



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΤΗΣ ΜΕΣΟΓΕΙΟΥ
ΚΑΙ ΟΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ»

«ΖΩΣΙΜΙΔΟΥ ΝΤΙΑΝΑ»

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ:

ΚΩΣΤΑΝΤΙΑ ΤΟΛΙΚΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2010

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συγγραφή μιας διπλωματικής εργασίας είναι ο επίλογος μίας δύσκολης αλλά συνάμα εποικοδομητικής περιόδου μέσα στην οποία πραγματοποιήθηκε με επιτυχία η παρακολούθηση των σπουδών. Πρόκειται για μία επίπονη διανοητική εργασία, η οποία για να φτάσει στο πέρας της είναι απαραίτητη η συνδρομή κάποιων ανθρώπων που παρέχουν είτε ψυχολογική υποκίνηση, είτε συνδράμουν με τις γνώσεις τους και το ερευνητικό τους έργο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την κα. Κωσταντία Τολίκα, λέκτορα του τμήματος γεωλογίας, για την καθοδήγησή της καθώς επίσης για την συνεχή επίβλεψη της πορείας μου.

Ευχαριστώ επίσης τους γονείς μου που με στήριζαν με κάθε τρόπο σ' αυτά τα χρόνια των σπουδών μου και συντέλεσαν στην πραγματοποίηση των στόχων μου.

21 Απριλίου 2010

Ζωσιμίδου Ντιάνα

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή.....	4
1.1	Η Μεσόγειος Θάλασσα.....	4
1.2	Γεωγραφική θέση της Μεσογείου.....	5
1.3	Πολιτική Γεωγραφία.....	5
1.4	Κατάταξη κλιμάτων.....	5
1.5	Οι μεγάλες κλιματικές κατατάξεις.....	6
1.6	Κύριοι τύποι κλιμάτων.....	6
1.7	Κλίμα.....	7
1.8	Κλίματα ξηρού θέρους, υποτροπικά ή Μεσογειακά.....	7
2	Τα θαλάσσια ρεύματα της Μεσογείου.....	10
3	Η Μεσόγειος και η κλιματική αλλαγή.....	12
3.1	Η γεωγραφική και η κλιματική σκοπιά.....	12
3.2	Θαλάσσια και παράκτια περιβάλλοντα.....	12
3.3	Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι κλιματικές αλλαγές.....	13
3.4	Μελλοντικές αλλαγές και στρατηγικές.....	13
4	Το μελλοντικό κλίμα της λεκάνης της Μεσογείου με ιδιαίτερη έμφαση στις αλλαγές του νετού.....	16
4.1	Ο παγκόσμιος μέσος όρος θερμοκρασίας αλλάζει.....	16
4.1.1	Κλιματικές αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία 100 χρόνια.....	16
4.1.2	Ο παγκόσμιος μέσος όρος θερμοκρασίας αλλάζει στο μέλλον.....	20
4.2	Τοπικές αλλαγές.....	23
4.2.1	Κλιματικά σενάρια.....	23
4.2.2	Περιορισμοί GCM.....	23
4.3	Το κλίμα της Μεσογείου σήμερα.....	25
4.4	GCM προσομοιώσεις για τη λεκάνη της Μεσογείου.....	28

5	Ανταπόκριση της στάθμης της θάλασσας στην κλιματική αλλαγή και η τεκτονική στη Μεσόγειο.....	30
5.1	Τεκτονική και κλιματικές αλλαγές στο επίπεδο της θάλασσας.....	30
5.2	Η στάθμη της θάλασσας στα τέλη του Τεταρτογενούς.....	31
5.3	Η στάθμη της θάλασσας τα τελευταία 100 χρόνια.....	31
5.4	Παγκόσμια άνοδος της στάθμης της θάλασσας μέχρι το 2025.....	34
5.5	Η κίνηση της γης στη Μεσόγειο.....	36
5.6	Μελλοντικές μελέτες.....	37
6	Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην υποβάθμιση του εδάφους της Μεσογείου.....	38
6.1	Η ευαισθησία και η τρωτότητα των εδαφών της Μεσογείου στις κλιματικές αλλαγές.....	38
6.1.1	Εισαγωγικά.....	38
6.1.2	Διαδικασίες ευαίσθητες στην κλιματική αλλαγή.....	39
6.2	Υποβάθμιση και διάβρωση εδάφους και αλλαγές στα κανάλια των ποταμών.....	49
6.2.1	Η διαβρωσιμότητα των βροχοπτώσεων και της απορροής.....	50
6.2.2	Η διαβρωσιμότητα του εδάφους.....	50
6.2.3	Η διάβρωση του εδάφους.....	52
6.2.4	Ιζηματογενείς αποθέσεις.....	56
6.2.5	Αλμυρότητα και ποιότητα νερού.....	57
7	Συνέπειες της μελλοντικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες πεδιάδες της Μεσογείου.....	59
7.1	Εισαγωγικά.....	59
7.2	Το περιβάλλον, η εκμετάλλευση της γης και η συμπεριφορά της ακτογραμμής.....	62
7.2.1	Το περιβάλλον των παράκτιων πεδιάδων.....	62
7.2.2	Η εκμετάλλευση της γης στην παράκτια ζώνη.....	64
7.2.3	Η συμπεριφορά της ακτογραμμής.....	71
7.3	Οι επιπτώσεις της μελλοντικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας....	73

1. Εισαγωγή

1.1 Η Μεσόγειος Θάλασσα

Ως Μεσόγειος είναι γνωστή από τα αρχαιότατα χρόνια μεγάλη κλειστή θάλασσα, που βρίσκεται ανάμεσα σε τρεις ηπείρους την Ευρώπη, Ασία και την Αφρική. Στα δυτικά συνδέεται με τον Ατλαντικό Ωκεανό, μέσω του πορθμού του Γιβραλτάρ και στα ανατολικά με την Ερυθρά θάλασσα μέσω της διώρυγας του Σουέζ. Μαζί με την Προποντίδα, τον Εύξεινο Πόντο και την Αζοφική θάλασσα που κατά την αντίληψη των Γάλλων γεωγράφων θεωρούνται εσωτερικά μέρη, παραρτήματά της, που όμως κατά την αντίληψη των Άγγλων γεωγράφων, θα πρέπει να θεωρούνται ως άσχετα με τη Μεσόγειο, άποψη που και έχει επικρατήσει, ως πρακτικότερη επί της περιγραφής, έχει έκταση 2.966.000km². ή περίπου 800.000 τ. μίλια. Το μέγιστο μήκος, από Γιβραλτάρ μέχρι των ακτών Συρίας, είναι 2.100 ν. μίλια ή 3.860km., το δε μέγιστο πλάτος 1.800km. ενώ το μέγιστο βάθος είναι 5.120 μ. σε απόσταση 62 μιλίων Νοτιοδυτικά από το ακρωτήριο Ταίναρο. Το μέσο πλάτος είναι 600km. και το μέσο βάθος 1.500 μ. Γενικά η Μεσόγειος Θάλασσα είναι η μεγαλύτερη κλειστή θάλασσα της Γης και μοιάζει με λίμνη. http://el.wikipedia.org/wiki/Μεσόγειος_Θάλασσα



1.2 Γεωγραφική Θέση της Μεσογείου

Η γεωγραφική θέση της Μεσογείου στον παγκόσμιο χάρτη της Γης προσδιορίζεται από τους γεωγραφικούς παραλλήλους και μεσημβρινούς που την πλαισιώνουν, δηλαδή από το γεωγραφικό πλάτος $30^{\circ} 15' \text{ B.}$ έως $45^{\circ} 50' \text{ B.}$ και από το γεωγραφικό μήκος $05^{\circ} 21' \text{ A.}$ μέχρι $36^{\circ} 10' \text{ A.}$

Η Μεσόγειος θάλασσα βρίσκεται λοιπόν στο Βόρειο και Ανατολικό ημισφαίριο της Γης.

1.3 Πολιτική Γεωγραφία

Η Μεσόγειος θάλασσα βρέχει την Ασία την Ευρώπη και την Αφρική.

Στην Ευρώπη βρέχει τις εξής χώρες: Ισπανία, Γαλλία, Μονακό, Ιταλία, Μάλτα, Σλοβενία, Κροατία, Βοσνία – Ερζεγοβίνη, Μαυροβούνιο, Αλβανία, Ελλάδα, Κύπρος.

Στη Μαύρη θάλασσα: Βουλγαρία, Ρουμανία, Ουκρανία, Ρωσία, Γεωργία.

Στην Ασία βρέχει τις εξής χώρες: Τουρκία, Συρία, Λίβανος, Ισραήλ, Παλαιστίνη.

Στην Αφρική βρέχει τις εξής χώρες: Μαρόκο, Αλγερία, Τυνησία, Λιβύη, Αίγυπτος.

1.4 Κατάταξη των Κλιμάτων

- Η κατάταξη των κλιμάτων είναι πολύπλοκο και δύσκολο θέμα.
- Πλανητικές κατατάξεις για γενικές εφαρμογές υπάρχουν σήμερα αρκετές. Χωρίς να υπάρχει καμιά απόλυτα ικανοποιητική κατάταξη.
- Οι κλιματικές κατατάξεις δεν χαρακτηρίζονται από απόλυτη αντικειμενικότητα, αφού ο κάθε ερευνητής δίνει διαφορετική βαρύτητα στα διάφορα κλιματικά στοιχεία.
- Επειδή το κλίμα εκφράζει το αθροιστικό αποτέλεσμα της σύνθεσης όλων των μετεωρολογικών στοιχείων, η σύνθεση αυτή θα πρέπει να βρίσκεται σε μια ισορροπία σε δεδομένη κλίμακα χρόνου, η οποία συνήθως καλύπτει περίοδο 30 ετών.
- Η κλιματική ταξινόμηση προσπαθεί να υποδιαιρέσει μια μεγάλη περιοχή σε μικρότερες ζώνες, με μια κατά το δυνατόν ομοιογενή σειρά κλιματικών συνθηκών.
- Όσο μεγαλύτερη ομοιομορφία παρουσιάζουν τα κλιματικά στοιχεία σε μια ζώνη, τόσο πιο σωστή θεωρείται η ταξινόμηση.

- Τα όρια ανάμεσα σε δύο γειτονικές ζώνες δεν αποτελούν οριακές ιδανικές γραμμές, αλλά στενές μεταβατικές ζώνες, με βαθμιαία μετάβαση από τη μια ζώνη στην άλλη.
- Τα κλιματικά όρια δεν είναι σταθερά από χρόνο σε χρόνο και παλινδρομούν γύρω από μια μέση θέση.
- Η ερευνητική ομάδα η οποία θα επιχειρήσει μια κλιματική ταξινόμηση θα πρέπει να έχει σημαντικές γνώσεις μετεωρολογίας, κλιματολογίας, γεωγραφίας αλλά και της οικολογίας και της αστρονομίας.
- Υπάρχουν διάφορες τεχνικές και μέθοδοι για να γίνει μια ταξινόμηση.

1.5 Οι μεγάλες Κλιματικές Κατατάξεις

- Αυτές έχουν σαν σκοπό να δώσουν μια γενική εποπτική εικόνα των κλιματικών τύπων του πλανήτη.
- Ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιούν διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:
- Η πρώτη κατηγορία στηρίζεται στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία ή την κατανομή των αέριων μαζών(Floen, Alisson κλπ).
- Η δεύτερη χρησιμοποιεί το συνδυασμό των κλιματικών παραμέτρων(Korpen, Thornthwaite, De Martonne, κλπ).

1.6 Κύριοι τύποι Κλιμάτων

- Πολικά κλίματα
- Ορεινά κλίματα
- Κλίματα Τούνδρας
- Κλίματα Τάιγκας
- Υγρά ηπειρωτικά κλίματα
- Θαλάσσια ή ωκεάνια κλίματα
- Κλίματα ξηρού θέρους, υποτροπικά ή Μεσογειακά
- Ερημικά ή Στεππώδη κλίματα
- Υγρά-ξηρά τροπικά κλίματα
- Μουσωνικά τροπικά κλίματα
- Βροχερά τροπικά κλίματα

1.7 Κλίμα

Λόγω της θέσης της και του ότι είναι μία κλειστή θάλασσα με μόνο δύο εξόδους στις ακτές της επικρατεί γενικά ήπιο κλίμα, το οποίο ονομάζεται **μεσογειακό**.

1.8 Κλίματα ξηρού θέρους, υποτροπικά ή Μεσογειακά

Πρόκειται για κλίματα μεταβατικά μεταξύ της εύκρατης και τροπικής ζώνης, αλλά των οποίων η έκταση είναι περιορισμένη στα δυτικά ή τα ΝΔ των ηπείρων και συγκεκριμένα: στη λεκάνη της Μεσογείου, στην κεντρική Καλιφόρνια, στην κεντρική Χιλή, στο Ν. άκρο της Αφρικής, στη ΝΔ Αυστραλία και σε ορισμένα μέρη της Ν. Αυστραλίας. Το κύριο χαρακτηριστικό του Μεσογειακού τύπου κλίματος είναι το ξηρό και θερμό θέρος και ο ήπιος βροχερός χειμώνας. Ο χειμώνας πολλές φορές μπορεί να είναι δριμύς, καθ' ολοκληρίαν ή κατά περιόδους, κυρίως στις μεταβατικές κλιματικά περιοχές που βρίσκονται προς τα βόρεια όπου σημειώνονται συχνά εισβολές ψυχρών αέριων μαζών. Το θερινό ξηρό κλίμα δημιουργείται από τη μετατόπιση της υποτροπικής αντικυκλωνικής ράχης προς τα βόρεια, που καλύπτει, έτσι καθ' ύψος, ολόκληρη τη Μεσόγειο. Οι αέριες μάζες στην επιφάνεια, κυρίως Ρc(ηπειρωτικές πολικές), Μ(θαλάσσιες), Ρm(θαλάσσιες πολικές) και Τc(ηπειρωτικές τροπικές), Τ(τροπικές) μπορούν να είναι ασταθείς κοντά στην επιφάνεια αλλά καθ' ύψος η καθίζηση των αέριων μαζών δημιουργεί μεγάλη ευστάθεια, πάνω απ' τη Μεσόγειο, αποξηραίνει την ατμόσφαιρα και συντελεί στην αύξηση των θερμοκρασιών στα κατώτερα στρώματα. Η ανατολική Μεσόγειος, την ίδια περίοδο, καλύπτεται στα κατώτερα στρώματα από το θερμικό χαμηλό της ΝΑ Ασίας που εκτείνεται προς τα δυτικά. Κατά το χειμώνα, λόγω της μετατόπισης των ζωνών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας προς τα νότια, οι περιοχές αυτές υφίστανται την επίδραση του πολικού μετώπου. Η υφειακή δράση είναι έντονη και κυριαρχούν οι Ρm(θαλάσσιες πολικές) και Ρc(ηπειρωτικές πολικές) ψυχρές αέριες μάζες. Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι ο καιρός και το κλίμα των περιοχών της Μεσογείου είναι πολύ περισσότερο το αποτέλεσμα της μεσημβρινής κυκλοφορίας τόσο στην επιφάνεια όσο και καθ' ύψος, και λιγότερο της δυτικής ζωνικής κυκλοφορίας. Όπως είναι ευνόητο, οι παραλιακές περιοχές και τα νησιά έχουν δροσερότερο θέρος από τα ενδότερα, αφενός λόγω της θαλάσσιας αύρας αφετέρου δε λόγω των ανέμων βορείου τομέα που πνέουν σε μερικές περιοχές (Μιστράλ, Ετησίες κλπ).

Η άνοιξη είναι κλιματικά ασταθής μεταβατική περίοδος με συχνή εναλλαγή σειράς ημερών με χαρακτηριστικά χειμώνα και ημερών με χαρακτηριστικά θέρους. Είναι το αποτέλεσμα της μεσημβρινής κυκλοφορίας που τη άνοιξη βρίσκεται πραγματικά σε έξαρση σε όλες τις περιοχές με μεσογειακό τύπο κλίματος. Το φθινόπωρο είναι εποχή μικρής χρονικής διάρκειας.

Οι θερμοκρασιακές συνθήκες μεταβάλλονται από τα παράλια προς το εσωτερικό των περιοχών. Τα παράλια παρουσιάζουν μικρότερες θερινές και μεγαλύτερες χειμερινές θερμοκρασίες και συνεπώς μικρότερο ετήσιο θερμομετρικό εύρος από τα αντίστοιχα στοιχεία των εσωτερικών περιοχών. Τα θερινά ημερήσια μέγιστα που μπορούν να φθάσουν στους 42°C ή 45°C θυμίζουν ερημικές συνθήκες, ενώ τα χειμερινά νυκτερινά ελάχιστα, που είναι δυνατόν να κατέλθουν μέχρι -20°C ή -25°C, θυμίζουν καθαρά ηπειρωτικές περιοχές μεγάλων γεωγραφικών πλατών. Το θέρος είναι μια συνεχής σειρά ζεστών ηλιόλουστων ημερών και αυτός ο χαρακτήρας αυξάνει σε διάρκεια όσο το γεωγραφικό πλάτος ελαττώνεται.

Το συνολικό ετήσιο ύψος βροχής είναι μέτριο και συνήθως κυμαίνεται από 350mm μέχρι 1000mm. Υπάρχουν όμως σταθμοί που δέχονται ετησίως λιγότερα από 200mm και άλλοι που το ετήσιο ύψος ξεπερνά τα 2000mm. Γενικά η βροχόπτωση ελαττώνεται απ' τα βόρεια προς τα νότια, και απ' τα παράλια προς το εσωτερικό. Οι προσήνεμες περιοχές δέχονται περισσότερες βροχοπτώσεις απ' ότι οι υπήνεμες. Έτσι η περιοχή του Kotor στις Δαλματικές ακτές της Γιουγκοσλαβίας είναι η βροχερότερη περιοχή της Ευρώπης με ετήσιο ύψος ίσο με 5000mm, ενώ η κοιλάδα Moulouya του Μαρόκο είναι η ξηρότερη Μεσογειακή περιοχή με τα 200mm που δέχεται ετησίως.

Στην Ελλάδα που κατατάσσεται στο Μεσογειακό τύπο κλίματος, η βροχόπτωση σε ορισμένες ορεινές περιοχές ξεπερνά τα 2000mm, ενώ στις υπήνεμες περιοχές και στις Κυκλάδες μπορεί να είναι μικρότερη από 350mm ετησίως. Η θερινή βροχόπτωση είναι ελάχιστη, κυρίως στις νότιες περιοχές. Στις ηπειρωτικές βόρειες περιοχές, οι θερινές βροχοπτώσεις είναι περισσότερες και οφείλονται στις καταιγίδες που αναπτύσσονται όταν υπάρχει αστάθεια στην ατμόσφαιρα (ύπαρξη ψυχρού αέρα καθ' ύψος).

Οι χειμερινές βροχοπτώσεις τροφοδοτούνται με υδρατμούς από τις Pm(θαλάσσιες πολικές), κατά κύριο λόγο, και Tm(θαλάσσιες τροπικές) κατά δεύτερο λόγο, αέριες



μάζες με το μηχανισμό των υφέσεων που κινούνται κυρίως σε μεσημβρινές ή υπομεσημβρινές τροχιές.

Έχουν προταθεί πολλές υποδιαιρέσεις του Μεσογειακού κλίματος. Η πιο ολοκληρωμένη φαίνεται να είναι η κατάταξη του de Martonne.

1. Ωκεάνιο ή Πορτογαλικό: Χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες, δροσερά καλοκαίρια, μικρό σχετικά θερμοκρασιακό εύρος και θερινή ξηρασία η οποία γίνεται εντονότερη από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Το μέγιστο της βροχόπτωσης σημειώνεται στο τέλος του φθινοπώρου ή στις αρχές του χειμώνα. Επικρατεί στις περιοχές της Πορτογαλίας, Μαρόκου, Αλγερίας, Τύνιδας και στα νησιά του Ατλαντικού ωκεανού. Προς αυτή την κλιματική υποδιαίρεση τείνουν ορισμένες ακτές της Ισπανίας, τα δυτικά τμήματα της Ιταλικής χερσονήσου και το Ιόνιο.
2. Ελληνικό ή Ηπειρωτικό: Χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερα ημερήσια και ετήσια θερμομετρικά εύρη και μεγαλύτερη θερινή ξηρασία σε σχέση με το ωκεάνιο. Το χειμερινό μέγιστο βροχόπτωσης σημειώνεται το δίμηνο Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου. Επικρατεί στο εσωτερικό της Ελληνικής χερσονήσου, στις ανατολικές ακτές της Ελλάδας, στις δυτικές της Μ. Ασίας και στη Θράκη.
3. Συριακό: Είναι μεταβατικό κλίμα μεταξύ Ελληνικού Μεσογειακού και ερημικού. Χαρακτηρίζεται από μικρή σχετικά χειμερινή βροχόπτωση και παρατεταμένη θερινή ξηρασία και από μεγάλα ημερήσια και ετήσια θερμομετρικά εύρη. Επικρατεί στη Συρία, στο Λίβανο, στην Αλγερία και στο εσωτερικό της Μ. Ασίας.
4. Ετησίων ανέμων: Οι ετησίες άνεμοι που πνέουν κυρίως κατά μήκους του Αιγαίου, κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου διαμορφώνουν ένα χαρακτηριστικό τύπο Μεσογειακού κλίματος. Αυτός ο τύπος χαρακτηρίζεται από ήπιους χειμώνες, δροσερά σχετικά καλοκαίρια, χαμηλές μέχρι μέτριες βροχοπτώσεις, απόλυτη και μεγάλης διάρκειας θερινή ξηρασία και μεγάλη συχνότητα ισχυρών ανέμων. Χρήστος Ι. Μπαλαφούτης, Παναγιώτης Χ. Μαχαίρας, Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας, Εκδόσεις Γιαχούδη, 1985

2. Τα θαλάσσια ρεύματα της Μεσογείου

Ως κύρια αιτία δημιουργίας των θαλάσσιων ρευμάτων που παρατηρούνται στη λεκάνη της Μεσογείου, θεωρείται η μεγάλη εξάτμιση που συμβαίνει στην επιφάνειά της συγκρινόμενη με τα νερά που εισρέουν σ' αυτήν με τις βροχοπτώσεις και τη μεταφορά νερού από τους ποταμούς. Αυτό το γεγονός έχει σαν αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης και την αύξηση της πυκνότητας του νερού. Έτσι μεταξύ των υδάτων του Ατλαντικού και της Μεσογείου υπάρχει μια μόνιμη διαφορά στάθμης και πυκνότητας. Αποτέλεσμα αυτών των διαφορών είναι η συνεχής είσοδος μάζας νερού από την περιοχή του Ατλαντικού στη Μεσόγειο, μέσα από το στενό του Γιβραλτάρ.

Το επιφανειακό θαλάσσιο ρεύμα, που δημιουργείται μ' αυτόν τον τρόπο, κινείται ανατολικά ακολουθώντας τις δυτικές βόρειο-αφρικανικές ακτές και όχι τις νότιο-ευρωπαϊκές, εξαιτίας της παρουσίας της δύναμης Coriolis. Το κύριο τμήμα του ρεύματος αυτού κινείται προς τα ανατολικά, ενώ το υπόλοιπο εκτρέπεται προς το βορρά, σχηματίζοντας έναν δακτύλιο γύρω απ' τα νησιά Βαlearίδες και έναν δακτύλιο μεταξύ Ιταλίας και Σαρδηνίας. Τμήμα του δακτυλίου αυτού ενώνεται με το δακτύλιο των Βαlearίδων νησιών, μ' έναν κλάδο που περνά πάνω απ' την Κορσική και μ' έναν άλλο κλάδο που περνά νότια της Σαρδηνίας. Η φορά της κίνησης των ρευμάτων αυτών είναι αντίθετη των δεικτών του ρολογιού.

Το κύριο ρεύμα συνεχίζει την κίνηση ανατολικά, ακολουθώντας τις ακτές της Λιβύης, της Αιγύπτου, του Ισραήλ, του Λιβάνου και της Συρίας. Στη συνέχεια διέρχεται μεταξύ Κύπρου και Τουρκίας κινούμενο προς τα δυτικά και ακολούθως βόρεια στις ακτές της Τουρκίας φθάνοντας τελικά μέχρι την είσοδο των Δαρδανελίων ως επιφανειακό ρεύμα. Στην είσοδο των Δαρδανελίων συναντά το εξερχόμενο από τον Εύξεινο Πόντο, θαλάσσιο ρεύμα, μέσω των στενών του Βοσπόρου και Δαρδανελίων, μικρότερης πυκνότητας. Αποτέλεσμα αυτού είναι το επιφανειακό ρεύμα που παρέπλευσε τις δυτικές ακτές της Τουρκίας, να βυθισθεί και να αναπλεύσει τα στενά των Δαρδανελίων και του Βοσπόρου, σαν ρεύμα βάθους, φθάνοντας έτσι στον Εύξεινο Πόντο, συμβάλλοντας στο ισοζύγιο των νερών του Ευξείνου Πόντου.

Το επιφανειακό ρεύμα που δημιουργείται στην έξοδο των Δαρδανελλίων, απ' τα πλεονάζοντα νερά του Ευξείνου Πόντου, κινείται προς τα δυτικά, ακολουθώντας τις ακτές της Θράκης και της Μακεδονίας. Στη συνέχεια το ρεύμα αυτό στρέφεται προς νότο, στις ακτές της Θεσσαλίας και της Στερεάς Ελλάδας, φθάνοντας μέχρι τις Κυκλάδες όπου και διχάζεται. Το ένα τμήμα του κινείται προς τα ανατολικά και ενώνεται με το επιφανειακό ρεύμα που παραπλέει τις δυτικές ακτές της Τουρκίας. Το άλλο τμήμα κινείται νοτιότερα και παραπλέοντας την Πελοπόννησο εισέρχεται στην περιοχή του Ιονίου πελάγους κατά μήκος των ακτών της δυτικής Ελλάδας. Στα στενά του Οτράντο διχάζεται και το ένα τμήμα του συμβάλλει στη δημιουργία του ρεύματος της Αδριατικής, ενώ το άλλο, παραλαμβάνοντας και τον κλάδο του ρεύματος που παραπλέει τις ανατολικές ακτές της Ιταλίας, κινούμενο δυτικά, συμβάλλει δυτικά της Σικελίας, με τον δακτύλιο που δημιουργείται μεταξύ της Ιταλίας και της Σαρδηνίας.

Από την ανατολική Μεσόγειο ξεκινά ένα ρεύμα βάθους, με τα νερά μεγαλύτερης πυκνότητας, κινούμενο προς τα δυτικά, δημιουργώντας έναν κλειστό δακτύλιο στον χώρο μεταξύ Ιταλίας και Σαρδηνίας και έναν δακτύλιο μεταξύ Σαρδηνίας και Βαλεαρίδων νησιών. Στη συνέχεια, το ρεύμα αυτό παραπλέοντας τις ανατολικές ακτές της Ισπανίας εξέρχεται στον Ατλαντικό απ' το στενό του Γιβραλτάρ.

3. Η Μεσόγειος και η κλιματική αλλαγή

3.1 Η γεωγραφική και η κλιματική σκοπιά

Η Μεσόγειος Θάλασσα καλύπτει έκταση περίπου 2.5 εκατομμύρια km^2 , με μέσο βάθος γύρω στο 1.5km. Το μήκος των ακτών της ανέρχεται στα 46.000km, εκ των οποίων τα 19.000km ανήκουν σε ακτές νησιών. Η παράκτια περιοχή καλύπτει στο σύνολό της 1.5 εκατομμύρια km^2 , δηλαδή το 17% της έκτασης των χωρών που βρέχονται από αυτήν: Ισπανία, Γαλλία, Μονακό, Ιταλία, Γιουγκοσλαβία, Αλβανία, Ελλάδα, Τουρκία, Κύπρος, Συρία, Λίβανος, Ισραήλ, Αίγυπτος, Λιβύη, Μάλτα, Τυνησία, Αλγερία και Μαρόκο. Το μήκος των ακτών κυμαίνεται για την κάθε χώρα ξεχωριστά από 15.000km (Ελλάδα) έως 5km (Μονακό). Τα 2/3 του συνολικού μήκους των ακτών της Μεσογείου ανήκουν μόλις σε τρεις χώρες: Ελλάδα, Ιταλία και Γιουγκοσλαβία.

Κλιματικά, η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από γενικά υψηλές θερμοκρασίες, βροχερούς χειμώνες, ξηρά καλοκαίρια και ποικιλία μικροκλιμάτων που οφείλονται σε τοπικούς παράγοντες. Τα βόρεια τμήματά της είναι σχετικά εύκρατα και υγρά ενώ τα νότια είναι ζεστά και ξηρά. Υπάρχει έντονη αντίθεση βροχοπτώσεων χειμώνα-καλοκαιριού. Ο Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος είναι θερμοί και ξηροί ενώ αντίθετα ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από κυκλωνικές διαταραχές και συνακόλουθες βροχοπτώσεις. Ο νετός αν και συνδέεται μ' αυτές τις κυκλωνικές διαταραχές, επίσης επηρεάζεται από τοπικούς ορογραφικούς παράγοντες. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

3.2 Θαλάσσια και παράκτια περιβάλλοντα

Εξαιτίας των εποχιακών βροχοπτώσεων, υψηλών ρυθμών εξάτμισης και χαμηλής απορροής των σχετικά μικρών ποταμών, η Μεσόγειος έχει ελλιπή υδρολογική ισορροπία η οποία έχει επηρεαστεί ακόμα περισσότερο με τα φράγματα στον ποταμό Νείλο και σε άλλους ποταμούς. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω, τα νερά του Ατλαντικού που εισέρχονται στη Μεσόγειο από τα στενά του Γιβραλτάρ, εξέρχονται πιο αλμυρά (γύρω στο 10%) ως νερά βάθους. Αυτή η κυκλοφορία σε συνδυασμό με

κατασκευών. Όμοια, λαμβάνοντας υπόψη τις αλλαγές στη θερμοκρασία του αέρα, στις κατακρημνίσεις/εξάτμιση, ο αντίκτυπος στα βίο-συστήματα, όπως η γεωργία, μπορεί να υπολογιστεί. Αυτό που είναι δύσκολο να υπολογιστεί είναι ο αντίκτυπος αυτών των φυσικών και βιολογικών αλλαγών στο μέλλον του κοινωνικό-οικονομικού πλαισίου των απειλούμενων πεδιάδων.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, ωστόσο, άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες θα έχουν ίδιο ή και μεγαλύτερο αντίκτυπο. Εξαιτίας της ταχείας αύξησης του πληθυσμού και της μετανάστευσης στις αστικές περιοχές, οι νότιες χώρες θα αντιμετωπίσουν μεγαλύτερα οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά και πολιτικά προβλήματα τα επόμενα χρόνια ανεξάρτητα από την κλιματική αλλαγή. Τα προβλήματα που θα δημιουργηθούν από τις ανάγκες του συνεχώς αυξανόμενου πληθυσμού θα είναι πολύ μεγαλύτερα από τα προβλήματα εξαιτίας του θερμότερου κλίματος και της αλλαγής των μοτίβων των κατακρημνίσεων τα οποία με τη σειρά τους θα μειώσουν τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και θα αυξήσουν τα προβλήματα έλλειψης νερού. Σε αντίθεση η κλιματική αλλαγή στις βόρειες χώρες κατά μήκος των ακτών της Μεσογείου μπορεί να έχει μικρότερο αντίκτυπο απλά επειδή ο πληθυσμός, η οικονομία και το περιβάλλον πιθανόν να αντιμετωπίσουν λιγότερο επιβλαβή αλλαγή. Ίσως ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα για το βορρά να είναι η αυξημένη μετανάστευση από το νότο. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι δεν πρέπει να αναπτυχθούν στρατηγικές για να ελαχιστοποιήσουν τις κλιματικές αλλαγές. Προφανώς τέτοιες στρατηγικές απαιτούν καλύτερη γνώση τόσο του βαθμού των αλλαγών όσο και των οικονομικών/οικολογικών περιοχών οι οποίες θα επηρεαστούν από αυτές τις αλλαγές. Η πρώτη ανάγκη είναι να καταγραφούν πιο ολοκληρωμένα οι κλιματικές παράμετροι και τα τοπικά επίπεδα στάθμης της θάλασσας για να εξακριβωθεί η αλλαγή. Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην αναγνώριση και στην πρόσβαση δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση των επιδράσεων από τις κλιματικές αλλαγές. Θα πρέπει να τονιστεί η αξία των μακροπρόθεσμων δεδομένων, ιδιαίτερα όταν κάποιες από τις δεδομένες αλλαγές (π.χ. η στάθμη της θάλασσας) απαιτούν 20 με 30 χρόνια συνεχόμενων δεδομένων για να καθορίσουν τη γενική κατεύθυνση της αλλαγής. Τελικά, αυτά τα δεδομένα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη περισσότερο ρεαλιστικών προγνωστικών μοντέλων που να έχουν σχέση τόσο με την κλιματική αλλαγή όσο και με την ανάλογη άνοδο της στάθμης (όπως επίσης και ο αντίκτυπος που έχει στις παράκτιες περιοχές).

Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στη διατήρηση της καλλιεργήσιμης γης, του γλυκού νερού και των υδάτινων πόρων στη Μεσόγειο, καθώς είναι κρίσιμης σημασίας για την περιβαλλοντική σταθερότητα. Η διαχείριση του νερού είναι μείζονος σημασίας στην επερχόμενη αύξηση του πληθυσμού, κλιματικής αλλαγής και μετατόπισης των μοτίβων των κατακρημνίσεων. Η έλλειψη πόσιμου νερού μπορεί να εμποδίσει τη σωστή εκμετάλλευση της γης. Από την άλλη, η υπεράντληση του υπόγειου νερού μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική καθίζηση η οποία μπορεί να επιτείνει την τοπική άνοδο της στάθμης. Η καθίζηση της Βενετίας είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα.

Κάτι που πρέπει να γίνει άμεσα είναι η αναγνώριση των περιοχών που κινδυνεύουν περισσότερο από την άνοδο της στάθμης, έτσι η αντιμετώπιση σε μια επικείμενη αλλαγή της στάθμης μπορεί να γίνει προληπτικά. Ωστόσο οι προληπτικές/μηχανικές λύσεις όπως τα αναχώματα και οι τοίχοι δεν αντιπροσωπεύουν ρεαλιστική μακροπρόθεσμη λύση για την άνοδο της στάθμης που προβλέπεται για κάποιες περιπτώσεις. Μάλλον, η προσαρμογή, η εξέλιξη και η αλλαγή στην εκμετάλλευση γης στις περισσότερες των περιπτώσεων πιθανόν να αντιπροσωπεύει την πιο κατάλληλη ανταπόκριση στην άνοδο της στάθμης. Τέτοιες ενέργειες, για παράδειγμα, μπορεί να περιλαμβάνουν τη μετατόπιση της εκμεταλλεύσιμης γης, τη μείωση της αστικοποίησης κατά μήκος των ακτών, την αύξηση φυσικών αποθεμάτων κτλ. Σε τελική ανάλυση, η διαχείριση της παράκτιας ζώνης πρέπει να βασιστεί στην αποδοτικότητα των ακτών, όπου η αξία της απειλούμενης εκμεταλλεύσιμης γης λαμβάνεται υπόψη μέσα στο πλαίσιο των τοπικών αναγκών, τόσο στο παρόν όσο και στο μέλλον.

Θα πρέπει να δημιουργηθούν οργανωτικά και νόμιμα όργανα για να ελέγχουν την ανάπτυξη των ακτών, την ανάκτηση της γης και την εκμετάλλευση του υπόγειου νερού. Κάποια από αυτά τα όργανα πρέπει να είναι τοπικά, κάποια εθνικά ενώ άλλα παγκόσμια. Προφανώς θα πρέπει να αναλάβουν δράση το συντομότερο δυνατόν.

4. Το μελλοντικό κλίμα της λεκάνης της Μεσογείου με ιδιαίτερη έμφαση στις αλλαγές στον υετό

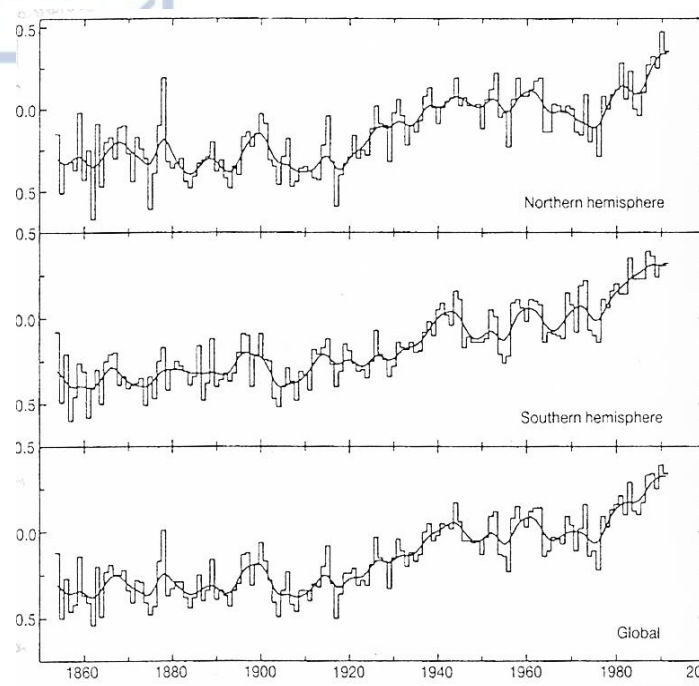
4.1 Ο παγκόσμιος μέσος όρος θερμοκρασίας αλλάζει

4.1.1 Κλιματικές αλλαγές που έχουν παρατηρηθεί τα τελευταία 100 χρόνια

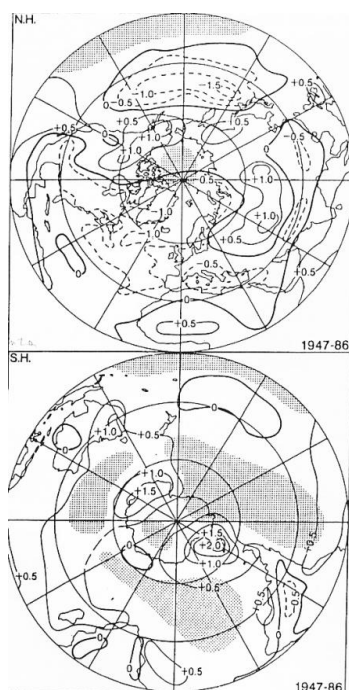
Παρατηρώντας τις κλιματικές αλλαγές των τελευταίων 100 ετών μπορούμε να έχουμε μια εικόνα για τις αλλαγές που θα συμβούν στο μέλλον. Τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε επίπεδο παγκόσμιων μέσων τιμών, οι κλιματικές συνθήκες παρουσίασαν αισθητές διακυμάνσεις από έτος σε έτος, από δεκαετία σε δεκαετία και σε μεγαλύτερες χρονικές περιόδους.

Η θερμοκρασία του αέρα στην επιφάνεια της γης έχει αυξηθεί παγκοσμίως γύρω στους 0.5°C από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Στη θερμοκρασία της κατώτερης τροπόσφαιρας έχουν συμβεί αντίστοιχες αλλαγές. Όπως διαφαίνεται στο σχήμα 1, ωστόσο, αυτή η θέρμανση δεν ήταν ούτε συνεχόμενη ούτε τμηματικά ομογενής, από περιοχή σε περιοχή παρατηρούνται διαφορετικές τάσεις. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών, ολόκληρη η λεκάνη της Μεσογείου, όπως και το μεγαλύτερο τμήμα του Βόρειου Ατλαντικού και της Δυτικής Ευρώπης, υπέστη αισθητή ψύξη (Σχήμα 2). Το γεγονός ότι η ψύξη έχει συμβεί παρά την προσδοκώμενη θέρμανση λόγω των θερμοκηπικών αερίων, αποδεικνύει το βαθμό στον οποίο οι επιδράσεις εξωτερικών δυνάμεων μπορούν να καλυφθούν από φυσικές κλιματικές διακυμάνσεις. Αυτό παρατηρείται έντονα σε τοπική κλίμακα. Παρόμοιες «ανωμαλίες» σε χρονικές περιόδους δεκαετιών ή και μεγαλύτερες, αναμένονται να συμβούν και στο μέλλον. Τις πρώτες δεκαετίες του επόμενου αιώνα ή και αργότερα, η αυξανόμενη δύναμη του φαινομένου του θερμοκηπίου θα αρχίσει να κυριαρχεί του φυσικού τοπικού θορύβου.

Ενώ η θερμοκρασία της Μεσογείου τα τελευταία 40 χρόνια κυμαίνονταν σε χαμηλά επίπεδα, τα μοτίβα θερμοκρασίας τα τελευταία 20 χρόνια είναι αρκετά διαφορετικά. Την περίοδο 1967-1986, η λεκάνη της Μεσογείου θερμάνθηκε στα δυτικά και ψύχθηκε στα ανατολικά. Προφανώς, όσον αφορά τις αλλαγές που θα συμβούν τις



Σχήμα 1



Σχήμα 2

επόμενες δεκαετίες, κανείς δεν μπορεί απλά να υποθέσει ότι οι αλλαγές σ' αυτή την περιοχή (ή οποιαδήποτε άλλη) θα ακολουθήσουν την τάση του παγκόσμιου μέσου. L. Jęftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

Αξιοσημείωτες αλλαγές στον υετό έχουν επίσης συμβεί αυτόν τον αιώνα σε όλες τις χωρικές κλίμακες. Είναι δύσκολο να προσδιοριστούν ποσοτικά οι αλλαγές στον υετό κατά μέσο όρο σε μεγάλες περιοχές, απ' ότι οι αλλαγές στη θερμοκρασία, λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων που παρουσιάζει ο υετός χωρικά, εξαιτίας των προβλημάτων ομογένειας των δεδομένων και επειδή δεν έχουμε πληροφορία για τις τάσεις πάνω από τους ωκεανούς. Τα δεδομένα ξηράς στο Βόρειο ημισφαίριο, δείχνουν μια ανοδική τάση απ' το 1920 μέχρι σήμερα για τα μέσα έως υψηλά γεωγραφικά πλάτη ($35-70^{\circ}\text{N}$) και σημείωσαν καθοδική τάση σε τροπικά και υποτροπικά γεωγραφικά πλάτη ($5-35^{\circ}\text{N}$). Σε μικρότερες χωρικές κλίμακες, ορισμένες περιοχές του πλανήτη υπέστησαν αλλαγές σε κλίμακα δεκαετιών. Η περιοχή Σαχέλ της Αφρικής αποτελεί ένα ιδιαίτερα εντυπωσιακό παράδειγμα.

Σχεδόν όλες οι άλλες κλιματικές μεταβλητές παρουσιάζουν ενδείξεις συνεχόμενης κλιματικής αλλαγής. Για παράδειγμα, παρατηρήθηκαν αξιοσημείωτες αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία του Βόρειου Ατλαντικού όπως μετρήθηκαν από την βαροβαθμίδα μεταξύ του υψηλού των Αζορών και του χαμηλού της Ισλανδίας – μία τάση προς μείωση της βαροβαθμίδας. Η έκταση των αλπικών παγετώνων μειώθηκε κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, αυτό συνέβαλε αισθητά στη γενική άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Από τα 10-15cm της ανόδου του παγκόσμιου μέσου όρου, το ένα τρίτο μπορεί να αποδοθεί στο λιώσιμο των αλπικών παγετώνων, στη θερμική διαστολή των ωκεανών και στο λιώσιμο των μεγάλων στρωμάτων πάγου (Γροιλανδία, Ανταρκτική). Οι αποδείξεις, ωστόσο, είναι λιγοστές, και η γενική άνοδος της στάθμης και οι διαφορετικοί παράγοντες που συμβάλλουν σ' αυτήν (ειδικά η συμβολή των στρωμάτων πάγου) υπόκεινται σε μεγαλύτερες αβεβαιότητες από αυτές για την αλλαγή του παγκόσμιου μέσου της θερμοκρασίας.

Παράλληλα μ' αυτές τις αλλαγές σε μέσες συνθήκες, οι περισσότερες μετρήσεις του κλίματος δείχνουν αλλαγές στη μεταβλητότητα. Πολύ λίγες απ' αυτές τις αλλαγές στη μεταβλητότητα (σε αντίθεση με τις αλλαγές στους μέσους) υπήρξαν στατιστικά σημαντικές. Εξαίρεση είναι ο μέσος υετός στην περιοχή της Αγγλίας και της

4.1.2 Ο παγκόσμιος μέσος όρος θερμοκρασίας αλλάζει στο μέλλον

Το μέγεθος της αύξησης του παγκόσμιου μέσου της θερμοκρασίας στο μέλλον θα εξαρτηθεί από τις μελλοντικές συγκεντρώσεις αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα, από την ευαισθησία του κλιματικού συστήματος στην εξωτερική επίδραση (από τον ήλιο) και από την επιβράδυνση εξαιτίας της θερμικής αδράνειας των ωκεανών. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου θα προκαλέσει αλλαγές στον παγκόσμιο μέσο θερμοκρασίας σε χρονική κλίμακα δεκαετιών έως αιώνων, με αντίστοιχες τάσεις σε όλες τις κλιματικές μεταβλητές σε μικρότερες χωρικές κλίμακες.

Για να μελετηθεί η μελλοντική κλιματική αλλαγή, είναι σημαντικό να διακριθεί η ισορροπία από την προσωρινή ανταπόκριση του κλιματικού συστήματος. Θα εξετασθεί πρώτα η ανταπόκριση της ισορροπίας. Για κάθε δοθείσα μελλοντική επίδραση θερμοκηπικού αερίου (ΔQ) θα υπάρξει αντίστοιχη ισορροπημένη αλλαγή στον παγκόσμιο μέσο θερμοκρασίας (ΔT_e) η οποία είναι η θερμοκρασιακή αλλαγή που θα επιτευχθεί όταν το κλιματικό σύστημα φτάσει σε μια νέα ισορροπημένη κατάσταση. Η σχέση μεταξύ ΔQ και ΔT_e καθορίζεται από την κλιματική ευαισθησία.

Η κλιματική ευαισθησία συνήθως εκφράζεται σαν όρος αλλαγής ισορροπίας στον παγκόσμιο μέσο όρο θερμοκρασίας (ΔT_e) που θα συνέβαινε αν άλλαζε η επίδραση του ήλιου κατά 1Wm^{-2} στην κορυφή της τροπόσφαιρας. Εναλλακτικά, μπορεί να εκφραστεί σαν τιμή ΔT_e που θα συνέβαινε αν το επίπεδο του CO_2 διπλασιαζόταν (ο διπλασιασμός της συγκέντρωσης του CO_2 αντιστοιχεί σε αλλαγή επίδρασης του ήλιου γύρω στα 4.4Wm^{-2}) δηλαδή ΔT_{2x} . Όσο μεγαλύτερη η τιμή του ΔT_{2x} , τόσο μεγαλύτερη η κλιματική ευαισθησία. Η τιμή του ΔT_{2x} είναι αβέβαιη, θεωρείται ότι κυμαίνεται στο διάστημα $1.5\text{-}4.5^\circ\text{C}$. Η περίπτωση διπλασιασμού συγκέντρωσης του CO_2 είναι η πρότυπη περίπτωση που χρησιμοποιείται σε όλα τα μοντέλα. Η αλλαγή της ισορροπίας για μια αυθαίρετη αλλαγή συγκέντρωσης από C_0 σε C μπορεί να συσχετιστεί με αυτή τη πρότυπη περίπτωση χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\Delta T_e = \Delta T_{2x} (\ln(C/C_0) / \ln 2) \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) προκύπτει επειδή το ΔQ για το CO_2 είναι λογαριθμικό στη συγκέντρωση,

$$\Delta Q = 6.3 \ln(C/C_0) \quad (2)$$

Αφού το CO₂ δεν είναι το μόνο θερμοκηπικό αέριο που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την εξωτερική επίδραση, συνήθως είναι βολικό να εκφράζουμε τη συνολική ακτινοβολιακή επίδραση ΔQ_T λόγω των αλλαγών σε όλα τα ανθρωπογενή θερμοκηπικά αέρια σε όρους αντίστοιχης συγκέντρωσης CO₂ (C^{*}). Αυτό ορίζεται με την αντιστροφή της εξίσωσης (2)

$$C^* = C_0 \exp (\Delta Q_T / 6.3) \quad (3)$$

όπου από σύμβαση το C₀ θεωρείται σαν προβιομηχανικό επίπεδο της συγκέντρωσης CO₂ (δεν ορίζονται επίπεδα αναφοράς για τα άλλα θερμοκηπικά αέρια).

Μεταξύ της προβιομηχανικής εποχής και σήμερα, οι συγκεντρώσεις όλων των θερμοκηπικών αερίων έχουν αυξηθεί σημαντικά: CO₂ 279-354ppmv, CH₄ 790-1720ppbv, N₂O 285-310ppbv, CFC-11 0-220pptv, CFC-12 0-440pptv. Τα προβιομηχανικά επίπεδα CO₂ και CH₄ δεν είναι ακριβώς γνωστά, και προφανώς υπήρχαν μικρές μεταβολές των συγκεντρώσεών τους. Όμως, τουλάχιστον τα τελευταία 10.000 χρόνια αυτές οι φυσικές μεταβολές δεν μπορούν να συγκριθούν με τις πιο πρόσφατες ανθρωπογενείς αλλαγές. Σχετικά με τις συνθήκες στα μέσα προς τα τέλη του 18^{ου} αιώνα, η συνδυαζόμενη επίδραση από την ακτινοβολία (ΔQ_T) είναι σήμερα 2.4Wm⁻², με περίπου το 1.5Wm⁻² να προέρχεται από τις αλλαγές στο CO₂ και το υπόλοιπο λόγω των αλλαγών στα άλλα αέρια, κυρίως CH₄ και CFCs. Το 1990 η τιμή της αντίστοιχης συγκέντρωσης του CO₂ έφτανε τα 410ppmv. Αυτή η αλλαγή στην επίδραση του ήλιου έχει αντισταθμιστεί, ωστόσο, από τις επιπτώσεις από θειικά αερολύματα και τη μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος επιτρέποντας επίδραση 1.5Wm⁻². Στο μέλλον, αναμένεται αύξηση της επίδρασης γύρω στα 2Wm⁻² έως το 2030. Με βάση αυτά τα τελευταία αποτελέσματα η αντίστοιχη συγκέντρωση του CO₂ δεν προβλέπεται να φτάσει το διπλάσιο εκείνης της προβιομηχανικής εποχής πριν το 2050.

Χρησιμοποιώντας τη σχέση ΔT_{2x} = 1.5-4.5°C οι αλλαγές στην επίδραση της ακτινοβολίας ως το 1990 υποδηλώνουν ισορροπημένη θέρμανση 0.5-1.5°C κατά την περίοδο από το 1765. Κατά τη μικρότερη περίοδο 1880 με 1990 για την οποία ΔQ_T = 1.2Wm⁻², το ΔT_e κυμαίνεται στο εύρος 0.4-1.2°C. Σε διάρκεια 40 ετών (1990-2030), βασιζόμενοι στην προβλεπόμενη αλλαγή εξωτερικής επίδρασης 2Wm⁻² θα υπάρξει ισορροπημένη θέρμανση 0.7-2.2°C. Η πρόβλεψη βασίζεται σε «βέλτιστη εκτίμηση» της μελλοντικής εξωτερικής επίδρασης αποκλειστικά λόγω θερμοκηπικού αερίου.

Ενσωματώνει την αβεβαιότητα που προκύπτει από απροσδιόριστη κλιματική ευαισθησία αλλά δεν επιτρέπει αβεβαιότητες στις μελλοντικές συγκεντρώσεις θερμοκηπικού αερίου. Αν επιτραπούν αυτές, τότε το εύρος των πιθανών τιμών για το ΔT_e για το διάστημα 1990-2030 αυξάνεται στο 0.5-3.0°C. Παρ' όλο που αυτό είναι ένα πολύ μεγάλο εύρος αβεβαιότητας ακόμη και οι τιμές στη χαμηλότερη πλευρά του εύρους αντιστοιχούν σε πολύ σημαντικές αλλαγές του κλίματος.

Το εύρος 0.5-3.0°C αντιπροσωπεύει το υπερβολικό εύρος της πιθανής ισορροπημένης θέρμανσης κατά το διάστημα 1990-2030. Αυτή δεν είναι η αλλαγή που θα παρατηρηθεί πραγματικά κατά το διάστημα αυτό. Οι αλλαγές που παρατηρούνται υστερούν των ισορροπημένων αλλαγών εξαιτίας της μεγάλης θερμικής αδράνειας των ωκεανών. Το ποσό της καθυστέρησης καθορίζεται από τον ρυθμό της μίξης των ωκεανών, την κλιματική ευαισθησία και από τον ρυθμό της αλλαγής της εξωτερικής επίδρασης. Εξαιτίας αυτής της θερμικής αδράνειας, μόνο το 50-90% της ισορροπημένης θέρμανσης μπορεί να παρατηρηθεί οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Παρακάτω εξετάζονται οι επιπτώσεις αυτής της καθυστέρησης. Κατά το διάστημα 1880-1990, η προσδοκώμενη ισορροπημένη θέρμανση κυμαινόταν στο εύρος 0.4-1.2°C. Ωστόσο, η προσδοκώμενη προσωρινή θέρμανση είναι πολύ μικρότερη, βρίσκεται στο εύρος 0.3-0.8°C. Αυτή η τελευταία τιμή μπορεί να συγκριθεί με την παρατηρούμενη θέρμανση των 0.5°C. Από τη στιγμή που το 0.5 είναι στη μέση του εύρους, μπορεί να θεωρηθεί ότι η κλιματική ευαισθησία κυμαίνεται κοντά στη μέση του εύρους 1.5-4.5°C. Υπάρχουν όμως και άλλοι τρόποι ερμηνείας των παρατηρήσεων, οπότε ακόμα δεν μπορεί να μη ληφθούν υπόψη οι χαμηλές ή οι υψηλές τιμές ευαισθησίας.

Μια σημαντική συνέπεια της ισορροπημένης/προσωρινής διαφοράς είναι πως ότι κι αν συμβεί στις μελλοντικές συγκεντρώσεις θερμοκηπικού αερίου θα συμβεί μια επιπρόσθετη θέρμανση καθώς το κλιματικό σύστημα τείνει προς την ισορροπία. Άρα, η διαφορά μεταξύ της τιμής του μέσου όρου το 1880-1990 που αυξήθηκε κατά 0.5°C και το εύρος ΔT_e 0.4-1.2°C αντιπροσωπεύει την παρούσα θερμική δέσμευση, δηλαδή θα συνέβαινε ακόμη κι αν οι συγκεντρώσεις όλων των θερμοκηπικών αερίων μπορούσαν να σταθεροποιηθούν στις τιμές που είχαν το 1990.

Μέχρι το 2030 οι αλλαγές που βασίζονται στα μοντέλα προσωρινής ανταπόκρισης που σχετίζονται με το 1990, κυμαίνονται στο εύρος 0.5-1.4°C. Το εύρος είναι κάπως

μεγαλύτερο ($0.4-1.5^{\circ}\text{C}$) αν ληφθούν υπόψη οι αβεβαιότητες στις μελλοντικές συγκεντρώσεις των μελλοντικών αερίων. Να σημειωθεί ότι, όπως υπάρχει θερμική δέσμευση τώρα, θα υπάρξει αντίστοιχα μεγαλύτερη δέσμευση το 2030. (Τα παραπάνω αποτελέσματα βασίζονται στα αποτελέσματα μοντέλου των Wigley και Raper, 1992)

4.2 Τοπικές αλλαγές

4.2.1 Κλιματικά σενάρια

Η πιο σημαντική μέθοδος για λήψη πληροφορίας σχετικά με τα πιθανά μελλοντικά κλίματα είναι η χρήση κάποιου ατμοσφαιρικού μοντέλου γενικής κυκλοφορίας (GCM). Ωστόσο, εξαιτίας ελλείψεων στα σημερινά μοντέλα GCM τα αποτελέσματα τους πρέπει να θεωρηθούν μόνο σαν πιθανά σενάρια για τη μελλοντική κλιματική αλλαγή παρά σαν προβλέψεις. Το κλιματικό σενάριο, σύμφωνα με τον ορισμό, είναι μια συνεπής εικόνα πιθανών μελλοντικών κλιματικών συνθηκών. Εκτός από τη χρήση των μοντέλων GCM, σενάρια μπορούν να κατασκευαστούν με διάφορα άλλα μέσα. Όμως, από τη στιγμή που αυτές οι μέθοδοι δεν έχουν εφαρμοστεί για τη λεκάνη της Μεσογείου, θα δοθεί σημασία στα αποτελέσματα των μοντέλων GCM. Αλλά πρώτα είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί που έχουν αυτά τα μοντέλα. Ενώ αυτοί οι περιορισμοί αποτελούν καλώς ορισμένα προβλήματα μέσα στη κοινότητα που ασχολείται με τα μοντέλα αυτά, οι αναλυτές που χρησιμοποιούν τα αποτελέσματα αυτών των μοντέλων δεν λαμβάνουν σοβαρά υπόψη αυτούς τους περιορισμούς.

4.2.2 Περιορισμοί των GCM

1. Οι περισσότερες μελέτες σχετικά με το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι οποίες βασίζονται σε μοντέλα GCM, εξετάζουν μόνο την ισορροπημένη ανταπόκριση στο διπλασιασμό ή τετραπλασιασμό της συγκέντρωσης του CO_2 . Δεν είναι ακόμα γνωστό αν τα τοπικά μοτίβα της κλιματικής αλλαγής για την προσωρινή ανταπόκριση θα αντιστοιχούν με εκείνα που δίνονται από τις μελέτες για την ισορροπημένη ανταπόκριση.
2. Τα ατμοσφαιρικά μοντέλα GCM πρέπει να συνδυαστούν με ωκεάνια μοντέλα για να ληφθούν υπόψη και οι επιπτώσεις της θερμικής αδράνειας των

ωκεανών. Τα ωκεάνια μοντέλα, που χρησιμοποιούνται σήμερα γι' αυτό το σκοπό, είναι ακόμα υπό ανάπτυξη.

3. Παράλληλα με τη διαχείριση των ωκεανών, τα μοντέλα GCM έχουν ακόμα πολλές αναγνωρισμένες ελλείψεις στον τρόπο με τον οποίο μοντελοποιούν τα νέφη, τα φαινόμενα θαλάσσιου πάγου και διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια του εδάφους.
4. Διάφορες μελέτες βασισμένες στα μοντέλα GCM οι οποίες επιχειρούν να περιγράψουν το κλίμα σ' έναν κόσμο με υψηλά επίπεδα CO₂, σε κάποια σημεία συμφωνούν μεταξύ τους και σε άλλα διαφωνούν. Από τη στιγμή που σε κάποια σημεία μπορούν να συμφωνούν τυχαία, δεν μπορούν αυτά τα σημεία να θεωρηθούν σαν πιο αξιόπιστα. Για παράδειγμα, σε παγκόσμια κλίμακα, πρόσφατα μοντέλα δίνουν παρόμοια τιμή για το ΔT_{2x} (γύρω στους 4°C), αλλά διαφορετικά μοντέλα δίνουν παρόμοια αποτελέσματα για εντελώς διαφορετικούς λόγους.
5. Τα ατμοσφαιρικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σήμερα στις μελέτες θερμοκηπικών αερίων δεν είναι σε θέση να προσομοιώσουν ρεαλιστικά την επικρατούσα ατμοσφαιρική κυκλοφορία σε τοπικό επίπεδο, αν και πετυχαίνουν καλύτερα στην περιγραφή χαρακτηριστικών γενικής κυκλοφορίας σε μεγαλύτερη κλίμακα. Θεωρείται απαραίτητη συνθήκη η ύπαρξη αξιόπιστης «ελεγχόμενης κατά την εκτέλεση» προσομοίωσης για αξιοπιστία σε οποιοδήποτε πείραμα διαταραχής.
6. Ενώ τα μοντέλα GCM μπορούν να παράγουν αποτελέσματα σε πολύ μικρά χρονικά βήματα, (~10 λεπτά), η αξιοπιστία αυτών των αποτελεσμάτων αμφισβητείται. Για σημερινά μοντέλα το χρονικό όριο, για το οποίο τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έχουν κάποια σημασία, είναι της μιας μέρας. Ωστόσο, κάποια από τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται δεν έχουν ημερήσιους κύκλους, κάτι που αυτομάτως θέτει σε αμφισβήτηση τα αποτελέσματά τους. Τα αποτελέσματα που παράγονται από κάποια μοντέλα σε εποχιακή χρονική περίοδο δείχνουν σοβαρές ελλείψεις σε χρονικές κλίμακες μηνών ή και μεγαλύτερες.
7. Η σημερινή χωρική ανάλυση των GCM είναι χονδρικά ορισμένη για τις περισσότερες μεγάλης σημασίας μελέτες. Η χονδρική ανάλυση σημαίνει ότι η ορογραφία στα μοντέλα είναι πολύ ομαλή και τα μικρής κλίμακας συστήματα καιρού δεν υφίστανται. Αυτό σημαίνει ότι δεν αναμένεται το μοντέλο GCM

να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα ούτε για τη βάση της κλίμακας. Στην καλύτερη περίπτωση, αναμένεται να υπάρχει αξιοπιστία σε μεγαλύτερες περιοχές της κλίμακας – αλλά ακόμα κι αυτό είναι μεγάλη αισιοδοξία για το παρόν.

Παρά τις ελλείψεις υπάρχουν κάποια μεγάλης κλίμακας αποτελέσματα των GCM που μπορούν να αποδεχθούν με κάποια πεποίθηση σαν προβλέψεις του μελλοντικού κλίματος.

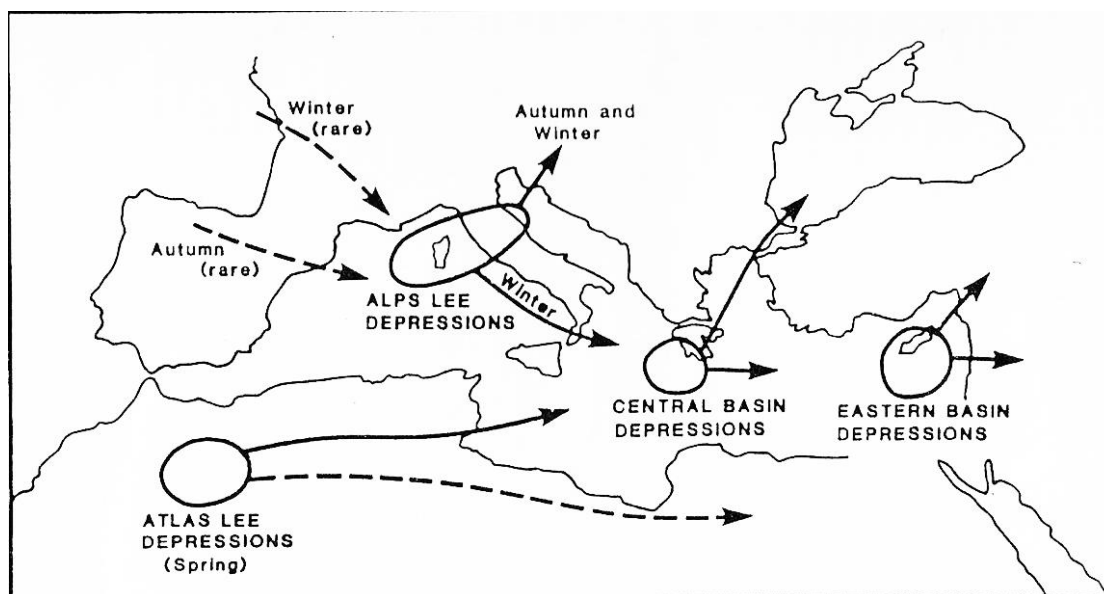
Παρά τα προβλήματα που έχουν τα GCM, αποτελούν το καλύτερο εργαλείο που υπάρχει για να προσομοιώσουν τις μελλοντικές αλλαγές στο κλίμα σε τοπικό επίπεδο. Μια σειρά από τέτοιες προσομοιώσεις έχει χρησιμοποιηθεί σε μελέτες με σκοπό να εξεταστεί η ευαισθησία του κλίματος και να κατασκευαστούν εργαλεία και μέθοδοι για αξιολόγηση των επιπτώσεων.

4.3 Το κλίμα της Μεσογείου σήμερα

Ο ορισμός του Μεσογειακού κλίματος κατά Korpen είναι αυτό στο οποίο οι χειμερινές βροχοπτώσεις είναι τρεις φορές περισσότερες από τις καλοκαιρινές. Οι περισσότερες περιοχές ικανοποιούν αυτό το κριτήριο. Πράγματι, στις περισσότερες περιοχές η βροχόπτωση το καλοκαίρι είναι πρακτικά μηδενική. Αυτή η μεγάλη αντίθεση στη βροχόπτωση μεταξύ χειμώνα και καλοκαιριού συνδέεται με σαφή εποχιακό κύκλο σχεδόν σε όλες τις κλιματικές μεταβλητές. Ο εποχιακός κύκλος αναπτύσσεται ως εξής: ο Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος χαρακτηρίζονται από θερμές και ξηρές συνθήκες που σχετίζονται με ράχη υψηλών πιέσεων, η οποία πιέζει προς τα ανατολικά του υποτροπικού των Αζορών πάνω από τη Μεσόγειο. Ο άξονας αυτής της ράχης εκτοπίζεται προς τα νότια πάνω απ' την Αίγυπτο από μια σκάφη η οποία εκτείνεται από τον Περσικό Κόλπο προς Βορειοδυτικά προς την Ελλάδα, η οποία σκάφη συνδέεται με τους θερινούς Μουσώνες της Ινδίας. Στα μέσα Οκτωβρίου αρχίζει η βροχερή περίοδος, η οποία σχετίζεται με μια αλλαγή στο μοτίβο μέσης ροής των ανέμων Δυτικής Συνιστώσας ανώτερης ατμόσφαιρας σε κλίμακα πέντε ημερών, και με έναν αεροχείμαρρο ανώτερης ατμόσφαιρας ο οποίος χαρακτηρίζεται από τη σκάφη πάνω από την Ευρώπη (της οποίας η θέση μεταβάλλεται συνέχεια). Ο χειμώνας χαρακτηρίζεται από κυκλωνικές διαταραχές και χαμηλή μέση πίεση στη Μεσόγειο, με υψηλότερη πίεση στα ανατολικά συνδεδεμένη με το υψηλό της

Σιβηρίας. Το Μάρτιο, Απρίλιο και το Μάιο, καθώς τα κύρια χαρακτηριστικά της ανώτερης ροής (αεροχείμαρροι, ασυνέχειες αέριας μάζας) αρχίζουν να κινούνται προς τα βόρεια από την νότια θέση τους που ήταν το χειμώνα, η εποχή των βροχοπτώσεων συνεχίζεται. Μέχρι το Μάιο, το πολικό μέτωπο και η συνδεόμενη ροή Δυτικής Συνιστώσας ανώτερης ατμόσφαιρας είναι αρκετά απομακρυσμένα προς τα βόρεια με αποτέλεσμα να μην έχουν επιδράσεις, και τα υποτροπικά υψηλά και οι συνδεόμενες ράχες για άλλη μια φορά ασκούν τις επιδράσεις τους.

Ο υετός αν και κυρίως συνδέεται με τις κυκλωνικές διαταραχές που έχουν προέλευση τη λεκάνη της Μεσογείου, επηρεάζεται έντονα από τοπικά ορογραφικά φαινόμενα. Πολύ λίγοι επιφανειακοί κυκλώνες με προέλευση τον Ατλαντικό μπορούν να εντοπιστούν. Υπάρχει μια συνήθης πλάνη ότι οι υφέσεις που κινούνται νότια των νησιών της Αγγλίας, συχνά εισέρχονται στη Μεσόγειο σαν αναγνωρίσιμα επιφανειακά χαρακτηριστικά. Στην πραγματικότητα οι περισσότερες υφέσεις έχουν προέλευση σε τέσσερεις συγκεκριμένες περιοχές μέσα στη λεκάνη (Σχήμα 3).



Σχήμα 3

Η κύρια περιοχή απλώνεται στη δυτική Μεσόγειο, παράγοντας τις υφέσεις του κόλπου της Γένοβας, οι οποίες κατά περιόδους κινούνται ανατολικά με αποτέλεσμα να επηρεάζουν την ανατολική λεκάνη. Οι υφέσεις στην υπήνεμη πλευρά της οροσειράς του Άτλαντα, οι οποίες δημιουργούνται κατά την άνοιξη, δεν φέρνουν βροχοπτώσεις. Σε αντίθεση, εκείνες που ακολουθούν τη βόρειο Αφρικανική τροχιά μέσα από την Αίγυπτο, συνδέονται με θερμές, ξηρές και με ανέμους συνθήκες. Για

την ανατολική Μεσόγειο, οι υφέσεις κεντρικής λεκάνης και οι υφέσεις ανατολικής λεκάνης («χαμηλά της Κύπρου») είναι φαινόμενα χειμώνα και άνοιξης και είναι πολύ σημαντικά. Κατά περιόδους, οι υφέσεις κεντρικής λεκάνης μπορούν να προέρχονται είτε από τον Κόλπο της Γένοβας είτε από τις υφέσεις στην υπήνεμη πλευρά της οροσειράς του Άτλαντα, αλλά αυτό δεν αποτελεί τον κανόνα. Οι υφέσεις τις κεντρικής λεκάνης τείνουν να κινούνται βορειοανατολικά (γύρω στις 10 περιπτώσεις το χρόνο) ή προς τα ανατολικά (8 περιπτώσεις το χρόνο) όπου μπορεί να συμβεί εντατικοποίηση στην περιοχή της ανατολικής λεκάνης. Οι υφέσεις της ανατολικής λεκάνης επίσης έχουν προτεινόμενες τροχίες, είτε βορειοανατολικά είτε ανατολικά. Η τελευταία, ειδικά όταν υφίσταται επακόλουθη αλληλεπίδραση με τον πολικό ηπειρωτικό άνεμο από το πλατώ του Ιράν, μπορεί να φέρει βροχή σε εκτενή περιοχή από την Αίγυπτο μέχρι το Ιράκ. Τα μοτίβα χειμερινού μέσου επιφανειακής πίεσης δείχνουν χαρακτηριστικά τα οποία προκύπτουν από αυτές τις κυκλογενετικές πτυχές.

Σε σπάνιες περιπτώσεις οι μάζες των Μουσώνων μπορεί να φέρουν θερινή βροχή στην ανατολική Μεσόγειο. Οι Gat και Magaritz (1980, σελ. 86) σημειώνουν το παράδειγμα της πλημμύρας που έλαβε χώρα στο Σινάι το 1974 και της οποίας η προέλευση προσδιορίστηκε (τόσο από συνοπτικές όσο και από ισοτοπικές αποδείξεις) ότι ήταν μια τρομερή είσοδος προς βόρεια της τροπική αέριας μάζας.

Ο σχηματισμός των υφέσεων της Μεσογείου καθορίζεται μερικώς από παροδικές εισβολές του αεροχείμαρρου του Πολικού Μετώπου και της Ευρωπαϊκής σκάφης, τροποποιημένου από την αντίθεση της θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας η οποία ευνοεί την κυκλογένεση πάνω από τον θερμό ωκεανό. Οι υφέσεις της ανατολικής Μεσογείου συχνά συνδέονται με ψυχρή βόρεια ροή αέρα και υπήνεμες κυκλογενέσεις. Αυτές οι σχέσεις εξασφαλίζουν μια σύνδεση μεταξύ των τοπικών συστημάτων πίεσης που παράγουν βροχή και μεγάλης κλίμακας πτυχών της γενικής κυκλοφορίας πάνω από την Ευρώπη.

Η κίνηση των υφέσεων δεν είναι πλήρως κατανοητή. Στη δυτική Μεσόγειο, οι υφέσεις συχνά «οδηγούνται» κατά μήκος «του Μεσογειακού μετώπου», η αντίθεση στη θερμοκρασία η οποία προκύπτει από την κίνηση του ψυχρού ηπειρωτικού αέρα πάνω από την θερμότερη θάλασσα (αυτό το μέτωπο είναι ιδιαίτερα ισχυρό την άνοιξη). Χονδρικά οι μισές από τις υφέσεις της κεντρικής λεκάνης οδηγούνται πάνω από την Μαύρη θάλασσα, και υπάρχουν κάποιες αποδείξεις της «οδήγησης» της

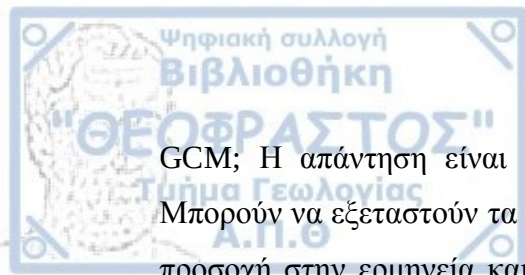
ανώτερης ροής κατά μήκος του άξονα του υποτροπικού αεροχειμάρρου. Οι υφέσεις της ανατολικής λεκάνης έχουν δύο προτεινόμενες τροχιές, προς τα βορειοανατολικά και προς τα ανατολικά (Σχήμα 3). Περιστασιακά μπορούν να κινηθούν πιο νότια. Προς τα ανατολικά διείσδυση μπορεί να καθοριστεί από τη ζωνικότητα της ανώτερης ροής και/ή από την ένταση του υψηλού της Σιβηρίας.

4.4 GCM προσομοιώσεις για τη λεκάνη της Μεσογείου

Είναι ξεκάθαρο, από την προηγούμενη παράγραφο, ότι το κλίμα της περιοχής της Μεσογείου καθορίζεται μερικώς από μεγάλης κλίμακας χαρακτηριστικά της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας (υποτροπικό υψηλό των Αζορών, Μουσώνες, τα κύματα της Δυτικής Συνιστώσας της ανώτερης ροής, και το συνδεδεμένο Πολικό Μέτωπο, και οι υποτροπικοί αεροχειμάρροι κτλ), μερικώς από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ της μεγάλης κλίμακας ροής, της ορογραφίας και των αντιθέσεων ξηράς-θάλασσας, και μερικώς από περισσότερα τοπικά φαινόμενα. Οι αλλαγές στα θερμοκηπικά αέρια θα αλλάξουν μεγάλης κλίμακας χαρακτηριστικά του κλίματος και θα επιδράσουν στις θερμοκρασίες και στα θερμοκρασιακά μοτίβα στη θάλασσα και τις γύρω περιοχές. Τα ακριβή μοτίβα της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής, ωστόσο, θα ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο που αυτές οι αλλαγές διαμορφώνονται από τη γεωγραφία.

Σε προηγούμενη παράγραφο, αναφέρθηκε ότι τα μοντέλα GCM που χρησιμοποιούνται σήμερα σε μελέτες θερμοκηπικών αερίων είναι ανίκανα να αναπαράγουν αξιόπιστα τα τοπικής κλίμακας χαρακτηριστικά του κλίματος που επικρατεί σήμερα. Επιπλέον τα GCM έχουν αρκετά χονδρική ανάλυση και χρησιμοποιούν υψηλά ομαλή ορογραφία (η οποία είναι ανεπαρκώς λεπτομερής για να δείξει ρεαλιστικά την ορογραφία γύρω από τη Μεσόγειο). Από τη στιγμή που τα GCM δεν μπορούν να αναλύσουν τα τοπικής κλίμακας σημαντικά χαρακτηριστικά της γενικής κυκλοφορίας και δεν μπορούν πιθανόν να προσομοιώσουν τον τρόπο με τον οποίο η ορογραφία αλληλεπιδρά με την κυκλοφορία στο να ελέγχει τα μοτίβα κατακρημνίσεων, είναι απίθανο να παράγουν ρεαλιστικές προσομοιώσεις του παρόντος και/ή του μελλοντικού κλίματος στη λεκάνη της Μεσογείου.

Πώς, λοιπόν, μπορούν να υπάρχουν βλέψεις σε μελλοντικές αλλαγές του κλίματος πάνω από τη λεκάνη της Μεσογείου, ενώ υπάρχει ανεπάρκεια στο κύριο εργαλείο το



GCM; Η απάντηση είναι ότι δεν μπορούν να προβλέψουν λεπτομερή στοιχεία. Μπορούν να εξεταστούν τα αποτελέσματα των GCM, αλλά πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην ερμηνεία και την εφαρμογή αυτών των αποτελεσμάτων. Πρέπει να ληφθούν αυστηρώς σαν σενάρια πιθανού μελλοντικού κλίματος και όχι σαν προβλέψεις.

5. Ανταπόκριση της στάθμης της θάλασσας στην κλιματική αλλαγή και η τεκτονική στη Μεσόγειο

5.1 Τεκτονική και κλιματικές αλλαγές στο επίπεδο της θάλασσας

Κατά τις γεωλογικές περιόδους, οι αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας συμβαίνουν με δύο διαφορετικούς τρόπους: τεκτονικές αλλαγές που συνδέονται με το ρυθμό εξάπλωσης του ωκεάνιου φλοιού και κλιματικές αλλαγές που συνδέονται με τα παγετώδη φαινόμενα. Τεκτονικά φαινόμενα λαμβάνουν χώρα σε χρονικά διαστήματα εκατοντάδων χιλιάδων έως εκατομμυρίων ετών και μπορούν να περιλάβουν αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας της τάξης των εκατοντάδων μέτρων, από την άλλη τα παγετώδη φαινόμενα συμβαίνουν σε χρονικές περιόδους δεκάδων χιλιάδων ετών και κανονικά περιλαμβάνουν αλλαγή στη στάθμη της θάλασσας της τάξης των 100 μέτρων ή λιγότερο.

Οι τεκτονικές διακυμάνσεις στο επίπεδο της θάλασσας λαμβάνουν χώρα όταν ο ρυθμός του σχηματισμού της μεσοωκεάνιας ράχης και η συνδεόμενη εξάπλωση του ωκεάνιου φλοιού αλλάζει. Όσο η εξάπλωση αυξάνεται και περισσότερη θερμή ράχη σχηματίζεται (λιγότερο πυκνή), αντίστοιχη ποσότητα θαλασσινού νερού εκτοπίζεται και η παγκόσμια στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει. Όσο ψήχεται και γίνεται περισσότερο πυκνή, η ράχη υποχωρεί, χάνοντας τοπογραφικό ανάγλυφο. Άρα, αν ο ρυθμός σχηματισμού της ράχης μειωθεί η στάθμη της θάλασσας θα υποχωρήσει. Αποτέλεσμα της παγκόσμιας εξερεύνησης πετρελαίων και του προγράμματος διάτρησης των ωκεανών (ODP – Ocean Drilling Project), είναι η κατανόηση των παγκόσμιων ιζηματογενών φαινομένων για αναγνώριση περιόδων υψηλής και χαμηλής στάθμης της θάλασσας.

Οι αλλαγές που προκαλούνται από παγετώνες υπερέχουν αυτών των μακροχρόνιων διακυμάνσεων στη στάθμη της θάλασσας, κυρίως προερχόμενες από την καθαρή απομάκρυνση του νερού από τους ωκεανούς (μέσω εξάτμισης) για σχηματισμό (μέσω υετού) εκτεταμένων στρωμάτων πάγου στην ξηρά. Η στάθμη της θάλασσας υποχωρεί κατά τις παγετώδεις περιόδους (σχηματισμός παγετώνων) και ανεβαίνει (λιώσιμο

παγετώνων) κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετώδων περιόδων. Ο σχηματισμός των στρωμάτων πάγου κατά την τελευταία παγετώδη περίοδο του Würm περίπου πριν από 30 χιλιάδες χρόνια, για παράδειγμα μείωσε τη στάθμη της θάλασσας για περισσότερο από 100 μέτρα. Το λιώσιμο των πάγων που ξεκίνησε πριν από 15-17 χιλιάδες χρόνια προκάλεσε αντίστοιχη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

5.2 Η στάθμη της θάλασσας στα τέλη του Τεταρτογενούς

Η στάθμη της θάλασσας κατά την τελευταία πτώση της και η επακόλουθη υπέρβαση αυτής από την ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα οριοθετείται από τις εμφανίσεις του άνθρακα-14 στους δείκτες της στάθμης της θάλασσας (οι οποίοι είναι τα κελύφη οστράκων και οι αποθέσεις τύρφης) οι οποίοι σήμερα βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Υποθετικά αν ένα δείγμα (του παραπάνω «δείκτη») σχηματίστηκε κοντά στο επίπεδο της θάλασσας, η ραδιοχρονολόγηση του δίνει μια λογική εκτίμηση για τη στάθμη της θάλασσας εκείνη την περίοδο. Θα πρέπει να επαληθευθεί με προσοχή ότι το αντικείμενο δεν έχει μεταβληθεί διαγενετικά ούτε έχει μετακινηθεί σημαντικά από τη θέση προέλευσής του.

Με το λιώσιμο των τελευταίων παγετώνων της περιόδου Würm πριν από 15-17 χιλιάδες χρόνια, η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε ραγδαία, φθάνοντας στο σημερινό επίπεδο πριν από 5-6 χιλιάδες χρόνια. Οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν ότι τα τελευταία 5.000 χρόνια η στάθμη της θάλασσας παρουσιάζει διακυμάνσεις της τάξης των μερικών μέτρων, μερικές από τις οποίες συνδέονται με ελαφριές κλιματικές αλλαγές, αλλά οι περισσότερες προκαλούνται από τοπικές τεκτονικές αλλαγές. Στην περιοχή της Μεσογείου οι αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας διαφαίνονται από τις εμφανίσεις και τις καταδύσεις αρχαιολογικών και ιστορικών θέσεων.

5.3 Η στάθμη της θάλασσας τα τελευταία 100 χρόνια

Για τον άνθρωπο, είναι πιο ενδιαφέρουσες οι αλλαγές που συνέβησαν σε μικρότερες χρονικές περιόδους (δεκαετίες) και σε μικρότερα κάθετα διαστήματα (των 10cm). Για να καταγράψουν τέτοιες μεταβολές στη στάθμη της θάλασσας, οι περισσότεροι ερευνητές χρησιμοποιούν μεταβολές που συμβαίνουν στη στάθμη σε τοπικό επίπεδο όπως αυτές καταγράφονται από τους μετρητές των παλιρροιών. Ο ετήσιος μέσος όρος

της στάθμης υπολογίζεται από μεταβολές στις παλίρροιες, στα κύματα και σε βραχυπρόθεσμες ατμοσφαιρικές διακυμάνσεις, αλλά δεν λαμβάνονται υπόψη οι ετήσιες μεταβολές στη ροή των ποταμών και μακροπρόθεσμες ατμοσφαιρικές ή ωκεάνιες μεταβολές (π.χ. το φαινόμενο El Nino).

Αυτές οι διαταραχές στην τοπική στάθμη θεωρούνται «θόρυβος», από τον οποίο πρέπει να εξαχθεί ο μέσος όρος. Τα προβλήματα, φυσικά, είναι ότι ο «θόρυβος» αποτελείται από μεγέθη μεγαλύτερα από κάθε μεταβολή στη στάθμη της θάλασσας. Το παλιρροϊκό εύρος μπορεί να είναι μερικά μέτρα ή περισσότερο, οι εποχιακές μεταβολές στην εκροή των ποταμών μπορούν να προκαλέσουν μεταβολή στην τοπική στάθμη της θάλασσας μέχρι και 1m. Σε αντίθεση, η αλλαγή στον ετήσιο μέσο όρο της στάθμης, όπως έχει καταγραφεί από τους περισσότερους μετρητές παλιρροιών, δεν ξεπερνά το 1cm. Επομένως χρειαζόμαστε μακροπρόθεσμες καταγραφές παλιρροιών για να εξάγουμε ετήσιους μέσους οι οποίοι θα οριοθετήσουν ουσιαστικές τάσεις στις αλλαγές της στάθμης. Σε προηγούμενα χρόνια αυτές οι τάσεις υπολογίζονταν γραφικά. Σήμερα χρησιμοποιείται η Eigenanalysis. Χρειαζόμαστε καταγραφές επί 20 χρόνια για να εξάγουμε ουσιαστικές τάσεις, ενώ προτιμούνται καταγραφές των 30 ή 50 ετών. Εμφανώς, οι βραχυπρόθεσμες αλλαγές, όπως αυτές που σχετίζονται με μια επιταχυνόμενη άνοδο της στάθμης, είναι δύσκολο αν όχι αδύνατο να οριοθετηθούν χρησιμοποιώντας μόνο καταγραφές παλιρροιών.

Το πρόβλημα στην αναγνώριση στατιστικά ορθής αλλαγής στη στάθμη της θάλασσας με τη χρήση καταγραφής παλιρροιών είναι ότι αυτές υποδεικνύουν μόνο τοπική αλλαγή. Στην πραγματικότητα, αντί να χρησιμοποιηθούν στο καθορισμό της απόλυτης ανόδου της στάθμης, τα δεδομένα καταγραφής παλιρροιών συχνά χρησιμοποιούνται για να υποδείξουν τη σχετική κίνηση του εδάφους. Για παράδειγμα, οι τεκτονικές ανυψώσεις και οι ισοστατικές αναπηδήσεις (από την υποχώρηση των παγετώνων στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη) συνέβαλαν στην πτώση της τοπικής στάθμης, ενώ η καθίζηση στη λεκάνη και η συμπύκνωση των ιζημάτων (ιδιαίτερα κοντά στα δέλτα ποταμών) επιτείνει την τοπική άνοδο της στάθμης.

Τέτοια προβλήματα δυσκολεύουν τον προσδιορισμό της ανόδου της στάθμης σε παγκόσμιο επίπεδο. Λαμβάνοντας υπόψη τις τοπικές μεταβολές, ο Raper συμπεραίνει ότι η στάθμη της θάλασσας κατά τη διάρκεια των τελευταίων 100 ετών έχει μεταβληθεί κατά $12 \pm 12\text{cm}$, ή ετήσια άνοδο γύρω στο $1.2\text{mm}/\text{έτος}$. Η διασπορά είναι

τέτοια που στατιστικά συμπεραίνει ότι τα δεδομένα αυτά δεν υποδεικνύουν άνοδο στάθμης. Οι Aubrey και Emery καταλήγουν σε παρόμοια νούμερα με αυτά των Raper και Wigley, γύρω στο $1.5 \pm 1.0\text{mm}/\text{έτος}$.

Συνειδητοποιώντας ότι το τελευταίο λιώσιμο των παγετώνων σήμαινε καθαρή μετατόπιση της μάζας του νερού στους νότιους ωκεανούς λόγω τήξης των βόρειων στρωμάτων πάγου, οι Peltier και Tushingham (1989), έχουν μοντελοποιήσει την ανταπόκριση του μανδύα σ' αυτή την μετατόπιση της μάζας νερού. Προσαρμόζοντας σ' αυτή την ισοστατική αναπήδηση που συνέβη στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, συμπεραίνουν ότι η παγκόσμια άνοδος τα τελευταία 50 χρόνια ήταν σημαντικά μεγαλύτερη ($2.4 \pm 0.90\text{mm}/\text{έτος}$) απ' ότι παραθέτουν οι άλλοι ερευνητές. Συμπεραίνουν ότι αυτό αντιπροσωπεύει την πρώτη ένδειξη της επιταχυνόμενης ανόδου, πρωταρχικά το αποτέλεσμα της αυξημένης τήξης των πολικών παγοκαλυμμάτων. Αυτός ο υπολογισμός, ωστόσο, διαφέρει σημαντικά απ' όλες τις άλλες εκτιμήσεις και θα πρέπει να δοθεί προσοχή στην αποδοχή των συμπερασμάτων των Peltier και Tushingham. Για παράδειγμα, ο Pirazzoli (1989) επισημαίνει ότι οι Peltier και οι άλλοι δίνουν υπερβολική έμφαση στα δεδομένα καταγραφής παλιρροιών από συγκεκριμένα μέρη της γης (Ευρώπη και Βόρεια Αμερική), και οι ελλείψεις δεδομένων από άλλα μέρη της γης τείνουν να μεγιστοποιήσουν τον υπολογισμό της ανόδου της στάθμης. Ο Pirazzoli συμπεραίνει ότι η στάθμη της θάλασσας κατά τον τελευταίο αιώνα ανέβηκε μόνο 4-6cm με μια πιθανή επιταχυνόμενη αύξηση από το τέλος του προηγούμενου αιώνα μέχρι το 1930 και μετά σταθεροποιήθηκε ή ακόμα και έπεσε. Αυτός ο ρυθμός της ανόδου της στάθμης είναι το μισό από αυτό που αναφέρουν οι Raper και Wigley, οι Emery και Aubrey και 4 με 6 φορές μικρότερος από αυτόν που αναφέρουν οι Peltier και Tushingham.

Ο Raper (1992) προσπάθησε να υπολογίσει την παγκόσμια ισορροπία για την άνοδο της στάθμης βασιζόμενος σε πρόσφατες κλιματικές αλλαγές. Παρόλο που η αβεβαιότητα είναι μεγάλη, φαίνεται πιθανό να εξηγήσει τα 12cm της ανόδου της στάθμης τα τελευταία 100 χρόνια υποθέτοντας αύξηση στη θερμοκρασία 0.5°C . Η μεγαλύτερη συνεισφορά στην άνοδο της στάθμης προέρχεται από θερμό-υστερική αλλαγή και το λιώσιμο των αλπικών παγετώνων. Ο αντίκτυπος από το λιώσιμο των πάγων της Ανταρκτικής και της Γροιλανδίας δεν είναι εμφανής. Εάν οι υψηλότερες τιμές της ανόδου της στάθμης, όπως προβλέπουν οι Peltier και Tushingham, αποδεχθούν, τότε η ισορροπία γίνεται περισσότερο προβληματική.

Σήμερα, δεν υπάρχουν ξεκάθαρα δεδομένα που υποδεικνύουν ότι ο ρυθμός της ανόδου της στάθμης έχει επιταχυνθεί τον 20^ο αιώνα σαν αποτέλεσμα κλιματικής θέρμανσης. Προφανώς, ύστερα από εκτεταμένες μελέτες που έγιναν τις τελευταίες δεκαετίες, τα συμπεράσματα για τη στάθμη της θάλασσας τον τελευταίο αιώνα είναι συγκρουόμενα και επίσης οι προβλέψεις για τη στάθμη στο μέλλον (άλλοι λένε ότι θα υπάρξει επιταχυνόμενη άνοδος και άλλοι ότι θα πέσει), είναι εμφανής ο κίνδυνος είτε της καταγραφής της τελευταίας αλλαγής είτε της πρόβλεψης της μελλοντικής. Το κύριο μέρος των αποδείξεων, ωστόσο, δείχνει μια σταδιακή άνοδο στη στάθμη της θάλασσας γύρω στο 1-2mm/έτος, με το μεγαλύτερο μέρος της ευστατικής ανόδου της στάθμης να συνδέεται με την θερμική διαστολή των ωκεανών και το λιώσιμο των αλπικών πάγων. Ωστόσο, οποιαδήποτε παγκόσμια τάση κρύβεται πίσω από θόρυβο που έχει σχέση με την τεκτονική, την καθίζηση, τους ωκεανούς και την ατμόσφαιρα. Μέχρι να χρησιμοποιηθούν περισσότερες μετρήσεις πέρα των παλιρροιακών δεδομένων, είναι αμφιλεγόμενο ότι η αντίληψη των ανθρώπων για τις αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας θα είναι πιο σωστή σ' αυτόν τον αιώνα.

5.4 Παγκόσμια άνοδος στη στάθμη της θάλασσας μέχρι το 2025

Δεδομένης της παγκόσμιας θέρμανσης κατά 1.5-3.6°C μέχρι το 2035, οι περισσότεροι ερευνητές προσδοκούν επιταχυνόμενη άνοδο στη στάθμη της θάλασσας. Αυτές οι αλλαγές θα συνεχίσουν να έχουν ως αποτέλεσμα την θερμική διαστολή των ωκεανών, και το λιώσιμο των αλπικών παγετώνων, αλλά η ανταπόκριση των πολικών στρωμάτων πάγου (Γροιλανδίας και Ανταρκτικής) στην κλιματική αλλαγή είναι άγνωστη. Με βάση τις υποθέσεις και τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται, το εύρος των προβλέψεων είναι μεγάλο και αυξάνεται με το χρόνο καθώς οι μεταβλητές που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά μοντέλα γίνονται περισσότερο προσεγγιστικές.

Η θερμική διαστολή των θαλάσσιων υδάτων σχετίζεται με την θερμοκρασιακή αλλαγή μέσω του συντελεστή της θερμικής διαστολής, ο οποίος με τη σειρά του συνδέεται με τη θερμοκρασία, την πίεση και την αλμυρότητα. Σύμφωνα με το μοντέλο «Box-Upwelling-Diffusion» των Wigley και Raper (1987), που τροποποιήθηκε ελαφρώς από τον Raper (1992), περίπου το μισό της παγκόσμιας

Η συμβολή από το λιώσιμο των πάγων είναι πιο δύσκολο να προβλεφθεί, καθώς περιλαμβάνει επίσης απόλυτες αλλαγές στα μοτίβα καιρού. Για παράδειγμα, ακόμα κι αν ο ετήσιος μέσος όρος θερμοκρασίας αυξανόταν κατά 3.5°C, η μεταβολή στα μοτίβα υετού πάνω από την Ανταρκτική θα μπορούσε να προκαλέσει αύξηση στις χιονοπτώσεις και σχηματισμό πάγου, και επομένως να συμβάλλει στην πτώση της στάθμης. Δεν μπορεί να προβλεφθεί κατά πόσο θα ανέβει η στάθμη της θάλασσας αν δεν είναι γνωστό κατά πόσο θα αυξηθεί ή θα μειωθεί ο όγκος των πάγων στην Ανταρκτική. Δεδομένου αρκετού χρόνου και επαρκούς αύξησης της θερμοκρασίας, είναι δυνατόν η δυτική παγωμένη υφαλοκρηπίδα της Ανταρκτικής να υποστεί σημαντική τήξη. Αυτός είναι ο λόγος των υψηλών εκτιμήσεων της στάθμης (348cm μέχρι το 2100) που έκανε ο Hoffman (1983).

Ένα από τα προβλήματα είναι ότι μία από τις πρόσφατες διατρήσεις ODP δείχνει ότι η δυτική παγωμένη υφαλοκρηπίδα της Ανταρκτικής υπάρχει από τα τέλη του Μειόκαινου, και οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των περασμένων περιόδων ήταν σημαντικά υψηλότερες ακόμα και από την προβλεπόμενη για το 2100. Έχοντας αυτό υπόψη είναι αμφισβητήσιμη η ποσότητα του πάγου που θα λιώσει στην Ανταρκτική. Στην πραγματικότητα, περισσότερες εκτιμήσεις δείχνουν ότι η συνεισφορά της Ανταρκτικής στην άνοδο της στάθμης, τουλάχιστον τα επόμενα 100 χρόνια, θα είναι ελάχιστη. Το 1990, ο Meier αναθεώρησε τις εκτιμήσεις του για την άνοδο της στάθμης λόγω τήξης των παγετώνων και των παγοκαλυμμάτων. Σύμφωνα με τις νέες του εκτιμήσεις, μέχρι το 2050 ο σχηματισμός του πάγου μπορεί να συμβάλλει σε μικρή υποχώρηση της στάθμης. Αν αυτό αληθεύει, τότε οι καταστροφικές προβλέψεις για παράκτιες πλημμύρες λόγω επιταχυνόμενης ανόδου της στάθμης ίσως αποδειχθούν υπερβολικές.

5.5 Η κίνηση της γης στη Μεσόγειο

Πολλές συντηρητικές προβλέψεις εκτιμούν παγκόσμια άνοδο της στάθμης γύρω στα 18cm τα επόμενα 40 χρόνια, ελαφρώς μεγαλύτερη από 4mm/έτος, ή δύο με τρεις φορές πιο γρήγορη απ' ότι τα τελευταία 100 χρόνια. Από τα προηγούμενα επιχειρήματα, ακόμα και αυτές οι λογικές εκτιμήσεις, ωστόσο, μπορούν να αποδειχθούν λανθασμένες. Το αποτέλεσμα των τεκτονικών κινήσεων μπορεί να επιτείνει ή να ελαχιστοποιήσει τις τοπικές επιπτώσεις οποιασδήποτε ανόδου της στάθμης.

Οι περισσότερες ακτές της Μεσογείου φαίνεται ότι έχουν υποστεί αλλαγές στη στάθμη εντός του γενικώς αποδεκτού εύρους (1-2mm/έτος). Επομένως θεωρείται ότι αυτές οι περιοχές έχουν παραμείνει λιγότερο ή περισσότερο τεκτονικά σταθερές. Οι περιοχές στις οποίες οι αλλαγές στη στάθμη είναι μικρότερες από 1-2mm/έτος (ανατολική Μεσόγειο) θεωρείται ότι υπέστησαν ομαλή τεκτονική ανύψωση, ενώ κάποια από τα μεγαλύτερα δέλτα ποταμών υπέστησαν άνοδο της στάθμης σημαντικά μεγαλύτερη από την παγκόσμια άνοδο: Νείλος – 4.8mm/έτος, Θεσσαλονίκη – 4mm/έτος, Βενετία – 7.3mm/έτος. Αυτές οι περιοχές θεωρείται ότι υπέστησαν καθίζηση. Η Μασσαλία έχει κανονική (1.4mm/έτος) άνοδο στη στάθμη, και στην Αλεξάνδρεια συνέβη ελαφριά υποχώρηση της στάθμης. Ο Emery, ωστόσο, αναφέρει ότι δεν υπάρχουν μετρήσεις παλιρροιών δυτικά της Αλεξάνδρειας, επομένως δεν έχουμε βραχυπρόθεσμη εικόνα της αλλαγής στη στάθμη κατά μήκος του μεγαλύτερου τμήματος της νότιας Μεσογείου.

Τέλος, θα πρέπει να γίνει αναφορά στη γρήγορη καθίζηση που προέρχεται από άντληση νερού και την εξόρυξη πετρελαίου. Η άντληση νερού επιταχύνει τη συμπύκνωση των βαθύτερων στρωμάτων και επομένως μπορεί να αυξήσει σημαντικά την τοπική καθίζηση. Το καλύτερο παράδειγμα είναι αυτό του Μπανγκόγκ, όπου σημαντική αύξηση στην άντληση του υπόγειου νερού που ξεκίνησε το 1960 συντέλεσε στην τοπική καθίζηση της τάξης των 13cm/έτος, περίπου δύο φορές μεγαλύτερη από την παγκόσμια άνοδο της στάθμης. Από τη στιγμή που αφαιρείται το νερό και τα κατώτερα στρώματα συμπαγοποιούνται, η διαδικασία δεν μπορεί να αντιστραφεί. Οι περιοχές που υπέστησαν καθίζηση παραμένουν σχετικά χαμηλές προς τη στάθμη. Το 1950 και το 1960 στη Βενετία υπήρξαν παρόμοιες αιτίες. Εάν το κλίμα αλλάξει και οι πιέσεις λόγω αυξημένου πληθυσμού στον επόμενο αιώνα

συντελέσουν στη μείωση του διαθέσιμου νερού στις παράκτιες περιοχές, η αυξανόμενη άντληση νερού θα προκαλέσει γρήγορη καθίζηση. Η εξόρυξη πετρελαίου στις παράκτιες περιοχές μπορεί να προκαλέσει παρόμοια καθίζηση. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

5.6 Μελλοντικές μελέτες

Η τεκμηρίωση πρόσφατων αλλαγών στη στάθμη της θάλασσας είναι μια μη ακριβής επιστήμη, και η πρόβλεψη της μελλοντικής αλλαγής στη στάθμη ακόμη πιο προβληματική. Η στάθμη φαίνεται ότι θα ανεβαίνει τουλάχιστον 2mm/έτος, και δεν υπάρχει ένδειξη μιας επιταχυνόμενης αύξησης τα τελευταία 100 χρόνια. Παρόλο που η παγκόσμια άνοδος της στάθμης μπορεί να φτάσει τα 4mm/έτος μέχρι το 2025, οι πιθανότητες δείχνουν ότι θα είναι μικρότερη. Μέχρι το 2025 μόνο οι πολύ χαμηλές παράκτιες περιοχές θα πλημμυρήσουν, αν και περισσότερες πλημμύρες μπορεί να συμβούν λόγω αυξημένης συχνότητας και μεγέθους των καταιγίδων εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής.

Το κύριο πρόβλημα για τις παράκτιες περιοχές φαίνεται να είναι η τοπική καθίζηση. Οι περιοχές με το μεγαλύτερο κίνδυνο είναι αυτές που βρίσκονται στα δέλτα ποταμών όπου η καθίζηση μπορεί να είναι σχετικά υψηλή. Η τραγική ειρωνεία είναι ότι οι πυκνοκατοικημένες πόλεις βρίσκονται στα δέλτα ποταμών ή κοντά σ' αυτά. Καταγράφοντας τους ρυθμούς της καθίζησης, οι περιοχές με τον μεγαλύτερο κίνδυνο μπορούν να αναγνωριστούν και να ληφθούν μέτρα προστασίας αυτών. Σε αντίθεση, για τις περιοχές που υφίστανται ανύψωση δεν χρειάζεται να γίνουν σημαντικές αλλαγές στις υπάρχουσες παράκτιες μηχανικές εγκαταστάσεις.

6. Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής στην υποβάθμιση του εδάφους στη Μεσόγειο

6.1 Η ευαισθησία και η τρωτότητα των εδαφών της Μεσογείου στις κλιματικές αλλαγές

6.1.1 Εισαγωγικά

Καταρχάς θα πρέπει να γίνει διάκριση μεταξύ των εδαφών που δεν καλύπτονται από βλάστηση και αυτών που καλύπτονται συνεχώς από θάμνους και δάση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό ως προς τις δυναμικές των οργανικών υλών, συγκεντρώσεις των στοιχείων και την καλλιέργεια. Επίσης είναι χρήσιμο να γίνει περιορισμός σε εκείνα τα χαρακτηριστικά του εδάφους που επηρεάζονται από σχετικά μικρές αλλαγές στον υετό και τη θερμοκρασία. Το έδαφος περιέχει στοιχεία που η ηλικία τους ποικίλλει από μερικές εβδομάδες έως και δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Πολλά χαρακτηριστικά του εδάφους, επομένως, αντικατοπτρίζουν την διαδικασία σχηματισμού του κάτω από ποικίλες κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν στο παρελθόν. Επειδή οι συνθήκες εκείνες διέφεραν πάρα πολύ από τις σημερινές, ο προβλεπόμενος διπλασιασμός της συγκέντρωσης του CO₂ δεν αναμένεται να επηρεάσει τα χαρακτηριστικά αυτά σε σημαντικό βαθμό.

Τα εδάφη στην περιοχή της Μεσογείου παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία. Αυτό αντικατοπτρίζει τις διαφορές στους βασικούς παράγοντες σχηματισμού του εδάφους, δύο από τους οποίους είναι το κλίμα και το μητρικό υλικό. Οι κλιματικές αλλαγές που συνδέονται με την αύξηση του CO₂ μπορούν να συγκριθούν με αλλαγές στο κλίμα που συμβαίνουν τοπικά. Δεν θεωρείται πιθανό οι αλλαγές με αίτιο το CO₂ να επιφέρουν μεγάλη αλλαγή στα όρια των βασικών τύπων εδάφους εάν δεν γίνουν αλλαγές σε σημαντικούς παράγοντες. Το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα ανοιχτό σύστημα το οποίο ανταποκρίνεται στις δυναμικές διαδικασίες. Αυτές οι διαδικασίες έχουν σαν εισόδους την ενέργεια και την ύλη. Οι διαδικασίες που μπορούν να επηρεαστούν από τις προβλεπόμενες κλιματικές αλλαγές είναι αυτές που περιλαμβάνουν: (1) την είσοδο και έξοδο νερού, αέρια και διαλυτά άλατα, (2) την

είσοδο και την έξοδο ανθρακικού ασβεστίου, (3) την είσοδο, αποσύνθεση και έξοδο οργανικής ύλης.

Οι αλλαγές σ' αυτές τις διαδικασίες μπορεί να μην είναι σημαντικές για την μακροπρόθεσμη μορφολογική εξέλιξη του εδάφους, αλλά είναι αναμφισβήτητα σημαντικές όσον αφορά την οικολογία και την εκμετάλλευση εδάφους. Αυτή είναι η περίπτωση στην οποία μικρές αλλαγές στο κλίμα οδηγούν στην εμφάνιση ή εντατικοποίηση κάποιων εδαφολογικών διαδικασιών. Για παράδειγμα η ανταπόκριση των συγκεντρωτικών στοιχείων του εδάφους στην ύγρανση από τις βροχοπτώσεις είναι εξαιρετικά ευαίσθητη στη χημεία της διαλυτότητας του εδάφους και τη μικροβιολογική δραστηριότητα. Μικρές αλλαγές που συμβαίνουν σαν αποτέλεσμα μακρών ξηρών περιόδων ή αλλαγής ατμοσφαιρικής εναπόθεσης, μπορούν να οδηγήσουν σε αλλαγές στη δομή του εδάφους οι οποίες αλλάζουν την υδρολογία και την ισορροπία θρεπτικών συστατικών του εδάφους.

6.1.2 Διαδικασίες ευαίσθητες στην κλιματική αλλαγή

Οι προβλεπόμενες αλλαγές στο κλίμα θα έχουν το μεγαλύτερο βραχυπρόθεσμο (50 χρόνια) αντίκτυπο μέσω των επιπτώσεων που έχουν: (1) στην ισορροπία άλατος και τη σύνθεση του άλατος στο εδάφος, (2) στις χημικές κατακρημνίσεις ανθρακικού μαγνησίου/ασβεστίου στο έδαφος, (3) στις διαδικασίες που συνδέονται με την προμήθεια και αποσύνθεση οργανικής ύλης.

Ισορροπία άλατος του εδάφους

Οι Shainberg και Letey (1984) έκαναν περίληψη των προβλημάτων που αντιμετώπισαν όταν προσπάθησαν να εντοπίσουν τις σχέσεις μεταξύ αλατούχων και νατριούχων συνθηκών και της ανταπόκρισης του εδάφους, σαν ανικανότητα να εντοπίσουν τις οριακές τιμές, για παράδειγμα, των ποσοστών ανταλλασσόμενου νατρίου και άλλων κατιόντων, των επιπτώσεων του περιεχομένου του αργίλου και της ορυκτολογίας του και της ευαισθησίας και της συνέχειας ορισμένων διαδικασιών καθώς αυτές ανταποκρίνονται στην ανταλλαγή του νατρίου.

Η μετακίνηση και η ανακατανομή των αλάτων στο έδαφος αντικατοπτρίζει την ισορροπία νερού, τα επίπεδα του υπόγειου νερού και την απόδοση ροής. Επομένως, ο υετός και η εξατμισοδιαπνοή μαζί με τα χαρακτηριστικά του εδάφους είναι

σημαντικά. Τα γενικά επίπεδα συγκεντρώσεων διαλυόμενου άλατος στο έδαφος επηρεάζονται μερικώς από ατμοσφαιρικές εισόδους που θα είναι ευαίσθητες στην κλιματική αλλαγή.

Γενικά, ένας περιορισμένος αριθμός από ποσοτικές σχέσεις μεταξύ εδάφους και χημείας εδαφικών διαλυμάτων και φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους είναι σημαντικός. Έχοντας την προσοχή στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ στερεών και υγρών φάσεων του εδάφους, μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα. Πρώτον, η συγκέντρωση άλατος στα διαλύματα εδάφους είναι αντιστρόφως ανάλογη με την πυκνότητα των στρωμάτων νερού στα μόρια αργίλου και επομένως επηρεάζει τους δεσμούς αυτών των μορίων. Σαν αποτέλεσμα, η αλλαγή στη συγκέντρωση ηλεκτρολυτών μπορεί να προκαλέσει κροκίδωση (αν αυξηθεί) ή διασπορά (αν μειωθεί) των μορίων του εδάφους. Η οριακή τιμή αναφέρεται σαν τιμή κροκίδωσης. Επίσης με το νάτριο να είναι το κυρίαρχο κατιόν στις εξωτερικές επιφάνειες των μορίων αργίλου, τα στρώματα νερού είναι σχετικά πυκνά, και η ευαισθησία στη διασπορά υπερβαίνει κατά πολύ των αργίλων του ασβεστίου. Αφού το νάτριο επηρεάζει τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, τα ποσοστά ανταλλασσόμενου νατρίου στο έδαφος είναι σημαντικό κριτήριο υπολογισμού της σταθερότητας και της διάβρωσης του εδάφους στις ημίξηρες περιοχές. Υψηλές τιμές ποσοστών ανταλλασσόμενου νατρίου όχι μόνο προκαλούν απώλεια στη συνολική σταθερότητα αλλά επίσης μπορούν να οδηγήσουν στη μείωση υδραυλικής αγωγιμότητας. Μοντοριλικά εδάφη, για παράδειγμα, τείνουν να δείχνουν σημαντική αύξηση στην κατακράτηση νερού με αυξανόμενο ποσοστό ανταλλασσόμενου νατρίου. Τα λασπώδη εδάφη διασπείρονται πιο πολύ. Υψηλά ποσοστά ανταλλασσόμενου νατρίου και χαμηλή αλμυρότητα νερού αποσταθεροποιεί τα συγκεντρωτικά στοιχεία του εδάφους, τα οποία διασπώνται για να σχηματίσουν επιφανειακά καλύμματα. Όταν η επιφάνεια του εδάφους καλύπτεται από σκληρό φλοιό, η ικανότητα κατείσδυσης μειώνεται και η επιφανειακή ροή συμβαίνει με μικρές βροχοπτώσεις.

Οι συγκεντρώσεις του άλατος που ρυθμίζουν τη διαδικασία κατείσδυσης είναι εξαιρετικά ευαίσθητες στις αλλαγές. Η σημαντικότητα του περιεχομένου του υγρού εδάφους όσον αφορά την επιφανειακή ανταπόκριση στις βροχοπτώσεις διαφαίνεται στη μελέτη του Ben-Hur (1985). Στην οποία φαίνεται ότι τα επιφανειακά καλύμματα γίνονται περισσότερο διαπερατά όταν ξηραίνονται λόγω ρωγμών, και επίσης γίνονται ευπαθή σε δυνατές βροχοπτώσεις.

Μια γενική μείωση στον υετό ή αύξηση στην εξατμισοδιαπνοή θα προκαλέσει αύξηση των εδαφών που επηρεάζονται από αλατούχες ή νατριούχες συνθήκες. Επειδή σε εκείνες τις περιοχές με υψηλούς ρυθμούς εξάτμισης τα άλατα συγκεντρώνονται σαν κατάλοιπα και δεν υπάρχει σύστημα διαφυγής τους. Ιδιαίτερα σοβαρή θα ήταν η μείωση του χειμερινού υετού σε βαθμό που τα εποχιακά συγκεντρωμένα άλατα δεν θα ξεπλένονταν από το έδαφος. Μία αλλαγή στη διάρκεια και την ένταση του υετού θα χειροτέρευε την συγκέντρωση άλατος όπου και τα δύο θα μειώνονταν, και θα βελτιώναν τις συνθήκες όπου θα αυξάνονταν. Μια μείωση στον υετό ή μια πιο δυσμενής κατανομή των βροχοπτώσεων θα επηρέαζε μεγαλύτερες περιοχές όπου η ετήσια βροχόπτωση είναι μικρότερη από 600mm. Ιδιαίτερα στην Ισπανία και την Ιταλία οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις άλατος θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αύξηση της περιοχής των εδαφών που επηρεάζονται από κατακόρυφες συνθήκες. Η άρδευση και η διαχείριση καλλιεργήσιμων εκτάσεων θα γίνει πιο δύσκολη ή ακριβή, και θα αυξηθεί η ανάγκη για καλλιέργειες που αντέχουν σε περισσότερο αλατούχες συνθήκες.

Μια μικρή αλλαγή στην ποσότητα ή τη σύνθεση της συγκέντρωσης άλατος αρκεί για να επιδεινωθούν οι επιπτώσεις. Μικρή αύξηση στη ξηρασία, η οποία οδηγεί σε μικρή αλλαγή της τιμής του ποσοστού ανταλλασσόμενου νατρίου στο τέλος της ξηρής περιόδου, θα μπορούσε να καταστήσει τα εδάφη ευαίσθητα στη διασπορά όταν οι συγκεντρώσεις ηλεκτρολυτών μειώνονται στην αρχή των χειμερινών ή φθινοπωρινών βροχοπτώσεων. Η διασπορά έπειτα οδηγεί στην επικάλυψη επιφάνειας, μικρούς ρυθμούς κατείσδυσης, μεγαλύτερη απορροή, υψηλή διάβρωση του εδάφους και μια καταστροφική σειρά από προβλήματα διάβρωσης και ιζηματογένεσης κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων.

Μια αύξηση στον υετό ή μείωση στην εξατμισοδιαπνοή θα μπορούσε να επιδράσει θετικά στις περιοχές που υποφέρουν από νατριούχες ή αλατούχες συνθήκες σε περιπτώσεις όπου υψηλές βροχοπτώσεις οδηγούν σε καλύτερη και βαθύτερη διαφυγή. Ωστόσο, είναι γνωστό από την Αυστραλία και την Κένυα ότι αυξημένες βροχοπτώσεις σε ημίξηρες περιοχές μπορούν να έχουν αντίθετα αποτελέσματα.

Η αύξηση της θερμοκρασίας θα αυξήσει τα προβλήματα που σχετίζονται με νατριούχα και αλατούχα εδάφη, καθώς θα επηρεάσει την ισορροπία νερού και την ορυκτολογία της οργανικής ύλης. Φαίνεται ότι υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης

αυξάνουν το βαθμό της περιεκτικότητας σε νάτριο που απαιτείται για να δημιουργήσει αρνητικές δομικές ιδιότητες του εδάφους.

Αν και προκύπτει ότι η αυξημένη ξηρασία και τα υψηλά ποσοστά ανταλλασσόμενου νατρίου που συνοδεύουν αυτήν θα οδηγήσουν σε διαταραχή των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους και αύξηση της διάβρωσης του εδάφους, ο βαθμός στον οποίο αυτά θα συμβούν σε τοπική κλίμακα θα εξαρτηθούν από διάφορους παράγοντες που ελέγχονται από την ισορροπία του νερού, τον τύπο του εδάφους, έκθεση και κλίση και τις συνολικές εισόδους άλατος και νατρίου. Τα προβλήματα αλμυρότητας θα είναι πιο δυσμενή σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 300—600mm και θα είναι λιγότερο σημαντικά σε περιοχές όπου οι βροχοπτώσεις είναι κάτω από το παραπάνω όριο. Αυτές οι περιοχές με καλλιέργειες και την εμφάνιση αλατούχων συνθηκών στα εδάφη δεν είναι εκτεταμένα σε περιοχές της Ευρώπης και της Μεσογείου σήμερα, αλλά υπάρχει τεράστια περιοχή που είναι ευπαθής σε προβλήματα αλμυρότητας. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

Χημικές κατακρημνίσεις ανθρακικού ασβεστίου/μαγνησίου

Η ανάπτυξη ασβεστολιθικών εδαφών περιορίζεται σε περιοχές με χαμηλές βροχοπτώσεις (100-500mm) και συχνά συνδέεται με ερημοποίηση. Η συσσώρευση ασβεστόλιθου μπορεί να προκύψει από την ανακατανομή του ανθρακικού ασβεστίου και κάποιων βοηθητικών συστατικών στο μητρικό υλικό, αλλά επίσης και από υλικά που προέρχονται από την ατμόσφαιρα. Υπό ειδικές συνθήκες ένα ορισμένο στρώμα ασβεστόλιθου μπορεί να δημιουργηθεί σε διάστημα μερικών μηνών.

Οι ασβεστολιθικοί ορίζοντες μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις για την υδρολογία όταν βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Ωστόσο, με την εκτεταμένη ξηρασία που έχει προβλεφθεί, τα σημερινά προβλήματα θα γίνουν πολύ σοβαρότερα τα επόμενα χρόνια.

Όμως θα πρέπει να δοθεί προσοχή στις επιπτώσεις της συσσώρευσης του ανθρακικού ασβεστίου στο έδαφος στην ανάπτυξη των φυτών και την καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα. Η πρωτογενής παραγωγικότητα θα μπορούσε να μειωθεί σε περιπτώσεις όπου η μικροκρυσταλλική κιμωλία συσσωρεύεται και αναστέλλει την

πρόσληψη ιχνοστοιχείων, όπως ο σίδηρος και το μαγγάνιο από τις ρίζες των φυτών. Αυτό μπορεί να επηρεάσει περισσότερο την μη αρδευόμενη γεωργία.

Αποθέματα και κατάρρευση της οργανικής ύλης

Οι επιπτώσεις μικρών αλλαγών στα αποθέματα και την ορυκτοποίηση της οργανικής ύλης θα μπορούσαν να έχουν μεγάλο αντίκτυπο στην δομή του εδάφους σε ορισμένες περιπτώσεις και να επηρεάσουν σοβαρά το έδαφος και την υδρολογία των πλαγιών. Όπως αναφέρθηκε πριν, η περιοχή της Μεσογείου είναι ιδιαίτερα ευπαθής στην κλιματική αλλαγή. Σ' αυτό το κεφάλαιο το γεγονός αυτό θα λαμβάνεται υπόψη σε συνδυασμό με την χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη στα περισσότερα καλλιεργήσιμα εδάφη της Μεσογείου και με την ευαισθησία στην υποβάθμιση λόγω άχρηστων υλικών στα εδάφη των δασών. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό λόγω του λασπώδους χαρακτήρα των πολλών ανώτερων εδαφικών οριζόντων εξαιτίας της εδαφολογικής ανάπτυξης και της εναπόθεσης της ατμοσφαιρικής σκόνης. Ακόμη, πολλές μάργες μετατρέπονται σε λασπώδη υπολειμματικά ανθρακικά ορυκτά.

Σύμφωνα με την θρεπτική κατάσταση των διαφορετικών τύπων εδάφους, μπορεί να γίνει διαχωρισμός των εδαφών σε αυτά με διαφορετικό βαθμό έκπλυσης και περιεκτικότητας σε ανθρακικό ασβέστιο, και σε αυτά που είναι πλούσια σε θρεπτικά συστατικά/υψηλού pH εδάφη, σύμφωνα με τον τύπο του υποστρώματος και κλιματικών συνθηκών. Χωρίς αλλαγές, ο φώσφορος και το άζωτο παρέχονται με μη βέλτιστο τρόπο και αν το pH είναι υψηλό, τα ιχνοστοιχεία είναι ανεπαρκώς διαθέσιμα για πρόσληψη από τις ρίζες.

Η αναλογία E_a/E_o (η πραγματική και η ενδεχόμενη εξατμισοδιαπνοή αντίστοιχα) είναι ένας χρήσιμος δείκτης της διαθεσιμότητας νερού για τα οικοσυστήματα φυτών. Μια αύξηση στην ξηρασία μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένη περίοδο με χαμηλές αναλογίες και λιγότερο ευνοϊκές συνθήκες για θρέψη, με συνεπαγόμενες μετατοπίσεις στις συνθέσεις φυτικών και δενδρικών ειδών και μείωση στην συνεισφορά της οργανικής ύλης στο έδαφος. Αναμένεται ότι περιοχές με φυλλοβόλα δάση και στέπες θα μειωθούν και στη θέση τους θα επικρατήσουν δάση με πιο σκληρόφυλλα συστατικά και λιγότερη βλάστηση. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τους Huis και Ketner (1987), οι οποίοι αναμένουν πλάγιες μετατοπίσεις της τάξης εκατοντάδων χιλιομέτρων και κάποιων εκατοντάδων μέτρων σε υψόμετρο σε ορισμένες

καθυστερεί και η αποσύνθεση περιλαμβάνει κυρίως την χουμοποίηση. Στις νότιες πλαγιές, αυτή η διαδικασία είναι πιο έντονη και οδηγεί στην ανάπτυξη των σχετικά πυκνών F3/H οριζόντων, σε σχέση με τις βόρειες πλαγιές. Χάρη στην υψηλή ικανότητα αποθήκευσης νερού και την υψηλή περιεκτικότητα σε ρίζες, αυτοί οι οργανικοί ορίζοντες μπορούν να προστατέψουν το έδαφος από την διάβρωση. Αυτό είναι κυρίως σημαντικό στα σκληρόφυλλα δάση, όπου λαμβάνει χώρα σημαντική μετακίνηση άχρηστων υλικών κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων. Πρέπει να μελετηθεί περισσότερο η σημαντικότητα της εξάρτησης της ανάπτυξης του εδαφικού προφίλ από την έκθεση, με βλέψη σε αυξανόμενη ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου.

Οι επιπτώσεις της αυξημένης ξηρασίας θα εξαρτηθούν από τα χαρακτηριστικά κατακράτησης νερού του εδάφους, την ασυνέχεια των υδραυλικών διαδικασιών και από τον τρόπο με τον οποίο αλλάζει η συχνότητα των βροχοπτώσεων διαφορετικών μεγεθών.

Θα πρέπει να γίνει περισσότερη έρευνα σ' αυτή την περιοχή πριν γενικευθούν οι επιπτώσεις της μείωσης των βροχοπτώσεων. Σε υψηλά ασβεστούχα, αμμώδη και λασπώδη εδάφη, η οργανική ύλη παίζει ζωτικό ρόλο στην ευφορία του εδάφους, επειδή έχει υψηλή ικανότητα ανταλλαγής και διατηρεί τα θρεπτικά συστατικά στα εδάφη, και επίσης επειδή συμβάλλει στην κατακράτηση νερού. Οι χαμηλές παροχές οργανικού υλικού οδηγούν σε αυξημένη ξηρότητα του εδάφους και σε χαμηλή ευφορία.

Επισημαίνεται ότι σε κλίμακα της Μεσογειακής λεκάνης μπορεί να γίνει μόνο μια απλή γενίκευση. Ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής θα επηρεαστεί από τις τοπικές συνθήκες. Ο κλιματικός αντίκτυπος δεν θα εξαρτηθεί από μέσες κλιματικές παραμέτρους αλλά από τις παραμέτρους που επηρεάζουν την ισορροπία νερού στο έδαφος και τη διαθεσιμότητα υγρασίας για τα φυτά. Λεπτομερειακά, πολλές από τις παραμέτρους του εδάφους είναι δυναμικές και ευαίσθητες στο εδαφικό κλίμα. Ο τρόπος με τον οποίο θα συμπεριφερθεί το καλλιεργήσιμο έδαφος όταν ποτίζεται, αντανakλά τους κύκλους του ποτίσματος που υπέστη από τη στιγμή που οργώθηκε και το περιεχόμενο σε υγρασία τη στιγμή του ποτίσματος.

Στα γεωργικά εδάφη η οργανική ύλη είναι κρίσιμη όσον αφορά τις επιπτώσεις της στην δομή του εδάφους, συγκεκριμένα στις περιπτώσεις εδαφών με υψηλή

περιεκτικότητα σε ασβέστιο και ιλύος όπου δυνάμεις δεσμού μεταξύ των μορίων των ορυκτών είναι ασθενείς. Ορισμένες μελέτες περιπτώσεων καταγράφουν την κλίμακα αυτών των επιπτώσεων στην περιοχή της Μεσογείου. Τα δεδομένα από τη νότιο Ισπανία δείχνουν ξεκάθαρα το πόσο η μικρό-συνοχή του εδάφους κάτω από τα δάση και τις καλλιέργειες σχετίζεται με το περιεχόμενο σε οργανική ύλη.

Οι Pittock και Nix (1986) μελέτησαν τον αντίκτυπο της αύξησης της θερμοκρασίας στην καθαρή πρωτογενή παραγωγικότητα (NPP) στην Αυστραλία. Στην προκαταρκτική τους έρευνα χρησιμοποιούν ένα μοντέλο το οποίο υπολογίζει το NPP με βάση τις προσδοκώμενες βροχοπτώσεις και θερμοκρασίες μαζί, με γενικές σχέσεις μεταξύ θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και NPP. Οι προβλέψεις για εξατμισοδιαπνοή και διάβρωση του εδάφους δεν συμπεριλαμβάνονται. Επομένως, τα αποτελέσματα είναι περιορισμένης τιμής και το μοντέλο χρειάζεται να βελτιωθεί. Για τις Μεσογειακές περιοχές στην Αυστραλία, μια μείωση στη μέση ετήσια βροχόπτωση αναμένεται και το μοντέλο εκτιμά μηδενική αύξηση στην NPP. Με τη βελτίωση του μοντέλου, στην οποία πέρα από την διάβρωση του εδάφους θα πρέπει να συμπεριληφθεί η υγρασία του εδάφους και η κατάσταση των θρεπτικών συστατικών, αναμένεται μια μείωση του NPP.

Πυρκαγιές στα δάση

Υπάρχουν αποδείξεις ότι μια αύξηση στη θερμοκρασία και τις συνθήκες ξηρασίας θα συνοδεύονται από αύξηση στη συχνότητα πυρκαγιών στα δάση. Στην Ισπανία φαίνεται ότι οι πυρκαγιές τείνουν να είναι πιο συχνές στα χρόνια ξηρασίας.

Σήμερα οι πυρκαγιές προκαλούνται συνήθως από ανθρώπους. Στην Ισπανία οι πυρκαγιές που προκαλούνται από κεραυνούς είναι υποδεέστερης σημασίας, αλλά μερικοί συγγραφείς υποστηρίζουν το αντίθετο για την Βόρεια Αμερική.

Οι πυρκαγιές μπορούν να προκαλέσουν απώλεια των έκτο-οργανικών οριζόντων και μείωση στο περιεχόμενο οργανική ύλης στους ανώτερους εδαφικούς ορίζοντες, ώστε η διαθεσιμότητα εδαφικού αζώτου να ελαττωθεί σημαντικά. Όπου δεν επακολουθεί διάβρωση μετά την πυρκαγιά, το δάσος και η βιομάζα στο έδαφος συνήθως αναδημιουργούνται. Οι πυρκαγιές μπορούν να δημιουργήσουν ένα στρώμα απώθησης νερού, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη απορροή κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων σε ξηρές περιόδους. Αυτό το στρώμα επίσης μπορεί να προστατέψει

το υπόστρωμα από την έντονη εξάτμιση. Σε μια ανασκόπηση της καθαρής αποψίλωσης των δασών και των πυρκαγιών στις ΗΠΑ, ο DeByle (1980) έδειξε ότι μετά τη πυρκαγιά, η απορροή, η διάβρωση και οι συγκεντρώσεις θρεπτικών συστατικών στην απορροή αυξάνονται αρχικά, και μετά μειώνονται.

Από την βορειοανατολική Ισπανία γνωρίζουμε ότι οι απώλειες στο έδαφος έπειτα από πυρκαγιές δασών περιορίζονται σε μερικά εκατοστά της επιφάνειας και ότι η βλάστηση αναγεννιέται γρήγορα. Σοβαρή διάβρωση συμβαίνει όταν δημιουργείται πυκνό δίκτυο από δρόμους για να γίνει το δάσος προσβάσιμο για εργασίες. Η διάβρωση του εδάφους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το προφίλ της οργανικής ύλης που περιέχει.

Στην Σαρδηνία οι πυρκαγιές είναι η πιο σημαντική αιτία της διάβρωσης του εδάφους.

Ένα άλλο ενδιαφέρον σημείο είναι η επιρροή που έχουν οι πυρκαγιές στην ισορροπία νερού μειώνοντας την εξατμισοδιαπνοή. Αυτό συγκεκριμένα μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ισορροπία αλάτων στο έδαφος. Τέτοιες επιπτώσεις στη νοτιοδυτική Αυστραλία περιγράφονται από τον Sharma. Η αφαίρεση αυτόχθονος πολυετούς βλάστησης μειώνει σημαντικά την εξατμισοδιαπνοή και προκαλεί μετακίνηση υπόγειου νερού στις πλαγιές, οδηγώντας στην διαφυγή των αλάτων στις βάσεις των πλαγιών και στην αύξηση της αλμυρότητας των χειμάρρων. Οι Sommerfeldt και McKay (1982) δείχνουν ότι τέτοια διαφυγή αλάτων μπορεί να ενισχύσει την υποβάθμιση του εδάφους.

Ερημοποίηση

Σ' αυτό το κεφάλαιο, ερημοποίηση σημαίνει μείωση βιολογικής δυναμικότητας και της πρωτογενούς παραγωγικότητας λόγω κλιματικής αλλαγής και υπερβολικής εκμετάλλευσης από τον άνθρωπο. Η υποβάθμιση του εδάφους στις ξηρές και ημίξηρες Μεσογειακές περιοχές (βροχόπτωση $< 600\text{mm}$) έχει μεγάλες αναλογίες με την ερημοποίηση και σε έναν βαθμό μπορεί να θεωρηθεί συνώνυμη. Στην Ευρώπη συμπεριλαμβάνονται μεγάλα τμήματα Ισπανίας και Ελλάδας, το νότιο τμήμα της Ιταλίας, η Σαρδηνία και η Σικελία.

Ο Mabutt συνοψίζει τις παραμέτρους που θεωρούνται ότι είναι δείκτες της ερημοποίησης. Διακρίνονται τρεις τύποι παραμέτρων (φυσικές, βιολογικές και

κοινωνικές). Σ' αυτό το κεφάλαιο, η οργανική ύλη, η αλατοποίηση, το υπόγειο νερό και η φυτοκάλυψη συζητήθηκαν ήδη. Η επιφανειακή ανάκλαση είναι επίσης από τις κύριες παραμέτρους που χρησιμοποιείται στην ποσοτικοποίηση της ερημοποίησης. Συχνά, οι μηχανισμοί θετικής ανατροφοδότησης συμπεριλαμβάνονται στην ερημοποίηση και η ικανότητα αναστολής ή διακοπής της διαδικασίας είναι πολύ περιορισμένη. Ένας τέτοιος μηχανισμός είναι η εξής ακολουθία: αποψίλωση των δασών, αύξηση επιφανειακής ανάκλασης, μείωση θερμοκρασίας εδάφους, μείωση μεταφερόμενης δραστηριότητας και μείωση βροχόπτωσης.

Η ευαισθησία στην αποψίλωση των δασών θα αυξηθεί σημαντικά με την αύξηση της ξηρασίας, και αυτό θα μπορούσε να επιταχύνει ή να ενισχύσει παρούσες ή προηγούμενες διαδικασίες υποβάθμισης.

6.2 Υποβάθμιση εδάφους, διάβρωση εδάφους και αλλαγές στα κανάλια των ποταμών.

Η υποβάθμιση του εδάφους στην περιοχή της Μεσογείου χρονολογείται από την αρχαιότητα. Πολλοί ιστορικοί και επιστήμονες προσπάθησαν να την καταγράψουν και να την συσχετίσουν με τις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών ή με τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Δεν είναι σωστό να επανεξεταστούν εδώ τα ευρήματα αυτής της δουλειάς παρά μόνο να δοθεί προσοχή στα αποτελέσματα που σχετίζονται με το ενδεχόμενο περεταίρω υποβάθμισης λόγω των επιπτώσεων που έχει η κλιματική αλλαγή στις κλιματικά ευαίσθητες διαδικασίες.

Θα πρέπει να γίνει διαχωρισμός μεταξύ της υπάρχουσας εδαφικής υποβάθμισης που οφείλεται σε αιτίες του παρελθόντος και του ενδεχομένου για περεταίρω υποβάθμιση υπό αλλαγμένες συνθήκες. Στο παρελθόν, έχει αποδειχθεί ότι το περιβάλλον της Μεσογείου ήταν ευαίσθητο και ευπαθές στις περιβαλλοντικές αλλαγές, ώστε το τοπίο σε πολλά μέρη να έχει υποβαθμιστεί μη αναστρέψιμα. Μεγάλες περιοχές της Μεσογείου έχουν μόνο υπολείμματα των αρχικών εδαφών και υπάρχει μικρό ενδεχόμενο για περεταίρω υποβάθμιση. Δύο τέτοια παραδείγματα είναι περιοχές της Ελλάδας και Γαλλίας με βλάστηση. Ενώ η υποβάθμιση αρχικά ήταν πιθανών μεγαλύτερη στις πλαγιές, το ενδεχόμενο για σημερινή υποβάθμιση είναι μεγαλύτερο στα κολλούβια και στις αποθέσεις κοιλάδων.

Στη θεώρηση της σχέσης μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της διάβρωσης του εδάφους στην περιοχή της Μεσογείου, είναι βολικό να γίνει διαχωρισμός της διαβρωσιμότητας των ορυκτών από την διαβρωσιμότητα λόγω βροχόπτωσης, απορροής ή του ανέμου που προκαλεί αποκόλληση και μεταφορά τμημάτων εδάφους. Το μεγαλύτερο μέρος της παρακάτω συζήτησης αναφέρεται στη διάβρωση επιφανειών και περιλαμβάνει τα ρηχά κανάλια και τα ποταμάκια.

6.2.1 Η διαβρωσιμότητα των βροχοπτώσεων και της απορροής

Η διαβρωσιμότητα της βροχόπτωσης μπορεί να οριστεί σαν η ικανότητα της βροχής να προκαλέσει διάβρωση, σχετίζεται με τις ιδιότητες των σταγόνων βροχής, όπως το μέγεθος και η ταχύτητα, που ορίζουν την δύναμη σύγκρουσης που ασκούν οι σταγόνες όταν χτυπούν στο έδαφος. Η δύναμη σύγκρουσης των σταγόνων αυξάνεται με το μέγεθος τους, και ο αριθμός μεγάλων σταγόνων αυξάνεται με την ένταση της βροχόπτωσης. Γι' αυτό ήταν δυνατόν να υπολογιστούν οι δείκτες της διαβρωσιμότητας της βροχόπτωσης που βασίζονται στην ένταση της βροχόπτωσης και τη διάρκεια των παραμέτρων. Ο πιο γνωστός δείκτης είναι ο δείκτης R (rainfall) από την παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους (Universal Soil Loss Equation).

Εάν μπορούσε να αποδειχθεί ο τρόπος με τον οποίο οι σχετικές ιδιότητες της βροχόπτωσης θα επηρεαστούν από την κλιματική αλλαγή, θα ήταν εύκολο να εξετάσουμε τη διαβρωσιμότητα της βροχόπτωσης κάτω από διαφορετικά κλιματικά σενάρια. Αυτό θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί εάν οι προβλέψεις βροχοπτώσεων των κλιματικών μοντέλων γίνονταν πιο αξιόπιστες.

6.2.2 Η διαβρωσιμότητα του εδάφους

Η μείωση του περιεχομένου της οργανικής ύλης των καλλιεργήσιμων εδαφών θα παράγει μικρότερες, λιγότερο σταθερές εδαφικές συνθέσεις, με αποτέλεσμα και οι ρυθμοί πρόσληψης νερού και η αντίσταση των μορίων εδάφους στην αποκόλληση θα μειωθούν. Αυτό θα συμβεί στα εδάφη που περιέχουν χαμηλές ποσότητες αργίλου και μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες συγκεντρώσεις ιζημάτων κατά την απορροή, σε χαμηλότερους ρυθμούς κατείσδυσης και στο να παρασέρνονται τα μόρια εδάφους πιο εύκολα. Περισσότερο απ' όλα θα επηρεαστεί ο τρόπος με τον οποίο το έδαφος ανταποκρίνεται στη βροχόπτωση. Ενώ τα εδάφη με καλή δομή που σταθεροποιείται από το οργανικό υλικό διατηρούν τη συνοχή και τη δύναμή τους όταν υγραίνονται, τα

εδάφη που περιέχουν χαμηλές ποσότητες συγκεκριμένων απαραίτητων τύπων οργανικού υλικού στην προσπάθεια τους να ανταποκριθούν φουσκώνουν, διασπείρονται, ραγίζουν και μαλακώνουν όταν βρέχονται, και εξ' αιτίας αυτών δημιουργούνται επιφανειακά καλύμματα. Όσο πιο ασταθή είναι τα εδάφη, τόσο πιο μικρή είναι η ικανότητα κατείσδυσης και τόσο πιο συχνά δημιουργείται απορροή.

Συγκρίνοντας τα δεδομένα κατείσδυσης και τα δεδομένα συχνότητας και διάρκειας των βροχοπτώσεων μπορούν να διαχωριστούν τα εδάφη σε ευαίσθητα ή μη ευαίσθητα σε έντονες βροχοπτώσεις. Ειδικά τα ασβεστούχα εδάφη που δεν περιέχουν οξείδια του σιδήρου και/ή οργανικό υλικό, και εδάφη που φουσκώνουν ή διασπείρονται θα είναι ευαίσθητα στην αύξηση των βροχοπτώσεων. Μια αύξηση στην ξηρασία θα αύξανε τις περιοχές με εδάφη που έχουν ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά κατείσδυσης.

Πρόσφατα ο Lavee (1988) μελέτησε τα χαρακτηριστικά κατείσδυσης και τις ιδιότητες του εδάφους στην Ιουδαϊκή έρημο κατά μήκος της διατομής από την κορυφή με υψόμετρο γύρω στα 700m μέχρι 100m κάτω από το επίπεδο της θάλασσας κοντά στη Νεκρά Θάλασσα. Καθώς η βροχόπτωση μειωνόταν από 600mm στα υψηλότερα σημεία σε 100mm στα χαμηλότερα σημεία, στο ίδιο μητρικό ασβεστούχο υλικό, η ικανότητα κατείσδυσης του εδάφους μειωνόταν από 2cm/ώρα στα υψηλότερα σημεία σε 8mm/ώρα στα χαμηλότερα σημεία. Καθώς οι συνθήκες γίνονται πιο ξηρές, οι ρυθμοί κατείσδυσης γίνονται χαμηλότεροι και η διαβρωσιμότητα του εδάφους αυξάνεται.

Συνοψίζοντας, τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής θα είναι διαφορετικά για διαφορετικά εδάφη αλλά γενικά τα χαρακτηριστικά της κατακράτησης νερού πολλών εδαφών μπορούν να χειροτερέψουν, το πορώδες και η πυκνότητα να αυξηθούν, και το CEC να μειωθεί με αποτέλεσμα λιγότερα θρεπτικά συστατικά να διατηρηθούν για τα φυτά, και το έδαφος να διασπείρεται πιο εύκολα και ο σχηματισμός επιφανειακού καλύμματος να γίνει πρόβλημα. Αυτό το πρόβλημα είναι σημαντικό καθώς επηρεάζει την κατείσδυση και έμμεσα το ρυθμό παραγωγής οργανικού υλικού και η μεγαλύτερη αναλογία βροχόπτωσης θα καταλήγει σε επιφανειακή ροή και θα έχει έντονη επίδραση στη διάβρωση.

Οι αλλαγές στις συγκεντρώσεις και στη σύνθεση των διαλυτών αλάτων θα μπορούσαν να έχουν σοβαρές επιπτώσεις στη δημιουργία επιφανειακού καλύμματος.

Οι συνήθειες άρδευσης ίσως να πρέπει να τροποποιηθούν λόγω αυξημένης αλμυρότητας.

Η διαβρωσιμότητα του εδάφους περιγράφει την έμφυτη ευαισθησία του στη διάβρωση. Οι επιπτώσεις της μείωσης του περιεχομένου της οργανικής ύλης και των συγκεντρώσεων άλατος στη διαβρωσιμότητα του εδάφους είναι πολύ καλά καταγεγραμμένες. Η διαβρωσιμότητα του εδάφους αυξάνεται εύκολα, ειδικά όταν οι αλλαγές που συμβαίνουν έχουν σαν αποτέλεσμα την ενεργοποίηση των προηγούμενων ανενεργών διαδικασιών.

6.2.3 Η διάβρωση του εδάφους

Από την ορεινή περιοχή της νοτιοανατολικής Ισπανίας, η Sala (1988) υπολόγισε ποσοτικά τις ετήσιες διακυμάνσεις στη βροχόπτωση, απορροή και τη διάβρωση στις λεκάνες απορροής σε δυο διαφορετικούς τύπους του μητρικού υλικού (σχιστόλιθοι και γρανίτης). Μέτρησε τις ετήσιες διαφορές έως και καμιά φορά παραπάνω από 100%, με ευρείς εποχιακές αντιθέσεις. Γενικά, οι βροχοπτώσεις της άνοιξης και του φθινοπώρου ήταν περισσότερο διαβρωτικές. Η βροχόπτωση αποδείχθηκε να συσχετίζεται πολύ με τη διάβρωση εντός της εκάστοτε περιοχής, ενώ η απορροή δεν συσχετιζόταν σημαντικά με τη διάβρωση. Αυτό σημαίνει ότι η ανταπόκριση της επιφάνειας του εδάφους στη βροχόπτωση είναι περισσότερο σημαντική στο να προκαλεί διάβρωση από την σκέτη απορροή, με τις έντονες βροχοπτώσεις να έχουν σημαντική επιρροή. Υπήρξε μεγάλη διαφορά στην ανταπόκριση των δύο υλικών στη βροχόπτωση. Η σημασία αυτού του είδους έρευνας αρχικά αποδεικνύει την μεταβλητότητα στη διάβρωση σε τοπική και βραχυπρόθεσμη κλίμακα, και δεύτερον μπορεί να εφαρμοστεί σε υδρολογικά μοντέλα και σε μοντέλα διάβρωσης του εδάφους. Ο Francis (1986) προσέγγισε την μεταβλητότητα και τις μεταξύ σχέσεις κάποιων μεταβλητών σε ακόμη μικρότερη κλίμακα. Κατέληξε στο ότι σε κλίμακα πλαγιών στις ημίξηρες περιοχές, υπάρχουν σημαντικές σχέσεις μεταξύ της φυτοκάλυψης, της οργανικής ύλης στο έδαφος και της υγρασίας του εδάφους.

Γενικά, η διάβρωση του εδάφους υπολογίζεται ποσοτικά μέσω εκτίμησης της παραγωγής ιζημάτων από την επιφανειακή έκπλυση. Αυτές οι μετακινήσεις μάζας (π.χ. λασπορροές) μπορούν να συμβάλλουν στη διάβρωση σε μεγάλη κλίμακα στη Μεσόγειο και είναι γνωστές, και προς το παρόν μας υπάρχουν οι κίνδυνοι από την

χρόνο. Οι Yair και Enzel (1985) αμφισβήτησαν την εγκυρότητα τέτοιων σχέσεων στο Ισραήλ επειδή υψηλοί ρυθμοί διάβρωσης συμβαίνουν σε περιοχές με βροχόπτωση μικρότερη από 100mm απ' ό,τι σε περισσότερο υγρές περιοχές. Τα δεδομένα παραγωγής ιζημάτων δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν γι' αυτό το πρόβλημα στη Μεσόγειο επειδή είναι ελλιπή τα δεδομένα που προέρχονται από τους κάμπους.

Πιο ρεαλιστική προσέγγιση είναι να ληφθούν υπόψη οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της κλιματικής βλάστησης και της διάβρωσης σε μοντέλα προσομοίωσης. Μια υποσχόμενη προσέγγιση έχει γίνει από τον Kirkby και τον Neale (1986) βασισμένη σε μοντέλα βλάστησης, μοντέλα σχετικά με την υδρολογία των λεκανών απορροής και την παγκόσμια εξίσωση απώλειας εδάφους (Universal Soil Loss Equation), η οποία ενσωματώνει την εποχικότητα. Παρόλο που οι συγγραφείς παρουσίασαν τα αποτελέσματα του μοντέλου τους για την ρεαλιστική εποχικότητα και τον αριθμό των βροχερών ημερών, η επίπτωση της εποχικότητας πρέπει να προσεγγιστεί με προσοχή.

Χωρίς να δοθεί σημασία στις επιπτώσεις αυξημένης βροχόπτωσης, η μείωση της οργανικής βιομάζας του εδάφους και η αύξηση της διάβρωσης του εδάφους για άνοδο της θερμοκρασίας κατά 4°C υπολογίστηκαν για δύο περιοχές.

Οι γενικές σχέσεις μεταξύ του κλίματος και της διάβρωσης πρέπει να αναγνωρίζουν τη σημαντικότητα των έντονων εποχιακών αντιθέσεων. Η διαβρωσιμότητα του εδάφους είναι δυναμική, συχνά η υψηλότερη μετά από παρατεταμένη ξηρασία. Συνεπώς, οι καταιγίδες σε τέτοιες εποχές, με σχετικά χαμηλή διαβρωσιμότητα, συχνά προκαλούν μεγαλύτερη διάβρωση απ' ό,τι μπορούν να προβλέψουν οι γενικές σχέσεις.

Είναι επομένως μη ρεαλιστικό να αναμένονται καλές στατιστικές σχέσεις μεταξύ των μετρήσεων απώλειας εδάφους και των παραμέτρων βροχόπτωσης. Έχουν εξεταστεί για πολλές περιοχές της Μεσογείου οι μετρήσεις απώλειας εδάφους σε διάφορα τμήματα. Οι αδύναμες σχέσεις μεταξύ των παραμέτρων βροχόπτωσης και των δεδομένων εδάφους από Φλωρεντία, Μαρόκο, Βαλένθια, Καταλονία και Μούρθια δείχνουν την έλλειψη οποιασδήποτε απλής συσχέτισης μεταξύ απώλειας εδάφους και βροχόπτωσης. Αυτό που βρέθηκε σε όλες τις περιπτώσεις, είναι ότι ένα ή δύο φαινόμενα βροχόπτωσης κάθε χρόνο προκαλούν απώλεια εδάφους που αγγίζει το 80% της απώλειας συνολικά. Αυτά τα φαινόμενα βροχόπτωσης δεν είναι πάντα τα πιο δυνατά όσον αφορά τη διάρκεια, την ποσότητα ή την ένταση της βροχόπτωσης.



Αλλά σχετίζονται με τη χρήση του εδάφους, τη δομή του και διάφορες άλλες παραμέτρους.

Η διάβρωση έχει διάφορες μορφές. Η διάβρωση της επιφάνειας ή διάβρωση από έκπλυση που προκαλείται από την επιφανειακή ροή και τη ροή σε ρηχά κανάλια ή ρυάκια, λαμβάνει χώρα όπου οι ρυθμοί κατείσδυσης είναι χαμηλοί ή όπου η ροή συγκεντρώνεται με διάφορους τρόπους. Έχουν αναπτυχθεί πολλά μοντέλα για την πρόβλεψη των ρυθμών διάβρωσης του εδάφους από αυτόν τον τύπο της διάβρωσης σαν συνάρτηση των παραμέτρων κλίματος, εδάφους, βλάστησης και εκμετάλλευσης εδάφους. Είναι δύσκολο να ελεγχθούν αυτά τα μοντέλα λόγω έλλειψης δεδομένων και συνήθως χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν τον αντίκτυπο των αλλαγών στην εκμετάλλευση του εδάφους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα για τον υπολογισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Η διάβρωση χαράδρας λαμβάνει χώρα κάτω από ειδικές συνθήκες σε κάμπους με διάφορες μορφές. Η χαράδρα τύπου ξερολάγκαδου που σχηματίζεται στο εσωτερικό της κοιλάδας, γίνεται ενεργή κατά τη δημιουργία εφήμερων καναλιών από τις κορυφές. Οι τομές των χαραδρών μπορούν να ξανά-ενεργοποιηθούν σε αλλουβιακά ριπίδια. Η διάβρωση χαράδρας σε αλλουβιακά ριπίδια στο παρελθόν συσχετίστηκε με την κλιματική αλλαγή με σύνθετο τρόπο. Οι τύποι χαράδρας που συσχετίζονται με εδάφη ευπαθή στη διασπορά ή τα ιζήματα επίσης μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να επεκτείνουν την κατανομή τους. Αυτό θα γίνει επειδή τα εδάφη που είναι ευπαθή στη διασπορά θα αυξηθούν εξαιτίας της αλλαγής στην ισορροπία των αλάτων και επειδή η ποσότητα της απορροής θα αυξηθεί εξαιτίας της υψηλής υπόγειας ή επιφανειακής συγκέντρωσης των υδάτων. Η μοντελοποίηση της αύξησης της διάβρωσης χαράδρας που θα προκύψει σαν αποτέλεσμα κλιματικής αλλαγής είναι εφικτή αλλά πολύ πιο δύσκολη εξαιτίας έλλειψης ερευνών σ' αυτή την περιοχή.

Η πιθανότητα να αυξηθεί η διάβρωση ανέμου σαν αποτέλεσμα αυξανόμενης ξηρασίας δεν μπορεί να παραβλεφθεί. Σίγουρα, το ενδεχόμενο αύξησης της διάβρωσης από τον άνεμο θα αυξηθεί και αυτό μπορεί να υπολογιστεί ποσοτικά. Ωστόσο δεν είναι γνωστό το πώς θα αλλάξουν οι συχνότητες των ταχυτήτων του διαβρωτικού ανέμου. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

6.2.4 Ιζηματογενείς αποθέσεις.

Τα ιζήματα που παράγονται από τις πιο έντονες διαδικασίες διάβρωσης που αναφέρθηκαν, μπορούν να θεωρηθούν μέρος των ιζηματογενών αποθέσεων. Σ' αυτές τις αποθέσεις, τα ποτάμια συστήματα προμηθεύονται ιζήματα από την επιφάνεια του εδάφους και τις διαδικασίες των καναλιών, όπου είτε αποθηκεύονται ή μεταφέρονται στους ωκεανούς. Οι μελέτες ιζηματογενών αποθέσεων είναι λίγες και πρόσφατες επειδή είναι δύσκολη η λήψη δεδομένων. Παρόλα αυτά μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με το σενάριο της αυξημένης διάβρωσης εξαιτίας της ξηρασίας στις περιοχές της Μεσογείου.

Με αυξημένη ξηρασία και διάβρωση τα ιζήματα θα συσσωρεύονται στις βάσεις των πλαγιών και σε μικρές λεκάνες απορροής. Όπου τα ποτάμια είναι εφήμερα, όπως στην νοτιοανατολική Ισπανία και βορειοανατολικό Μαρόκο, χαρακτηρίζονται από υψηλές απώλειες κατά τη μεταφορά. Συγκεκριμένα, σε ορεινές περιοχές που παρέχουν χονδρότερα ιζήματα, τα ποτάμια δημιουργούν απότομες κλίσεις καθώς συσσωρεύεται χονδρότερο φορτίο. Το μεγαλύτερο μέρος των χονδρότερων ιζημάτων που εγκαταλείπει τις ορεινές περιοχές στη νότια Ισπανία και αλλού αποτίθεται σε αλλουβιακά ριπίδια στα όρια της λεκάνης. Οι σχέσεις μεταξύ του κλίματος και των διαδικασιών στα αλλουβιακά ριπίδια μελετήθηκαν από τον Harvey (1987) και έγιναν συγκρίσεις για την ημίξηρη νοτιοδυτική περιοχή των ΗΠΑ και την νότια Ισπανία. Κάτω από παρούσες συνθήκες, τα περισσότερα αλλουβιακά ριπίδια στην νοτιοανατολική Ισπανία υποβαθμίζονται από κανάλια με αποτέλεσμα έντονα φαινόμενα απελευθέρωσης υδάτων να μεταφέρουν υλικό από τα ριπίδια στα γειτονικά ποτάμια συστήματα. Κάτω από πιο ξηρές συνθήκες που επικρατούν στις ημίξηρες νοτιοδυτικές περιοχές, και στο ξηρότερο μέρος της νοτιοδυτικής Ισπανίας (λιγότερο από 250mm/έτος) τα κανάλια που είναι ικανά να μεταφέρουν χονδρότερα υλικά από τα όρια των ριπιδίων δεν δημιουργούνται και τα υλικά που μεταφέρονται κατά τη διάρκεια πλημμύρων συσσωρεύονται στα ριπίδια. Με αυξημένη ξηρασία, παρά τους υψηλούς ρυθμούς διάβρωσης, θα υπάρξει μεγαλύτερη τάση για τα μεταφερόμενα υλικά να συσσωρεύονται στα ριπίδια και συνεπώς μικρότερη παροχή χονδρότερου υλικού στα κανάλια των ποταμών. Από τη στιγμή που τα περισσότερα βουνά που περικλείουν την περιοχή της Μεσογείου, περικλείονται από τις παράκτιες πεδιάδες ή κάμπους στις οποίες δημιουργούνται τα ριπίδια, θα υπάρξουν πολύ λίγες περιοχές όπου θα αυξηθεί η παροχή χονδρότερου υλικού στη Μεσόγειο.

Στη Μεσόγειο υπάρχουν εκτεταμένες περιοχές με θαλάσσιες μάργες ή αργιλικούς σχιστόλιθους που μετατρέπονται σε υψηλά διαβρώσιμο ριγόλιθο. Αυτές οι αποθέσεις προμηθεύουν με μεγάλες ποσότητες ιλύος και αργίλου τα ποτάμια συστήματα. Η αυξημένη διάβρωση σ' αυτές τις περιοχές θα αυξήσει τα επίπεδα ιζημάτων στα ποτάμια που θα προκαλέσουν την αποστράγγισή τους. Οι μορφολογικές προσαρμογές στα κανάλια των ποταμών σ' αυτές τις περιοχές θα είναι διαφορετικές από εκείνες όπου κυριαρχούν τα χονδρότερα ιζήματα.

Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος σ' αυτές τις περιοχές θα είναι η υψηλότερη είσοδος ιζημάτων σε μικρά ποτάμια, και η συσσώρευση αυτού του υλικού στα κανάλια των ποταμών στα ξηρότερα μέρη της λεκάνης της Μεσογείου. Οι τύποι των προσαρμογών που θα συμβούν στη μορφολογία των καναλιών των ποταμών είναι γνωστοί, όπως είναι οι συνέπειες για την μηχανική των ποταμών και των πλημμύρων. Σε περιοχές της Μεσογείου με μεγαλύτερη υγρασία είναι δύσκολο να υποθέσουμε την επίδραση μόνο της θερμοκρασίας χωρίς πληροφορίες για τις μεταβολές στα μοτίβα υετού. Το 1984 ο Κnoch έδειξε στη λεκάνη του Μισισίπι ότι οι ψυχρότερες περίοδοι συνοδεύονται από χαμηλότερη απορροή. Εάν εφαρμοστούν αυτά τα συμπεράσματα για την περιοχή της Μεσογείου, τότε αναμένεται ότι θα υπάρξει μειωμένη παροχή ιζημάτων στα ποτάμια και τους ωκεανούς. Επειδή οι περισσότερες έρευνες σχετικές με την παραγωγή ιζημάτων στα ποτάμια στις περιοχές της Μεσογείου δεν θεωρήθηκαν σαν στοιχεία των αποθέσεων, είναι δύσκολο να εξασφαλιστούν δεδομένα που να μπορούν να τεκμηριώσουν τα προηγούμενα χωρίς την ουσιώδη ανάλυση των δεδομένων. Μια ανάλυση των δεδομένων για την παραγωγή ιζημάτων σε επιλεγμένες λεκάνες απορροής θα μπορούσε να εξασφαλίσει χρήσιμη πληροφορία.

6.2.5 Αλμυρότητα και ποιότητα νερού

Η μεταβολή στα υδρολογικά μοτίβα που αναφέρθηκε στα προηγούμενα, θα μπορούσε να παράγει μια γενική αύξηση στα διαλυτά φορτία των νερών αποστράγγισης. Η τάση προς αύξηση της αλμυρότητας, αν και γενική, θα εξαρτηθεί πάρα πολύ από την κατανομή των εποχιακών βροχοπτώσεων και της απορροής και από την σχετική συνεισφορά του νερού που ακολουθεί διαφορετικές οδούς στα ποτάμια συστήματα.

Η αύξηση της ξηρασίας και η συνεπαγόμενη υποβάθμιση του εδάφους θα έχει σαν αποτέλεσμα μια γενική μείωση της διήθησης και τελικά μείωση της συνεισφοράς της

επιβραδύνουσας ροής που παρέχει νερό στην ισορροπία με τα ορυκτά που βρίσκονται στις λεκάνες απορροής. Αυτό συνήθως είναι το νερό σε ισορροπία με το ανθρακικό ασβέστιο ή τη γύψο. Μια μείωση στην απορροή τέτοιου νερού θα μπορούσε να οδηγήσει σε δημιουργία μακροχρόνιων ή εφήμερων ροών.

Η εξάτμιση του νερού που βρίσκεται σε ιζήματα στα εφήμερα κανάλια θα οδηγήσει στη συσσώρευση άλατος. Αυτά τα άλατα μαζί με εκείνα που συσσωρεύονται εποχικά στο έδαφος θα μεταφέρονται κατά τη διάρκεια σχετικά μικρών περιόδων της ροής. Ο βαθμός στον οποίο θα χειροτερέψει η ποιότητα του νερού θα αντικατοπτρίζει την ισορροπία μεταξύ της αραίωσης και της συσσώρευσης.

Πρόβλημα μπορεί να προκύψει όταν η απορροή έχει υψηλή αναλογία απορρόφησης του νατρίου (SAR – sodium absorption ratio). Σε συνδυασμό με σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις ηλεκτρολυτών αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συνήθη κατάσταση όπου μεταφερόμενα αργιλικά ιζήματα διασπείρονται. Η πυκνότητα του νερού αυξάνεται με τη διασπορά της αργίλου σε τέτοιο βαθμό που τα μόρια της άμμου αιωρούνται και δημιουργούνται συγκεντρώσεις υπέρ-ιζημάτων, δίνοντας στην απορροή έναν χαρακτήρα αραιωμένης λασποροής. Αυτό κάνει το νερό απολύτως ακατάλληλο για οικιακή χρήση, και προκαλεί προβλήματα ιζηματογένεσης στα σημεία εισαγωγής νερού και τα κανάλια άρδευσης. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

7. Συνέπειες της μελλοντικής άνοδου της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες πεδιάδες της Μεσογείου

7.1 Εισαγωγικά

Στα επόμενα χρόνια η παγκόσμια θέρμανση εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου θα οδηγήσει σε ουσιαστική άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Οι εκτιμήσεις για τα επόμενα 100 χρόνια κυμαίνονται από 0.5 μέχρι 3.5 μέτρα. Αυτό το εύρος οφείλεται στο γεγονός ότι οι είσοδοι στα μοντέλα έχουν πολλές αβεβαιότητες. Ο G. de Q. Robin (1985) συνέπτυξε το πρόβλημα ως εξής: «Επειδή έχουμε έλλειψη στη γνώση ορισμένων πτυχών του υδρολογικού κύκλου και των δυναμικών των ωκεανών και των πολικών πάγων, η πρόβλεψη των παγκόσμιων αλλαγών στη στάθμη της θάλασσας περιλαμβάνει σημαντικές παρεκτάσεις και προβληματισμούς».

Επειδή ένα σημαντικό τμήμα του πληθυσμού των παραθαλάσσιων χωρών ζει σε πεδινές περιοχές κοντά στη θάλασσα, μια άνοδος μεταξύ 0.5m και 3.5m θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στην κοινωνία. Η βιομηχανία τουρισμού, που είναι ανεπτυγμένη εκτενώς στις Μεσογειακές ακτές, έχει παρέμβει και προκάλεσε την καταστροφή των φυσικών αμυνών των ακτογραμμών, όπως θίνες, για τη δημιουργία ξενοδοχείων και άλλων εγκαταστάσεων.

Οι περισσότερες περιοχές παράκτιων πεδιάδων και ιδιαίτερα τα δέλτα ποταμών υπόκεινται σε αργή τεκτονική καθίζηση που θα επιτείνει την προβλεπόμενη άνοδο της στάθμης. Σε ορισμένα δέλτα των ποταμών με πυκνό πληθυσμό και μεγάλη βιομηχανική ανάπτυξη, η επιπλέον καθίζηση που οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα λόγω υπεράντλησης του υπόγειου νερού έχει γίνει σοβαρό πρόβλημα.

Τα τελευταία χρόνια έγιναν μερικές διασκέψεις για την ουσία και τις επιπτώσεις της μελλοντικής άνοδου της στάθμης. Τα γενικά συμπεράσματα για τις αιτίες και τις επιπτώσεις της άνοδου είναι τα εξής:

- a. Η παγκόσμια θέρμανση θα επιταχύνει το ρυθμό ανόδου της στάθμης μέσω διαστολής των ωκεάνιων νερών, της τήξης των αλπικών παγετώνων, και τελικά προκαλώντας το λιώσιμο των πολικών πάγων ή την ολίσθησή τους στους ωκεανούς.
- b. Ο παγκόσμιος μέσος όρος της στάθμης ανέβηκε 10-15cm πάνω από αυτόν του προηγούμενου αιώνα. Οι μελέτες ωκεανών και παγετώνων δείχνουν ότι η άνοδος είναι συνεπής προς τα μοντέλα πρόβλεψης αν η θερμοκρασία αυξηθεί κατά 0.4°C όπως προβλέφθηκε τον προηγούμενο αιώνα. Ωστόσο δεν αποδεικνύεται καμιά οριστική σχέση αιτίου και αποτελέσματος.
- c. Η παγκόσμια θέρμανση θα μπορούσε να προκαλέσει παγκόσμια μέση άνοδο της στάθμης γύρω στα 10-20cm μέχρι το 2025 και 50-200cm μέχρι το 2100. Η θερμική διαστολή θα μπορούσε να προκαλέσει άνοδο 25-80cm μέχρι το 2100. Οι παγετώνες της Γροιλανδίας και οι αλπικοί, θα μπορούσαν να συμβάλλουν ο καθένας κατά 10-30cm μέχρι το 2100. Η συμβολή της Ανταρκτικής θα μπορούσε να είναι μεταξύ 0 και 100cm, ωστόσο μια αυξημένη χιονόπτωση θα μπορούσε να αυξήσει την ποσότητα των πάγων της Ανταρκτικής εξισορροπώντας έτσι τη στάθμη από άλλες πηγές, αν και η εντατική τήξη των πάγων της Ανταρκτικής θα μπορούσε να συμβάλλει στην άνοδο της στάθμης έως και 2m.
- d. Η διάσπαση του Δυτικού Ανταρκτικού παγοκαλύμματος θα μπορούσε να συμβάλλει στην άνοδο της στάθμης κατά 6m τους επόμενους αιώνες. Οι μελετητές των παγετώνων γενικά πιστεύουν ότι η διάσπαση για να γίνει θα χρειαστεί να περάσουν τουλάχιστον 300-500 χρόνια. Ωστόσο η παγκόσμια θέρμανση θα μπορούσε να έχει σαν αποτέλεσμα την επαρκή λέπτυνση των Rose και Filcher-Ronne πάγων τον επόμενο αιώνα με αποτέλεσμα να καταστήσει τη διαδικασία αυτή μη αναστρέψιμη.
- e. Οι τοπικές τάσεις για καθίζηση του εδάφους ή εμφάνισή του πρέπει να προστεθούν ή να αφαιρεθούν από τις εκτιμήσεις για την άνοδο της στάθμης σε συγκεκριμένες τοποθεσίες.

Επιπτώσεις

- a. Μια σημαντική άνοδος της στάθμης θα πλήξει τελικά τους υγρότοπους και τις πεδιάδες, θα επιταχύνει την παράκτια διάβρωση, θα επιδεινώσει την παράκτια πλημμύρα, και θα αυξήσει την αλμυρότητα των εκβολών των ποταμών και των υδροφόρων.
- b. Το Μπαγκλαντές, η Αίγυπτος, η Κίνα και οι εκβολές των ποταμών της βορειοδυτικής Ευρώπης είναι από τις πιο ευάλωτες περιοχές στην άνοδο της στάθμης τον επόμενο αιώνα. Μέχρι και το 20% της επιφάνειας του Μπαγκλαντές θα μπορούσε να πλημμυρίσει από την άνοδο της στάθμης κατά 2m. Αν και λιγότερο από το 1% της Αιγύπτου θα απειλούνταν, πάνω από το 20% του δέλτα του Νείλου, το οποίο περιλαμβάνει το μισό από τον πληθυσμό του έθνους, θα διέτρεχε κίνδυνο.
- c. Ένα μεγάλο μέρος των παγκόσμιων παράκτιων υγρότοπων θα μπορούσε να χαθεί, με αρνητικές επιπτώσεις στην αλιεία. Μια άνοδος 1-2m μέχρι το 2100 θα μπορούσε να καταστρέψει το 50-80% των σημερινών παράκτιων υγρότοπων των ΗΠΑ. Αν και δεν έχει γίνει καμιά μελέτη για να εκτιμήσει τον παγκόσμιο αντίκτυπο, αυτή η εικόνα είναι αντιπροσωπευτική.
- d. Η διάβρωση λόγω ανόδου της στάθμης θα μπορούσε να απειλήσει τις παραλίες αναψυχής σ' όλο τον κόσμο. Μελέτες περιπτώσεων έχουν καταλήξει ότι η άνοδος κατά 30cm θα οδηγούσε στην υποχώρηση των παραλιών κατά 20-60m ή περισσότερο. Επειδή η πρώτη σειρά των κατοικιών ή ξενοδοχείων απέχει συχνά λιγότερο από 20m από την ακτή, οι παραλίες αναψυχής ανά τον κόσμο θα απειλούνταν σοβαρά από μια άνοδο των 30cm εάν δεν λαμβάνονταν μέτρα προστασίας των ακτών ή δεν βελτιώνονταν τα υπάρχοντα.
- e. Η άνοδος της στάθμης θα προκαλούσε αύξηση του κόστους των πλημμύρων, προστασίας από τις πλημμύρες και ασφάλειας από πλημμύρες σε παράκτιες περιοχές. Η ζημιά από τις πλημμύρες θα αυξανόταν επειδή υψηλότερα επίπεδα των νερών θα παρείχαν υψηλότερες βάσεις για τα ακραία καιρικά φαινόμενα. Η διάβρωση θα προκαλούσε μεγαλύτερη ευπάθεια στα κύματα καταιγίδων. Και η μειωμένη φυσική και τεχνητή αποστράγγιση θα αύξανε τις πλημμύρες κατά τη διάρκεια των βροχοπτώσεων.

- f. Η μελλοντική άνοδος της στάθμης θα έπρεπε να λαμβάνεται υπόψη στα σχέδια των παράκτιων αποστραγγίσεων και στις κατασκευές προστασίας από τις πλημμύρες.
- g. Μερικές δυσμενείς επιπτώσεις της ανόδου θα μπορούσαν να βελτιωθούν μέσω προνοητικών σχεδίων εκμετάλλευσης του εδάφους και αλλαγών στις κατασκευές.
- h. Η αυξημένη αλμυρότητα από την άνοδο της στάθμης θα μπορούσε να μετατρέψει τους βάλτους και τα έλη σε ανοιχτά ύδατα και να απειλήσει της αποθήκες πόσιμου νερού.
- i. Άλλες συνέπειες της παγκόσμιας θέρμανσης θα μπορούσαν να αντισταθμίσουν ή να επιδεινώσουν τις επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης. Η αυξημένη ξηρασία θα μπορούσε να ενισχύσει τις επιπτώσεις αλμυρότητας λόγω της ανόδου της στάθμης. Αυξημένοι τυφώνες και ακραία καιρικά φαινόμενα, και η βροχόπτωση θα μπορούσαν να ενισχύσουν τις πλημμύρες σε παράκτιες περιοχές. Υψηλότερες θερμοκρασίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν την μετακίνηση των μαγκρόβιων ελών σε πιο υψηλά γεωγραφικά πλάτη, ίσως αντισταθμίζοντας την απώλεια των υγρότοπων εξαιτίας της ανόδου της στάθμης.

Όπως προαναφέρθηκε, οι εκτιμήσεις για την μελλοντική άνοδο της στάθμης κατά τη διάρκεια των επόμενων 100 ετών ποικίλλουν σημαντικά λόγω της ελλιπούς γνώσης μας των διάφορων φυσικών πτυχών. Σ' αυτή τη μελέτη θα γίνει χρήση της γενικής εκτίμησης για την άνοδο της στάθμης κατά 1m και των επιπτώσεων αυτής στις παράκτιες περιοχές της Μεσογείου. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

7.2 Το περιβάλλον, η εκμετάλλευση της γης και η συμπεριφορά της ακτογραμμής

7.2.1 Το περιβάλλον των παράκτιων πεδιάδων

Οι παράκτιες πεδιάδες επηρεάζονται άμεσα από τα κύματα, τις παλίρροιες και τα ρεύματα, καθώς και έμμεσα από την αλληλεπίδραση του αλμυρού και του γλυκού νερού. Τα ιζήματα των παράκτιων πεδιάδων περιλαμβάνουν τύρφη, αργίλους, ιλύ και άμμο. Οι παράκτιοι υγρότοποι της ενδοχώρας περιλαμβάνουν περιβάλλοντα αλμυρών και υφάλμυρων υδάτων, βάλτους και λιμνοθάλασσες.



Σχήμα 4: Οι κυριότερες παράκτιες πεδιάδες της Μεσογείου

Το περιβάλλον αλμυρού νερού της υπερπαλιρροιακής ζώνης επηρεάζεται πολύ από το κλίμα και ιδιαίτερα από τις βροχοπτώσεις. Γενικά το Μεσογειακό κλίμα, χαρακτηρίζεται από μεγάλα σε διάρκεια ξηρά και θερμά καλοκαίρια και από βροχερούς χειμώνες. Στη νότια και ανατολική Μεσόγειο το κλίμα είναι θερμότερο και οι βροχοπτώσεις λιγότερες απ' ότι στις παράκτιες ζώνες της βόρειας Μεσογείου. Επομένως, ενώ οι περιοχές της βόρειας Μεσογείου έχουν υφάλμυρους βάλτους και λιμνοθάλασσες, οι περιοχές της νότιας και ανατολικής Μεσογείου έχουν εβαπορίτες και υπεραλμυρές λιμνοθάλασσες.

Σε πολλές περιοχές η παράκτια ζώνη συνορεύει με χαμηλές θίνες. Εξαιτίας κλιματικών συνθηκών και της παρουσίας ασβεστίτη, αυτές μπορεί να τσιμεντοποιηθούν.

Οι ακτογραμμές της Μεσογείου περιλαμβάνουν σημαντικά δέλτα ποταμών όπως του Ebro, Rhone, Po, Seyhan και Nile. Αυτά τα δέλτα δείχνουν μεγάλες μορφολογικές διαφορές εξαιτίας των διαδικασιών ελέγχου των κυμάτων, ρευμάτων και των εισόδων ποτάμιων ιζημάτων.

Το σύνολο των υπό-περιβαλλόντων της παράκτιας ζώνης έχει μετατοπιστεί προς την ξηρά εξαιτίας της ανόδου της στάθμης κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου που

προκλήθηκε από το λιώσιμο των ηπειρωτικών παγοκαλυμμάτων στο τέλος του Πλειστόκαινου. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι οι σχετικές αλλαγές στη στάθμη προέρχονται επίσης από τις τεκτονικές κινήσεις και από τη συμπύκνωση των ιζημάτων. Οι περιοχές των δέλτα, όπως αυτές του Πο και του Νείλου, βρίσκονται σε λεκάνες που υφίστανται αργή καθίζηση (μερικά εκατοστά τον αιώνα).

Το μεγαλύτερο μέρος της Μεσογείου βρίσκεται σε τεκτονικά ενεργή ζώνη που χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση σεισμών και ηφαιστειακών εκρήξεων. Οι περιοχές της Ελλάδας και της Ιταλίας είναι εξαιρετικά ενεργές τεκτονικά. Ένα παράδειγμα είναι ο σεισμός που συνέβη το 1908 στην Μεσίνα της Ιταλίας που προκάλεσε σχετική άνοδο της στάθμης κατά 57cm. Η ενεργός τεκτονική δραστηριότητα οφείλεται στη θέση της Μεσογείου μεταξύ των Αφρό-Αραβικής και Ευρασιατικής ηπείρων. Μια σειρά από βαθιές ιζηματογενείς λεκάνες ακολουθεί τη σύνδεση μεταξύ των ηπείρων. Ο Pirazzoli το (1987) παρουσίασε δυο μορφολογικές αποδείξεις για την κύρια τεκτονική ανύψωση στην ανατολική Μεσόγειο μεταξύ 300-550 μ X.

Το γεωειδές, σχετίζεται με τις μεταβολές στη πυκνότητα του φλοιού της γης. Οι μεταβολές στην επιφάνεια της θάλασσας που υπερβαίνουν τα 50m πιθανόν να αντικατοπτρίζουν τις αλλαγές στην πυκνότητα του υποκείμενου φλοιού. Σε μια τέτοια τεκτονική περιοχή αυτές οι πυκνότητες πιθανόν να μετατοπιστούν, επηρεάζοντας το σχήμα του γεωειδούς και συνεπώς να προκαλέσουν αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας.

Οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα στις παράκτιες περιοχές της Μεσογείου χαρακτηρίζονται από χαμηλές παλίρροιες, χειμερινές καταιγίδες με διευθύνσεις ΝΔ, ΒΔ και ΒΑ, από ρεύματα και από ποτάμια με μειωμένες απορρίψεις κυρίως λόγω ανθρώπινης παρέμβασης.

7.2.2 Η εκμετάλλευση γης στην παράκτια ζώνη

Από τα προϊστορικά χρόνια οι παράκτιες περιοχές ήταν τόπος εγκατάστασης των ανθρώπων και εκ τούτου έντονα επηρεασμένες από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Σε σύγκριση με τα νότια όρια της Βόρειας θάλασσας η έκταση των πεδιάδων και των δέλτα στις ακτές της Μεσογείου είναι αρκετά περιορισμένη. Η δημογραφική, οικονομική και η οικολογική σημασία αυτών των περιοχών είναι παρ' όλα αυτά πολύ σημαντική σε τοπική, εθνική και διεθνή κλίμακα. Εκτός από εγκαταστάσεις

εκατομμυρίων ανθρώπων, γεωργία ζωτικής σημασίας και πηγές αλιείας, καθώς επίσης βιομηχανικά, εμπορικά και επικοινωνιακά κέντρα, και αυξημένη χρήση των παραλιών αναψυχής, οι περισσότερες περιοχές ακόμα περιέχουν κομμάτια φυσικών οικοσυστημάτων αναντικατάστατης αξίας. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η ανακάλυψη και η εκμετάλλευση πετρελαίου και κοιτασμάτων φυσικού αερίου στη βόρειο Αφρική έχει σαν αποτέλεσμα την κατασκευή λιμανιών πετρελαίου, αγωγών και διυλιστηρίων πετρελαίου παντού γύρω από τη Μεσόγειο.

Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή των παράκτιων πεδιάδων γύρω από τη Μεσόγειο.

Ισπανία: Οι πεδινές παράκτιες εκτάσεις κυρίως σχετίζονται με Νεογενείς τεκτονικές καταπτώσεις, με τη μορφή μεγάλων κόλπων άμμου, παράκτιων λιμνοθαλασσών, παράκτιων θινών και βάλτων. Οι πιο σημαντικές λιμνοθάλασσες είναι οι La Albufera de Valencia και El Mar Menor στα νότια, και οι παράκτιες πεδιάδες της Bay of Rosas στα βόρεια. Πέρα από την αλιεία και τη γεωργία, αυτές οι περιοχές γνώρισαν σημαντική οικονομική άνθηση λόγω των πολυάριθμων τουριστικών θέρετρων. Στο μακρινό βορρά υπάρχουν τα δέλτα των ποταμών Llobregat και Ebro.

Το δέλτα του Ebro είναι μικρό (285km^2), αλλά είναι μια σημαντική περιοχή παραγωγής ρυζιού και αλιείας. Ένα μέρος του δέλτα παραμένει υγρότοπος, μεγάλης σημασίας για τα αποδημητικά πουλιά. Σήμερα το δέλτα υπόκειται σε διάβρωση εξαιτίας της κατασκευής φραγμάτων και ταμιευτήρων στο επάνω τμήμα του Ebro. Γύρω στο 96% των ποτάμιων ιζημάτων παγιδεύεται στους ταμιευτήρες.

Γαλλία: Το παράκτιο τμήμα της νότιας Γαλλίας βρίσκεται μεταξύ των ορεινών ακτών των Πυρηναίων και αυτών της Provence. Η παράκτια πεδιάδα Roussillon και Languedoc είναι μια ακτή φράγμα με λιμνοθάλασσες και χαμηλές πεδιάδες. Οι οικονομικές δραστηριότητες περιλαμβάνουν την καλλιέργεια ρυζιού, λαχανικών, αμπελιών, την κτηνοτροφία, τις αλυκές και τη βιομηχανία. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 20 χρόνων περισσότερο από 40% της ακτογραμμής μετεξελίχθηκε σε τουριστικά θέρετρα. Η ακτογραμμή σε κάποια τμήματα υποχωρεί, και σε κάποια άλλα προωθείται.

Το δέλτα του Rhone βρίσκεται στην ανατολική άκρη του κόλπου της Λυών. Καλύπτει 170km² και χαρακτηρίζεται από την μετατοπιζόμενη πορεία των εναποθέσεων των δέλτα. Η μορφολογία και το σχήμα του δέλτα είναι αποτέλεσμα των συνδυαζόμενων επιδράσεων των κυμάτων και των αποθέσεων των ποτάμιων ιζημάτων. Πρόσφατα, ωστόσο, η λεκάνη απορροής του ποταμού Rhone αξιοποιήθηκε από πολλά μεγάλα φράγματα τα οποία μείωσαν τις αποθέσεις ιζημάτων στη θάλασσα από 40 εκατομμύρια τόνους το χρόνο στα τέλη του 19^{ου} αιώνα σε 12 εκατομμύρια τόνους το 1956 και σε 4 εκατομμύρια τόνους το 1970. Η διάβρωση υπερिशύει σήμερα κατά μήκος του δέλτα. Ένα μέρος του δέλτα είναι σημαντικό σαν φυσικό απόθεμα για τα αποδημητικά πουλιά και τα πουλιά που φωλιάζουν. Αυτό και ο φυσικός περιβαλλοντικός χαρακτήρας του Camargue προσελκύει συνεχώς αυξανόμενο αριθμό τουριστών που αναζητούν ψυχαγωγία σε ανοιχτούς χώρους.

Στην ανατολική άκρη των πεδιάδων του Rhone είναι το νέο βιομηχανικό λιμάνι του Fos de Mer (δυλιστήρια πετρελαίου και χημικές βιομηχανίες), του Etang de Berre (σημαντικό για την αλιεία) και το εμπορικό λιμάνι της Μασσαλίας (πληθυσμός 1 εκατομμύριο).

Ιταλία: Η ιταλική ακτογραμμή εκτείνεται για 7.500km με εναλλαγές από βραχώδεις και χαμηλές, αμμώδεις ακτές. Οι παράκτιες πεδιάδες της Tyrrhenian θάλασσας σχετίζονται με τα δέλτα των ποταμών Arno, Ombrone, Tevere και Volturno. Στην Tyrrhenian βρίσκονται μερικά από τα πιο σημαντικά λιμάνια, στρατηγικές βιομηχανίες και κύριες πόλεις της Ιταλίας: Γένοβα, Λιβόρνο, Ρώμη και Νάπολη. Στα νότια και στα νησιά δίπλα στις πόλεις Cagliari, Catania και Taranto βρίσκονται πολύτιμες πεδιάδες.

Στην Αδριατική θάλασσα οι πιο εκτεταμένες πεδιάδες βρίσκονται στην άκρη της λεκάνης του ποταμού Po, η πιο σημαντική γεωργική περιοχή της Ιταλίας. Αυτή η λεκάνη που υφίσταται καθίζηση, έχει συσσωρεύσει μεγάλες ποσότητες ιζημάτων που μεταφέρθηκαν με τα ποτάμια από τις οροσειρές των Άλπεων και των Απεννίνων. Οι παράκτιες πεδιάδες Veneto και Romagna συνορεύουν με χαμηλές αμμώδεις παραλίες και περιλαμβάνουν βάλτους και λιμνοθάλασσες. Πολύ γνωστές είναι οι αρχαίες πόλεις της Βενετίας και της Ραβέννας, οι λιμνοθάλασσες της Βενετίας και του Grado, και το δέλτα του Po (υγρότοποι διεθνούς σημασίας) και μια αλυσίδα από παραλιακά θέρετρα που προσελκύουν εκατομμύρια επισκεπτών κάθε χρόνο. Γύρω στα 2

εκατομμύρια ανθρώπων ζουν στις παράκτιες πεδιάδες, και εμπλέκονται σε γεωργικές, εμπορικές και βιομηχανικές δραστηριότητες. Οι βιομηχανίες αυτής της περιοχής, τα διυλιστήρια πετρελαίου, η κατασκευή πλοίων και τα χημικά φυτά είναι πολύ σημαντικά για τη βόρεια Ιταλία.

Το μεγαλύτερο μέρος των παράκτιων πεδιάδων της Ιταλίας υπόκεινται σε διάβρωση που στο μεγαλύτερο μέρος της προκαλείται ή ενισχύεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, όπως η μείωση του ιζηματογενούς φορτίου των ποταμών εξαιτίας της κατασκευής των φραγμάτων και των ταμιευτήρων.

Γιουγκοσλαβία: Κατά τη διάρκεια της μετά-παγετώδους ανόδου της στάθμης η θάλασσα εισέβαλλε σε παράκτια περιοχή με τοπογραφία παράλληλων ασβεστολιθικών ραχών που διαχωρίζονται από ευρείες κοιλάδες δημιουργώντας μια ακτή με πολλούς κόλπους και νησιά τοποθετημένα παράλληλα προς την ακτογραμμή. Οι παραθαλάσσιες πεδιάδες μετατράπηκαν σε μικρές εκτάσεις που περικλείονται από βράχια που φτάνουν μέχρι και 1900m σε ύψος. Σαν αποτέλεσμα η Αδριατική ακτή να έχει λίγες παράκτιες πεδιάδες. Παρόλα αυτά οι περιοχές Rijeka, Zadar και Split έχουν σημαντικά λιμάνια και ζωτικής σημασίας βιομηχανίες.

Αλβανία: Στη νοτιοανατολική Αδριατική, η 385km ακτή της Αλβανίας περιλαμβάνει 190km από χαμηλές αμμώδεις παραλίες, βάλτους, λιμνοθάλασσες και δέλτα που σχετίζονται με τα ποτάμια Drin, Buna, Matia, Skumbini, Semeni και Vojussa. Οι πεδιάδες έχουν πληθυσμό γύρω στις 700.000 και αποτελούν μεγάλο ποσοστό πρωτεύουσας καλλιεργήσιμης γης σε μια χώρα που είναι κυρίως ορεινή. Οι Vlore και Dures είναι τα λιμάνια της χώρας και τα κύρια βιομηχανικά κέντρα. Εξαιτίας του υψηλού ρυθμού ιζηματογενών αποθέσεων από τους ποταμούς, πολλά τμήματα των Αλβανικών πεδινών ακτών προωθήθηκαν ή παρέμειναν σταθερά κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα. Οι κλάδοι των δέλτα που διαβρώνονται, εγκαταλείπονται, παρά τους χαμηλούς ρυθμούς δράσης των κυμάτων. Οι ποταμοί Drin και Mat ακόμη συνεισφέρουν σε φορτία άμμου παρόλο που φράχτηκαν για παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Ελλάδα: Η Ελλάδα έχει πολύ εκτενή ακτογραμμή σε σύγκριση με την έκτασή της. Ολόκληρη η ακτογραμμή και η ενδοχώρα επηρεάζεται έντονα από την τεκτονική δραστηριότητα. Αυτό δημιούργησε μια εξαιρετικά τραχιά τοπογραφία κατά μήκος της ακτογραμμής. Σχετικά μ' αυτή την τεκτονική δραστηριότητα, μεγάλος αριθμός

από τεκτονικά κέρατα και τεκτονικές τάφρους εκτείνεται προς βορειοδυτική-νοτιοανατολική διεύθυνση. Οι παράκτιες πεδιάδες της Ελλάδας αντιστοιχούν σε τάφρους. Συγκριτικά με όλη την ακτογραμμή, οι παράκτιες πεδιάδες είναι λίγες αλλά υψίστης οικονομικής σημασίας καθώς αποτελούν τις μοναδικές θέσεις για λιμάνια και στρατηγικές βιομηχανίες. Η πιο σημαντική περιοχή δέλτα για γεωργία και βιομηχανία βρίσκεται στις εκβολές του Αξιού ποταμού (Θερμαϊκός κόλπος) κοντά στη Θεσσαλονίκη, τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας.

Τουρκία: Η Μεσογειακή ακτογραμμή της Τουρκίας, έχει μήκος μεγαλύτερο από 5.000km και είναι διαρθρωτικά ελεγχόμενη από τεκτονικές κινήσεις. Είναι μια ακτή στην οποία εναλλάσσονται βραχώδη τμήματα με δελταϊκές πεδιάδες και αμμώδεις παραλίες. Μικρές αλλά οικονομικά σημαντικές δελταϊκές πεδιάδες βρίσκονται στις ακτές του Αιγαίου: το δέλτα του Gediz στη Σμύρνη, του Havran στην Edrenut και τα δέλτα των Kucuk και Buyuk Menderes.

Στη Μεσόγειο υπάρχουν οι δελταϊκές πεδιάδες του Aksu κοντά στην Antalaya και η μεγάλη πεδιάδα Cukurova κοντά στην Adana. Η τελευταία είναι προϊόν δυο μεγάλων ποταμών, του Seyhan στη δύση και του Ceyhan στην ανατολή. Τα νοτιοανατολικά κύματα έχουν σχηματίσει χαρακτηριστικά ευρείας παραλίας που συνορεύει με την ακτογραμμή. Το μεγαλύτερο μέρος της πεδιάδας ήταν ελώδες, αλλά τώρα είναι μια καλά αποστραγγισμένη γεωργική περιοχή με μεγάλη οικονομική σημασία. Στην πεδιάδα αυτή ζουν περίπου 2 εκατομμύρια άνθρωποι, και οι πόλεις Adana και Mersin είναι σημαντικά βιομηχανικά κέντρα. Η διάβρωση της ακτής δεν αποτελεί πρόβλημα εδώ καθώς η είσοδος των ποτάμιων ιζημάτων είναι αρκετή ακόμα για να κρατήσει τις ακτές σε ισορροπία με την άνοδο της στάθμης και την τεκτονική υποχώρηση.

Περίπου 600km² της πεδιάδας Cukurova αποτελούν υγρότοπους, λιμνοθάλασσες και λασπότοπους που συνορεύουν προς τη θάλασσα με παράκτιες θίνες. Αυτές οι θίνες, με μήκος 100km, είναι οι πιο σημαντικές στην Τουρκία. Ο υγρότοπος από μόνος του είναι μεγάλης σημασίας για τα αποδημητικά και διαχειμάζοντα πουλιά. Οι θαλάσσιες χελώνες εμφανίζονται στις ακτές.

Συρία και Λίβανος: Η ακτογραμμή της Συρίας και του Λιβάνου είναι γύρω στα 400km και είναι διαρθρωτικά ελεγχόμενη. Είναι παράλληλη προς το αντίκλινο Jubal Alaouite στη Συρία, και προς τα βόρειο-βόρειο-ανατολικά-νότια-ανατολικά-δυτικά Λιβανέζικα βουνά των οποίων η δυτική πλαγιά κλίνει λιγότερο ή περισσότερο

απότομα προς τη θάλασσα. Παρά τη γειτνίαση των βουνών, η ακτή είναι γενικά χαμηλή, αν και συχνά βραχώδης. Οι παράκτιες πεδιάδες είναι λίγες, η πιο σημαντική είναι κοντά στο Bay of Akkar.

Οι Banyas και Tripoli είναι σημαντικά λιμάνια εξαγωγής πετρελαίου, που συνδέονται με αγωγούς με τις πετρελαιοπηγές στη Συρία.

Ισραήλ: Η ίσια ακτογραμμή του Ισραήλ είναι επίσης διαρθρωτικά ελεγχόμενη. Η ακτή έχει χαμηλό ανάγλυφο με μόνο δύο βουνά. Το βουνό Carmel κοντά στη Haifa και το Rosh Hanigra Ridge. Αλλού οι πρόποδες διαχωρίζονται από τη θάλασσα από αρκετά ευρεία παράκτια πεδιάδα στα νότια, η οποία στενεύει προς τα βόρεια, φθάνοντας μόνο μερικές εκατοντάδες μέτρα στην πεδιάδα Carmel στα βόρεια της Haifa. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτογραμμής χαρακτηρίζεται από βράχια αποτελούμενα από ανθρακικό σκυρόδεμα άμμου και εύφορο έδαφος.

Περίπου 13 εφήμερα ποτάμια ρέουν προς την ακτογραμμή από τα βουνά. Επειδή αυτά τα ποτάμια μεταφέρουν περιορισμένο ιζηματογενές φορτίο κατά την υγρή περίοδο, οι δελταϊκές πεδιάδες είναι ανύπαρκτες στο Ισραήλ. Ένα από τα προβλήματα είναι η διάβρωση των παραλιών, που πιστεύεται ότι προκαλείται από την ανθρώπινη δραστηριότητα κατά μήκος των ακτών (κατασκευές και εξόρυξη άμμου) και από τη μείωση της ποσότητας της άμμου που μεταφέρεται από τα παράκτια ρεύματα από το δέλτα του Νείλου.

Αίγυπτος: Στην Αίγυπτο η δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Νείλου είναι η πιο σημαντική παράκτια πεδιάδα της ακτογραμμής της Μεσογείου. Στην ακτή του δέλτα κυριαρχούν λιμνοθάλασσες που διαχωρίζονται με φράγματα άμμου από τη θάλασσα. Οι περισσότερες λιμνοθάλασσες έχουν χαμηλή αλμυρότητα, αλλά στη λιμνοθάλασσα του Bardawil και στο απομονωμένο τμήμα της λίμνης Mariut το νερό μπορεί να είναι πολύ αλμυρό, και κάποιες φορές σε κάποια τμήματα οι λιμνοθάλασσες μπορούν να μετατραπούν σε αλυκές. Από τις πολλές διακλαδώσεις του Νείλου που υπήρχαν κάποτε, έχουν απομείνει μόνο η Rosetta και η Damietta. Η σημερινή δελταϊκή πεδιάδα του Νείλου απλώνεται σε μια Νεογενή ιζηματογενή λεκάνη που περιέχει 2-3000m ιζήματος, που προέρχεται από το Νείλο και την τεκτονική καθίζηση.

Η περιοχή δέλτα του Νείλου είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας για την Αίγυπτο, όχι μόνο επειδή περιέχει το 50% του πληθυσμού της χώρας αλλά και λόγω των

κύριων εμπορικών διεξόδων και βιομηχανικών και ψυχαγωγικών κέντρων της Αλεξάνδρειας και του λιμανιού Said. Η γεωργία και η αλιεία αποτελούν αντίστοιχα το 45% και 60% της εθνικής παραγωγής. Εκτιμάται ότι το ένα τρίτο από τα μεταναστευτικά και διαχειμάζοντα πουλιά όλης της Μεσογείου χρησιμοποιούν τις λιμνοθάλασσες του δέλτα.

Η ακτογραμμή του δέλτα του Νείλου έχει υποβληθεί σε εμφανείς αλλαγές κατά τη διάρκεια των περασμένων 100 ετών. Τις περασμένες δεκαετίες ορισμένες σημαντικές περιοχές έχουν υποστεί διάβρωση: El Gamil, Ras el Bar, Baltim και El Burg, Rosetta, Abu Qir και Alexandria. Την ίδια στιγμή δημιουργείται ρήχωση κοντά στην είσοδο του καναλιού Σουέζ μπροστά στον κυματοθραύστη του λιμανιού Said, προκαλώντας προβλήματα προσανατολισμού και απαιτώντας ακριβή βυθοκόρηση. Σοβαρή διάβρωση ακτής οφείλεται κυρίως στην κατασκευή φραγμάτων στο Νείλο, που μείωσαν δραματικά το ιζηματογενές φορτίο που αποθέτονταν κοντά στη ζώνη ξηράς από τις δύο διακλαδώσεις του. Το κλείσιμο του φράγματος Aswan High το 1964 κατέστησε την υδρολογία του ποταμού πλήρως ελεγχόμενη, περιορίζοντας τη ροή του προς τη θάλασσα σε μικρές ποσότητες.

Λιβύη: Η ακτογραμμή της Λιβύης έχει μήκος γύρω στα 1900km. Οι παράκτιες πεδιάδες εκτείνονται κατά μήκος του κόλπου Sirte. Η γεωργία είναι τοπική. Σ' αυτή την περιοχή οι εγκαταστάσεις μεταφοράς πετρελαίου από το εσωτερικό του Sirte και τα κοιτάσματα φυσικού αερίου είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας για τη χώρα.

Τυνησία: Η ακτογραμμή της Τυνησίας έχει μήκος 1700km. Μία από τις σημαντικές πεδιάδες είναι η δελταϊκή πεδιάδα του ποταμού Medjerda στον Τυνησιακό κόλπο. Το δέλτα του Mejerda αυξανόταν σταθερά κατά τους προηγούμενους αιώνες, εξαιτίας της αποψίλωσης των δασών και της διάβρωσης του εδάφους, και αργότερα εξαιτίας των κατασκευών ελέγχου των πλημμύρων, έως την παρεκτροπή της κοίτης του ποταμού στην πεδιάδα και την κατασκευή μεγάλων φραγμάτων το 1970. Κοντά στη λίμνη Bizerte, η λίμνη Ichkeul είναι ένας σημαντικός οικολογικός υγρότοπος και καταφύγιο πτηνών. Άλλες παράκτιες πεδιάδες βρίσκονται κατά μήκος του κόλπου Hammamet και του κόλπου Gabes.

Οι πεδιάδες της Τυνησίας είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας από την άποψη της γεωργίας, της αστικοποίησης, των λιμανιών και σημαντικής βιομηχανίας και της ανάπτυξης τουριστικών θέρετρων. Η τελευταία έχει γίνει η κύρια προτεραιότητα των

αρχών από το 1960, αποτελώντας τη δεύτερη πηγή του ξένου συναλλάγματος για τη χώρα. Ωστόσο, η κατασκευή που συνοδεύει την τουριστική ανάπτυξη αποτέλεσε μη σοφή παρέμβαση του ανθρώπου στις ακτές, και θεωρείται ότι είναι υπεύθυνη για την πρόσφατη υποχώρηση της ακτογραμμής.

Αλγερία: Η ακτογραμμή της Αλγερίας έχει μήκος γύρω στα 1100km. Οριοθετείται από οροσειρές που βυθίζονται απότομα σε βαθιά νερά με παρεμβαλλόμενες μικρές εκτάσεις από χαμηλές αμμώδεις ακτές. Οι τελευταίες σχετίζονται με διάφορους μικρούς ποταμούς που φθάνουν μέχρι την ακτή. Οι σημαντικές πεδιάδες είναι περιορισμένες και δεν υπάρχει σημαντική τουριστική βιομηχανία. Οι εγκαταστάσεις μεταφοράς πετρελαίου στα λιμάνια Arzen, Algiers, Beyaia και Skikda που χτίστηκαν για εξαγωγή προϊόντων πετρελαίου και αερίου από τη λεκάνη του Polignac, είναι μεγάλης οικονομικής σημασίας για τη χώρα.

Μαρόκο: Η Μεσογειακή ακτή του Μαρόκο επηρεάζεται έντονα από τα βουνά Rif. Οι βραχώδεις ακτές αντιστοιχούν σε πτυχώσεις και οι χαμηλές ακτές σε σύγκλινα. Η ύπαρξη παράκτιων πεδιάδων είναι πολύ περιορισμένη, νοτιοανατολικά της Melilla η λιμνοθάλασσα Nador διαχωρίζεται από τη θάλασσα από λεπτό φράγμα άμμου και ο ποταμός Moulouya έχει σχηματίσει μικρό δέλτα. Η αλιεία γίνεται στη λιμνοθάλασσα και η παράκτια πεδιάδα έχει καλή αμμώδη παραλία κοντά στο Al Hoceima, ένα τουριστικό θέρετρο σήμερα. L. Jeftic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

7.2.3 Η συμπεριφορά της ακτογραμμής

Τα δέλτα των ποταμών Po και Ebro είναι σχετικά νέα. Εξαπλώθηκαν κυρίως μετά την αποψίλωση δασών στις λεκάνες απορροής τους από τον Μεσαίωνα. Συνεπώς, μεγάλες ποσότητες διαβρωμένου ιζήματος έφτασαν στην ακτή. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, ωστόσο, κατασκευάστηκαν φράγματα και ταμιευτήρες στις λεκάνες του Po και του Ebro, και η παροχή ιζήματος στις ακτές και στα δέλτα μειώθηκε σημαντικά. Αυτή η μείωση συντέλεσε στη διάβρωση της ακτής. Παρατεταμένη μείωση των ιζηματογενών αποθέσεων προκλήθηκε από τη βιομηχανική βυθοκόρηση της άμμου από τις κοίτες των ποταμών.

Στην περίπτωση του δέλτα του Νείλου, οι συνέπειες εκτείνονται στις ακτές του Ισραήλ. Τα παραθαλάσσια και τα μετατοπισμένα ρεύματα στην νοτιοανατολική

γωνιά της Μεσογείου τώρα τροφοδοτούν τις ακτές του Ισραήλ με άμμο που παράγεται από τη διάβρωση της ακτής του δέλτα του Νείλου. Η έντονη μείωση του ιζηματογενούς φορτίου θεωρείται ότι είναι μία από τις αιτίες της διάβρωσης της ακτογραμμής του Ισραήλ. Σε εμφανή αντίθεση, έχει παρατηρηθεί μικρή υποχώρηση ακτής στα δέλτα ποταμών της Αλβανίας και του Μεσογειακού τμήματος της Τουρκίας, παρά τις πρόσφατες κατασκευές φραγμάτων.

Έξω από τις περιοχές δέλτα μπορούν να αναφερθούν τα επακόλουθα δεδομένα. Στο Ισραήλ η ανθρώπινη δραστηριότητα κατά μήκος των ακτών έχει τα περισσότερα καταστροφικά αποτελέσματα, είτε εξαιτίας εξόρυξης μεγάλων ποσοτήτων άμμου είτε κατασκευής λιμανιών και κυματοθραυστών που συσσωρεύουν άμμο. Στην Τυνησία ο Paskof (1985) έδειξε ότι η πρόσφατη υποχώρηση της ακτογραμμής επιδεινώθηκε από τις απερίσκεπτες ενέργειες που σχετίζονται με την τουριστική ανάπτυξη. Πέρα από την εξόρυξη άμμου στις ακτές σε πολλές περιοχές, οι θίνες καταστράφηκαν τελείως από την ανοικοδόμηση ξενοδοχείων κοντά στις ακτές.

Τα ίδια γεγονότα που αναφέρονται από τους Nir και Paskoff ισχύουν για τις περισσότερες Μεσογειακές ακτές. Το συμπέρασμα είναι ότι πολλές παραλίες υπόκεινται σε διάβρωση, όχι μόνο εξαιτίας της πρόσφατης αργής ανόδου της στάθμης αλλά περισσότερο εξαιτίας ανθρώπινων οικονομικών και κοινωνικών δραστηριοτήτων. Ιδιαίτερη παρέμβαση στις παράκτιες διαδικασίες έγινε σε σημεία όπου έγιναν κατασκευές για να σταματήσουν την υποχώρηση της άμμου. Αυτή η μέθοδος όμως είναι αμφισβητήσιμη, και φαίνεται ότι σαν αντίδραση σ' αυτά τα τεχνητά έργα, η διάβρωση των απροστάτευτων ακτών αυξάνεται. Η ανατροφοδότηση των παραλιών με άμμο που προέρχεται από το βυθό της θάλασσας, φαίνεται να είναι πιο επιτυχής μέθοδος.

Λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας, πολύ λίγοι φυσικοί παράκτιοι υγρότοποι, όπως οι βάλτοι και οι λιμνοθάλασσες, παραμένουν στη Μεσόγειο. Οι πιο σημαντικοί που παραμένουν, βρίσκονται στα δέλτα των ποταμών Rhone, Ebro, Po και στην πεδιάδα Cukurova. Στην Τυνησία, η λίμνη Ichkeul είναι προστατευόμενη.

Συνοψίζοντας, η ανθρώπινη παρέμβαση στην παράκτια ζώνη έχει προκαλέσει τα παρακάτω:

- Οι αποξηραμένοι και ανακτημένοι υγρότοποι για γεωργία, εμπόριο, βιομηχανία και οικοδόμηση επιτάχυναν την καθίζηση λόγω συμπίκνωσης.
- Η δημιουργία ταμιευτήρων και η βυθοκόρηση άμμου από τους ποταμούς μείωσαν σημαντικά την παροχή ιζημάτων στις ακτές, προκαλώντας διάβρωση.
- Η κατασκευή λιμανιών και κυματοθραυστών, καθώς και η ανασκαφή στους υγροτόπους προκαλούν διάβρωση των ακτών.
- Η αφαίρεση της άμμου από τις ακτές επίσης συμβάλλει στη διάβρωση.
- Η άντληση νερού, η εξόρυξη αερίου και πετρελαίου συμβάλλει στην καθίζηση.
- Η ανέγερση αναχωμάτων κατά μήκος των κολπίσκων, καναλιών και λιμνοθαλασσών, μείωσε την παροχή ιζημάτων στους υγροτόπους.

7.3 Οι επιπτώσεις της μελλοντικής ανόδου της στάθμης θάλασσας

Για να προβλεφθούν οι επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας του 1m στα επόμενα 100 χρόνια στις παράκτιες πεδιάδες της Μεσογείου, πρέπει να αναλυθούν τα ακόλουθα σημεία:

- Οι σχετικές κινήσεις της στάθμης που προέρχονται από την παρατήρηση των μετρητών παλίρροιας.
- Δεδομένα σχετικά με τη διάβρωση και/ή την πρόσχωση των διάφορων ακτογραμμών.
- Η συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων.

Μια υπόσχεση είναι ότι: σε δοθείσα ακτή της Μεσογείου, οι μετρητές παλίρροιας δείχνουν μια σχετική άνοδο της στάθμης των 10cm/αιώνα. Οι παρατηρήσεις και οι μετρήσεις των ακτών έχουν δείξει υποχώρηση της ακτογραμμής κατά 50m/αιώνα.

Αν δεχτούμε ότι το μέγεθος της ιστορικής υποχώρησης μπορεί ευθέως να συσχετιστεί με τον παρατηρούμενο ρυθμό της ανόδου της στάθμης, τότε μια μελλοντική άνοδος της στάθμης θα προκαλέσει αυξημένη διάβρωση των ακτών. Σύμφωνα μ' αυτά, μπορεί να γίνει σίγουρη πρόβλεψη και η απόφαση πρέπει να είναι είτε η προστασία των ακτών είτε η σχεδιασμένη υποχώρηση.

Όσον αφορά τις μετρήσεις των μετρητών παλίρροιας, κατά τη διάρκεια των περασμένων 100 ετών, κατά μήκος των ακτών της Ευρώπης, υπήρξε άνοδος της στάθμης μεταξύ 10cm και 15cm. Αυτός ο ρυθμός ανόδου είναι μεγαλύτερος στο πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν της Ευρώπης όπου από την Ρωμαϊκή εποχή μέχρι σήμερα, μια καθίζηση του 1m υποδεικνύει άνοδο 5cm/αιώνα.

Η πρόσφατη σχετική άνοδος της στάθμης θεωρείται ότι προκαλείται μερικώς από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στη Μεσόγειο ο αριθμός των μετρητών παλίρροιας με καταγραφές που ξεκινάνε πριν από 100 χρόνια είναι πολύ περιορισμένος και άνισα κατανεμημένος, περισσότεροι στα δυτικά και λιγότεροι στα ανατολικά. Ο Pirazzoli (1987) ανέλυσε τους διαθέσιμους σταθμούς και κατέληξε στο ότι δεν σημειώθηκε αισθητή άνοδος της στάθμης τα τελευταία χρόνια. Οι διάφορες τεκτονικές κινήσεις επηρεάζουν έντονα την τοπική άνοδο της στάθμης.

Περισσότερα δεδομένα είναι γνωστά από τη λεκάνη του δέλτα του Νείλου και από τις ακτές της Αδριατικής. Αυτές οι λεκάνες δείχνουν συνεχή τεκτονική καθίζηση που επιβάλλεται της ιζηματογενούς συμπύκνωσης αργίλων και τύρφης. Οι μετρήσεις των μετρητών παλίρροιας στην ανατολική Μεσόγειο υποδεικνύουν ρυθμό βύθισης της τάξης 4.8mm/έτος, στην περιοχή του λιμανιού Said της Αιγύπτου και ανύψωσης της τάξης 2.8mm/έτος στη Haifa του Ισραήλ. Στο δέλτα του ποταμού Ρο και στη Βενετία παρατηρήθηκε καθίζηση της τάξης 1.2mm/έτος. Τοπικά, κατά την περίοδο 1950-1970 αυτή η καθίζηση αυξήθηκε δραματικά (10cm/έτος) εξαιτίας της υπεράντλησης του υπόγειου νερού. L. Jetic, J. D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

Συμπεράσματα

Στη περιοχή της Μεσογείου έχουν παρατηρηθεί διάφορες κλιματικές αλλαγές. Η θερμοκρασία έχει αυξηθεί παγκοσμίως κατά 0.5°C από τα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Σύμφωνα με διάφορα κλιματικά μοντέλα προβλέπεται ότι θα υπάρξει αλλαγή στη θερμοκρασία γύρω στους $1.5-3^{\circ}\text{C}$, καθώς επίσης τόσο στον υετό όσο και στην εξατμισοδιαπνοή. Ένα από τα επακόλουθα των εποχιακών βροχοπτώσεων και της υψηλής εξάτμισης είναι η ενδημική έλλειψη νερού. Το πρόβλημα είναι ιδιαίτερα εμφανές στα νοτιότερα τμήματα της Μεσογείου. Σε αντίθεση προς τις εποχιακές ελλείψεις στο βορρά (τους ξηρούς μήνες), η ξηρή περίοδος σε μερικές νότιες χώρες ξεπερνά τους 6 μήνες, με αποτέλεσμα η έλλειψη νερού να αποτελεί ένα μόνιμο εμπόδιο για κοινωνική και οικονομική ανάπτυξη. Επίσης προβλέπεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας μέχρι το 2025 όμως είναι περισσότερο προβληματική. Εκτιμάται ότι θα φτάσει τα 12-18cm. Τοπικά όμως η άνοδος της στάθμης μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη, εξαρτώμενη από φαινόμενα καθίζησης του εδάφους. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει άμεσα η αναγνώριση των περιοχών που κινδυνεύουν περισσότερο από την άνοδο της στάθμης ώστε να γίνει η αντιμετώπιση σε μια επικείμενη αλλαγή της στάθμης προληπτικά. Επίσης κλιματικές αλλαγές στη περιοχή της Μεσογείου όπως οι αλλαγές στη θερμοκρασία, στον υετό, στην εξατμισοδιαπνοή και η άνοδος της στάθμης θα επηρεάσουν το έδαφος και θα οδηγήσουν στην υποβάθμιση του, με αποτέλεσμα να επηρεαστούν οι καλλιέργειες και η γεωργία. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα επηρεάσει επίσης τις παράκτιες πεδιάδες καθώς και την ακτογραμμή η οποία σε πολλές περιοχές θα υποχωρήσει. Αυτό θα επηρεάσει σημαντικά τον τουρισμό και την οικονομία.

Βιβλιογραφία

L. Jeftic, J.D. Milliman, G. Sestini (eds), Climatic Change and the Mediterranean, 1992

V.L. Gornitz, S.Lebedeff and J. Hansen, Global sea-level trend in the past century.Science, 1982

M.F. Meier, Contribution of small glaciers to global sea-level.Science,1984

A.B. Pittock and J.M. Salinger, Towards regional scenarios for a CO₂-warmed Earth. Climatic Change, 1982

M.F. Meier, Reduced rise in sea level. Nature, 1990

W.R. Peltier and A.M. Tushingham, Global sea-level rise and the greenhouse effect:Might they be related? Science, 1989

T.M.L. Wigley and S.C.B. Raper, Thermal expansion of sea water associated with global warming. Nature, 1987

G.E. Hollis, Implications of climatic change in the Mediterranean Basin, 1992

Χρήστος Ι. Μπαλαφούτης, Παναγιώτης Χ. Μαχαίρας, Μαθήματα Γενικής Κλιματολογίας, Εκδόσεις Γιαχούδη,1985

http://el.wikipedia.org/wiki/Μεσόγειος_Θάλασσα