόπιν, η τάση άλλαξε όπως ακριβώς και στην Αθήνα.



Διάγραμμα 8. Ετήσια αποθέματα βροχής, γραμμή τάσης και κινούμενοι μέσοι όροι ανά πενταετία στην Αθήνα (Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) από 1924 έως 1999.



Διάγραμμα 9. Ετήσια συγκέντρωση βροχής, γραμμή τάσης και κινούμενοι μέσοι όροι ανά πενταετία στη Θεσσαλονίκη από 1920 έως 1999.

Η περίοδος 1984 – 1993 ήταν η ξηρότερη και στην Αθήνα και στη Θεσσαλονίκη. Οι αλλαγές σε βροχόπτωση τον 20<sup>ο</sup> αιώνα βρίσκονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Αλλαγές στη βροχόπτωση του 20ου αιώνα.

	1911-30	1940-50	1910-20	1920-30	1930-40	1940-50	1950-60	1960-70	1970-80	1980-90	1990-98
Βόρεια Ευρώπη	Αύξηση 10% έως 50%										
Νότια Ευρώπη	Ενδείξεις για μείωση										
Μεσόγειος	Ενδείξεις για μείωση 5% έως 20%										
Ελλάδα	Μείωση										
Αθήνα	Καμία σημαντική τάση	++	++	-	-						
Θεσσαλονίκη	Καμία σημαντική τάση	++	++	-	-						

+ Αύξηση  
 ++ Μεγάλη Αύξηση  
 - Μείωση  
 -- Μεγάλη Αύξηση μείωσης  
 | Σταθερή  
 | Ενδείξη

## 2.3 Ακραία καιρικά φαινόμενα

### α. Ευρώπη

Δεν έχει βρεθεί τάση για τη συχνότητα και ένταση των καταιγίδων στην Ευρώπη τον 20ον αιώνα. Εφόσον ο αριθμός των σφοδρών καταιγίδων παρουσιάζει τυχαία ποικιλία.

### β. Ελλάδα

Στην Ελλάδα η συχνότητα των καυσώνων της δεκαετίας του 1990 ήταν τρεις φορές μεγαλύτερη από ότι στις προηγούμενες δεκαετίες. Δεν έχει βρεθεί αντίστροφη αλλαγή στην συχνότητα μεγάλης βροχόπτωσης ενώ αυτή η συχνότητα αυξήθηκε περαιτέρω στη δεκαετία του 1990.

Στη συνέχεια η συχνότητα με την οποία η μέγιστη θερμοκρασία ξεπερνά τους 35°, 36°, 37° και 38° C τα τελευταία τρία χρόνια είναι η μεγαλύτερη στον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Μια συνεχόμενη θετική τάση στη διάρκεια τέτοιων θερμών φαινομένων έχει παρατηρηθεί. Το μέγεθος της τάσης έχει αυξηθεί σημαντικά μετά τον 2<sup>ο</sup> παγκόσμιο πόλεμο.

Η διάρκεια της περιόδου με θερμοκρασία άνω των 35° C τα τελευταία χρόνια της δεκαετίας του 1990 είναι διπλάσια του 1940. Τη τελευταία δεκαετία υπάρχουν ενδείξεις μιας αυξανόμενης τάσης για μακρύτερες περιόδους με θερμοκρασία άνω των 36° C. Ωστόσο, δεν υπάρχουν ενδείξεις ότι η διάρκεια των περιόδων με μέγιστη θερμοκρασία άνω των 40o C, έχει αλλάξει. Η συχνότητα και η διάρκεια φαινομένων ψύχους μειώνεται σταθερά μετά το 1950 ενώ από το 1991 δεν παρατηρούνται, άσχετα με την με το πόσο έντονα ήταν.

## 2.4 Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας

Πολλά Μεσογειακά παράλια φαίνεται να έχουν υποστεί αλλαγές εντός του γενικά αποδεκτού ορίου αύξησης της στάθμης της θάλασσας (1 – 2mm/yr). Οι περιοχές στις οποίες η αύξηση είναι μικρότερη από 1 – 2mm (π.χ. η ανατολική Μεσόγειος από το Ισραήλ ως την Αντάλια) φαίνεται να έχουν υποστεί ελαφριά τεκτονική ανύψωση ενώ πολλά από τα μεγαλύτερα δέλτα ποταμών έχουν υποστεί αύξηση στάθμης αρκετά υψηλότερη από τη παγκόσμια αύξηση π.χ. ο Νείλος (4,8mm/yr), η Θεσσαλονίκη, (4,0mm/χρόνο) η Βενετία (7,3mm/yr). Αυτές οι περιοχές θεωρείται ότι έχουν υποστεί καθίζηση (National Observatory of Athens, 2002b).

## 2.5 Υγρές και ξηρές Μηνιαίες ανωμαλίες γύρω από τη Μεσόγειο και η σχέση τους με τη κυκλοφορία, 1860 – 1990

Σε πέντε σταθμούς που βρίσκονται κατά μήκος του δυτικό – ανατολικού άξονα της Μεσογείου αναγνωρίστηκαν ανωμαλίες με ξηρούς και υγρούς μήνες κατά την περίοδο 1860 – 1990. Οι υγροί και ξηροί μήνες χαρακτηρίστηκαν από υδρικούς δείκτες (HI) βασισμένους σε τιμές κανονισμένων ανωμαλιών βροχόπτωσης.

Διάφοροι τύποι ανώμαλων υγρών και ξηρών περιόδων αναγνωρίστηκαν ποιοτικά με βάση της χωρικές κατανομές των υδρικών δεικτών. Οι κανονισμένες τιμές της πίεσης της θάλασσας στα 56grid σε χώρο 35° N – 65° (Βόρεια), 30° W – 40° E (δυτικά – ανατολικά) για κάθε ένα από τους ανώμαλους υγρούς ξηρούς μήνες, υποβλήθηκαν σε T – mode Principal Component Analysis.

Οι μέσοι υδρικοί δείκτες που σχετίζονται με κάθε κύριο συστατικό σε κάθε εποχή. Ξεχωρίζουν τέσσερις ξεχωριστές διαφορετικές χωρικές κατανομές για υγρούς μήνες και σε τρεις για ξηρούς μήνες ως κάτωθι: (a) Μεσογειακή ευρεία κατανομή των θετικών/αρνητικών ανωμαλιών (b<sub>1</sub>) Έντονες θετικές ανωμαλίες στα δυτικά αλλά πιο αδύναμες στην Ανατολική Μεσόγειο; (b<sub>2</sub>) Έντονες αρνητικές ανωμαλίες στα δυτικά αλλά πιο αδύναμες ή κανονικές στα ανατολικά (c<sub>1</sub>) Έντονες θετικές ανωμαλίες στα δυτικά και στα ανατολικά και πιο αδύναμες στη Κεντρική Μεσόγειο (c<sub>2</sub>) Αρνητικές ανωμαλίες στα δυτικά και ανατολικά αλλά πιο αδύναμες ή κανονικές ή θετικές στη Κεντρική Μεσόγειο (d) Σχετικά έντονες θετικές ανωμαλίες στα ανατολικά και πιο αδύναμες στη δυτική Μεσόγειο (Maheras et al., 1999)



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

### Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΥΔΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΥΡΚΑΪΩΝ ΣΤΗΝ ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

#### 3.1 Βροχόπτωση: μια παράμετρος που αλλάζει το κλίμα και που τροποποιείται από την αλλαγή του κλίματος

Ο σχηματισμός βαθέων υδάτων επηρεάζεται από τη βροχόπτωση και η βροχόπτωση επηρεάζεται από τη συγκέντρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και από την ατμοσφαιρική και ωκεανική κυκλοφορία. Τα πειράματα έγιναν ανεξάρτητα για να ελέγξουν την σταθερότητα της εισροής γλυκού νερού στη θάλασσα στο Βόρειο Ατλαντικό και να ερευνήσουν αλλαγές στη βροχόπτωση λόγω ανθρωπογόνων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίων. Οι αλλαγές στη βροχόπτωση είναι αρκετές έτσι ώστε να μειώσουν τη κυκλοφορία σε κάποιες προσομοιώσεις. Ωστόσο, φαίνεται ότι η ποσότητα γλυκού νερού που χρειάζεται για να προκαλέσει την κατάρρευση της κυκλοφορίας είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την αναμενόμενη αλλαγή στην βροχόπτωση τα επόμενα 100 χρόνια. Από την άλλη όμως οι αλλαγές στη βροχόπτωση μπορεί να αλλάζουν κατά τόπους πολύ, φτάνοντας σε ακραίες περιπτώσεις και έτσι να ασκήσουν επιπλέον πίεση στη βλάστηση και να επαυξήσουν τη διάβρωση του εδάφους.

Στο παρελθόν, οι ομάδες που ασχολούνταν με τη σταθερότητα της THC<sup>1</sup> και εκείνες που ασχολούνταν με το θέμα της ανθρωπογόνου παγκόσμιας αλλαγής δούλευαν παράλληλα και ανεξάρτητα για διάφορους λόγους. Ένας από τους λόγους ήταν ότι το πρώτο θέμα θεωρείται θέμα των ωκεανογράφων ενώ το άλλο υπάγεται στην επιστήμη της ατμόσφαιρας. Δεύτερον, οι κλίμακες χρόνου ήταν διαφορετικές π.χ. δεκαετίες και αιώνας για τη ανθρωπογόνο αλλαγή του κλίματος και αιώνες και χιλιετίες για τη κυκλοφορία στο Βόρειο Ατλαντικό. Πρόσφατα όμως πολλές μελέτες τόνισαν ότι η ανθρωπογόνος παγκόσμια αλλαγή πιθανόν να επηρεάσει τη THC στη περιοχή του Βόρειου Ατλαντικού υφίσταται διακυμάνσεις ακόμα και σε κλίματα δεκαετίας. Ο σκοπός αυτής της μελέτης είναι να εξετάσει τη τρέχουσα σταθερότητα του THC, να περιγράψει την αλλαγή βροχόπτωσης κάτω από αλλαγμένες κλιματικές συνθήκες και να συζητήσει το πώς αυτές οι δυο παράμετροι μπορούν να

<sup>1</sup> THC = κυκλοφορία γλυκού νερού μέσα στη θάλασσα.

χρησιμοποιηθούν ως ενδεικτικά στοιχεία για τη κρισιμότητα της κατάστασης του κλιματικού συστήματος.

### 3.2 Αλλαγές στη βροχόπτωση

Η προσομοιωμένη βροχόπτωση στη Κεντρική Βόρεια Αμερική χάνει τελείως το αποκορύφωμα του Ιούνη, Ιούλη, Αύγουστο. (Διάγραμμα 1<sup>α</sup>). Η μέση τιμή είναι μόνο γύρω στο 50% της παρατηρημένης ποσότητας. Η βροχόπτωση δεν αλλάζει σημαντικά σε καμία από τις προσομοιώσεις.

Στη Νότια Ασία (Διάγραμμα 1b) η βροχόπτωση έχει ένα έντονο εποχιακό κύκλο με ένα ελάχιστο χωρίς την άνοιξη (οι χειμερινές μουσσώνες) και ένα μέγιστο του Ιούνη, Ιούλη, Αύγουστο. Ο ετήσιος κύκλος βροχόπτωσης αντιπροσωπεύεται αρκετά καλά αν και το μέγιστο κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μουσσώνων υποτιμάται κατά 30%. Υπό συνθήκες με τριπλάσιο CO<sub>2</sub> η κατάσταση δεν αλλάζει υπό συνθήκες με τριπλάσιο CO<sub>2</sub> η βροχόπτωση την εποχή των μουσσώνων αυξάνει κατά 10%. Ήδη έχει τονιστεί ότι επαυξανόμενος υδρολογικός κύκλος συντελεί σε αύξηση των βροχοπτώσεων στην Ινδία. Ωστόσο, σε πιο πρόσφατα πειράματα στα οποία η επίδραση των ανθρωπογόνων αεροζόλ θειικού άλατος ελήφθη υπόψη οι Ινδικοί καλοκαιρινοί μουσσώνες είναι αρκετά πιο εξασθετισμένοι, και αυτό ρίχνει φως στην αβεβαιότητα που περιβάλλει την πρόβλεψη της βροχόπτωσης.

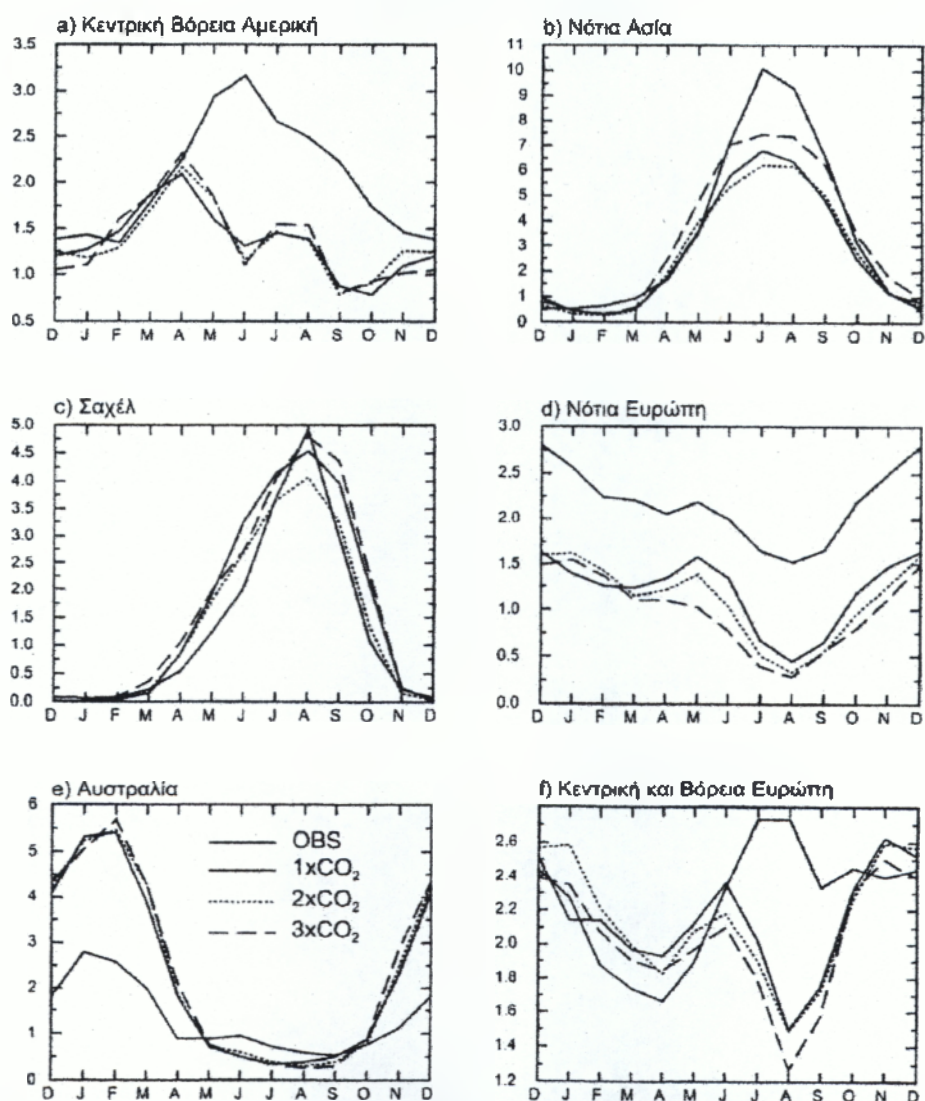
Στο Σαχέλ (Διάγρ. 1c) η μέγιστη βροχόπτωση του Ιούνη – Ιούλη και Αύγουστο προσομοιώνεται αρκετά καλά αλλά δεν φτάνει στο αποκορύφωμα τόσο απότομα όσο στις παρατηρήσεις. Η αντίδραση στην επαύξηση των αερίων του θερμοκηπίου είναι σαφής: μειώνεται με διπλάσιο CO<sub>2</sub> αλλά αυξάνεται με τριπλάσιο CO<sub>2</sub>.

Ο ετήσιος κύκλος βροχόπτωσης πάνω από τη Νότια Ευρώπη προσομοιώνεται καλά. Ωστόσο, το απόλυτο ποσό υποτιμάται από ένα δυτικό παράγοντα. Η βροχόπτωση αυξάνεται τον χειμώνα και στα δυο πειράματα αλλαγής κλίματος, αλλά μειώνεται τον Ιούνη, Ιούλη, Αύγουστο. Γι' αυτό το λόγο ο εποχιακός κύκλος βροχόπτωσης είναι επαυξημένος. Ενώ η βροχόπτωση του Ιούνη – Ιούλη – Αύγουστο στην Αυστραλία (Διάγραμμα 1e) είναι καλά προσομοιωμένη η απότομη αύξηση την άνοιξη και το καλοκαίρι δεν μπορεί να βρεθεί στις παρατηρήσεις. Γι' αυτό η ετήσια μέση τιμή είναι υπερτιμημένη. Δεν μπορεί να αναγνωριστεί κανένα ξεκάθαρο σημάδι για την αλλαγή βροχόπτωσης. Η αλλαγή δεν είναι σημαντική ούτε με διπλάσιο ούτε με τριπλάσιο CO<sub>2</sub>.

Στη Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη (Διαγρ. 1f) η παρατηρημένη βροχόπτωση έχει ένα ελάχιστο την άνοιξη και ένα μέγιστο τον Ιούλιο – Αύγουστο. Το ελάχιστο την άνοιξη προσομοιώνεται καλά αλλά αντί για μέγιστη βροχόπτωση τον Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο. Το μοντέλο δείχνει ελάχιστο. Το προσομοιωμένο κλίμα έχει περισσότερη ομοιότητα με αυτό της Νότιας Ευρώπης παρά με της Βόρειας.

Γενικά, η απόκλιση στη προσομοίωση βροχόπτωσης σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις είναι μεγαλύτερη από την προβλεπόμενη αλλαγή κλίματος. Αυτά τα προβλήματα φαίνεται να είναι κοινά σ' όλες τις προσομοιώσεις βροχόπτωσης.

#### Βροχόπτωση και αλλαγή κλίματος

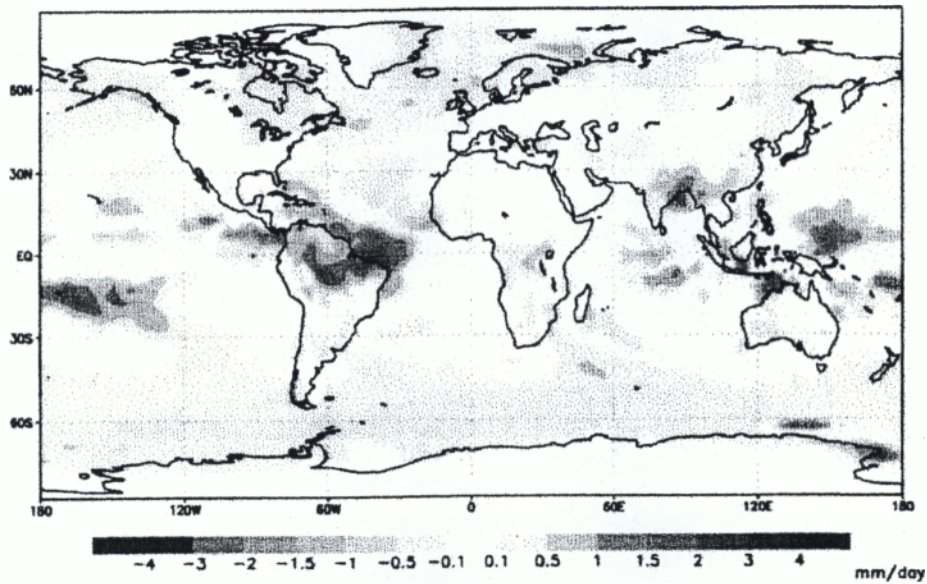


Διάγραμμα 6. Ο ετήσιος κύκλος βροχόπτωσης (mm/ημέρα) για τη παρατήρηση (έντονη γραμμή) και το μονό Διοξείδιο του άνθρακα (λεπτή γραμμή), διπλάσιο Διοξείδιο του άνθρακα (με τελείες) και τριπλάσιο Διοξείδιο του άνθρακα (με παύλες) ενοποίησης για τη κεντρική βόρεια Αμερική, Νότια Ασία, περιοχή Σαχέλ, Νότια Ευρώπη, Αυστραλία, Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη.

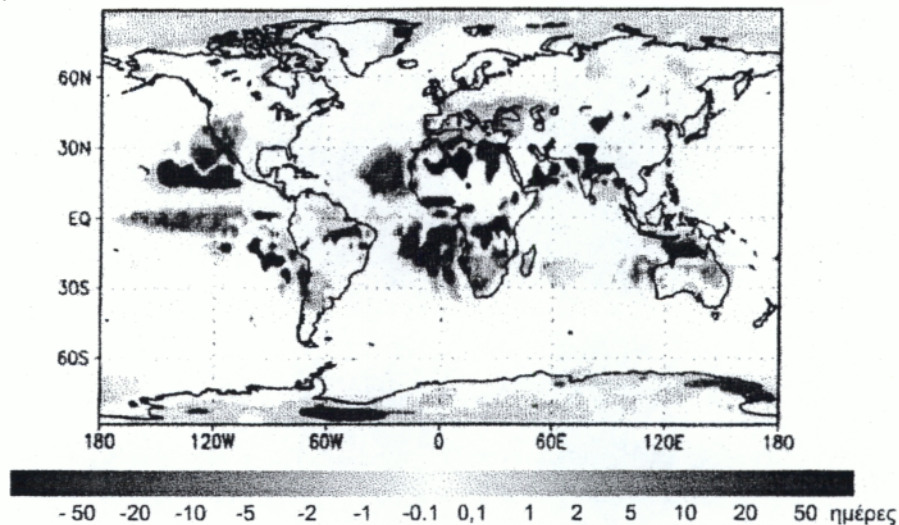
### 3.3 Αλλαγή στην ένταση της βροχόπτωσης και στη συχνότητα ξηρασίας

Ενώ η μέση βροχόπτωση δεν φαίνεται να αλλάξει κατά πολύ τα ακραία φαινόμενα μεταβάλλονται. Αυτό προκαλεί ιδιαίτερη ανησυχία επειδή ασκούν πίεση στη βιόσφαιρα, στη λιθόσφαιρα (μέσο διάβρωσης) και στη βιομηχανία (γεωργία, ασφάλεια).

Για παράδειγμα, το Διάγραμμα 2 δείχνει εκείνες τις περιοχές του πειράματος με το τριπλάσιο CO<sub>2</sub> όπου η μεγάλη βροχή (ορίζεται μεγαλύτερη των 10mm/μέρα, 10mm είναι περίπου το 20% της μηνιαίας βροχόπτωσης στη Γερμανία) αλλάζει σημαντικά και έχει το ίδιο σήμα όπως στο πείραμα με το διπλάσιο CO<sub>2</sub>. Οι ωκεανικές περιοχές είναι οι μόνες όπου η μεγαλύτερη βροχόπτωση μειώνεται ενώ σε μεγάλες περιοχές του πλανήτη, ιδιαίτερα σ' εκείνες με τροπικά δάση, η αύξηση είναι ολοφάνερη. Στη Νότια Ευρώπη, ιδιαίτερα το Δεκέμβρη, Γενάρη, Φλεβάρη, η πιο έντονη βροχόπτωση αυξάνει ενώ το συνολικό κόστος ετήσιο ποσό παραμένει το ίδιο.



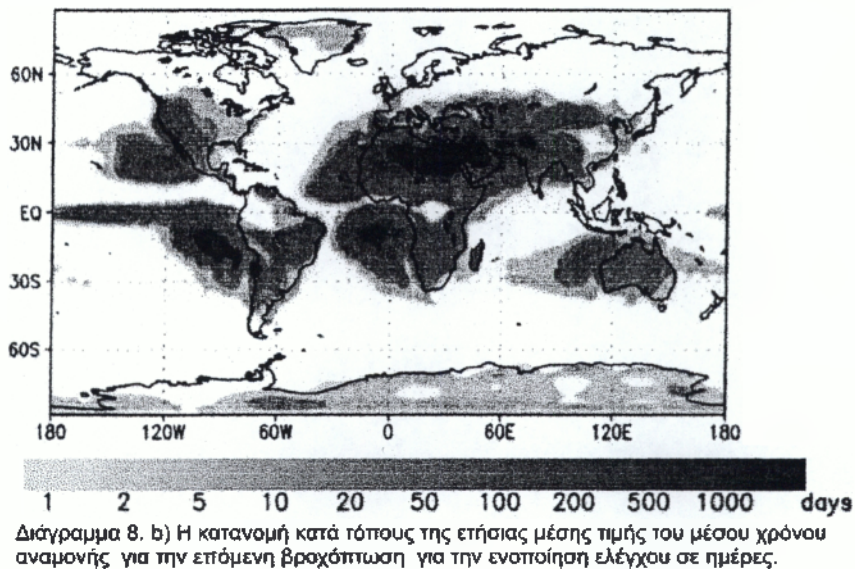
Διάγραμμα 7. Η κατανομή κατά τόπους τις ετήσιες μέσης αλλαγής μεγάλης βροχής (> 1000mm/day) για την ενοποίηση με τριπλάσιο Διοξείδιο του άνθρακα σε σχέση με το πείραμα με μονό Διοξείδιο του άνθρακα. Οι περιοχές όπου η προσομοίωση με διπλάσιο ή τριπλάσιο Διοξείδιο του άνθρακα δεν δείχνουν την ίδια τάση, και οι περιοχές όπου οι αλλαγές δεν είναι σημαντικές έχουν διαγραφεί.



Διάγραμμα 3. α) Αλλαγές στη κατανομή κατά τόπους της ετήσιας μέσης τιμής του μέσου χρόνου αναμονής για την επόμενη βροχόπτωση σε ενοποίηση με τριπλάσιο Διοξείδιο του άνθρακα σε σχέση με το πείραμα ελέγχου. Οι περιοχές όπου η προσομοίωση με διπλάσιο και τριπλάσιο Διοξείδιο του άνθρακα δεν δείχνουν την ίδια τάση έχουν διαγραφεί.

Αν πέφτει περισσότερη βροχή σε λιγότερες μέρες, σημαίνει ότι ο αριθμός των ξηρών ημερών αυξάνει. Αυτό θα έχει μεγαλύτερη επίδραση αν οι ξηρές μέρες ακολουθούν η μια την άλλη χωρίς διακοπή. Για να βρεθεί ο απόλυτος αριθμός συνεχόμενων ξηρών ημερών έχει υπολογιστεί ο «μέσος χρόνος αναμονής για την επόμενη βροχόπτωση» από μια τυχαία ημέρα. Το Διάγραμμα 3b δείχνει την ποσότητα για το πείραμα. Οι άνυδρες περιοχές μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα από το

σκούρο χρώμα. Η αλλαγή αυτής της ποσότητας δείχνεται στο Διάγρ. 8<sup>α</sup> για το πείραμα με τριπλάσιο CO<sub>2</sub> αλλά μόνο για κείνα τα σημεία όπου το σήμα για το διπλάσιο και τριπλάσιο CO<sub>2</sub> συμπίπτουν. «Ο μέσος όρος αναμονής» αυξάνει αρκετά για τις περιοχές με μεσαίο γεωγραφικό πλάτος ενώ μειώνεται στις τροπικές και στις πολικές περιοχές. Η μείωση του χρόνου αναμονής βροχής στις έρημους όπως η Σαχάρα είναι μικρής σημασίας και καθόλου σημαντική από στατιστικής άποψης.



Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι ανομοιόμορφα λόγω της μεγάλης ακτίνας χώρου και χρόνου. Η πρόσθεση γλυκού νερού και το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλούν την μείωση του σχηματισμού βαθέων υδάτων στο Βόρειο Ατλαντικό. Ωστόσο, το ζευγαρωμένο ωκεανο - ατμοσφαιρικό σύστημα φαίνεται να έχει κάποιους μηχανισμούς ανατροφοδότησης που το διατηρούν ή το αποκαθιστούν.

Μόνο κάτω από ακραίες καταστάσεις καταρρέει εντελώς ο σχηματισμός βαθέων υδάτων στο Βόρειο Ατλαντικό. Σ' αυτή τη περίπτωση όμως, το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει προχωρήσει τόσο πολύ που ο κίνδυνος για μια εποχή Παγετώνων στην Ευρώπη φαίνεται ανύπαρκτος. Στα επόμενα 100 χρόνια μια επιβράδυνση στο THC της τάξης του 20% - 30% μπορεί να συμβεί αλλά μια κατάρρευση είναι απίθανη. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι στις μελέτες δεν αντιπροσωπεύονται οι πάγοι της Γροιλανδίας οι οποίοι θα επέτρεπε την εισροή επιπροσθέτου γλυκού νερού στον Βόρειο Ατλαντικό.

Για τη θερμοκρασία κοντά στην επιφάνεια μπορεί να εφαρμοστεί μια ομαλή λειτουργία αντίδρασης. Αν ο σχηματισμός βαθέων υδάτων πρέπει να περιγραφεί με μια λειτουργία αντίδρασης, ένα κρίσιμο κατώφλι μπορεί να οριστεί.

Ο υδρολογικός κύκλος φαίνεται να αυξάνει σ' όλες τις προσομοιώσεις με αέρια του θερμοκηπίου. Η βροχόπτωση όμως είναι μια χωρικά και χρονικά πολύ μεταβλητή παράμετρος. Είναι δύσκολη στην παρατήρηση στη προσομοίωση και δεν δείχνει ξεκάθαρη τάση σε συνθήκες με επαυξημένα αέρια θερμοκηπίου. Είναι επίσης ευαίσθητη στις συνθήκες πειραμάτων - η χρήση αεροζόλ μπορεί να αλλάξει το σήμα της σε ορισμένες περιοχές.

Η ανάλυση που παρουσιάστηκε εδώ δείχνει ότι η προσομοιωμένη αλλαγή βροχόπτωσης τα επόμενα 100 χρόνια είναι μικρότερη απ' ότι το λάθος της προσομοίωσης. Επίσης φαίνεται υπάρχει τάση για περισσότερο έντονη βροχόπτωση και μακρύτερες περιόδους ξηρασίας. Αυτός ο συνδυασμός σίγουρα επηρεάζει τη βλάστηση και τη διάβρωση του εδάφους έχει και οικονομικές συνέπειες.

Η δυσκολία της βροχόπτωσης και η χωρική και χρονική μεταβλητότητα της καθιστούν αναγκαία τη χρήση τεχνικών «κλιμάκωσης προς τα κάτω» για να μπορέσουμε να πάρουμε αντίδραση. Σε παγκόσμια κλίμακα φαίνεται δύσκολο να ορίσουμε ένα κρίσιμο κατώφλι βροχόπτωσης, σε τοπική κλίμακα οι ξηρασίες και πλημμύρες είναι η φυσική επιλογή (Cubash et al., 2000).

### **3.4 Τα χαρακτηριστικά πλημμύρας μεγάλων ποταμών Ηνωμένου Βασιλείου (Αγγλίας). Ενδεχόμενα αποτελέσματα της αλλαγής του κλίματος και χρήσης της γης.**

Ένας προσομοιωτής συνεχούς ροής χρησιμοποιήθηκε για να εκτιμήσει την ενδεχόμενη επίδραση της αλλαγής του κλίματος και της χρήσης της γης στο καθεστώς πλημμύρας σε μεγάλες περιοχές της Αγγλίας.

Σενάριο κλιματικής αλλαγής βασισμένα στα πειράματα Had CM<sub>2</sub> από το Κέντρο Hadley. Εφαρμόζονται στους ποταμούς Σέβερν και Τάμεση. Η ανάλυση δείχνει ότι για τη δεκαετία του 2050 το σενάριο κλιματικής αλλαγής έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας και του μεγέθους των περιστατικών πλημμύρας και στα δυο αυτά ποτάμια. Οι διάφοροι τρόποι εφαρμογής του σεναρίου βροχόπτωσης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση σ' αυτά τα γενικά συμπεράσματα αν και γενικά δεν επηρεάζουν ούτε την κατεύθυνση ούτε τη σταθερότητα των αλλαγών. Ενώ οι αλλαγές στη χρήση της γης δείχνουν μικρή επίδραση στις

πλημμύρες, μια 50% αύξηση των δασών θα μπορούσε να ενεργήσει αντίθετα στην επίδραση της κλιματικής αλλαγής. Όπως είναι αναμενόμενο η μεγάλη αστικοποίηση περιοχών δίπλα στα ποτάμια έχει μεγάλη επίδραση στις πλημμύρες, αυξάνοντας και την συχνότητα και το μέγεθος τους πολύ πέρα από το επίπεδο όπου οι αλλαγές θα οφείλονταν μόνο στο κλίμα. Επιπλέον έρευνα απαιτείται όσον αφορά την ενδεχόμενη επίδραση των εποχιακών αλλαγών στην καθημερινή βροχόπτωση και ενδεχόμενη εξάτμιση, των αλλαγών στη χρήση της γης και της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα δυο.

Παλιότερες μελέτες έχουν επισημάνει την ευαισθησία της ροής των ποταμών και των αποθεμάτων νερού σε ενδεχόμενες κλιματικές αλλαγές του επόμενου αιώνα). Ωστόσο, εξ αιτίας της χοντροκοπιάς των διαθέσιμων σεναρίων για την αλλαγή του κλίματος όσον αφορά το χώρο και το χρόνο οι περισσότερες μελέτες έτειναν να εστιάζουν στις αλλαγές της μέσης ροής, είτε πρόκειται για ξηρασία είτε για πλημμύρες είναι ακόμα σχετικά σπάνιες. Αυτή η μελέτη περιγράφει την εφαρμογή μιας σειράς σεναρίων κλιματικής αλλαγής σ' ένα επινοημένο μοντέλο επαναλαμβανόμενης βροχόπτωσης που αναπτύχθηκε για την ανάλυση πλημμύρας στις περιοχές των Σέβερν Τάμεση.

Τα σενάρια αλλαγής κλίματος προκάλεσαν αύξηση στο μέγεθος και στη συχνότητα πλημμύρας επειδή τείνουν να συμβαίνουν τον χειμώνα και στις δυο περιοχές (Σέβερν, Τέγεση) και η μέση χειμερινή βροχόπτωση αυξήθηκε σ' όλα τα σενάρια. Οι αλλαγές στη βροχόπτωση μόνο αύξησαν τη ροή μιας δεδομένης περιόδου πλημμύρισαν κατά 20% και έτσι μείωσαν την επιστροφή της περιόδου δεδομένης ροής μέχρι το 2050. Μπορούμε να κάνουμε δυο παρατηρήσεις πρώτον, η χειμερινή ροή γενικά αυξάνεται και η υψηλότερη ροή συμβαίνει πιο συχνά. Δεύτερον, τα ακραία φαινόμενα πλημμύρας αυξάνονται περισσότερο απ' ότι εκείνα των περιόδων χαμηλής ροής.

Η πρόσθεση περισσότερων ημερών βροχής προκάλεσαν μόνο μια μικρή αύξηση της καμπύλης συχνότητας πλημμύρας σ' όλα τα σενάρια. Αυτό έγινε επειδή η χειμερινή βροχόπτωση αυξήθηκε προσθέτοντας μόνο περισσότερες βροχερές μέρες χωρίς να αυξηθεί η ποσότητα βροχής στις υπάρχουσες βροχερές μέρες. Αυτό παρήγαγε ένα επίπεδο (χωρίς διακυμάνσεις) προφίλ καθημερινής βροχόπτωσης και έτσι δεν αύξησε τις καμπύλες διάρκειας ροής και συχνότητας πλημμύρας. Η επαύξηση φαινομένων καταιγίδας αναμενόταν να προκαλέσει μεγάλη αλλαγή στα επίπεδα ροής ιδιαίτερα στο ακραίο επίπεδο πλημμύρας. Σ' αυτή τη μελέτη η



επίδραση αυτής της εφαρμογής των σεναρίων βροχόπτωσης ήταν σχεδόν απαράλλαχτη από την αναλογική αλλαγή βροχόπτωσης. Ο λόγος γι' αυτό είναι ότι επιλεγμένο σημείο εκκίνησης για την επαύξηση ήταν πολύ χαμηλό. Η καθημερινή βροχόπτωση 5mm δεν μπορεί να κριθεί ως ακραία σε καμιά από τις δυο περιοχές και ως αποτέλεσμα οι περισσότερες βροχερές μέρες επαυξήθηκαν κάνοντας το σενάριο παρόμοιο μ' αυτό της αναλογικής αλλαγής βροχόπτωσης. Εναλλακτικά σημεία εκκίνησης πρέπει να ερευνηθούν για να εκτιμηθεί η ευαισθησία των δυο περιοχών στις πλημμύρες.

Αλλάζοντας τη χρήση της γης στις περιοχές μπορεί να έχει παρόμοια κλίμακα επίδρασης μ' αυτή της κλιματικής αλλαγής. Αυτό το σενάριο ωστόσο παρουσίασε πολύ μικρή διαφορά.

Η μεγάλη αύξηση των αστικών περιοχών και των δασών προκάλεσε μεγάλη αλλαγή στις χαμηλές διάρκειας ροής και συχνότητας πλημμύρας, αλλά σε αντίθετη κατεύθυνση. Η επίδραση της αύξησης της δασικής περιοχής επίσης δρα στην αντίθετη κατεύθυνση από τις κλιματικές αλλαγές και σε κάποια σενάρια είναι αρκετά μεγάλες έτσι ώστε να αδρανοποιεί τις αλλαγές που οφείλονται στο κλίμα (Reynold et al., 2001)

### **3.5 Η Ευαισθησία του Αυστραλιανού κινδύνου πυρκαγιών στη κλιματική αλλαγή**

Η παγκόσμια αλλαγή κλίματος όπως αυτή που οφείλεται στην επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι πιθανόν να είναι σημαντική επίδραση στην αλληλεπίδραση βιόσφαιρας - ατμόσφαιρας περιλαμβανομένης και της πυρκαγιάς στα δάση της Αυστραλίας. Αυτή η μελέτη παρέχει τον όγκο (αριθμό) της πιθανής επίδρασης της αλλαγής του κλίματος σε πυρκαγιές υπολογίζοντας τις αλλαγές στο καιρό πυρκαγιών και στο Μακάρθουρ Πίνακα Κινδύνου Πυρκαγιών στα Δάση (FDI)<sup>2</sup>, ένα πίνακα που χρησιμοποιείται σε όλη την Αυστραλία για να υπολογιστεί ο κίνδυνος πυρκαγιών. Το CSIRO 9 επιπέδου γενικής κυκλοφορίας μοντέλο χρησιμοποιείται για να προσομοιώσει τον καθημερινό και εποχιακό κίνδυνο

<sup>2</sup> FDI = Μακάρθουρ Πίνακας κινδύνου Πυρκαγιών στα Δάση.

πυρκαγιάς στο σημερινό Αυστραλιανό κλίμα και σε κλίμα με διπλό CO<sub>2</sub> (διοξείδιο του άνθρακα).

Η εκτίμηση της επίδρασης περιλαμβάνει την επικύρωση του GCM<sup>3</sup> καθημερινού ελέγχου προσομοίωσης και την παραγωγή «παραγόντων διόρθωσης» που βελτιώνει την ακρίβεια της προσομοίωσης κινδύνου πυρκαγιάς. Περιληπτικά η γενική επίδραση του διπλασιασμού CO<sub>2</sub> είναι η αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς σ' όλες τις τοποθεσίες αυξάνοντας τον αριθμό των ημερών υψηλού κινδύνου πυρκαγιάς. Ο εποχιακός κίνδυνος αντιδρά καλύτερα στις αλλαγές μέγιστης θερμοκρασίας που προκαλούνται από το αυξημένο CO<sub>2</sub>.

Αυτή η εκτίμηση των πιθανών αλλαγών στο Αυστραλιανό σύστημα φωτιάς κλίματος, εξ αιτίας του διπλασιασμού της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> περιλαμβάνει την επικύρωση της προσομοίωσης ελέγχου, τη προσομοίωση πιθανής κλιματικής αλλαγής, τη ποσοτική ανάλυση των επιδράσεων στο σύστημα πυρκαγιάς - κλίματος και τη σύγκριση με την επίδραση της υπάρχουσας κλιματικής μεταβλητότητας στο σύστημα. Προηγούμενες μελέτες προτείνουν αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς στο μεγαλύτερο μέρος της Αυστραλίας (Beer+Williams, 1995) αλλά δεν παρέχουν την ποσότητα /όγκο της επίδρασης ιδιαίτερα όσον αφορά την ιστορική μεταβλητότητα. Άλλες εκτιμήσεις της επίδρασης της κλιματολογικής αλλαγής είναι απλώς συμπεράσματα προερχόμενα από την αύξηση των περιπτώσεων ξηρασίας εξ' αιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το συμπέρασμα είναι ότι η αυξημένη ξηρασία θα προκαλέσει αύξηση πυρκαγιών αλλά οι μελέτες του GCM και εμπειρικές ιστορίες πυρκαγιών δείχνουν ότι αυτό δεν ισχύει πάντα. Η ευαισθησία των πυρκαγιών στο φαινόμενο θερμοκηπίου έχει εκτιμηθεί για άλλες περιοχές κυρίως στο Βόρειο Ημισφαίριο. Η πιθανή επίδραση περιλαμβάνει αύξηση των περιοχών υψηλού κινδύνου στη Ρωσία και στο Καναδά η γενική αύξηση του κινδύνου πυρκαγιάς. Αλλαγές στη συχνότητα κεραυνών στο Βόρειο Ημισφαίριο είναι επίσης σημαντικές.

Αλλαγές στη συχνότητα πυρκαγιών στο Αυστραλιανό οικοσύστημα πιθανόν να έχουν τεράστια επίδραση στη σύνθεση, κατανομή ηλικίας και βιομάζα των δασών. Υπάρχει επίσης η υπόθεση ότι εξ' αιτίας των αποτελεσματικών μέτρων ελέγχου οι πυρκαγιές μεγάλης κλίμακας θα σπανίζουν στις ήπιες ζώνες και θα περιοριστούν στις

<sup>3</sup> GCM = Μοντέλο γενικής κυκλοφορίας

ξηρότερες περιοχές της Αυστραλίας Αυτό όμως αμφισβητούμενο δεδομένου ότι στο παρελθόν μεγάλες πυρκαγιές συνέπεσαν με ακραίες καιρικές συνθήκες και τα τελευταία χρόνια εκδηλώθηκαν σε ήπιες, ελεγχόμενες δασικές περιοχές όπως στη Τασμάνια, Βικτόρια και Νιου Σάουθ Γουέλς.

### 3.6 Στοιχεία και Μοντέλα- Μοντέλο Φωτιάς

Ένα καθεστώς φωτιάς μπορεί να οριστεί από την ένταση της φωτιάς, την συχνότητα και την εποχή. Υπάρχουν διάφοροι πίνακες οι οποίοι κυρίως χρησιμοποιούνται για πρόβλεψη και αντιπροσωπεύουν αυτά τα συστατικά του καθεστώτος φωτιάς.

Στη νότιο – ανατολική Αυστραλία το FDI είναι ένας πίνακας που χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει το καθημερινό κίνδυνο πυρκαγιάς. Το FDI προήρθε από περίπου 400 πειραματικές φωτιές στα δάση με διάφορα καύσιμα σε ξηρά σκληρόφυλλα δάση στην νότιο – ανατολική Αυστραλία. Ο κίνδυνος πυρκαγιάς υποδηλώνει τις πιθανότητες που υπάρχουν για το ξεκίνημα φωτιάς, το ρυθμό εξάπλωσης, την ένταση της και τη δυσκολία κατατρόπωσης της.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η CSIRO<sup>9</sup> προβολή της επίδρασης του διπλασιασμού του CO<sub>2</sub> κίνδυνο πυρκαγιάς είναι μια σημαντική επίδραση, η δύναμη της οποίας ποικίλει από περιοχή σε περιοχή πάνω στην ήπειρο. Αλλαγές στο FDI μπορούν να προεκταθούν σε αλλαγές στην συμπεριφορά φωτιάς χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές σχέσεις ανάμεσα στο FDI και στη συμπεριφορά φωτιάς. Το σενάριο ελέγχου της εποχής πυρκαγιών στο Σέιλ και Χόμπαρτ περίπου 5% των καθημερινών FDI είναι στις «πολύ υψηλές» και «ακραία» κατηγορίες. Αυτό το ποσοστό στο σενάριο με διπλασιασμένο CO<sub>2</sub> αυξάνει ελαφρά στο 7% στο Χόμπαρτ αλλά τριπλασιάζεται στο 15% στο Σέιλ. Οι συνέπειες που αυτό έχει στα δάση εξαρτώνται από τη ποσότητα καυσίμων. Στα δάση με επίπεδα καυσίμων γύρω στο 25t/hQ η τυπική ένταση φωτιάς θα είναι γύρω στο  $10 \times 10^3$  kw/m όπου το ποσοστό εξάπλωσης είναι περίπου 0,8km/ώρα, η απόσταση εντοπισμού 2.1 χιλιόμετρα και το ύψος της φλόγας προκαλεί φωτιά που απλώνεται στο πάνω μέρος των δένδρων χωρίς να καίγεται ο κορμός. Αν το FDI είναι 50 τότε το ποσοστό εξάπλωσης σχεδόν διπλασιάζεται στο 1.5χιλ./ώρα και η απόσταση εντοπισμού φτάνει τα 4.6 χιλιόμετρα. Φωτιές τέτοιας

έντασης έχουν την ικανότητα να καταστρέφουν τα πάντα και σε ακραίες περιπτώσεις σκοτώνουν τα δέντρα.

Η μόνη παράμετρος που έχει αλλαγή είναι η θερμοκρασία η οποία αυξάνεται. Το μήκος της εποχής πυρκαγιών δεν αλλάζει αλλά η περίοδος με τη μεγαλύτερη δριμύτητα συμβαίνει στο τέλος αντί στην αρχή της εποχής. Η εποχή είναι πιο δριμύς. Σχεδόν οι μισές μέρες της εποχής πυρκαγιών έχουν «πολύ υψηλό» ή ακραίο κίνδυνο πυρκαγιάς και οι ακραίες συνθήκες διπλασιάζονται.

Η περιοχή mallee<sup>4</sup> στη Βικτόρια έχει Μεσογειακό κλίμα με βροχοπτώσεις το χειμώνα και χαρακτηρίζεται από σκληρομορφικά χαμόδεντρα. Έχει εξαιρετική προδιάθεση για πυρκαγιά. Όπως σε άλλες λιγότερο ξηρές περιοχές οι μέσες θερμοκρασίες στην εποχή πυρκαγιών αυξάνουν κατά 4° C, η εποχιακή βροχόπτωση αυξάνει και η καθημερινή ελάχιστη σχετική υγρασία μειώνεται. Η ταχύτητα του ανέμου αλλάζει ελάχιστα. Η κάθε μια από αυτές τις μεταβλητές παρουσιάζει διαφορετική επίδραση στο κίνδυνο πυρκαγιών. Ο κίνδυνος είναι πιο ευαίσθητος στις αλλαγές θερμοκρασίας και εποχιακής βροχόπτωσης.

Ο εποχιακός κίνδυνος πυρκαγιάς αυξάνει σ' όλη τη περιοχή και ακραία FDI συμβαίνουν πιο συχνά. Το μήκος της εποχής πυρκαγιών γίνεται πιο μικρή υπάρχουν σχεδόν διπλάσια «πολύ υψηλά» και 'ακραία' FDI. Σε αντίθεση με τις πιο νότιες περιοχές όπου η εποχή πυρκαγιών μπορεί να είναι μακρύτερη, το σενάριο για το Mallee υποδηλώνει ότι η εποχή πυρκαγιών γίνεται πιο μικρή αλλά δριμύτερη.

Οι υγρές – ξηρές τροπικές περιοχές καλύπτουν το βόρειο και βόρειο – ανατολικό μέρος της Αυστραλίας εκτεινόμενες από το Μπρουμ στα δυτικά και το Μπρισμπέιν στα ανατολικά. Στα δυο grid που αντιπροσωπεύουν την περιοχή, οι συνθήκες γίνονται θερμότερες και λιγότερο υγρές και με λιγότερο άνεμο. Οι αλλαγές στην εποχιακή βροχόπτωση ποικίλουν από περιοχή σε περιοχή με πιο πολύ βροχή στο βορρά. Οι αλλαγές στο κίνδυνο πυρκαγιάς οφείλονται κυρίως σε αλλαγές στη βροχόπτωση.

Υπάρχουν πολλά συμβάντα ακραίων συνθηκών στο βορρά αλλά η αλλαγή στη δριμύτητα την εποχή πυρκαγιών. Είναι μεγαλύτερη στις νότιες περιοχές της ζώνης. Αν και το μήκος της εποχής πυρκαγιών δεν αλλάζει η μεγαλύτερη δριμύτης συμβαίνει νωρίτερα. Το νότιο τμήμα της περιοχής έχει μια ελαφριά καθυστερημένη εποχή

<sup>4</sup> Mallee = νάνος ευκάλυπτος που βρίσκεται στις ερήμους της Βικτορίας.

πυρκαγιών απ' ότι το βόρειο. Η μέση κατάσταση της δριμύτητας της εποχής δεν υπερβαίνει αυτή της υπάρχουσας μεταβλητότητας.

Οι κεντρικές περιοχές κοντά στο Άλις Σπρίνγκς είναι στη ξηρή ζώνη. Η περισσότερη ετήσια βροχόπτωση 260mm συμβαίνει το καλοκαίρι και είναι πολύ ασταθής. Οι περισσότερες πυρκαγιές συμβαίνουν από τον Οκτώβριο και το Γενάρη και κυμαίνονται από 10 και 13.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα σε μέγεθος. Το 59% των πυρκαγιών από το 1970 και το 1980 οφείλονταν σε κεραυνούς. Τα αποτελέσματα

Το σενάριο με διπλασιασμό CO<sub>2</sub> δεν υποδηλώνει μεγάλες αλλαγές στην εποχιακή βροχόπτωση, μόνο μικρή αύξηση. Άλλες αλλαγές στο καιρό πυρκαγιάς περιλαμβάνουν μια αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, η μέση σχετική υγρασία μειώνεται και η ταχύτητα του ανέμου μειώνεται σημαντικά. Αν και οι αλλαγές στην εποχιακή βροχόπτωση είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις αλλαγές στις άλλες μεταβλητές, ο κίνδυνος πυρκαγιάς αντιδρά περισσότερο στις αλλαγές βροχόπτωσης. Η εποχή πυρκαγιάς είναι μακρύτερη και δριμύτερη και ο μέσος εποχιακός κίνδυνος πυρκαγιάς αυξάνεται.

Η εποχιακή κατανομή ημερών με κεραυνούς σχετίζεται με περιστατικά πυρκαγιάς ( $r=0.94$ ). Οι 'Ξηρές' καταιγίδες είναι χαρακτηριστικό της Αυστραλιανής ενδοχώρας και σύμφωνα με το μοντέλο των Πράις και Ρίντ η δραστηριότητα στη περιοχή είναι πιθανόν να αυξηθεί αν αυξηθεί το CO<sub>2</sub>. Συνδυάζοντας αυτή την αύξηση κεραυνών με την προβαλλόμενη αύξηση στον εποχιακό κίνδυνο πυρκαγιάς στο Άλις Σπρίνγκς η επίδραση του φαινομένου του θερμοκηπίου στο κίνδυνο πυρκαγιάς είναι πιθανόν να γίνει ακόμα πιο σημαντική.

Εξ' αιτίας της στενής συσχέτισης στο κλίμα και στις πυρκαγιές το κλιματολογικά βασισμένο FDI είναι ένα κατάλληλο μέτρο με το οποίο πιθανές αλλαγές στο καθεστώς καιρού πυρκαγιάς μπορούν να υπολογιστούν. Το σενάριο με το διπλασιασμένο CO<sub>2</sub> έχει αναλυθεί σε σχέση με αλλαγές στη εποχή, καθημερινή μεταβλητότητα, εποχιακή μεταβλητότητα, και ευαισθησία στις αλλαγές σε κάθε μεταβλητή του καιρού πυρκαγιάς. Για να εκτιμηθεί η σχετική φύση των αλλαγών στο FDI έγιναν συγκρίσεις με την τρέχουσα παρατηρημένη ακραία ακτίνα FDI.

Ο έλεγχος προσομοίωσης κάποιων από τις παράμετρους του καιρού πυρκαγιάς ιδιαίτερα η ελάχιστη σχετική υγρασία και η ταχύτητα του ανέμου μάλλον επηρεάζουν τα αποτελέσματα του διπλασιασμένου CO<sub>2</sub>. Η ερμηνεία της προσομοίωσης του

κινδύνου πυρκαγιάς πρέπει να περιλαμβάνει την κατανόηση των περιορισμών των σεναρίων αναγνωρίζοντας τις προϋποθέσεις που είναι ενσωματωμένες στο GMC και που χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν την επαλήθευση και την επικύρωση των μοντέλων. Μερικά από τα συμπεράσματα αυτής της έρευνας είναι γενικά και κατάλληλα για όλη την ήπειρο της Αυστραλίας ενώ άλλα μπορεί να αναφέρονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Τα ακόλουθα σενάρια εποχιακού κινδύνου πυρκαγιάς για τις βόρειες και νότιες περιοχές έχουν μεγάλη σημασία. Στη προσομοίωση εποχιακού κινδύνου πυρκαγιάς για τις βόρειες και νότιες περιοχές έχουν μεγάλη σημασία. Στη προσομοίωση κλίματος έχουν μεγάλη σημασία. Στη προσομοίωση κλίματος με διπλάσιο CO<sub>2</sub> τα Άλις Σπρινγκς, Μάιλς, Σέιλ και Μιλντούρα παρουσιάζουν όλα σημαντικές αλλαγές στη κατανομή του καθημερινού FDI και το εποχιακό Σ FDI αυξάνεται και στη Βόρεια και στη Νότια ζώνη πυρκαγιάς. Το εποχιακό Σ FDI είναι πιο ευαίσθητο στις μεγάλες αλλαγές θερμοκρασίας. Επηρεάζεται επίσης και η εποχικότητα του κινδύνου πυρκαγιάς αλλά ο βαθμός της αλλαγής ποικίλει. Από τις οκτώ περιοχές μόνο στο Κατάνινγκ και στο Χόμπαρτ δεν αλλάζει το μήκος της εποχής πυρκαγιάς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

#### 4.1 Γενικά

Η γεωργία είναι μια δραστηριότητα στενά συνδεδεμένη με το κλίμα. Οι μελετητές της εξέλιξης της ανθρώπινης ιστορίας υποστηρίζουν ότι αυτή η εξέλιξη μπορεί να εξηγηθεί από τη συμβολή κλιματικών, οικολογικών και γεωγραφικών παραγόντων. Η σύγχρονη γεωργία έχει προοδεύσει αποδυναμώνοντας τον κίνδυνο αυτών των παραγόντων μέσω της άρδευσης, της χρήσης παρασιτοκτόνων και λίπανσης, τη χρήση μηχανημάτων και το χειρισμό γενετικών πόρων. Σαν αποτέλεσμα, η τρέχουσα παγκόσμια ανά – κεφαλή γεωργική παραγωγή υπερβαίνει τις ανάγκες αν και εκατομμύρια ατόμων πεινάνε ακόμα. Μια μεγάλη ανησυχία στη κατανόηση των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής είναι το κατά πόσο η παγκόσμια γεωργία θα επηρεαστεί. Το θέμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τις Λιγότερο Βιομηχανικές Χώρες (LICs) εφόσον η γεωργία απασχολεί το 60% του πληθυσμού και συνεισφέρει το 30% του Εθνικού Εισοδήματος.

Αν και η Βιομηχανικές Χώρες είναι καλύτερα εξοπλισμένες να αντιμετωπίσουν κλιματικές αναστατώσεις, αν η κλιματική αλλαγή είναι μεγάλη και δύσκολο να παράγουν υπερβολικές ποσότητες δημητριακών. Εφόσον η πιθανότητα κλιματικής αλλαγής είναι πραγματική στα επόμενα 100 χρόνια η 'προσαρμογή' έχει προταθεί ως μέσο μείωσης της επίδρασης.

#### 4.2 Μοντέλα Επιδράσεων

Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή συνήθως αναλύεται χρησιμοποιώντας μοντέλα τα οποία συνδυάζουν κλιματικά, βιοφυσικά και οικονομικά στοιχεία. Εδώ θα εξετάσουμε μια πρόσφατη προσέγγιση ενός μοντέλου του οποίου ο κύριος στόχος ήταν η προσαρμογή.

Έχουν προταθεί Ρικαρντιανά μοντέλα για τη μελέτη της κλιματικής επίδρασης. Αυτά τα ηδονιστικά μοντέλα δεν απεικονίζουν το γεωργό - οικονομικό σύστημα με σαφήνεια, αλλά υποθέτουν ότι οι ιστορικές επιλογές που έγιναν στην αγορά σκιαγραφούν σωπηρά την αγροτική παραγωγή σε σχέση με τις κλιματικές μεταβλητές. Στατιστικές σχέσεις βασιζόμενες σε αξία της γης και κλιματικές μεταβλητές μας δίνουν την αντίδραση διάφορων τομέων στις κλιματικές επιρροές.

Τομείς όπως ο αγροτικός, φαίνονται να κάνουν μεταβάσεις για να προσαρμοστούν στις κλιματικές αλλαγές. Το κατά πόσο οι Ρικαρντιανή προσέγγιση στην οικονομία της αγοράς είναι εφαρμόσιμη έχει αμφισβητηθεί. Είναι χρήσιμο μόνο όταν ισχύουν τρεις υποθέσεις – χωρική και χρονική ισοδυναμία των μεταβολών, ανεξαρτησία περάσματος, και αξιοπιστία των μέσων αλλαγών και σταθερότητα των υψηλότερων στιγμών. Αυτές οι υποθέσεις είναι απίθανο να ισχύουν με τη χωρική και χρονική κλίμακα που έχει το κλιματικό πρόβλημα.

Σε πρόσφατη μελέτη το μοντέλο που είχε αναπτυχθεί για τις Ηνωμένες Πολιτείες και άλλα μέρη του κόσμου, ιδιαίτερα σε αναπτυσσόμενες χώρες – όπου η καλλιέργεια σε επίπεδο στοιχειώδους συντήρησης είναι διαδεδομένη, η οικονομία λειτουργεί ανεπίσημα και όπου υπάρχουν πολλαπλές λειτουργίες παραγωγής για την ίδια δραστηριότητα. Με τέτοιες συνθήκες η εφαρμογή του Ρικαρντιανού μοντέλου δεν είναι δυνατή.

Τα ρυθμιστικά μοντέλα όπως το Ρικαρντιανό τείνουν να απλοποιούν το περιεχόμενο των αποφάσεων και υποστηρίζουν ότι αυτοί που παίρνουν τις αποφάσεις συμπεριφέρονται με τον βέλτιστο τρόπο και μεγιστοποιούν την προσδοκώμενη χρήση τους στο να παίρνουν αποφάσεις. Τα περιγραφικά μοντέλα, από την άλλη, επιχειρούν να αγκαλιάσουν όλες τις περιπλοκές που υπάγονται στο να παίρνονται οι αποφάσεις, και έτσι στερούνται τον βασίμο θεωρητικό προσδιορισμό που μας παρέχουν τα ρυθμιστικά μοντέλα.

Οι αγρότες που κινούνται στις παγκόσμιες αγορές αντιμετωπίζουν αλλαγές που περιλαμβάνουν ευμετάβλητες βραχυπρόθεσμες αλλαγές όπως κινήσεις σε μεγάλη κλίμακα και στις τοπικές αγορές και τη μεταβλητότητα του κλίματος.

Επίσης περιλαμβάνουν αλλαγές στην εγχώρια αγροτική πολιτική, μακροπρόθεσμες αλλαγές στο εμπόριο, περιβαλλοντικούς κανονισμούς, αλλαγές στη βάση πόρων όπως στο έδαφος και νερό κλπ.

Προσαρμογή είναι η διαδικασία του να διατηρείς τους διάφορους στόχους (όπως παραγωγή, επιβίωση, κέρδος) παρά τις αλλαγές εξωτερικών συνθηκών. Η ανάγκη για και ο τρόπος με το οποίο η γεωργία προσαρμόζεται στη κλιματική μεταβλητότητα πρέπει να μελετηθούν μαζί με άλλες περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές. Η προσαρμογή θεωρείται ότι είναι μια πηγαία αντίδραση ενός



συστήματος σε εξωτερικές δυνάμεις. Αν και η προσαρμογή είναι μια συνεχιζόμενη διαδικασία είναι βολικό να τη σπάσουμε σε τέσσερα στάδια:

### **Εντόπιση Σήματος**

Για αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις ο τρόπος και ο τόπος της προσαρμογής θα εξαρτηθεί από το πώς το σήμα και ο θόρυβος προσδιορίζονται. Δηλαδή, τι είναι προσαρμοσμένο (σήμα) και τι αγνοείται (θόρυβος). Η προσαρμογή εξαρτάται από τον εντοπισμό ενός αναγνωρίσιμου σήματος – αν και το σήμα δεν εντοπιστεί δεν θα υπάρξει αντίδραση.

### **Εκτίμηση**

Αφού το σήμα εντοπιστεί, ερμηνεύεται και οι συνέπειες ή επιδράσεις εκτιμούνται από αυτούς που παίρνουν τις αποφάσεις – είτε αγρότες, είτε κυβερνητικές επιτροπές.

### **Απόφαση και αντίδραση**

Το τρίτο στάδιο είναι η αντίδραση η οποία είναι μια παρατηρητέα αλλαγή στη συμπεριφορά του συστήματος που είναι άμεσο αποτέλεσμα μιας απόφασης. Μια ποικιλία αποφάσεων έχει παρατηρηθεί σε αγροτικές κοινότητες.

### **Ανατροφοδότηση**

Το τελικό στάδιο είναι η ανατροφοδότηση: η παρατήρηση των αποτελεσμάτων των αποφάσεων. Αν η προσαρμογή είναι αποτελεσματική μπορεί να προστεθεί στις επιλογές προσαρμογής αν όχι, πρέπει να εκτιμηθεί τι πήγε στραβά και γιατί.

Το σχέδιο συστημάτων προσαρμογής που περιγράψαμε είναι ένας χρήσιμος τρόπος για να τονιστεί ο ρόλος της λήψης αποφάσεων και οι διαστάσεις συμπεριφοράς κινδύνου. Ο ρόλος της επιλογής και της αντίληψης είναι καθοριστικός γιατί τη προσαρμογή, καθώς και οι αγρότες προσαρμόζονται στη κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα βασιζόμενοι στον εντοπισμό του προβλήματος και της αιτίας του.

Αυτό το σχέδιο δηλώνει ότι οι τρέχουσες μέθοδοι στηρίζονται στην απλοποιημένη υπόθεση ότι οι αγρότες είναι είτε αφελείς είτε μέντιουμ, δηλαδή αγνοούν την ανομοιομορφία της συμπεριφοράς των αγροτών σε σχέση με τις αποφάσεις που παίρνουν και τις τακτικές που ακολουθούν. Στην πραγματικότητα, οι αγρότες παίρνουν αποφάσεις βασιζόμενοι στις προσδοκίες που έχουν για το μελλοντικό κλίμα και τις οικονομικές συνθήκες, στους πόρους που έχουν στην κατοχή

τους, στα κίνητρα για προσαρμογή και στην κοινωνικό – πολιτική κατάσταση της περιοχής τους.

Το ερώτημα τι είναι προσαρμογή συνδέεται με το ερώτημα ποιος προσαρμόζεται και εδώ πρέπει να ξεχωρίσουμε τους αγρότες ανάλογα με το επίπεδο ανάπτυξης της χώρας τους ή τουλάχιστον να ξεχωρίσουμε τους αγρότες στις λιγότερο βιομηχανικές χώρες από αυτούς στις βιομηχανικές χώρες.

Ο κύριος στόχος της πλειοψηφίας των αγροτών στις λιγότερο βιομηχανικές χώρες είναι η τροφή και η επιβίωση. Επιπλέον, ο χρόνος λήψης αποφάσεων είναι μικρότερος και βασίζεται στη λειτουργία του τοπικού γεωργικού κύκλου, στην φτώχεια και στη διαθεσιμότητα επίσημων θεσμών. Οι πόροι τους και η υποδομή είναι επίσης περιορισμένοι. Υπάρχουν δυο συνέπειες αυτών των περιορισμών για τη προσαρμογή στη κλιματική αλλαγή.

Πρώτον, δεν είναι εύκολο για τους αγρότες να επωμιστούν τα έξοδα μεταβίβασης για την προσαρμογή και η έλλειψη πόρων δεν τους παρέχει την ευκαιρία να αξιοποιήσουν τις πληροφορίες που έχουν.

Δεύτερον, αντιμετωπίζουν μεγάλο κίνδυνο σε περίπτωση αποτυχίας της νέας τεχνολογίας ιδιαίτερα αν δεν υπάρχει επαρκής πληροφόρηση και κρατική υποστήριξη. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πιθανόν να επιλέξουν κάτι που έχει δοκιμαστεί στο παρελθόν.

Με δεδομένες αυτές τις διαφορές ανάμεσα σε άτομα και ιδρύματα ως προς τη λήψη αποφάσεων είναι χρήσιμο να ξεχωρίσουμε τις αποφάσεις σε διαφορετικές κλίμακες: τακτικής, στρατηγικής, και δόμησης. Οι αποφάσεις τακτικής παίρνονται από άτομα ή ιδρύματα σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο και βασίζονται στην αγορά, στο κλίμα και άλλα σήματα πολλών χρόνων.

Οι αποφάσεις δόμησης παίρνονται από ιδρύματα σε επίπεδο κράτους και βασίζονται στα κλιματικά, οικονομικά και άλλα περιβαλλοντικά σήματα πολλών δεκαετιών. Αυτή η τυπολογία είναι μόνο ευρηματική και συλλαμβάνει μόνο μερικώς τα είδη λήψης αποφάσεων που υπάρχουν στην προσαρμογή. Ωστόσο αυτή η ευρηματική τονίζει τις διακλιματικές αλληλεπιδράσεις που είναι σημαντικές όταν αυτοί που παίρνουν τις αποφάσεις για ένα σημάδι σε μια κλίμακα και δεν παρατηρούν τα σημάδια στις άλλες κλίμακες. Η ανάλυση σε επίπεδο φόρμας είναι κατάλληλη για τη μελέτη των στοιχείων τακτικής των αντιδράσεων προσαρμογής. Ωστόσο, αφήνει έξω

τα θέματα στρατηγικής και δόμησης που αντιμετωπίζουν τα εθνικά και κρατικά γεωργικά ιδρύματα. Αυτοί οι οργανισμοί ασχολούνται με το περιβαλλοντικό και οικονομικό κλίμα που επηρεάζει τη γεωργία σαν σύνολο και προσπαθούν να σιγουρέψουν την καλή προσαρμογή της γεωργίας σε μακροπρόθεσμες αλλαγές.

Εφ' όσον η γεωργία γίνεται σ' ένα ευμετάβλητο κλιματικό και οικονομικό περιβάλλον συχνά δεν είναι ξεκάθαρο ποια είναι η κατάλληλη μεταβλητή στην οποία πρέπει να γίνει η προσαρμογή.

Έρευνες έδειξαν μια πολυμορφία επιδράσεων και προσαρμογών. Η σημασία που αποδόθηκε σε μια ακτίνα φυσικών, οικονομικών και κοινωνικών επιδράσεων και προσαρμογών δείχνει ότι η γεωργία θα εξαρτηθεί από την δυναμική αλληλεπίδραση κοινωνικών και περιβαλλοντικών καθοδηγητών αλλαγής. Αυτό υποστηρίζει την ιδέα ότι πολλοί καθοδηγητές εκ των οποίων η κλιματική μεταβλητότητα είναι μόνο ένας, χρειάζεται να προσαρμοστούν. Δεν είναι λογικό να απομονωθεί η προσαρμογή στο κλίμα από άλλα μέτρα που πρέπει να παρθούν. Αντίθετα το κλίμα θα πρέπει να τεθεί στο περιεχόμενο άλλων παραγόντων αναγνωρίζοντας τα διάφορα κριτήρια προσαρμογής τα οποία μπορεί να περιλαμβάνουν τη διατήρηση της παρούσας κοινωνικό – οικονομικής δομής, αλλαγές στο εισόδημα, βραχυπρόθεσμο οικονομικό όφελος και οικολογική συντήρηση.

Οι αγρότες δουλεύουν σ' ένα ευμετάβλητο περιβάλλον όπου βραχυπρόθεσμες καιρικές εναλλαγές, παράσιτα και συνθήκες αγοράς συμβαίνουν μαζί με αλλαγές στο κλίμα και στις κοινωνικές συνθήκες. Μερικές από τις κοινωνικές και περιβαλλοντικές αλλαγές όπως πρόσβαση σε αγορές και πόρους, ποιότητα εδάφους και διαθεσιμότητα νερού είναι αργές και δύσκολες στον εντοπισμό ενώ άλλες όπως η διαθεσιμότητα υποδομής (π.χ. δρόμων) χρειάζονται επενδύσεις. Επιπλέον υπάρχει μόνο μερική πληροφόρηση για όλες αυτές τις διαδικασίες. Σαν αποτέλεσμα, σ' ένα περιβάλλον όπου υπάρχει αλληλεπίδραση ανάμεσα σε βραχυπρόθεσμη και μακροπρόθεσμη μεταβλητότητα, η προσαρμογή στις αλλαγές είναι δύσκολη.

Οι οικονομικές μελέτες υποθέτουν την καλύτερη λήψη αποφάσεων στο αγροτικό περιβάλλον κάτι που δυστυχώς σπανίζει. Επιπλέον, αν η προσαρμογή θεωρηθεί ως φυσική διαδικασία που βασίζεται στην αγορά δημιουργείται πρόβλημα. Στις βιομηχανικές χώρες ο αγροτικός τομέας έχει πετύχει ένα βαθμό ανοσίας στην καιρική ή κλιματική μεταβλητότητα λόγω παρατεταμένων επιδοτήσεων, και επενδύσεων στην

υποδομή όπως δρόμους. Στις λιγότερο βιομηχανικές χώρες αυτές οι ευκολίες δεν είναι διαθέσιμες και οποιοσδήποτε συζητήσεις για προσαρμογή πρέπει να λάβουν υπόψη αυτά τα θέματα. Το κοινωνικό ζήτημα υπάρχει στην προσαρμογή και πρέπει να τεθούν ερωτήσεις όπως: ποια είναι η βάση για προσαρμογή; ποιον ωφελεί και ποιον βλάπτει; πώς οι διαφορές πόρων ανάμεσα στα έθνη επηρεάζουν τη προσαρμογή στη κλιματική αλλαγή; Ζητήματα όπως η επίδραση στην φτώχεια, ισότητα και διανομή σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, αυτοσυντήρηση, διατήρηση των πόρων και του περιβάλλοντος θα παίξουν ρόλο – κλειδί στην επιτυχία της προσαρμογής (Kandlikar and Risbey, 2000).

## 4.2 Οι αντιδράσεις του οικοσυστήματος καλλιέργειών στη κλιματική αλλαγή

### 4.2.1 Σιτάρι

Μια παγκόσμια περιβαλλοντική αλλαγή πιθανόν να έχει μεγάλη επίδραση στη παραγωγή σταριού και συνεπώς στα ανθρώπινα εφόδια τροφής. Σήμερα παράγονται περίπου 600 μεγα-τόνοι σιταριού ετησίως και το στάρι παρέχει περίπου το 20% των θερμίδων και το 25% των πρωτεϊνών που απαιτούν τα 6.6 δισεκατομμύρια άνθρωποι του κόσμου. Επιπλέον, το στάρι συνεισφέρει στην θρέψη των ζώων τα οποία παρέχουν γάλα και κρέας στην ανθρώπινη διατροφή.

Οποιοδήποτε παράγοντες επηρεάζουν την παραγωγή και το κόστος του σταριού. Επηρεάζουν όλες τις κοινωνίες εφ' όσον το σιτάρι είναι το πιο ευρέως εμπορεύσιμο προϊόν.

Είναι δύσκολο να ξεχωρίσεις με βεβαιότητα τα άμεσα και έμμεσα αποτελέσματα. Ωστόσο υπάρχουν λίγες ενδείξεις για την άμεση επίδραση του CO<sub>2</sub> στο ρυθμό ανάπτυξης του σταριού. Λίγο πιο γρήγοροι ρυθμοί στην ανάπτυξη του φύλλου και του κοτσανιού παρατηρούνται συχνά σε στάρι που αναπτύσσεται σε αυξανόμενο CO<sub>2</sub>. Η απουσία επίδρασης του αυξανόμενου CO<sub>2</sub> σε φαινολογία του σταριού σε συνθήκες σχετικά χαμηλής ακτινοβολίας υποστηρίζει αυτό το συμπέρασμα. Σε πειράματα το N άλλαζε την αρχιτεκτονική της καλλιέργειας αλλά το αυξανόμενο CO<sub>2</sub> είναι μηδαμινή επίδραση. Αυτό ήρθε σε αντίθεση με την επιταχυνόμενη ανάπτυξη που παρατηρήθηκε σε προηγούμενες μελέτες όταν οι θερμοκρασίες διέφεραν. Αυτό τονίζει την σημασία των μικρών αυξήσεων της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη και στην παραγωγή σταριού.

Η ανάπτυξη, ενώ εξαρτάται από την ποικιλία, αρχίζει πάνω από μια βασική θερμοκρασία ( $1 - 5^{\circ}\text{C}$ ) και ο ρυθμός αυξάνει αργά καθώς αυξάνει η θερμοκρασία, κατόπιν πιο γρήγορα σε ένα μέγιστο των  $30^{\circ}\text{C}$  περίπου και μετά μειώνεται γρήγορα. Η επίδραση της συνεχούς προσαύξησης της θερμοκρασίας στην διάρκεια των φαινομενολογικών φάσεων, συνεπώς εξαρτάται από την απόλυτη θερμοκρασία.

Ωστόσο, οι επιδράσεις μπορούν να αναπαρασταθούν με ακρίβεια με τη προσέγγιση της θερμικής περιόδου. Αυτά τα πειράματα δείχνουν ότι μια αύξηση  $1^{\circ}\text{C}$  θα μειώσει την διάρκεια καλλιέργειας κατά 21 ημέρες (8%) και την αναπαραγωγική περίοδο κατά 6 ημέρες (6%). Η περίοδος από την άνθιση και την ωρίμανση μειώνεται κατά 2 ημέρες (5%) ανά  $1^{\circ}\text{C}$ . Ωστόσο αυτές οι αντιδράσεις διαφέρουν αρκετά από ποικιλία σε ποικιλία. Έτσι σε καλλιέργεια ταχέως αναπτυσσόμενου σίτου, η αυξανόμενη ακτινοβολία, το άφθονο νερό και η παρουσία θρεπτικών συστατικών σε συνδυασμό με υψηλές θερμοκρασίες δεν ήταν καταστροφικοί παράγοντες για την παραγωγή (Lawlor and Mitchell, 2000).

#### 4.2.2 Καλαμπόκι

Η ανάλυση μακροπρόθεσμων αρχείων με δεδομένα παραγωγής καλαμποκιού και εποχιακών καιρικών συνθηκών στο Ιλλινόις βρήκε μεγάλες χρονικές μετατοπίσεις και σημαντικές αποκλίσεις των εποχιακών καιρικών συνθηκών οι οποίες εκφράζονται με κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης και οι οποίες δημιουργούν θετικές και αρνητικές επιρροές στη παραγωγικότητα. Δέκα εννέα διαφορετικοί τύποι καιρού στην εποχή καλλιέργειας του καλαμποκιού (Μάη – Αύγουστο) παρουσιάστηκαν από το 1901 –1997, και σε εννέα από αυτές τις εποχές η απόδοση ήταν πολύ υψηλή (κορυφαίες 20 – από τις 97) και σε 8 η απόδοση ήταν πολύ χαμηλή. Η εκτίμηση των χρόνων με είτε υψηλή είτε χαμηλή απόδοση, απεκάλυψε

1) Αρκετές φορές οι καιρικές συνθήκες στην εποχή της καλλιέργειας του καλαμποκιού ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένες σ' όλο τον αιώνα.

2) Πολλές όμως φορές οι συνθήκες παρουσίαζαν τοπικές παραλλαγές. Η αντίδραση της παραγωγής σε συγκεκριμένο είδος καιρού παρουσίασε ποικιλία. Τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι χρονικές αλλαγές στην καλλιέργεια στη ποικιλία καλαμποκιού και στη γεωργική τεχνολογία έχουν αλλάξει το πώς το διάφορα είδη καιρού την περίοδο της καλλιέργειας επηρεάζουν την απόδοση του καλαμποκιού.

Τοπικές διαφορές στο αποτέλεσμα της σοδειάς με ένα δεδομένο είδος καιρικών συνθηκών αντανακλούν τις διαφορές στο χώμα και στο κλίμα που υπάρχουν στο Ιλλινόις.

Οι διαφορές σε χώρο και χρόνο αποκαλύπτουν τη σημασία της χρήσης των αποτελεσμάτων καιρικής επιρροής για το προσδιορισμό εποχιακών ακραίων καιρικών φαινομένων. Τα είδη εποχών που δημιούργησαν υψηλή απόδοση ήταν 1901 – 1910 και 1961 – 1997 και οι περισσότερες εποχές με χαμηλή απόδοση ήταν ανάμεσα στο 1911 και 1960. Οι μεταβαλλόμενες χρονικές αντιδράσεις στα διάφορα είδη εποχιακών καιρικών συνθηκών τον 20<sup>ο</sup> αιώνα δείχνουν κάποιες από τις δυσκολίες που υπάρχουν στην προσπάθεια προβολής μιας πραγματικής και λεπτομερούς επιρροής των μελλοντικών καιρικών συνθηκών.

Ένας βασικός παράγοντας στην εκτίμηση της επιρροής παρελθόντων και μελλοντικών καιρικών συνθηκών είναι σε χρονικές διακυμάνσεις στις εποχιακές καιρικές συνθήκες συνδυάζονται και διαμορφώνουν εποχιακές κλιματικές συνθήκες οι οποίες έχουν τεράστια επίδραση στην αγροτική παραγωγή. Πολλές μελέτες έχουν ερευνήσει τις τάσεις και τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης στις τέσσερις εποχές (άνοιξη, καλοκαίρι, φθινόπωρο, χειμώνα).

Οι υψηλές θερμοκρασίες γενικά κάνουν ζημιά στη παραγωγή αλλά για παράδειγμα το 1998 οι θερμοκρασίες στη Ζώνη Καλαμποκιού (καθορισμένη από το USDA) ήταν οι τρίτες υψηλότερες που έχουν καταγραφεί και παρ' όλα αυτά η παραγωγή καλαμποκιού ήταν η δεύτερη μεγαλύτερη που έχει καταγραφεί. Οι αναλύσεις της καιρικής και κλιματικής επίδρασης συχνά ασχολούνται είτε με τη συχνότητα και το μέγεθος ακραίων φαινομένων όπως οι κυκλώνες ή με σειρές ετών με ακραία φαινόμενα όπως ξηρασίας ή ψυχρούς χειμώνες. Οι μελέτες που ασχολούνται με την επίδραση των μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών στη σοδειά εξετάζουν ιστορικά στοιχεία παραγωγής και αφού λάβουν υπόψη τις τεχνολογικές εξελίξεις, εξετάζουν τη χρονική συμπεριφορά της παραγωγής σαν ένα έμμεσο μέτρο των μεταβαλλόμενων καιρικών συνθηκών. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση δεν αναγνωρίζει τις αλλαγές στις διάφορες καιρικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, όπως βροχόπτωση τον Ιούλιο, οι οποίες μπορούν να παράγουν παρόμοια αποτελέσματα στη σοδειά, είτε υψηλά, είτε χαμηλά.

Έτσι, οι χρονικές αναλύσεις που βασίζονται στη σοδειά δεν επιτρέπουν μια κλιματολογική εκτίμηση των χρονικών διακυμάνσεων σε διάφορες καιρικές συνθήκες. Δηλαδή, υπάρχουν περισσότερες ή λιγότερες εποχές πρόσφατα με καλές ή κακές καιρικές συνθήκες για την παραγωγή. Οι καιρικές συνθήκες που παρήγαγαν καλές σοδειές το 1910, παράγουν ακόμα καλές σοδειές το 1997. Η επίδραση του καιρού στις διάφορες φυσικές διαδικασίες και στη κοινωνία αλλάζει με τον καιρό και πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στην εκτίμηση της κοινωνικής σημασίας των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Αυτή η μελέτη προσέγγισε την ανάλυση των ιστορικών μακροπρόθεσμων διακυμάνσεων στις εποχιακές καιρικές συνθήκες βασιζόμενη σε εκείνες που θεωρούνται πολύ σημαντικές από την άποψη της σοδειάς ενώ διατηρεί τις καιρικές συνθήκες ως είδος που σχετίζεται με εξέχουσα παραγωγή. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να εξετάσουμε τη χρονική μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών που είναι σημαντικές για την παραγωγή.

Η εποχιακή εκτίμηση έγινε χρησιμοποιώντας τη μακρύτερη δυναμική περίοδο με καλά στοιχεία, 1901 – 1997, στο Ιλλινόις όπου υπάρχει τεράστια διαφορά στις κλιματικές συνθήκες και στο χώμα. Τα αποτελέσματα από το Ιλλινόις θεωρούνται αντιπροσωπευτικά και άλλων περιοχών στο κέντρο της Αμερικής που έχουν παρόμοιο έδαφος, φυσιογραφία και κλίμα και απεικονίζουν μια προσέγγιση η οποία περιλαμβάνει μετατοπίσεις στη σχέση κλίματος – επίδρασης.

Επιλέχθηκαν στοιχεία από 41 μετεωρολογικούς σταθμούς, που χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιορίσουν τις καιρικές συνθήκες στην εποχή της σοδειάς η οποία περιλαμβάνει συνθήκες από το Μάη ως και τον Αύγουστο. Οι τοποθεσίες των σταθμών εσώκλειουν το Ιλινόις, 640 χλμ. σε μήκος από βορρά ως νότο και 480 χλμ. σε πλάτος. Η περιοχή παρουσιάζει ηπειρωτικό κλίμα με σημαντικές τοπικές διαφορές στις μέσες θερμοκρασίες και στη βροχόπτωση και έχει επίσης μεγάλη διαφορά στο τύπο του εδάφους το οποίο επηρεάζει τη παραγωγή σε μεγάλο βαθμό. Αυτοί οι παράγοντες δείχνουν την σημασία της χρήσης μιας τοπικής – χρονικής ανάλυσης των εποχών που επηρεάζουν τη σοδειά του καλαμποκιού.

Τη περίοδο 1901 – 1997 αναγνωρίστηκαν 19 εντελώς διαφορετικές όσον αφορά τον καιρό εποχές καλαμποκιού στο Ιλλινόις. Αυτές οι εποχές προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας αναλύσεις καιρού - παραγωγής - τεχνολογίας και περιέλαβαν επτά μηνιαίες μεταβλητές καιρού. Συνδυασμοί αυτών των μεταβλητών χρησιμοποιήθηκαν για την αναγνώριση των εποχών. Ο αριθμός αυτών των ειδών καιρού την περίοδο 1901 – 1997 μειώθηκε από το νότο στο βορρά αντανακλώντας γνωστές γεωγραφικές διαφορές στο κλίμα του Ιλλινόις. Οι περίοδοι με τις καλύτερες αποδόσεις ήταν νωρίς από το 1901 – 1910 και τα 37 χρόνια μετά το 1960.

Εποχές με ξηρές – ξηρές συνθήκες τον Ιούλιο σχετίστηκαν με χαμηλή επίδοση σ' όλη τη περίοδο του αιώνα αλλά κάποιες άλλες εποχές χαμηλής απόδοσης δεν κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα στην ίδια περίοδο. Αυτές οι διαφορές αντανακλούν διαφορετικές αντιδράσεις της παραγωγής στο καιρό εξ' αιτίας της διαφοράς του εδάφους και της ποικιλίας καλαμποκιού αλλαγής στις μεθόδους καλλιέργειας και της τεχνολογία. Για παράδειγμα, τα καλά χρόνια της δεκαετίας του 1960 ώθησαν τους αγρότες στην αύξηση της πυκνότητας φύτευσης και στην εφαρμογή λίπανσης.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τις χρονικές μεταβολές στην απόδοση είναι οι μακροπρόθεσμες τάσεις των εποχιακών καιρικών συνθηκών. Υπάρχει μια τάση ψυχρότερου και υγρότερου καιρού στη Ζώνη Καλαμποκιού. Μια μελέτη των υψηλότερων και χαμηλότερων θερμοκρασιών στο Ιλλινόις για τη περίοδο 1901 – 1995 έδειξε μια αύξηση από το 1901 που κορυφώθηκε το 1930 και ακολουθείται από μείωση πέφτοντας κατά 1° C μέχρι το 1990.

Οι τάσεις για καλοκαιρινή βροχή στο Ιλλινόις για τη περίοδο 1901 – 1995 έδειξε μικρή αύξηση στο δυτικό και βόρειο μέρος με μικρή αλλαγή στις άλλες περιοχές. Περιληπτικά, φαίνεται ότι οι καιρικές συνθήκες το καλοκαίρι στο Ιλλινόις έχουν με τον καιρό βελτιωθεί σταδιακά ιδιαίτερα μετά το 1940. Ατμοσφαιρικά μέτρα θύελλας και βροχόπτωσης το καλοκαίρι όπως φαίνεται από τη συχνότητα των κυκλώνων, δείχνουν μια καλή σχέση με τα χρόνια καλής και κακής παραγωγής. Οι περίοδοι με καλές σοδειές είχαν το μεγαλύτερο αριθμό κυκλώνων (1901 – 1910, 1961 – 1970, 1980 – 1997). Οι τρεις δεκαετίες με το χειρότερο καιρό (1911 – 1920, 1931 – 1940, 1951 – 1960) είχαν τους λιγότερους κυκλώνες λιγότερη



βροχόπτωση τρεις από τις χρονιές που εμφανίστηκε το Λα Νίβια αυτό τον αιώνα). Γενικά, αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι διακυμάνσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών που επηρεάζουν τον καιρό το καλοκαίρι στο Ιλλινόις με την παρουσία καλών και κακών εποχιακών καιρικών συνθηκών που επιδρούν στην παραγωγή καλαμποκιού.

Η χρονική κατανομή των καλοκαιρινών εποχών με τεράστια αρνητική επίδραση στα αποθέματα νερού από το 1901 ως το 1997 είναι παρόμοια μ' αυτή του καιρού που επιφέρει χαμηλή απόδοση καλαμποκιού στο Ιλλινόις.

Αυτή η μελέτη απέδωσε τρία ευρήματα που θεωρούνται σχετικά με την προσπάθεια υπολογισμού της μελλοντικής επίδρασης ενός αλλαγμένου κλίματος στην παραγωγή καλαμποκιού. Πρώτον, τα συγκεκριμένα είδη καιρού που προκαλούν είτε υψηλή είτε χαμηλή απόδοση συνέβησαν σ' όλη τη διάρκεια της ενενήντα-επτάχρονης περιόδου. Έτσι οι αλλαγές στις αγροτικές μεθόδους δεν αντιστάθμισαν την επιρροή κάποιων ακραίων καιρικών φαινομένων στην παραγωγή.

Δεύτερον, καιρικές συνθήκες, που προκάλεσαν υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή παραγωγή ήταν χρονικά περιορισμένες και κυρίως παρουσιάστηκαν στα πρώτα 30 με 40 χρόνια του αιώνα, στη μέση ή στα τελευταία 40 χρόνια. Αυτό αντιπροσωπεύει μεταπτώσεις στη μακράς ακτίνας ατμοσφαιρική κυκλοφορία που δημιουργεί συγκεκριμένα είδη καιρικών συνθηκών.

Τρίτον, άλλες συνθήκες, που προκάλεσαν μόνο χαμηλή απόδοση παρουσιάστηκαν στις πρώτες δεκαετίες του αιώνα και αν και εμφανίστηκαν πάλι πρόσφατα δεν προκάλεσαν χαμηλή απόδοση. Αυτή η μετάπτωση της επίδρασης στη σοδειά είναι αποτέλεσμα της αλλαγής των αγροτικών μεθόδων οι οποίοι μείωσαν τα αρνητικά αποτελέσματα.

Περίληπτικά, οι μεταβαλλόμενες αντιδράσεις της παραγωγής στα διάφορα είδη καιρού δείχνουν τις περίπλοκες στην προσπάθεια πρόβλεψης της παραγωγής σε σχέση με τον καιρό και το κλίμα. Τέτοιες προσπάθειες απαιτούν την εξήγηση πιθανόν αλλαγών στα είδη καιρού καθώς επίσης τον προσδιορισμό της αντίδρασης της παραγωγής που οφείλεται σε σίγουρες μελλοντικές εξελίξεις στις αγροτικές μεθόδους, στην ποικιλία φυτών, και στη τεχνολογία (Changnon and Winstanley, 2000).

### 4.2.3 Βαμβάκι

Οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν συντελέσει σε αυξημένα ατμοσφαιρικά επίπεδα CO<sub>2</sub> και πολλών άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Καθώς οι ανθρώπινες δραστηριότητες συντελούν στη διαταραχή του κλίματος, ο αυξανόμενος πληθυσμός ασκεί πίεση σε γεωπόνους και επιστήμονες έτσι ώστε να καλυφθούν οι ανάγκες του για τροφή. Προβλέπεται ότι ο πληθυσμός της γης θα αυξηθεί από 5.3 δις. το 1990 σε 8.1 δις το 2025 με το 84% αυτής της αύξησης να λαμβάνει χώρα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Μέχρι το 2050 πιστεύεται ότι οι κάτοικοι της θα είναι 12.4 δις.

Εφ' όσον δεν υπάρχει καλλιεργήσιμη γη θα πρέπει να καλλιεργηθεί πιο εντατικά. Καθώς οι καλλιέργειες γίνονται πιο εντατικές η ποιότητα του εδάφους θα επηρεαστεί αρνητικά. Επίσης οι πόροι νερού είναι περιορισμένοι και σε πολλές πυκνοκατοικημένες χώρες το 75% της καλλιεργήσιμης γης χρειάζεται άρδευση. Αν υπάρξει μια μεγάλη κλιματική αλλαγή θα είναι δύσκολο να παραχθεί αρκετή τροφή για να καλύψει τις ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού.

Το βαμβάκι ανήκει στο γένος *Gossypium* της οικογένειας *Malvaceae*. Από τα 39 είδη του γένους μόνο τα τέσσερα παράγουν εμπορικά ξαντών και καλλιεργούνται σ' όλο τον κόσμο. Οι ποικιλίες *Upland* και *Acala* ανήκουν στο *G. hirsutum* και οι *Pima* και *Sea island* ή Αιγυπτιακές ποικιλίες ανήκουν στο *G. barbandense* L. Το *Upland* βαμβάκι καλλιεργείται σε πάνω από 5 Mha στις Ηνωμένες Πολιτείες και πάνω από 34 Mha παγκοσμίως. Η περισσότερη παραγωγή γίνεται σε ξηρά ή ημίξηρα κλίματα και χρειάζεται άρδευση. Οι κύριες παράγωγες χώρες το 1997/98 ήταν Αμερική 18.8; Κίνα 18.5, Ινδία 12.5, Πακιστάν 7.5, Ουζμπεκιστάν 5.4 Τουρκία 3.3 και Αυστραλία 2.9.

Το βαμβάκι καλλιεργείται σ' όλο τον κόσμο αλλά σε σχετικά μικρότερη ακτίνα θερμοκρασίας από ότι πολλά άλλα είδη. Η ελάχιστη θερμοκρασία για την ανάπτυξη του βαμβακιού είναι 12 – 15° C, η optimum 26 – 28° και η μέγιστη εξαρτάται από τη διάρκεια της έκθεσης.

Οι σύντομες περιόδους με θερμοκρασία άνω της optimum μπορεί να κάνουν ζημιά. Σήμερα, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα είναι γύρω στο 360 μ. mol/mol<sup>-1</sup> και οι επιστήμονες συμφωνούν ότι στα μέσα του 21<sup>ου</sup> αιώνα θα είναι 510 – 760 μ. Mol/mol<sup>-1</sup>. Άλλα αέρια επίσης αυξάνονται και θα συνεισφέρουν στην κλιματική

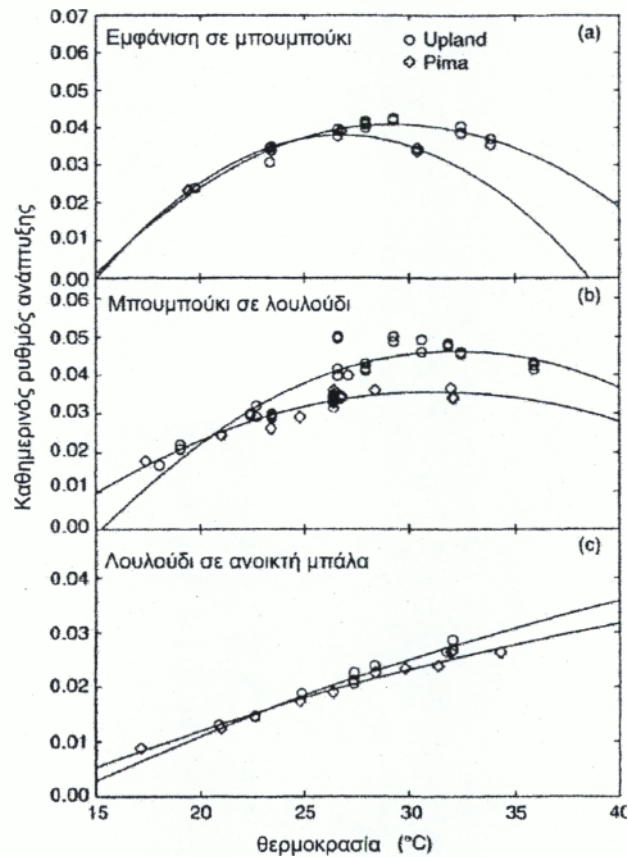
αλλαγή. Προβλέπεται ότι αυτές οι αλλαγές θα αυξήσουν την θερμοκρασία της γης κατά 2 – 5° C. Εφόσον η ανάπτυξη των φυτών και η παραγωγή ελέγχονται από τον καιρό πρέπει να κατανοήσουμε τη σημασία αυτών των κλιματικών αλλαγών στη γεωργία. Οι θερμοκρασίες πολλών βαμβακοπαραγωγικών περιοχών περιορίζουν την διαδικασία ανάπτυξης του φυτού. Το αυξανόμενο CO<sub>2</sub> γενικά επαυξάνει το ρυθμό αφομοίωσης CO<sub>2</sub> από το φύλλο και τη σκιάδα επειδή το CO<sub>2</sub> είναι η βάση της φωτοσύνθεσης. Αυτό συντελεί σε αυξανόμενη ανάπτυξη και παραγωγή. Το αυξημένο CO<sub>2</sub> μειώνει τη στοματική οπή και αυξάνει το ποσοστό CO<sub>2</sub> που αφομοιώνεται σε σχέση με το νερό που αναπνέετε. Μερικές μελέτες επίσης έδειξαν ότι αυξημένο CO<sub>2</sub> προκαλεί διαφορετικό καταμερισμό φωτοαφομοίωσης μεταξύ των οργάνων του φυτού.

Διαδικασίες ανάπτυξης ορίζονται ως η περίοδος ανάμεσα σε παρόμοια και ανόμοια γεγονότα ή η διάρκεια μιας διαδικασίας. Τα παρόμοια γεγονότα περιλαμβάνουν το χρονικό διάστημα ανάμεσα στα φύλλα του κυρίως κορμού και στα φύλλα των κλαδιών ενός φυτού. Τα ανόμοια γεγονότα περιλαμβάνουν τα διαστήματα ανάμεσα στην εμφάνιση του φυτού και στο σχηματισμό του μπουμπουκιού του λουλουδιού ή του καρπού. Η διάρκεια της διαδικασίας μπορεί να περιλαμβάνει την περίοδο ανάμεσα στο ξεδίπλωμα των φύλλων και στο χρόνο που απαιτείται για να φτάσει το φύλλο το μέγιστο μέγεθός του.

Η θερμοκρασία και η φωτοπερίοδος προκαθορίζουν την άνθηση σε νεαρά και σε μεγαλύτερα φυτά. Το βαμβάκι που καλλιεργείται εμπορικά δεν είναι πολύ ευαίσθητο στη θερμοκρασία. Η επίδραση της θερμοκρασίας και του CO<sub>2</sub> απεικονίζονται σε πείραμα που έγινε σε κανονικό και σε διπλάσιο ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> σε πέντε θερμοκρασίες. Η θερμοκρασία του 1995 στο Μισσισιππή χρησιμοποιήθηκε ως σημείο αναφοράς ενώ οι άλλες θερμοκρασίες ήταν του (1995 -2° C και του 1995 2.5 και 7° C.

Αναπτυξιακά γεγονότα συνέβησαν πολύ πιο γρήγορα όταν οι θερμοκρασίες αυξήθηκαν. Ο αριθμός των ημερών από την εμφάνιση του μπουμπουκιού ως τη ώριμη ανοικτή μπάλα μειώθηκε καθώς η μέση θερμοκρασία αυξήθηκε (Διαγ. 8.8). Ωστόσο, τα φυτά που καλλιεργήθηκαν σε χώρους με μέση καθημερινή θερμοκρασία 32.3 °C δεν παρήγαν ώριμες μπάλες εκτός αν υπήρχαν λίγες ψυχρότερες μέρες αμέσως μετά την άνθιση. Ο χρόνος που απαιτήθηκε από την παραγωγή μπουμπουκιού έως ώριμου καρπού μειώθηκε κατά 1,6,3,1 και 6,9 ημέρες ανά βαθμό αυξημένης θερμοκρασίας

αντίστοιχα. Έτσι αν υποθέσουμε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας θα κατανεμηθεί εξ' ίσου κατά την εποχή της ανάπτυξης, μια αύξηση 5° C στην παγκόσμια θερμοκρασία θα επιταχύνει την ανάπτυξη από την εμφάνιση ως την ωριμότητα κατά 35 ημέρες (Διάγραμμα 1).



Διάγραμμα 1. Καθημερινός ρυθμός ανάπτυξης σε σχέση με τη θερμοκρασία σε διάφορα φαινολογικά στάδια του βαμβακιού.

Δυστυχώς τα στοιχεία δείχνουν ότι η μείωση του χρόνου ανάπτυξης συμβαίνει κατά την διάρκεια της ανάπτυξης συμβαίνει κατά την διάρκεια της ανάπτυξης της μπάλας και αυτό συντελεί σε μικρότερες μπάλες, σε μικρότερη παραγωγή και ξαντών χαμηλής ποιότητας. Η διπλάσια ποσότητα ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> D δεν επηρέασε τον ρυθμό ανάπτυξης.

Τα άμεσα φυσιολογικά αποτελέσματα του αυξανόμενου CO<sub>2</sub> στη φωτοσύνθεση και εφίδρωση του βαμβακιού θα έχουν εκατομμύρια δευτερεύοντα αποτελέσματα. Περισσότερος άνθρακας προσηλώθηκε στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε υψηλό CO<sub>2</sub>, τα οποία έχουν επίσης μεγαλύτερη στοματική αντίσταση. Ωστόσο, η αυξημένη περιοχή πράσινου φύλλου αντισταθμίζει αυτή την επίδραση. Η ανάπτυξη των φυτών είναι

σχετικά ανεπηρέαστη στο αυξημένο CO<sub>2</sub>. Εφόσον το βαμβάκι είναι πολύ πλαστικό στην διάρκεια ανάπτυξης ο επιπρόσθετος άνθρακας είναι ευνοϊκός για την αναπαραγωγική ανάπτυξη. Αυτό συντελεί σε περισσότερο καρπό και αν οι συνθήκες θερμοκρασίας είναι ευνοϊκές σε μεγαλύτερη παραγωγή. Οι διαδικασίες ανάπτυξης εξαρτώνται από την θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία αυξηθεί οι αγρότες θα πρέπει να αλλάζουν τον τρόπο καλλιέργειας, αρχίζοντας το φύτεμα νωρίτερα.

Έτσι τα φυτά θα ανθίσουν πριν την εμφάνιση της βλαβερής υψηλής θερμοκρασίας. Επίσης, αναμένεται αλλαγή στην γεωγραφική κατανομή των καλλιεργειών. Οι περιοχές που είναι ψυχρές θα γίνουν πιο παραγωγικές ενώ οι θερμές περιοχές θα γίνουν πιο παραγωγικές ενώ οι θερμές περιοχές θα γίνουν αντιπαραγωγικές. Δεν βρέθηκε διαφορά στην ανθεκτικότητα υψηλής θερμοκρασίας στην βαμβάκι upland. Ωστόσο, στο λιγότερο ανθεκτικό Pima, κάποιες ποικιλίες απέφυγαν την επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας μέσω εφίδρωσης (Reddy et al., 2000).

#### 4.2.4 Ριζώδεις και βολβώδεις καλλιέργειες-Λαχανοκομικά είδη

Οι ρίζες και οι βολβοί είναι σημαντικές πηγές τροφής καθώς παρέχουν το κύριο μέρος των υδατανθράκων του χρειάζεται ο πληθυσμός. Με κάποιες εξαιρέσεις αυτές οι καλλιέργειες είναι ποιο σημαντικές για τη παραγωγή τροφής στα τροπικά παρά στα ήπα κλίματα.

Υπάρχουν πολλά είδη που παράγουν ρίζες και βολβούς που τρώγονται. Οι στατικές του Οργανισμού Τροφής και Γεωργίας (FAO) δείχνουν ότι το 1997 καλλιεργήθηκαν ρίζες και βολβοί σε πάνω από 49 Mha και ότι η συνολική παραγωγή ήταν μεγαλύτερη των 650Mt. Η πατάτα (*Solanum tuberosum*), η κάσσαβα (*Manihot esculenta*) η γλυκοπατάτα (*Ipomea batatas*) το yam (*Dioscor subsp*) το ραπανάκι (*Raphanus satius*) το καρότο (*Daucus carota subsp*) και το κουράμπι (*Brassica oleracca*) είναι οι πιο διαδεδομένες καλλιέργειες. Η πατάτα και η κασσάβα αποτελούν το 72% της συνολικής σοδειάς ριζών και βολβών.

Η παραγωγή πατάτας μειώθηκε από 60% το 1960 στο 45% το 1990 ενώ η κασσάβα έγινε πιο σημαντική και το μερίδιο της στη παγκόσμια παραγωγή ανέβηκε από 15% στο 25% την ίδια περίοδο. Αυτό αντανακλά την αύξηση του πληθυσμού και συνεπώς ζήτησης τροφής στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η κασσάβα καλλιεργείται κυρίως στις τροπικές περιοχές ενώ η πατάτα στις εύκρατες ζώνες. Η παραγωγή αυτών των καλλιεργειών αυξήθηκε σταθερά κατά 4Mt το χρόνο από το 1961 ως το 1997. Αυτή η αύξηση οφείλεται κυρίως στην αυξανόμενη απόδοση κάθε μονάδας γης εφ' όσον η συνολική περιοχή καλλιέργειας δεν άλλαξε. Διάφοροι παράγοντες μπορεί να βοηθήσουν την παραγωγή όπως βελτιωμένες ποικιλίες, χρήση λίπανσης, λιγότερα παράσιτα και εντατική άρδευση.

Η συνεχόμενη αύξηση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα μπορεί επίσης να έχει συνεισφέρει. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει τη φαινολογία με αλλαγές στο CO<sub>2</sub>, στη θερμοκρασία του αέρα και στη ξηρασία. Η αναφερόμενη αύξηση CO<sub>2</sub> μπορεί να προκαλέσει αλλαγές με δύο τρόπους. Μπορεί αν προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας επιφάνειας της σοδειάς και υψηλότερα ποσοστά φωτοσύνθεσης.

Η φαινολογική ανάπτυξη μιας καλλιέργειας καθορίζεται από αλλαγές στη θερμοκρασία σκιάδας. Στα περισσότερα είδη φυτών οι αλλαγές στη θερμοκρασία του

αέρα επηρεάζουν το ρυθμό ανάπτυξης με μια γενική επιτάχυνση ανάπτυξης στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Στις περισσότερες καλλιέργειες η ανάπτυξη σχετίζεται με την παραγωγή φύλλων, η οποία καθορίζεται από τη θερμοκρασία και είναι ευαίσθητη στην ανεπάρκεια νερού ή θρεπτικών συστατικών. Η πατάτα δεν αποτελεί εξαίρεση και η παραγωγή φύλλων φαίνεται να επιταχύνεται όταν η θερμοκρασία αυξηθεί από 9° C στους 25° C. Ωστόσο, η παραγωγή φύλλων δεν αυξήθηκε περαιτέρω όταν η θερμοκρασία ήταν άνω των 25° C. Θεωρείται βέβαιο ότι η αύξηση θερμοκρασίας στα θερμά κλίματα θα έχει λιγότερη επίδραση στη πατάτα από ότι στις άλλες καλλιέργειες όπως τα χειμερινά δημητριακά.

Αυτό δηλώνει ότι η αύξηση θερμοκρασίας στα ψυχρότερα κλίματα είναι πιο πιθανή να επιταχύνει τη φαινομενολογία των καλλιεργειών απ' ότι στα θερμότερα κλίματα.

Επίσης το μήκος της περιόδου ανάπτυξης στις ψυχρές περιοχές μπορεί να περιορίσει την περίοδο ανάπτυξης μιας καλλιέργειας όπως η πατάτα και συνεπώς και την παραγωγή της. Με την κλιματική αλλαγή σε τέτοιες περιοχές, η αυξημένη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει μακρύτερη περίοδο ανάπτυξης και υψηλότερη παραγωγή πατάτας ή άλλων καλλιεργειών.

Το αυξανόμενο CO<sub>2</sub> θα επανξήσει την φωτοσύνθεση και θα βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της χρήσης νερού, συνεπώς θα αυξήσει την παραγωγή στις περισσότερες καλλιέργειες. Τα σχετικά οφέλη από το αυξημένο CO<sub>2</sub> θα διατηρηθούν με μέτρια ανεπάρκεια νερού και N αλλά τα οφέλη παραγωγής σε απόλυτη βάση μειώνονται όταν το νερό ή το N περιορίζουν την ανάπτυξη. Η επίδραση της θερμοκρασίας είναι πιο δύσκολη στη πρόβλεψη. Η γονιμοποίηση των σπόρων μάλλον θα βελτιωθεί στα περισσότερα λαχανικά όπως και η ανάπτυξη λαχανικών σε περιοχές όπου η μέση καθημερινή θερμοκρασία την εποχή ανάπτυξης είναι κάτω των 25° C με την προϋπόθεση ότι υπάρχει επάρκεια νερού. Η αναπαραγωγική ανάπτυξη είναι ιδιαίτερα ευάλωτη στην έντονη ζέστη στις περισσότερες καλλιέργειες όπως ντομάτα, πιπεριά, φασόλια και καλαμπόκια και μάλλον θα σημειωθεί μείωση της παραγωγής. Οι επεξεργασμένες καλλιέργειες οι οποίες είναι άμεσα σπαρμένες και συχνά καλλιεργούνται σε περιοχές με ψυχρά καλοκαίρια έχουν περισσότερες πιθανότητες να επωφεληθούν από τις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Γενικά, οι καλλιέργειες με υψηλό δείκτη σοδειάς, ακαθόριστη ανάπτυξη και μακροπρόθεσμη περίοδο ανάπτυξης είναι πιο πιθανό να αντιδράσουν θετικά στο συνδυασμό υψηλότερου CO<sub>2</sub> και θερμοκρασίας.

Σε πολλές καλλιέργειες η υψηλή θερμοκρασία ίσως μειώσει την ποιότητα με αρνητικά αποτελέσματα για τους παραγωγούς φρέσκων λαχανικών όπου και το παραμικρό ψεγάδι τα καθιστά ακατάλληλα για πώληση.

Η μειωμένη βροχόπτωση επίσης θα μειώσει την παραγωγή και την ποιότητα των λαχανικών. Τα πράσινα φυλλώδη λαχανικά όπως μαρούλια και σπανάκια θεωρούνται καλλιέργειες ψυχρής εποχής και έτσι η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι καταστροφική γι' αυτές.

Υπάρχουν κάποια χαρακτηριστικά που διακρίνουν τα δέντρα από τα άλλα φυτά. Συγκρινόμενα με άλλα είδη φυτών είναι μακρόζωοι οργανισμοί. Οι αλλαγές στο CO<sub>2</sub> και στη θερμοκρασία θα επηρεάσει τα δάση του σήμερα και του μέλλοντος. Τα μακρόζωα φυτά έχουν περισσότερο χρόνο να εγκλιματιστούν στις περιβαλλοντικές συνθήκες από ότι οι άλλοι οργανισμοί. Ο εγκλιματισμός μπορεί να διαρκέσει χρόνια και να εκφραστεί μέσω i) μείωσης της ανάπτυξης, περιορίζοντας την απορρόφηση άνθρακα στους αναπτυσσόμενους ιστούς ii) του σταδιακού γεμίσματος των διαθέσιμων πόρων και iii) της ανακατανομής θρεπτικών συστατικών από το φύλλο.

Οι μελέτες για την αντίδραση των δέντρων στην αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών είναι κυρίως μικρής διάρκειας και αφορούν νεαρά δέντρα παρόλο ότι τα δέντρα είναι συνήθως μεγάλα σε μέγεθος και μακρόζωα. Αυτή η ανωμαλία εξηγείται λόγω των εξόδων που περιλαμβάνει η κατασκευή και λειτουργία πειραματικών εγκαταστάσεων για μεγάλα δέντρα.

Το γεγονός ότι τα δέντρα ζουν πολλές περιόδους ανάπτυξης συνεπάγεται ότι κάθε χρόνο υπάρχει ένα σημαντικό κόστος ανανέωσης μερικών οργάνων (φύλλα και μικρές ρίζες) και ότι τα δέντρα είναι πιο ευαίσθητα στις κλιματικές αλλαγές. Επιπλέον, τα δέντρα παραμένουν στο νεανικό στάδιο για κάμποσα χρόνια. Η ανάπτυξη είναι διακεκομμένη και όχι συνεχόμενη.

Πρόσφατες δενδροχρονολογικές μελέτες δηλώνουν μια αύξηση της τάσης ανάπτυξης των δέντρων ιδιαίτερα στα δάση της Ευρώπης, η οποία μπορεί να



αποδοθεί στην αλλαγή διάφορων κλιματικών παραγόντων όπως αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και του CO<sub>2</sub>.

Η ανάπτυξη επίσης επαυξάνεται από την εναπόθεση ατμοσφαιρικού αζώτου το οποίο είναι ιδιαίτερα υψηλά στη δυτική Ευρώπη (Miglietta et al., 2000; Peet and Wolfe, 2000).

#### 4.2.5 Δενδρώδεις καλλιέργειες

Η αντίδραση των δέντρων στην αύξηση του CO<sub>2</sub> είναι λιγότερο κατανοητό από ότι των καλλιεργειών. Ωστόσο τα αποτελέσματα του αυξημένου CO<sub>2</sub> και της θερμοκρασίας έχουν μελετηθεί. Τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής δεν προκαλούνται από ένα παράγοντα αλλά προέρχονται από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις διαφόρων παραγόντων όπως ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub>, θερμοκρασία αέρα, θρεπτικά συστατικά, το επίπεδο του τροποσφαιρικού όζοντος, UV – B ακτινοβολία, ξηρασία κλπ. Δεύτερον, δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα είδη δέντρων όσον αφορά την αντίδραση τους στο αυξημένο CO<sub>2</sub>. Αυτή η απόκλιση μπορεί να εξηγηθεί μερικώς από το γεγονός ότι τα είδη διαφέρουν ως προς την κατανομή C και δυναμικό ανάπτυξης καθώς επίσης και στις αντιδράσεις τους στις διάφορες συνθήκες ανάπτυξης.

Η αυξημένη παραγωγή δημητριακών μπορεί να επιτευχθεί με πολλαπλασιασμό για συντονισμένες αυξήσεις και στον αναπαραγωγικό πόρο και στη πηγή φωτοσύνθεσης. Η αύξηση του ατμοσφαιρικού CO<sub>2</sub> τείνει να κάνει τις πηγές φωτοσύνθεσης πιο αποτελεσματικές ανά μονάδα περιοχής φυλλωσιάς. Συνεπώς, για να διατηρήσουμε μια ισορροπία ανάμεσα στις πηγές φωτοσύνθεσης και στους αναπαραγωγικούς πόρους χρειάζεται επιλογή φυτών με πολύ μεγαλύτερους αναπαραγωγικούς πόρους.

Ο πολλαπλασιασμός για τη διατήρηση της κατάλληλης ισορροπίας θα είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε περιπτώσεις όπου οι υψηλές θερμοκρασίες συντελούν σε μεγαλύτερη καταστροφή στην αναπαραγωγική ανάπτυξη απ' ότι στην πηγή φωτοσύνθεσης.

Ο πολλαπλασιασμός για ανθεκτικότητα στη θερμότητα κατά τη διάρκεια της αναπαραγωγικής ανάπτυξης είναι αποτελεσματικός. Τα γονίδια για ανθεκτικότητα στη

θερμότητα επαυξάνουν τη δύναμη πόρων και το ΗΙ και υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορεί να επαυξήσουν την αντίδραση στο αυξημένο CO<sub>2</sub> στις βέλτιστες ή υψηλές θερμοκρασίες στις μη συγκεκριμένες καλλιέργειες. Για συγκεκριμένα δημητριακά όπως σιτάρι και ρύζι δεν γνωρίζουμε αν η αντίδραση στο αυξημένο CO<sub>2</sub> θα επηρεαστεί από την επιλογή του ΗΙ.

Η επιλογή για μεγαλύτερη δύναμη πόρου μπορεί έμμεσα να επαυξήσει την φωτοσυνθετική ικανότητα και δραστηριότητα μέσω της μείωσης της ανατροφοδοτικής επίδρασης που κανονίζει προς τα κάτω το φωτοσυνθετικό σύστημα. Η χρήση του αυξημένου CO<sub>2</sub> μπορεί επίσης να απαιτήσει επιλογή για να επαυξήσει εκείνη τα συστατικά του φωτοσυνθετικού συστήματος, τα οποία γίνονται περιοριστικά αν η αφομοίωση CO<sub>2</sub> ανά μονάδα περιοχής φύλλου των ειδών C<sub>3</sub> είναι να φτάσει υψηλότερα ποσοστά. Η επιλογή για πιο ανοικτά στόματα μπορεί να χρησιμεύσει εκτός από περιοχές με ξηρασία επειδή το αυξημένο CO<sub>2</sub> θα προκαλέσει επιμέρους στοματικό κλείσιμο.

Οι μέθοδοι έμμεσης επιλογής βασισμένες στην μέτρηση θερμοκρασίας φυλλωσιάς είναι πιο αποτελεσματικές από τις άμεσες επιλογές που βασίζονται στη μέτρηση της αγωγιμότητας του στόματος των φύλλων. Χρειάζονται επίσης τροποποιήσεις στα προγράμματα από πλευράς όπως ο πολλαπλασιασμός για αντίσταση στα ζιζάνια. Η ζημιά που προκαλείται από τα ζιζάνια και το μέγεθος της αντίστασης μπορεί να επηρεαστούν από την επίδραση του αυξημένου CO<sub>2</sub> στη σύνθεση του ιστού των φυτών (Janssens et al.,2000)

#### **4.3 Η παραγωγή και εφαρμογή διαγραμμάτων για την εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στη παραγωγικότητα των καλλιεργειών (RSD)**

Καινούργια 'όργανα' που ονομάζονται 'ολοκληρωτικά μοντέλα εκτίμησης' έχουν πρόσφατα αναπτυχθεί με σκοπό την απόκτηση μιας γενικής εικόνας της πιθανής κλιματικής αλλαγής και τις επιδράσεις της. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των μοντέλων είναι το διεπιστημονικό περιεχόμενο τους και το ζευγάρισμα θεμάτων επιστήμης και πολιτικής. Γίνεται τώρα μια προσπάθεια για ένα τέτοιο μοντέλο στο πρόγραμμα ICLIPS (ολοκληρωμένη εκτίμηση της Στρατηγικής για την Προστασία του Περιβάλλοντος. Ο κύριος σκοπός του ICLIPS είναι να αναπτύξει ένα πρόγραμμα

βασισμένο σε στοιχεία και προσομοιώσεις που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση στρατηγικής για την καταπράυνση της κλιματικής αλλαγής. Το πρόγραμμα θα καλύψει πολλούς διαφορετικούς κρίκους στην αλυσίδα των διαδικασιών κλιματικής αλλαγής από τις εκπομπές μέχρι την επίδραση. Για να γίνει αυτή η αλυσίδα υπολογισμών στο πρόγραμμα ICLIPS χρειάζονται απλές μέθοδοι που να συνδέουν τη κλιματική αλλαγή με την κλιματική επίδραση.

Τα διαγράμματα RSD είναι κατάλληλα για την εκτίμηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες. Αναπαριστούν την αντίδραση διάφορων καλλιεργειών σε μέτριες μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης. Λαμβάνουν υπόψη την χωρική και εποχιακή μεταβλητότητα του κλίματος και τις διαφορές στην αντίδραση των καλλιεργειών. Δείχνουν την ευαισθησία πιθανών κατανομών καλλιέργειας ( $\text{km}^2$ ) και πιθανή παραγωγή (τόνοι) στην αλλαγή θερμοκρασίας αέρα και βροχόπτωσης. Θεωρούμε ότι το επίπεδο χώρας είναι η σχετική κλίμακα από την άποψη περιβαλλοντικής πολιτικής επειδή οι χώρες παρακινούνται από την απειλή ή αποφυγή κλιματικών επιδράσεων στην περιοχή τους για να πάρουν μέτρα για τον έλεγχο των εκπομπών. Ένα από τα πλεονεκτήματα του RSD είναι ότι συνοψίζει ξεκάθαρα τις πληροφορίες για την ευαισθησία της συνολικής πιθανής παραγωγής στην κλιματική αλλαγή σε μια συγκεκριμένη χώρα σ' ένα τρισδιάστατο διάγραμμα. Εφ' όσον τα διαγράμματα είναι διαφορετικά για κάθε χώρα, μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση της σχετικής ευαισθησίας διάφορων χωρών στη κλιματική αλλαγή.

Τα RSD για τη Γερμανία και το Κονγκό δείχνουν ότι χώρες και είδη καλλιέργειας παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά ως προς την ευαισθησία τους στις αλλαγές του κλίματος. Συγκρίνοντας τα RSD καλλιεργειών δείξαμε ότι η παραγωγή κάποιων καλλιεργειών στη Γερμανία θα αυξηθεί ενώ άλλες θα μειωθούν κάτω από συνθήκες αύξησης της θερμοκρασίας.

Για το Κονγκό η αύξηση της θερμοκρασίας συνεπάγεται μείωση σ' όλες τις καλλιέργειες ειδικά αν δεν υπάρξει αλλαγή στη βροχόπτωση. Επιπλέον, οι καλλιέργειες στο Κονγκό αντιδρούν περισσότερο στις αλλαγές βροχόπτωσης απ' ό,τι οι καλλιέργειες στη Γερμανία. Όταν εφαρμόσουμε το σενάριο τοπικών αλλαγών στην θερμοκρασία και βροχόπτωση είχαμε μεγάλη μείωση της πιθανής παραγωγής στη Γερμανία και μικρότερη μείωση στο Κονγκό. Αυτά τα αποτελέσματα βασίζονται στην

υπόθεση ότι το Κονγκό θα συνεχίσει να κάνει χρήση καλλιεργειών που απαιτούν λίγο νερό.

Θα είναι δύσκολο να αποφύγουμε τη μείωση αλλάζοντας είδη καλλιέργειας επειδή τα επίπεδα παραγωγής όλων των εναλλακτικών ειδών καλλιέργειας επίσης μειώνονται σ' όλο τα σενάρια αλλαγής κλίματος. Είναι δυνατόν να αυξήσουμε τη γενική παραγωγή με τη χρήση πολύ – καλλιεργειών εφ' όσον η εποχή ανάπτυξης παραταθεί. Αυτό, ωστόσο θα εξαρτηθεί από το αν η αύξηση της θερμοκρασίας συνοδεύεται από αύξηση βροχόπτωσης. Στη Γερμανία μια αλλαγή σε (υπό) τροπικές καλλιέργειες είναι δυνατή αν η θερμοκρασία αυξηθεί σημαντικά. Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μετριάσει την αρνητική επίδραση κλιματικής αλλαγής στις καλλιέργειες είναι η αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα. Το μέγεθος αυτής της επίδρασης θα εξαρτηθεί μερικώς από τις αλλαγές θερμοκρασίας σε σχέση με τις αλλαγές βροχόπτωσης εξ' αιτίας της εξουδετέρωσης αυτών των παραγόντων του καθαρού ποσοστού λίπανσης του CO<sub>2</sub>. Άλλος παράγοντας που μπορεί να γίνει σημαντικός για ορισμένες καλλιέργειες είναι η κατάσταση του εδάφους (Van Minnen et al., 2000).

Kaplan

- Changnon, S.A. and D., Winstanley, 2000. Long – term variations seasonal weather conditions important to corn production Illinois. Climatic change 47: 353-372. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA.
- Cubash U., R. Voss and U. Mikolajewicz, 2000. Precipitation: A parameter changing climate and modified by climate change. Climatic Change 46: 257-276.
- EAA, 2002.
- Hall A.E. and L.H. Ziska, 2000. Crop breeding strategies for the 21<sup>st</sup> century. Page: 418-419. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA.
- Janssens I., A., M. Mousseau and R. Ceulemans, 2000. Crop ecosystem responses to climatic change : Tree crops. Page: 247,249. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA. →
- Kandlikar M. and J., Risbey, 2000. Agricultural impacts of climate change: in adaptation is the answer, what is the question? Climatic change 45: 529-539.
- Lashof D.A., 2000. The use of global warming potentials in the Kyoto protocol. Climatic change 44: 423-425.
- Lawlor D.W., and R.A., C. Mitchell, 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: Wheat. Page: 57. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA.
- Maheras P., E. Xoplaki, and H. Kutiel, 1999. Wet and dry monthly anomalies across the Mediterranean basin and their relationship with circulation, 1860-1990. Theor. appl. climatol. 64: 189-199.
- Miglietta F., M. Bindi, F. Vaccari, A.H.C.M Schapendonk, justus Wolf and Ruth E. Butterfield, 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: root and tuberous crops. Page: 189-190, 196. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA.
- National Observatory of Athens, 2002a. Climatic changes in Mediterranean [On Line] available [http://www.meteo/nea.gr/climate/Executive%20Summary%20 Eng.PDF](http://www.meteo/nea.gr/climate/Executive%20Summary%20Eng.PDF). [28 November, 2002]. +
- Peet M.M. and D.W. Wolfe, 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: vegetable crop. Page: 236. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA.
- Reddy K. R., H.F. Hodges and B.A. Kimball, 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: cotton. Page: 161-162, 175-177, 182-183. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA.
- Reynard N.S., C. Prudhomme and S.M. Crooks, 2001. The flood characteristics of large u.k. rivers: potential effects of changing climate and land use. Climatic change 48: 343-359.

Sala J.Q., A. Gilolcina, A. Perez Cuevas, J. Olcina Cantos, A. Rico Amoros and E.Monton Chiva, 2000. Climatic warming in the Spanish mediterranean : natural trend or urban effect. Climatic change 46: 473-483.

Schneider S. H., 2002. Can we estimate the likelihood of climatic changes at 2100? Climatic change 52: 441-451.

Williams, A., D.J. Karoly and Nigel Tarrer, 2001. The sensotovity of Australian fire danger to climate change. Climatic change 49: 171-191.

Van M. Jelle G., Joseph Alcamo and W. Haupt, 2000. Deriving and applying response diagrams for evaluating climatic change impacts on crop production. Climatic change 46: 317-338.

Xoplaki E., P. Maheras and J. Luterbacher, 2001. Variability of climate in meridional Balkans during the periods 1675-1715 and 1780-1830 and ist impact on human life. Climatic change 48:581-615.

Young K.J. and P. Long, 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: maize and sorghum. Page 65. In: K.R. Reddy and Global Crop Productivity CAB International Publishing, USA.

Sorgho

to depend on.